



NEUES HANDBUCH  
DER  
CHEMISCHEN TECHNOLOGIE

ZUGLEICH ALS DRITTE FOLGE VON  
BOLLEY'S HANDBUCH DER CHEMISCHEN TECHNOLOGIE

HERAUSGEGEBEN VON

DR. C. ENGLER

WIRKL. GEH. RAT UND PROFESSOR DER CHEMIE AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE FRIDERICIANA  
IN KARLSRUHE

---

VI.  
GASBELEUCHTUNG UND GASINDUSTRIE

VON  
DR. HUGO STRACHE

---

MIT 443 ABBILDUNGEN IM TEXT UND AUF 7 TAFELN  
SOWIE EINER TABELLE



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

# GASBELEUCHTUNG UND GASINDUSTRIE

---

VON

DR. HUGO STRACHE

A. O. PROFESSOR FÜR BELEUCHTUNGSWESEN  
UND LEITER DER VERSUCHSANSTALT FÜR GASBELEUCHTUNG, BRENNSTOFFE UND  
FEUERUNGSANLAGEN AN DER K. K. TECHN. HOCHSCHULE IN WIEN  
RAT DES K. K. PATENTAMTES

---

MIT 443 ABBILDUNGEN IM TEXT UND AUF 7 TAFELN  
SOWIE EINER TABELLE



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

---

Alle Rechte,  
namentlich das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten

---

Copyright, 1913 Springer Fachmedien Wiesbaden  
Ursprünglich erschienen bei Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, Germany 1913  
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1913

ISBN 978-3-663-06320-9      ISBN 978-3-663-07233-1 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-663-07233-1

---

# VORWORT.

---

Gern habe ich den mich sehr ehrenden Antrag des Herrn Geheimrat Engler angenommen, die Bearbeitung des hier vorliegenden Bandes „Gasbeleuchtung und Gasindustrie“ für das „Neue Handbuch der chemischen Technologie“ zu übernehmen. Mittlerweile ist allerdings das ausgezeichnete Lehrbuch der Leuchtgasindustrie von Wilhelm Bertelsmann erschienen. Dieses trägt jedoch den Charakter eines Lehrbuches, während der vorliegende Band wohl auch dem technisch Gebildeten einen Einblick in das Gebiet der Gasindustrie schaffen, aber im wesentlichen als Nachschlagebuch für den Fachmann dienen soll. Aus diesem Grunde weisen auch die Fußnoten stets darauf hin, an welchen Stellen ausführliche Information über den betreffenden Gegenstand eingeholt werden kann. Ich war bestrebt, das Lesen des Buches durch die zusammenhängende Form des Textes möglichst zu erleichtern. Zur raschen Orientierung war dabei ein ausführliches Namen- und Sachregister neben dem Inhaltsverzeichnis erforderlich.

Das vorliegende Buch soll es dem Praktiker ermöglichen, die Erscheinungen, mit denen er zu tun hat, theoretisch richtig zu erkennen, oder zumindest sich die zur genauen Kenntnis der Vorgänge nötigen Unterlagen hier aufzusuchen. Es ist daher der theoretischen Erörterung aller Vorgänge ein breiter Raum gelassen, doch wurden die in Betracht kommenden Theorien nur insoweit aufgenommen, als sie von der Mehrheit der Fachmänner anerkannt sind. Es mußten daher die sich oft widersprechenden Ansichten der Fachmänner gesichtet werden, wobei es manchmal nötig war, Kritik an diesen Ansichten zu üben und die eigene Meinung nicht zu verhehlen.

Neue Apparate und Methoden konnten nur soweit berücksichtigt werden, als sie ausgedehnten Eingang in die Praxis gefunden haben

oder besonderes Interesse bieten. Dabei wurden vor allem die Fortschritte der letzten Jahre (etwa bis 1911) berücksichtigt. Gebiete, in denen ich selbst wissenschaftlich oder praktisch gearbeitet habe, sind ausführlicher behandelt, weil ich glaube, daß mancher Fachgenosse gerade diese Gebiete in dem Buche gern aufsuchen wird. Aus diesem Grunde haben die Kapitel über die Lichteinheiten, die Kalorimeter, die automatische Gasanalyse, die Entgasung der Kohle, über das Wassergas, die Theorie des Gasglühlichtes usw. ausführlichere Behandlung erfahren, als dies sonst vielleicht einem derartigen Buche entsprechen würde.

Die Art der Wiedergabe des Stoffes ließ manche Wiederholung unvermeidlich erscheinen. Zur Kürzung des Raumes wurde bei allen Gelegenheiten auf die an anderer Stelle stehenden Ausführungen verwiesen. Die chemische Untersuchung der einzelnen Rohstoffe und Produkte konnte nur soweit aufgenommen werden als es notwendig war, um dem Chemiker die Möglichkeit der Orientierung über die vorhandenen Methoden zu bieten. Zur Ausführung der jeweiligen Untersuchung ist ohnedies das genauere Studium dieser hier nur angedeuteten Methoden erforderlich, die ja doch nur vom Chemiker unter Hinzuziehung der vorhandenen Fachliteratur durchgeführt werden kann.

Die Verlagsbuchhandlung hat es mir ermöglicht, zur leichteren Beschreibung der Apparate eine große Anzahl von Figuren aufzunehmen und es sei ihr auch hier der Dank für ihr Entgegenkommen sowie für die vorzügliche Ausstattung des Buches überhaupt ausgesprochen. In den meisten Fällen war es möglich, die in anderen Werken bereits vorhandenen Figuren, so besonders z. B. aus dem Werke von Schäfer, „Einrichtung und Betrieb eines Gaswerkes“, sowie von Bertelsmann, „Lehrbuch der Leuchtgasindustrie“, zu benutzen.

Indem ich das Buch der Öffentlichkeit übergebe, stelle ich an alle Fachgenossen die Bitte, mir Fehler, die mir zweifellos unterlaufen sein werden, bekanntzugeben, um dadurch mein Streben, das Buch zu einem möglichst vollständigen Nachschlagebuch zu gestalten, zu unterstützen.

Wien, im Juli 1913.

**Prof. Strache.**

# Inhaltsverzeichnis.

Vorwort . . . . .	Seite V
Inhaltsverzeichnis . . . . .	VII

## I. Ziele der Beleuchtungstechnik.

- Kap. 1. Geschichtliches (1). Bedingungen einer guten Beleuchtung (1). Erste Straßenbeleuchtung (1). Entwicklung der Beleuchtungsarten (2). Die erste Anwendung des Gases (3). Fortschritte der Gaserzeugung (6). Fortschritte der Gasglühlichtbeleuchtung (7). Fortschritte der elektrischen Beleuchtung (7). Aussichten auf die Zukunft (7). Entwicklung des Lichtbedürfnisses (8). Tageslichtbeleuchtung in Zimmern (9). Farbe des künstlichen Lichtes (9). Einfluß der Temperatursteigerung der Lichtquelle (9). Forderung betreffs der Lichtverteilung (10). Nebenwirkung der Lichtquellen (11). Ausnutzung der Heizwirkung (12). Entwicklung des Gasabsatzes (14).
- Kap. 2. Das Wesen des Lichtes, das Auge (14). Wärme-, Licht- und chemische Wirkung der Strahlen (15). Die Farbe des Spektrums (15). Organe der Netzhaut, Stäbchen und Zapfen (16). Empfindlichkeit des Auges (17). Steigerung des Lichteffektes bei Temperaturzunahme (19). Spektralfarben der Lichtquellen (20). Schädlichkeit ungleichmäßiger Beleuchtung (21). Farbenkontraste (22). Langwellige Strahlen (22).
- Kap. 3. Mittel zur Lichterzeugung (23). Mittel zur Wärmeerzeugung (23). Anwendung hoher Temperaturen (23). Temperatur-Leuchten und kalte Lichter (24).
- Kap. 4. Emission und Absorption, Strahlungsgesetze (25). Emissionsvermögen und Absorptionsvermögen (25). Farben der Körper (26). Kirchhoffs Gesetz (27). Strahlungsmessung (31). Spektrum des absolut schwarzen Körpers (31). Die Strahlungsgesetze (33). Steigerung der Lichtstärke mit der Temperatur (34).
- Kap. 5. Nutzeffekte der Lichtquellen (36). Bestimmung der Gesamtstrahlung (36).

## II. Der Verbrennungsprozeß.

- Kap. 6. Wesen des Verbrennungsprozesses (39). Flammenerscheinung (39). Zusammensetzung der Luft (40). Volumveränderung bei der Verbrennung (41). Sauerstoff und Luftbedarf bei der Verbrennung (43). Dissoziation (44). Chemisches Gleichgewicht (45). Unvollkommene Verbrennung (47). Verbrennungswärme (49). Spezifische Wärme der Gase (52). Entzündungstemperatur (56). Entzündungsgeschwindigkeit (58). Explosionsgrenzen (63). Reaktionen in der Hochspannungsflamme (70).
- Kap. 7. Die Flamme (71). Definition der Flamme (71). Form des Gasstromes und der Flamme (71). Leuchtende Flammen (73). Strahlung der Flamme (74). Flammenoberfläche und Flammenvolumen (75). Begleiterscheinung der Verbrennung in der Flamme (75). Temperaturen in der Flamme (76). Der Bunsenbrenner (77). Wirkung des Gebläses (88). Abkühlung der Flammen durch feste Körper (88).

## III. Maße und Meßinstrumente.

- Kap. 8. Pyrometrie (89). Temperaturbegriff (89). Zur Temperaturbestimmung benutzte Gesetzmäßigkeiten (91). Die Ausdehnung (91). Dampfspannung und Dissoziation (96). Wärmeleitung (97). Temperaturbestimmung nach dem Schmelzpunkt (97). Thermoelektrizität (98). Widerstandspyrometer (100). Kalorimetrische Temperaturbestimmung (101). Strahlungspyrometer (101).
- Kap. 9. Kalorimetrie (105). Einheit der Wärmemenge, Kalorie (105). Messung der Verbrennungswärmen (105). Reduktion des Gasvolumens auf den Normalzustand (106). Berechnung des Heizwertes von Gas aus der Analyse (108). Heizwert der Kohlen (109). Bestimmung des Heizwertes aus dem Luftbedarf (109). Berechnung des Heizwertes von Gasgemischen, Mischungsregel (128). Kalorimeter für feste Stoffe (128).
- Kap. 10. Photometrische Grundbegriffe und Lichteinheiten (131). Lambertsche Gesetze (131). Lichtstärke (133). Die räumliche Lichtverteilung (135). Photometrische Größen und Einheiten (135). Leuchtende Linien und Flächen (137). Lichteinheiten (138). Die Normkerze (142). Carcellampe (143). Hefnerlampe (145). Die 10-Kerzen-Pentanlampe (152).
- Kap. 11. Photometrie (154). Prinzipien der Photometrie (155). Photometrische Vergleichskörper (157). Arten der Photometrie (164). Bestimmung der Plathelligkeit (168). Sehschärfe (174). Flimmerphotometrie (175). Messung der räumlichen Lichtverteilung (175). Spektrophotometer (180). Farbenwert künstlicher Lichtquellen (181). Messung des Glanzes (182).
- Kap. 12. Manometer (182). Messung des Druckes (182). Druckmasse: Wassersäule, Quecksilbersäule, Atmosphäre (183). Einfachste Druckmesser (184). Arten der Manometer (186). Ablesung der Manometer (187). Manometertafeln einschenkelliger Manometer (189). Vorrichtung zum Konstanthalten des Nullpunktes (190). Alarmdruckmesser (191). Druckschreiber, Druckregistrator (194). Multiplizierende Manometer (195). Lux' Maximal- und Minimalmanometer (204). Gasdruckfernmelder (204). Manometerleitung (205).

## IV. Technische Gasanalyse.

- Kap. 13. Entnahme der Gasproben (205). Gasentnahme (205). Aufbewahrungs- und Transportgefäße für Gasproben (209).
- Kap. 14. Volumetrische Gasanalyse (211). Absorption einzelner Bestandteile (212). Abmessung des Gases (217). Hempels Gasbürette (218). Lunges Gasvolumeter (221). Messung großer Gasmengen (222). Orsat'scher Apparat (228). Bestimmung kleiner Beimengungen (233). Selbsttätige Gasanalysenapparate (237). Gasanalyse durch Verbrennung (246). Langsame Verbrennung (249).
- Kap. 15. Besondere Methoden der Gasanalyse (252). Gewichts- und maßanalytische Methoden (252). Bestimmung des spezifischen Gewichtes (254). Gasuntersuchung mittels der Absorptionswärme (262). Trennung der schweren Kohlenwasserstoffe (263). Bestimmung von  $C_2H_2$ ,  $H_2S$ ,  $CS_2$  (265). Prüfung auf  $H_2S$  (265).  $CS_2$ -Bestimmung (267). Gesamtschwefel (268). Bestimmung anderer Verunreinigungen der Gase (269). Bestimmung des Wasserdampfgehaltes der Luft (271). Flammenprobe auf brennbare Gase und Sauerstoffgehalt (272).

## V. Die Kohlen als Rohmaterial der Gaserzeugung.

- Kap. 16. Vorkommen und Einteilung der Kohlensorten (272). Entstehung und Verwendung der Kohlensorten zur Gaserzeugung (273). Vorkommen der Kohlen (273). Qualität der Kohle (275).
- Kap. 17. Untersuchung der Kohlen (278). Wert der Kohlenuntersuchung (278). Verkokungsprobe (279). Bestimmung des Gasheizwertes mit dem Explo-

sionskalorimeter (281). Spezifisches Gewicht der Kohle (284). Feuchtigkeitsgehalt (285). Aschengehalt (286). Bestimmung des Gesamtschwefels (286). Bestimmung von C, H, N (287). Heizwertbestimmung (288). Probevergasung (288). Untersuchung auf Selbstentzündlichkeit (290). Ermittlung der Backfähigkeit und des Schlammgehaltes (291).

- Kap. 18. Lagerung und Transport der Kohle (291). Notwendiger Lagerbestand (291). Lagerverluste (291). Selbstentzündlichkeit (293). Kohlentransport (295). Anordnung der Transporteinrichtung (297).

## VI. Die Entgasung der Kohle und Vergasung des Kohlenstoffs.

- Kap. 19. Die Entgasung der Kohle (302). Menge des erhältlichen Gases (302). Zusammensetzung der Gaskohlen (303). Verhalten der Kohle beim Erhitzen (304). Einfluß der Zusammensetzung der Kohle (309). Vorgang der Verkokung (310). Zusammensetzung des Rohgases (317). Kondensate (320). Wärmebilanz der trockenen Destillation (321). Entgasung des Holzes (321).
- Kap. 20. Vergasung des Kohlenstoffs (322). Unvollständige Verbrennung des Kohlenstoffs (322). Generatorgasprozeß (324). Theorie des Generatorgasprozesses (327). Verunreinigung des Generatorgases (329). Vergasung des Kohlenstoffs durch Wasserdampf (330).

## VII. Öfen zur Entgasung der Kohlen.

- Kap. 21. Retortenöfen (332). Murdochs Retorte (332). Schamotterretorten (332). Ofentypen (334). Bau der Retortenöfen (335). Austrocknen und Anheizen der Retortenöfen (339). Regelung der Unter- und Oberluft (340). Erkennung von Undichtheiten (342). Beseitigung der Undichtheiten (343). Feuerungsmaterial (343). Rostfeuerung (343). Generatorfeuerung (344). Halbgeneratoren (346). Ladung der Retorten (346). Graphitausscheidung (347). Ofenkonstruktionen (348). Buebs Vertikalofen (352). Boiz' Vertikalofen (360). Vorläufer des Vertikalofens (361). Kontinuierliche Entgasung (361).
- Kap. 22. Ofenreparaturen (364).
- Kap. 23. Kammeröfen (365). Unterschied zwischen Kammeröfen und Koksöfen (365). Bedingungen zu den Kammerbetrieben (366). Gang der Entgasung in Kammern (367). Vorteile des Kammerofenbetriebes (367). Schrägkammeröfen (368). Horizontalkammeröfen (371). Vertikalkammeröfen von Klönne, Horn, Knoch, Glover und Jones (373). Vorteile von Zentralgeneratoranlagen (374). Resultate des Kammerofenbetriebes (374).
- Kap. 24. Vergleich verschiedener Ofensysteme (376).
- Kap. 25. Lade- und Ziehmaschinen (382). Vorteile der mechanischen Arbeit (382). Handlademulde (382). Handlademaschinen (382). Das Ziehen des Koks (388).
- Kap. 26. Der Koks und der Kokstransport (390). Koksbeutel (390). Behandlung des Koks (390). Zusammensetzung des Koks und der Schlacke (392). Löschung des Koks (393). Transport des Koks (396). Verwendung des Koks (401).

## VIII. Gaswerkseinrichtungen.

- Kap. 27. Allgemeines (403). Gasdichte Verschlüsse (403). Gang des Gases zwecks Reinigung (404).
- Kap. 28. Vorlagen (404). Zweck der Vorlage (404). Steigerrohr und Sattelrohr (405). Tauchung (405). Reinigungsverschlüsse (407). Teerverdickungen und deren Verhinderung (408). Vorlage nach Hasse (409).
- Kap. 29. Kühler (409). Zweck der Kühlung (409). Klönnes Raumkühler (410). Luftkühler (411). Wasserkühler (413). Teerablauf (416). Kontrolle der Temperaturen und Probehähne an Kühlern (416).

- Kap. 30. Teerscheider und Staubreiniger (416). Ausscheidung der Teertropfchen im Gasstrom (416). Wesen der Teerscheider (417). Entteerung großer Gasmengen (420). Entfernung des Staubes aus Gasen (421).
- Kap. 31. Teer- und Ammoniakwassergruben (422).
- Kap. 32. Wäscher (Skrubber) 424. Theoretische Grundlagen der Gaswäsche (424). Konstruktion der Wäscher (427). Größe der Wäscher (430). Wasserzufuhr zu den Wäschern (430). Reutterkühler als Gaswäscher (432). Klönnes Wäscher (432). Wäscher mit bewegten Flächen (432). Felds Gaswäscher (435).
- Kap. 33. Naphtalinwäsche (435). Eigenschaften des Naphtalins (435). Naphtalinwäsche mittels Teerölen (437). Naphtalinwäscher (439). Entfernung von Naphtalinausscheidungen durch Xylol (439).
- Kap. 34. Cyanwäsche (440). Nachteile des CN-Gehaltes im Gase (440). Buebs Cyanwäsche (440). Direkte Bildung von Blutlaugensalz (444).
- Kap. 35. Reinigung (444). Beseitigung des Schwefelwasserstoffs (445). Chemische Vorgänge bei der Reinigung mit Eisenhydroxyd (446). Regenerierung (448). Regenerierung im Kasten (450). Beschickung der Reiniger (453). Anzahl der Reinigerkästen (453). Behandlung der Reinigungsmasse (456). Wahl der Reinigungsmasse (458). Cyangehalt der ausgebrauchten Reinigungsmasse (459). Untersuchung neuer Reinigungsmasse (460). Untersuchung ausgebrauchter Reinigungsmasse (462). Wiederverwendung ausgebrauchter Reinigungsmasse (465).
- Kap. 36. Reiniger (466). Geschwindigkeit des Gasstromes (466). Konstruktion der Reiniger (467). Reiniger mit geteiltem Gasstrom (469). Hebevorrichtungen für die Reinigerdeckel (473). Schaltvorrichtungen der Reinigeranlagen (475). Neuere Reinigungsverfahren (479).
- Kap. 37. Die Entfernung des Schwefelkohlenstoffs aus dem Gase (483). Bildung des  $CS_2$  (483). Schwefelgehalt des gereinigten Gases (483). Entfernung des Schwefelkohlenstoffs (485).
- Kap. 38. Gasbehälter (489). Vorteile der Aufspeicherung (489). Wesen der Gasbehälterglocken (490). Verschiedene Gasbehältertypen (490). Bassinkonstruktionen (491). Gasbehälterglocken (495). Behälterdruck (498). Führungsgerüst (499). Ein- und Ausgangsrohre (501). Statische Berechnung für Behälterkonstruktionen (502). Zubehörteile zu Gasbehältern (502). Prüfung der Glocken auf Dichtheit (504). Inbetriebsetzung von Gasbehältern (505). Beheizung der Gasbehälter (506).
- Kap. 39. Druckregler (507). Notwendigkeit der Druckregelung (507). Entlastete Ventile (509). Frostsichere Sperrflüssigkeiten für Druckregler (512). Regler mit Gasdruckbelastung oberhalb der Glocke (513). Antifuktatoren (513). Trockene Regler (513). Automatisch druckgebende Regler (516). Vordruckregler (523). Regler für Hochdruckleitungen (523). Jägers Anordnung, mehrere Regler an einem Rohrnetz (523). Sicherheitsregler gegen falsche Schieberstellungen (525). Ferndruckwellengeber Bamag (525).
- Kap. 40. Konsumregler (527). Flammenregler (528).
- Kap. 41. Gassauger und Gebläse (529). Zweck und Wirkung der Gassauger (529). Ausbildung der Gassauger und Gebläse (532). Regelung der Saugwirkung (533).
- Kap. 42. Absperrvorrichtungen (536). Gasschieber (536). Tellerventile: Eckventile, Durchgangs- und Kreuzventile (538). Hydraulische Ventile (538).

### IX. Bearbeitung, Analyse und Verwertung des Teeres und des Ammoniaks.

- Kap. 43. Der Teer (541). Ausbeute, Eigenschaften und Zusammensetzung des Teeres (541). Destillation des Teeres (542). Untersuchung des Teeres (542). Anwendung des Teeres (543).
- Kap. 44. Das Ammoniak (547). Bestandteile und Untersuchung des Gaswassers (548). Gewinnung des Ammoniaks (549). Untersuchung des Ammoniaksulfats (552). Direkte Sulfatgewinnung (552).

**X. Gaswerksanlagen und Gaswerksgebäude.**

- Kap. 45. Gaswerksanlagen und Gaswerksgebäude (554). Gasverbrauch pro Einwohner (555). Anlagekosten (557). Reihenfolge und Größe der Gaswerksapparate (558). Gebäude (559). Kohlen- und Kokslager (561). Gebäude für sonstige Apparate (561). Anordnung der Gebäude einer größeren Gaswerksanlage (563). Sicherheitsvorschriften (566).

**XI. Rohrleitungen.**

- Kap. 46. Hauptleitungen und Zuleitungen (567). Druckverlust (567). Berechnung der Rohrleitungen (567). Einfluß des spezifischen Gewichtes (571). Unsicherheit der Berechnung für städtische Rohrnetze (573). Material für Rohrleitungen (573). Prüfung der Rohre (574). Normalien für Gasrohre (575). Oberirdische Hauptrohrleitungen (575). Rohrgräben (575). Muffendichtung mit Blei (577). Gummidichtung (578). Stopfbüchsen in Rohrleitungen (579). Dichtprobe an verlegten Rohrsträngen (583). Anbohrungen und Zuleitungen (584). Absperren von in Betrieb stehenden Leitungen (586). Wassertöpfe (586). Anlage der Rohrnetze (587).
- Kap. 47. Ferndruckleitungen (588). Wichtigkeit der Fernleitungen (588). Dimensionierung der Ferndruckleitungen (589). Hochdruckgasversorgung ohne Behälter (590). Gebläse für Fernleitungen (592). Automatische Ausschaltung und Sicherheitsventile (594).
- Kap. 48. Störungen an Rohrleitungen und ihre Beseitigung (594). Verlustquellen (594). Aufsuchung von Undichtheiten (597). Verstopfungen der Rohrleitungen (599). Elektrolytische Zerstörung der Rohrleitungen durch vagabundierende Ströme (Erdströme) (601). Anschluß von Blitzableitern an Gasleitungen (606).
- Kap. 49. Hausinstallationen (606). Weite der Zuleitung (606). Rohrmaterial für Innenleitungen (607). Mauerkanäle für Rohrleitungen (608). Anordnung der Rohre (609). Prüfung der Innenleitungen (609). Verbindung der Verbrauchsapparate mit der Leitung (611). Haupthähne (613). Sicherheitsvorrichtungen gegen Gasausströmungen (615). Verstopfung der Hausgasleitungen (617). Undichtheiten der Hausgasleitungen und deren Auffindung (617).

**XII. Gasmesser.**

- Kap. 50. Gasmesser (618). Allgemeines (618). Prinzip der rotierenden nassen Gasmesser (620). Stationsgasmesser (622). Hausgasmesser, Material für dieselben, Vorkammern (Brustkasten) (624). Gasmesser mit gleichbleibendem Wasserspiegel (625). Umdrehungszahl der Gasmessertrommeln (626). Ablesen der Zifferblätter (627). Größenangabe nach Flammenzahl (628). Frostsichere Füllflüssigkeiten (629). Kontrollgasmesser (629). Gasmesser mit Doppel- oder Wechselzählwerk für Leucht- und Heizgas (629). Aufstellungsort der Hausgasmesser (630). Gasmesser für hohen Druck (631). Trockene Gasmesser (631). Gasautomaten (635). Eichung der Gasmesser (636). Experimentiergasmesser (637). Gasgeschwindigkeitsmessung (639). Geschwindigkeitsmessung durch Druckdifferenzen (640). Krells Pneumometer (643).

**XIII. Verschiedene Gasarten.**

- Kap. 51. Steinkohlengas und Destillationsgas aus anderen festen Brennstoffen (644). Definition der Bezeichnung „Steinkohlengas“ (644). Zusammensetzung des Steinkohlengases (645). Bedeutung der Leucht- und Heizkraft des Gases (647). Zulässiger Schwefelgehalt des gereinigten Gases (651). Gasqualität bei hochgelegenen Gaswerken (651). Gas aus anderen Brennstoffen (651).
- Kap. 52. Koksofengas (654). Unterschiede in der Erzeugung von Koksofengas und Steinkohlengas (654). Wechselnde Qualität des Koksofengases (654).

- Volkswirtschaftliche Vorteile der Koksofengasverwertung (656). Benzolgewinnung aus Koksöfen (659). Entwicklung der Koksöfen (660). Liegende Koksöfen (660). Absaugen der Gase beim Füllen der Koksöfen (663).
- Kap. 53. Ölgas (663). Entstehung und Verwendung des Ölgases (663). Mineralölzölle und Mineralölpreise (664). Rohstoffe zur Ölgaserzeugung (664). Untersuchung der Gasöle (666). Wertbestimmung der Gasöle (668). Aufspeicherung der Gasöle (670). Öfen zur Ölvergasung (670). Beurteilung der Temperatur in Ölgasretorten (673). Gasausbeute aus Gasölen (673). Ölvergasung in Generatoren (674). Kühlung und Reinigung des Ölgases (676). Betriebsrohre der Ölgaswerke (677). Betriebspausen und Behältergröße in Ölgaswerken (677). Zusammensetzung des Ölgases (677). Eigenschaften des Ölgases (679).
- Kap. 54. Blaugas (680). Komprimiertes Leuchtgas (transportables Gas) (680). Erzeugung und Eigenschaften des flüssigen Blaugases (681). Eigenschaften und Bestandteile des Blaugases (682). Blaugaseinrichtung für stabile Flammen (683).
- Kap. 55. Luftgas (684). Wesen der Luftgaserzeugung (684). Geschichte des Luftgases (685). Bedingungen zur Erzielung eines gleichmäßigen Luftgases (686). Zusammensetzung und Eigenschaften des Luftgases (687). Lagerung des Benzins (687). Vorrichtung zur Luftförderung (688). Trocknung der Gebläseluft (688). Gebläse für Luftgasanlagen (689). Typen der Luftgasapparate (689). Beispiel eines Luftgasapparates (690). Beispiel einer vollständigen Luftgasanlage (692).
- Kap. 56. Acetylen (693). Geschichte des Acetylens und Calciumcarbids (693). Gefahren des Acetylens (694). Erzeugung des Calciumcarbids (695). Öfen zur Carbiderzeugung (696). Eigenschaften des Calciumcarbids (698). Zersetzung des Carbids mit Wasser (700). Bedingungen für gute Acetylenapparate (701). Einteilung der Acetylenentwickler (702). Beispiele von Acetylenapparaten (705). Verunreinigung und Zusammensetzung des Acetylens (709). Reinigung des Acetylens (710). Gasbehälter für Acetylen (710). Eigenschaften des Acetylens (711). Verbrennung des Acetylens (714). Anwendung und Verkaufspreise des Acetylgases (715). Acetylen dissous (716).
- Kap. 57. Naturgas (717). Ansichten über die Entstehung des Naturgases (717). Naturgasfelder (718). Zusammensetzung des Naturgases (720).
- Kap. 58. Generatorgas, Halbwassergas, Mondgas (720). Entstehung des Generatorgases (721). Abhängigkeit der CO-Bildung von der Temperatur des Generators (722). Zusammensetzung des Generatorgases (725). Nutzeffekt der Generatorgaserzeugung (726). Theorie des Halbwassergasprozesses (726). Wärmeverlust beim praktischen Halbwassergasprozeß (729). Halbwassergas aus bituminösem Brennmaterial (734). Generatorgas und Halbwassergas aus verschiedenen Brennmaterialien (736). Gewinnung des Ammoniaks beim Halbwassergasverfahren (742). Teergewinnung beim Halbwassergasprozeß (743). Gasgeneratoren (745). Druck- und Sauggasgeneratoren (747). Halbwassergasgeneratoren (749). Beispiele von Druckgasanlagen (753). Sauggasgeneratoren (755). Generatoren mit Teerzersetzung (759). Mondgas (763).
- Kap. 59. Hochofengas und regenerierte Verbrennungsgase (767). Gasbildung im Hochofen (Gichtgas) (767). Regeneration der Verbrennungsgase (771).
- Kap. 60. Wassergas (772). Geschichte des Wassergases (772). Theorie des Wassergasprozesses (730). Theorie der Regeneratoren (790). Das „Gasen“ im Wassergasgenerator (794). Totalnutzeffekt des Wassergasprozesses (805). Unterscheidung der neueren Wassergasverfahren nach der Generator-temperatur (809). Verunreinigung des Wassergases und deren Entfernung (813). Zusammensetzung des Wassergases (822). Giftigkeit des Wassergases (822). Apparate zur Darstellung von uncarburiertem Wassergas (824). Unterteile der Wassergasgeneratoren (825). Füllöffnungen und Fülltrichter an Wassergasgeneratoren (828). Abgasventile der Wassergasgeneratoren (830). Umschaltung von Wind und Gas bei Wassergasgeneratoren (833).

- Dampfzufuhr zum Wassergasgenerator (836). Besondere Konstruktionen von Wassergasgeneratoren (837). Gebläse für Wassergasanlagen (857). Apparate zur Parfümierung des Wassergases (865). Anordnung des Schwefelsäureapparates in Wassergasanlagen (866). Größe des Behälters für Wassergasanlagen (866). Betriebskosten für uncarburiertes Wassergas (867). Verwendung des uncarburierten Wassergases (872). Die Carburatation des Wassergases (881). Wassergasgeneratoren für Ölcarburatation (Heißcarburatation) (891). Waschung und Teerscheidung beim carburierten Wassergas (896). Koks- und Ölverbrauch für ölcarburiertes Wassergas (897). Kosten des ölcarburierten Wassergases (898). Andere Carburationsverfahren (899). Verwendung des ölcarburierten Wassergases (901). Die Regelung der Wassergaserzeugung (902).
- Kap. 61. Mischgas (911). Die Bezeichnung Mischgas (911). Die ersten Anwendungen des Mischgasbetriebes (911). Mischgasbetrieb mit uncarburiertem Wassergas (912). Mischgasbetrieb mit ölcarburiertem Wassergas (913). Vergleich der Mischgasbetriebe mit uncarburiertem und carburiertem Wassergas (913). Einregulierung der Glühlichtbrenner für Mischgas (914). Einfluß der Koks- und Ölpreise auf die Wahl des Mischgassystems (915). Einfluß des Wassergaszusatzes auf die Leuchtkraft des Gasglühlichtes (916). Lewes' Autocarburatation (919). Mischgaserzeugung durch nasse Entgasung in den Vertikalretorten (920). Das Doppelgasverfahren (Mischgasgenerator) (924).
- Kap. 62. Methan (Sumpfgas) (927). Eigenschaften und Entstehung des Methans (927). Synthesen des Methans (927). Methanbildung aus Wasserstoff und Kohlenoxyd (Wassergas) (929). Synthese von Äthylen (930). Technische Aussichten der Methansynthese (930).
- Kap. 63. Wasserstoff, Ballongase (931). Allgemeines und Geschichtliches über Ballongase (931). Erzeugung des Wasserstoffs (932). Wasserstofferzeugung aus Metallen und Säuren (936). Zersetzung von Wasserdampf durch Eisen (937). Umsetzung von Kohlenoxyd in Wasserstoff (940). Franks Verfahren der Absorption von CO durch Calciumcarbid (942). Wasserstoff aus Kalk und Kohle (942). Abscheidung des Wasserstoffs aus Wassergas nach Frank (944). Herstellung flüssigen Wasserstoffs nach Kamerlingh-Onnes (944). Ballonfüllungsstationen (944). Gasverluste der Ballons (945).

#### XIV. Gasglühlicht.

- Kap. 64. Geschichte und Theorie des Gasglühlichtes (946). Vorläufer des Gasglühlichtes (946). Theorie des Gasglühlichtes (948). Einfluß der Flammentemperatur auf das Gasglühlicht (951). Verhältnis zwischen Heizwert des Gases und Leuchtkraft des Glühlichtes (953).
- Kap. 65. Brenner für Gasglühlicht (954). Das Wesen der Gasglühlichtbrenner (954). Einfluß der Gasqualität auf den Glühlichtbrenner (954). Die erste Ausbildung des Gasglühlichtbrenners (955). Bestandteile des stehenden Gasglühlichtbrenners (956). Der Zugzylinder bei den stehenden Gasglühlichtbrennern (958). Brennerkonstruktionen für stehendes Gasglühlicht (959). Zündflammen für Gasglühlichtbrenner (962). Hängendes Gasglühlicht (Invertlicht) (962). Die Entwicklung des Hängelichtes (965). Druckverhältnisse im Hängelichtbrenner (966). Hängelichtbrenner (967). Hängelicht für Außenbeleuchtung (971). Glühlichtbrenner für uncarburiertes Wassergas (972).
- Kap. 66. Preßgas- und andere Starklichtlampen (974). Ursachen des verstärkten Lichteffektes der Preßgasbeleuchtung (974). Die ersten Anwendungen des Preßgases durch Rothgießer und Salzenberg (975). Andere Methoden der Starklichtbeleuchtung (976). Vorteile der Verteilung ärmerer Gase unter höherem Druck (976). Motoren und Kraftbedarf zur Preßgaserzeugung (976). Preßgasbrenner (978). Hängende Preßgasbrenner (980). Problem der Ausnutzung der Abhitze zur Preßgaserzeugung oder Luftansaugung (980). Preßluftbeleuchtung (983). Abbrennen der Glühkörper

in den Preßgaslampen (984). Zündung der Preßgaslampen (984). Leitungen für Preßgas und Preßluft (984). Vergleich zwischen Preßgas- und Preßluftbeleuchtung (985). Niederdruckstarklichtlampen (985). Gasglühlicht unter Verwendung von Sauerstoff (986).

- Kap. 67. Glühkörper (987). Rohmaterial für die Glühkörperfabrikation (987). Das Garn der Glühkörper (988). Herstellung des Glühkörpergewebes, Trikotgewebe, gewebte Glühkörper (990). Imprägnierung des Rohstrumpfes, das Fluid (991). Gewebe für autoforme Glühkörper (991). Das Nähen des Glühkörperkopfes (992). Aufhängung der Hängelichtglühkörper (992). Stempelung der Glühkörper (993). Abbrennen der Glühkörper (993). Das Kollodinjieren der Glühkörper (994). Verpackung, Aufbewahrung und Prüfung der Glühkörper (995). Härtemittel für Glühkörper (997).

### XV. Anwendung der Gasbeleuchtung.

- Kap. 68. Laternen und Kandelaber, Brenner (997). Zweck und Formen der Laternen (997). Laternenhähne und Laternenzündung (999). Wandarme und Kandelaber (1000). Aufhängehöhe der Laternen (1001). Brenner für selbstleuchtende Flammen (1002).
- Kap. 69. Waggonbeleuchtung und Seebeleuchtung (1003). Die erste Waggonbeleuchtung (1003). Einführung des Ölgases zur Waggonbeleuchtung (1003). Waggonbeleuchtung mit Acetylenölgasgemisch (1005). Anwendung des Gasglühlichtes zur Waggonbeleuchtung (1005). Elektrische Waggonbeleuchtung und deren Vergleich mit Ölgasbeleuchtung (1006). Waggonbeleuchtung mit Blaugas und Acetylen (1007). Seebeleuchtung mit Ölgas oder Blaugas (1008).
- Kap. 70. Lichtverteilung (1010). Wichtigkeit der Messung von Beleuchtung und Lichtverteilung (1010). Berechnung der Beleuchtungsstärke (1012). Günstigste Aufhängehöhe der Lichtquellen (1014). Kurven gleicher Horizontalbeleuchtung (Isoluxkurven) (1014). Gleichmäßigkeitsgrad der Beleuchtung (1015). Lichtverteilungskurven (Polarkurven) des hängenden und stehenden Gasglühlichtes (1016). Anordnung der Straßenlaternen (1017). Lichtverteilung bei Innenbeleuchtung (1018). Anwendung von Reflektoren bei Innenbeleuchtung (1022). Vermeidung der Blendung bei Innenbeleuchtung (1023). Kontrollmessung der Lichtverteilung bei Innenbeleuchtung (1025). Unruhe des Lichtes (1026). Wärmewirkung der Lichtquellen bei Innenbeleuchtung (1027). Wirkung der ultravioletten Strahlen bei Innenbeleuchtung (1027).
- Kap. 71. Zündvorrichtungen (1028). Wichtigkeit der Schaffung geeigneter Zündvorrichtungen für die Gasbeleuchtung (1028). Einteilung der Zündvorrichtungen (1028). Zünduhren (1028). Pneumatische und Gasdruckzünder (1029). Gasdruckwellenfernzünder (1031). Andere Druckwellenzünder (1033). Anforderungen an gute Laternenfernzünder (1035). Vorteile der Druckwellenfernzünder (1035). Pintschs Druckwellenzünder für Innenbeleuchtung (1036). Betätigung der Ventile durch elektrischen Strom (1036). Zündung des Gases (1036). Katalytische Zündung (Pillenzündung), Gasselbstzünder (1036). Die Reibzünder (pyrophore Zündung) (1038). Elektrische Induktionszünder (1040). Glühdrahtzündung (1042).
- Kap. 72. Vergleich der Beleuchtungsmittel. Hygiene der Gasbeleuchtung (1042). Vergleich der Beleuchtungsmittel in technischer Beziehung (1043). Hygienischer Vergleich der Beleuchtungsmittel (1047). Wirtschaftlicher Vergleich der Beleuchtungsmittel (1052).

### XVI. Heizgasverteilung.

- Bedeutung der Heizgasverteilung (1055).
- Kap. 73. Verwendung des Gases zu technischen Zwecken (1057). Vorzüge der Gasfeuerung für technische Zwecke (1057). Anwendung der Gasfeuerung in der Industrie (1058). Gebläseflamme und Wassergasflamme für technische Zwecke (1060).

- Kap. 74. Gasheizung (1060). Vorzüge und Nachteile der Gasheizung (1060). Bedingungen einer guten Gasheizung (1061). Aufstellung der Gasheizöfen (1067). Konstruktion der Gasheizöfen (1068). Typen der Gasheizöfen (1069). Gasheizöfen mit Wärmestrahlung (1069). Gasöfen mit Luftheizung (Zirkulationsheizung) (1073). Vorteilhafte Anwendung der Gasheizung (1074). Bestimmung des Nutzeffektes von Gasheizöfen (1075). Automatische Wärmeregler bei Gasheizöfen (1077). Gaswarmwasserheizung (1078).
- Kap. 75. Das Gas in der Küche und im Haushalte (1078). Vorteile des Kochens mit Gas (1078). Bedingungen für gute Gaskochapparate (1079). Prüfung der Gaskocher (1080). Konstruktion der Gaskocher (1081). Wärmebilanz eines Gaskochers (1082). Zündflammen für Gaskocher (1083). Einrichtungen zum Braten und Backen mit Gas (1083). Warmwasserbereitung in der Küche (1083). Vergleich des Kochens mit Gas und elektrischem Strom (1084). Gasbadeöfen (1085). Heißwasserspender und Warmwasserversorgung mit Gasheizung (1086). Gasbügeleisenhitzer (1087). Verbrauch an Heizgas im Haushalte (1088).
- Kap. 76. Verwendung des Gases zu motorischen Zwecken (1088). Geschichtliches über Gasmotoren (1088). Die Zündung der Gasmotoren (1090). Gasverbrauch im Motor (1090). Anwendungsgebiet des Gasmotors und Kostenvergleich mit dem Elektromotor (1090). Humphreys Gaspumpe (1090)

**XVII. Mittel zur Hebung des Gasabsatzes.**

- Kap. 77. Mittel zur Hebung des Gasabsatzes (1092). Volkswirtschaftlicher Wert der Hebung des Gasabsatzes (1092). Erleichterungen des Gasbezuges (1092). Ratschlagerteilung für die Gasverwendung durch die Gaswerke (1093). Förderung der Einrichtung von Zündvorrichtungen durch die Gaswerke (1093). Fortlaufende Aufklärung des Publikums (1094). Propaganda für die Verwendung des Gases (1094).

**Anhang.**

	Seite
Tab. I. Umrechnung von Millimeter Wassersäule in Millimeter Quecksilbersäule . . . . .	1095
„ II. Spannung, Tension und Gewicht des Wasserdampfes . . . . .	1095
„ III. Umrechnungsfaktor zur Reduktion der Volumina . . . . .	1096
„ IV. Prozentueller Abzug zur Umrechnung der Volumina . . . . .	1097
„ V. Zusammensetzung, Dichte, Gewichte, Heizwert der Heizgase . . . . .	1099
„ VI. Korrektur des Barometerstandes auf 0°. . . . .	1099
„ VII. Mittlere spezifische Wärme der wichtigsten Gase zwischen 0 und 200°. . . . .	1099
„ VIII. Desgleichen bei höheren Temperaturen . . . . .	1099
„ IX. Stündliche Ausflußmenge aus Rohrleitungen . . . . .	1100
„ X. Tabelle der Rohrweiten für Hausinstallationen . . . . .	1101
„ XI. Normalien für gußeiserne Rohre und Formstücke . . . . .	1102
„ XII. Gewichte gußeiserner Formstücke . . . . .	1103
„ XIII. Normalien, Tabelle für gußeiserne Rohre . . . . .	1104
„ XIV. Gewichtstabelle für Wassertöpfe . . . . .	1106
„ XV. Gewichtstabelle für gußeiserne Flanschenformstücke . . . . .	1106
„ XVI. Muffenstahlrohre . . . . .	1106
„ XVII. Gewichtstabelle für Formstücke . . . . .	1107
„ XVIII. Dimensionen der Muffenstahlrohre . . . . .	1108
„ XIX. Atomgewichte . . . . .	1108
„ XX. Korrektur der Lichtstärke der Hefnerlampe . . . . .	1109
„ XXI. Korrektur der Lichtstärke der Hefnerlampe in Prozenten . . . . .	1110
„ XXII. Vergleich der Beleuchtungsmittel . . . . .	1110

**Unfallverhütungsvorschriften  
der Berufsgenossenschaft der Gas- und Wasserwerke.**

	Seite
I. Kohlengaswerke . . . . .	1111
A. Allgemeine Bestimmungen . . . . .	1111
B. Betriebsanlagen . . . . .	1112
C. Öffentliche Beleuchtung . . . . .	1113
D. Transportgeleise . . . . .	1114
E. Rohrlegungen . . . . .	1114
II. Luftgasfabriken . . . . .	1115
III. Acetylgasfabriken . . . . .	1117
IV. Wassergasfabriken . . . . .	1119
Vorschriften über die Einrichtung von Sauggasanlagen . . . . .	1122
Namen- und Ortsregister . . . . .	1124
Sachregister . . . . .	1133

---

# I. Ziele der Beleuchtungstechnik.

## 1. Geschichtliches.

Die Quelle aller Bemühungen der Beleuchtungstechnik liegt darin, die Nachtstunden der menschlichen Tätigkeit nutzbar zu machen; ein künstliches Licht erfüllt also seinen Zweck um so besser, je vollkommener es das Tageslicht ersetzt, d. h. je mehr es dem Tageslicht gleicht. Allerdings dürfen wir hier nicht das direkte Sonnenlicht zum Vergleiche heranziehen, da dies zufolge seiner zu großen Intensität für feinere Arbeiten ungeeignet ist, sondern wir müssen das zerstreute Tageslicht ersetzen und dies nicht nur in bezug auf Intensität, sondern auch in bezug auf die Farbe und auf die Verteilung des Lichtes. Ferner müssen wir dafür sorgen, daß nicht durch übermäßige Erwärmung oder Verunreinigung irgend welcher Art die Luft verschlechtert wird; und schließlich ist ein wichtiger Faktor für die Güte des Lichtes auch die Ruhe desselben.

Der volkswirtschaftliche Wert der Beleuchtung liegt in der Verlängerung der Arbeitszeit. Wir können nur dann die Arbeit in gleicher Weise wie bei Tage ausführen, wenn wir die gleiche Beleuchtung haben. Besonders deutlich tritt dies beim Lesen, Schreiben und bei feineren Handarbeiten hervor; bei zu geringer Beleuchtung wird das Auge gezwungen, nahe zur Arbeit zu rücken, und die dauernde genaue Betrachtung von Gegenständen, die sich in geringerer Entfernung befinden als die deutliche Sehweite (25 cm), nötigt zu einer Veränderung der Linse des Auges, die zur Kurzsichtigkeit führt. Außerdem führt die geringe Beleuchtung auch zu gebückter Haltung und zur Ermüdung des Auges.

Durch Jahrtausende war man betreffs der künstlichen Beleuchtung auf die primitivsten Hilfsmittel angewiesen und erst das abgelaufene Jahrhundert brachte namhafte Fortschritte. Die erste Beleuchtung der Straßen überhaupt fand in Paris im Jahre 1407 statt. Jedoch wurde damals nur bei bestimmten Anlässen eine Verordnung an die Bewohner erlassen, wonach diese für eine Beleuchtung der Straße zu sorgen hatten. Erst im Jahre 1697 richtete man in Paris die regelmäßige Straßenbeleuchtung ein. Wie unvollkommen aber noch im Beginn des 19. Jahrhunderts die Beleuchtungsmittel waren, geht aus dem Ausspruch Goethes im Jahre 1814 hervor: „Wüßte nicht, was sie Besseres erfinden könnten, als wenn die Lichter ohne Putzen brennten!“ Vor nicht langer Zeit hat Lummer ausgerufen: „Wie herrlich es uns gelungen ist, den Tag zu verlängern, davon können wir uns allabendlich überzeugen.“ Wir können uns diesem letzteren Ausspruche nicht anschließen;

es besteht noch eine sehr große Kluft zwischen unserer heutigen künstlichen Beleuchtung und dem Tageslicht; von einer Verlängerung des Tages kann in diesem Sinne überhaupt vorläufig nicht recht gesprochen werden. Und die Unterschiede beziehen sich nicht nur auf die Intensität, sondern auch auf die Farbe und besonders auf die Gleichmäßigkeit der Verteilung der Beleuchtung.

Die Entwicklung der Beleuchtungsarten ist in der nebenstehenden Tabelle zusammengestellt. Das ursprünglichste Beleuchtungsmittel war das Herdfeuer und bei den Eskimos finden wir es noch heute angewendet. Man benutzte eben den Zufall, daß bei der Beheizung durch brennende Stoffe auch Licht erzeugt wurde zur Befriedigung des dringendsten Lichtbedürfnisses. War hier das Licht also gewissermaßen ein Nebenprodukt, so ging man mit der Anwendung des Kienspans daran, es zum Hauptprodukt zu machen, und die gleichzeitig erzeugte Wärme mußte man ebenso wie bei den heutigen Beleuchtungsmitteln mit in Kauf nehmen. Dort, wo der kleine Kienspan das Lichtbedürfnis nicht genügend befriedigte, ersetzte man ihn durch Harz- oder Pechfackeln. Erst im Mittelalter vervollkommnete man diese einfachen Beleuchtungsmittel, indem man mit Wachs überzogene Binsen verwendete und damit der Kerze schon näher trat.

Doch auch bereits im Altertum hatte man eine Beleuchtungseinrichtung erfunden, die noch bis heute in kaum veränderter Form verwendet wird. Es ist dies die Antiklampe der Alten; schon damals wurde Öl, und zwar Rüb- und Baumöl gewonnen und durch dochtähnliche, faserige Stoffe aus einem Gefäß in die Höhe gesogen, um am Ende mit mehr oder weniger Rußentwicklung verbrannt zu werden. Im Mittelalter finden wir bereits die Wachskerze, die eine Vervollkommnung der mit Wachs überzogenen Binsen darstellt.

Eine wesentliche Verbesserung der Lampe für flüssige Brennstoffe wurde durch Argand im Jahre 1786 erzielt, welcher den Hohldocht erfand und dadurch der Flamme eine größere Oberfläche, also eine erhebliche Luftzufuhr sicherte. Ferner hatte schon 1765 Quinquet den Lampenzylinder erfunden, und damit war abermals eine derartige Steigerung der Luftzufuhr zur Flamme geschaffen, daß eine rußfreie Verbrennung möglich war.

Vom Rüböl und Baumöl ging man dann in der Mitte des 19. Jahrhunderts auf Petroleum über, das nicht mehr durch maschinelle Hilfsmittel wie das Öl in die Höhe gepumpt werden mußte (Moderateurlampe) und daher eine wesentliche Vereinfachung der Lampenkonstruktion ergab. Den Lampen für flüssige Brennstoffe schlossen sich dann die Lampen für verdampfende Brennstoffe, wie Benzol, Ligroin und Petroleumäther an.

Das Steinkohlengas, nach einem Wort des großen Werner von Siemens berufen, in absehbarer Zeit alle festen Brennstoffe zu ersetzen, hat in seinem ersten Jahrhundert licht- und wärmespendender Tätigkeit durch einen fast beispiellosen Siegeszug den Beweis seiner urwüchsigen Lebenskraft erbracht<sup>1)</sup>.

Schon der deutsche Chemiker Dr. Johann Joachim Becher, der im Jahre 1685 zu London starb, hat „aus Steinkohlen den Teer und das brennbare Gas gezogen“. Stephen Hales erwähnte Anfang des 18. Jahrhunderts

<sup>1)</sup> Weyrich, „Geschichtliche Entwicklung der Gasbeleuchtung“, Zeitschr. d. österr. Gasvereins 1912, S. 140.

Die Entwicklung der Beleuchtungsarten.

Zeitalter	Feuer	Fackeln	Kerzen	Lampen	Dampf	Gas	Gas-inkandeszenz-beleuchtung	Elektrizität	
								Bogenlampen	Glühlampen
Altertum . . . . .	Herdfeuer	Kienspan, Harz- und Pechfackel	—	Rüböl und Baumöl, Antiklampe der Alten	—	—	—	—	—
Mittelalter . . . . .	—	Wachstüberzogene Binsen	Wachskerze	—	—	—	—	—	—
18. Jahrhundert . . . . .	—	—	—	Zylinder (Quinquet 1765), Hohl-docht (Ar-gand 1786)	—	Murdoch 1792, Lebon 1799	—	—	—
19. Jahrh., erste Hälfte . . . . .	—	—	Wahrat, Stearin, Paraffin	Petroleum	—	Deutschland 1826, Becher: Philosophisches Licht	Drumonds Kalklicht, Plattingas (Narbonne)	Bogenlampe	—
19. Jahrh., zweite Hälfte . . . . .	—	—	—	Benzinglühlicht, Spiritusglühlicht, Petroleumglühlicht	Ligroin, Benzol, Petroläther	Ölgas, Carbur. Wassergas, Acetylen	Gasglühlicht (Auer 1854), Luftgas (Markus), Wassergasglühlicht	—	Kohlenfaden-glühlampe
* 20. Jahrh., erste Hälfte . . . . .	—	—	—	—	—	—	Preßgas, Selsalicht, Invertlicht, Preßluft-Invertlicht	Flammen-bogenlampe, Quecksilber-dampflampe, Alkoholen-bogenlampe	Nernstlampe, Osmium, Tantal, Wolfram (1906)

\* 20. Jahrh., erste Hälfte . . . . .

die aus Steinkohlen erhaltene „elastische, brennbare Luft“. Nachher gewann Clayton Gas durch Destillation von Steinkohlen und später beschrieb Watson eingehender derartige Versuche. Eine praktische Nutzenanwendung finden wir jedoch erst im Jahre 1786, als der Apotheker Pickel in Würzburg bei der Darstellung von Salmiak durch trockene Destillation von Knochen das entstehende Gas zur Beleuchtung seines Laboratoriums benutzte.

In England war William Murdoch der erste, welcher 1792 in Redruth (Cornwall) sein Haus in regelmäßigem Betriebe mit Gas beleuchtete<sup>1)</sup>. Später verbesserte sein Schüler Clegg<sup>2)</sup> das Verfahren wesentlich<sup>3)</sup>.

1803 trat Friedrich Albert Winsor, ein deutscher Kaufmann, in London auf, nachdem es ihm nicht gelungen war, Lebon in Paris zur Überlassung seiner „Thermolampe“ zu bewegen. In London wurde Winsor mit Clegg bekannt, interessierte sich für dessen Arbeiten und empfing unterm 17. Mai 1804<sup>4)</sup> ein Patent. Die Gelehrten<sup>5)</sup> und bedeutende Geschäftsleute hielten die Ausführung seiner Idee, ganze Städte mittels Rohrleitungen mit Gaslicht zu versorgen, für ein Hirngespinnst und verweigerten ihm die Unterstützung. Er sah sich veranlaßt, öffentliche Vorstellungen zu geben, und es gelang ihm schließlich 1812, eine Gesellschaft mit 200 000 £ Kapital zu gründen, welche den Namen „Chartered Gaslight and Coke Company“ erhielt. 1813 trat dann Clegg in diese Gesellschaft ein und baute das Gaswerk Peterstreet, Westminster.

Am 31. Dezember 1813 wurde die Westminsterbrücke und 1814 der erste Stadtteil Londons, das Kirchspiel St. Margareten, vollständig mit Gas beleuchtet.

1817 hatte die Stadt Glasgow ein Gaswerk<sup>6)</sup> und 1823 finden wir die Gasbeleuchtung schon in 52 Städten eingeführt und 62 vom Parlament genehmigte Gasgesellschaften. Im Jahre 1868 bestanden in Großbritannien schon 1134 Gasgesellschaften.

In Frankreich trat Lebon 1798 mit der von ihm erfundenen Thermolampe<sup>7)</sup> auf, er konnte jedoch seine Erfindung nicht weiter ausgestalten, da er bereits im Jahre 1804 meuchlings ermordet wurde. Winsor kam dann auch nach Paris, um dort eine Gesellschaft zu gründen, diese mußte jedoch im Jahre 1820 liquidieren. So endete Winsor, vergessen und mit Undank belohnt, im 68. Lebensjahre in Paris.

In den Vereinigten Staaten entdeckte Henfrey 1801, ohne von Murdachs Versuchen Kenntnis erhalten zu haben, das aus Steinkohlen gewonnene Gas. 1806 war bereits die Stadt Baltimore mit Gasbeleuchtung versehen.

In Österreich zeigte 1802 Winzler aus Znaim die Beleuchtung mit dem brennbaren Gase aus Holz und gab eine Schrift „Die Thermolampe in Deutschland“<sup>8)</sup> heraus. 1803 führte er die Beleuchtung der Kunstgalerie des Grafen von Deym in Wien mittels 34 Argandbrennern aus. Hätte Winzler Unterstützung gehabt, so wäre zweifellos Wien der Ausgangspunkt des Gasbeleuchtungswesens geworden.

---

<sup>1)</sup> Historical Sketch of the origin and progress of Gaslighting by William Mathews, 2. Aufl., S. 22. — <sup>2)</sup> Journ. of Gaslighting 1861. — <sup>3)</sup> Clegg, Practical Treatise on the manufacture of Coalgas, S. 13. — <sup>4)</sup> Repertory of Arts 5, 162; 43, 6. — <sup>5)</sup> Clegg, Practical Treatise, S. 17 und Elements of Chemistry by John Webster. — <sup>6)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 122. — <sup>7)</sup> Traité de l'éclairage au Gaz par Pelouze 1839, S. 413. — <sup>8)</sup> Brünn 1803, bei Franz Karl Siedler, Buch- und Kunsthändler.

In Deutschland beleuchtete Lampadius 1811 eine Straße in Freiberg mit Steinkohlengas. 1817 erschien in Wien ein Werk über Steinkohlengasbereitung von Prechtl<sup>1)</sup>. Im gleichen Jahre führte derselbe auch die Gasbeleuchtung im k. k. polytechnischen Institut in Wien ein. Mit diesem Apparate wurde eine Dampfheizung verbunden, so daß dasselbe Feuer sowohl die Gasretorten, als auch die Dampferzeugungsrohre heizte. Zur Straßenbeleuchtung wurde das Gas in Wien 1818 in der Kruger- und Wallfischgasse verwendet<sup>2)</sup>.

1824 bereiste Congréve im Interesse der Imperial Continental Gas-Association Deutschland und es gelang ihm, in Hannover und Berlin Kontrakte abzuschließen. In Dresden wurden von Blochmann Versuche angestellt, die dazu führten, daß vom König ein Werk errichtet wurde, welches in den Besitz der Stadt überging. Unabhängig von Blochmann richteten Schiele in Frankfurt a. M. und Knoblauch Gasanstalten ein, welche das Gas durch Destillation von Öl gewannen.

Die erste österreichische Gasbeleuchtungsgesellschaft wurde von v. Tschoffen im Jahre 1833 begründet und begann dieselbe ihre Wirksamkeit mit der Einführung der Gasbeleuchtung in Wien. 1865 bildete sich die Deutsche Kontinental-Gasgesellschaft zu Dessau, der dann die Bildung einer Reihe weiterer Gasgesellschaften in Deutschland und Österreich folgten.

Anfangs ließ man das Gas aus den Enden dünner Leitungen frei herausbrennen. Dann verwendete man Brennerköpfe mit mehreren Öffnungen, welche die Namen Pilz-, Hahnensporn-, Fächer- oder Sternbrenner trugen. 1805 erfand Stone, ein Arbeiter Winsors, den Schnitt- oder Fledermausbrenner. In den dreißiger Jahren trat zu diesen noch der Fischschwanzbrenner, welcher zwei aufeinander prallende Gasstrahlen hervorrief, hinzu. Das Material dieser Brenner war Metall, meistens Eisen. Von 1852 ab verwendete man Speckstein oder Porzellan.

Lange Zeit beherrschte das Steinkohlengas, in dessen Geschichte noch die Namen Drory, v. Öchelhäuser, Fähndrich, Bunte hervorgehoben zu werden verdienen, ausschließlich das Gebiet der Beleuchtung größerer Städte, bis im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts der Siegeszug des elektrischen Lichtes begann, nachdem dasselbe vorher als elektrisches Bogenlicht nur vereinzelt zu wissenschaftlichen oder ähnlichen Zwecken als damals stärkste Lichtquelle angewendet worden war. Allerdings war es nicht die Bogenlampe, sondern die Glühlampe, welche der Elektrizität zur Einführung verhalf. Damals dachte man, die Gasbeleuchtung sei dem Untergange gewidmet und die Gasindustrie müsse sich auf das Gebiet des Heizens allein werfen. In der Tat wurde der Strom für die damals normale 16kerzige elektrische Glühlampe zu einem Preise geliefert, der nur wenig höher war als jener der 16kerzigen offenen Gasflamme.

Da kam jedoch die Erfindung Dr. Karl Freiherr Auer von Welsbachs, welche der Gasbeleuchtung einen großen und noch heute bestehenden wirtschaftlichen Vorsprung vor dem elektrischen Licht verschaffte. Die Inkandeszenzbeleuchtung, d. h. die Beleuchtung mittels glühender fester

---

<sup>1)</sup> Anleitung zur zweckmäßigsten Einrichtung der Apparate zur Beleuchtung mit Steinkohlengas von Johann Josef Prechtl, Direktor des k. k. polytechnischen Instituts zu Wien 1817, Verlag von Karl Gerold. — <sup>2)</sup> Leuchs Allgemeine Handelszeitung 1818.

Körper war allerdings schon zu Anfang des vorigen Jahrhunderts in Form des Drumondschen Kalklichtes bekannt, bei welchem ein Zylinder aus gebranntem Kalk mittels des Knallgasgebläses zur hellsten Weißglut gebracht wurde. In der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurden auch bereits Versuche gemacht, die beim Verbrennen eines imprägnierten Gewebes hinterbleibende Asche durch eine Flamme zum Glühen zu erhitzen und dadurch Licht zu erzeugen. Frankenthal, der dieses mit Spiritus betriebene Licht wegen seiner Ähnlichkeit mit dem Mondlicht „Lunarlicht“ nannte, war somit der Vorgänger Auers, obwohl letzterer von der Frankenthalschen Erfindung keine Kenntnis hatte.

Auer, der sich mit der Erforschung der seltenen Erden befaßte, bemerkte bei seinen Arbeiten im ersten chemischen Universitätslaboratorium in Wien die hohe Leuchtkraft, welche bestimmte Erden beim Glühen gaben, und stellte im Jahre 1884 seinen ersten Gasglühlichtstrumpf her, welcher damals sein grünes Licht aus den Fenstern des ersten Stockwerkes des Laboratoriums in die Währingerstraße erstrahlen ließ und neugierige Passanten fesselte. Allerdings hatte das Aschenskelett eine so außerordentlich geringe Haltbarkeit, daß der geringste Luftzug oder die geringste Erschütterung genügte, es zu zerstören, und die Erhöhung der Leuchtkraft gegenüber der offenen Gasflamme war eine sehr bescheidene, denn mit einem Gaskonsum von 100 Litern stündlich wurden 20 Kerzen erzielt. Die Aufnahme, die das neue Licht bei den Fachleuten und auch beim Publikum erfuhr, war daher keine aussichtsreiche. Allerdings, wer hätte damals gedacht, daß das zarte Aschengewebe fähig sei, zur glänzenden Beleuchtung unserer schüttelnden Eisenbahnwaggons zu dienen! Ein hervorragender Gasfachmann, dem die Erfindung Auers zur Begutachtung vorgelegt wurde, soll damals geäußert haben, „daß er sich nur mit ernstesten Dingen befasse“. An den Orten, wo man das neue Licht eingerichtet hatte, ging man daher teilweise wieder zur offenen Gasflamme zurück. Auer wurde vielfach in langwierige Prozesse verwickelt. Sein Hinweis auf die Möglichkeit der Verbesserung seines Lichtes blieb unbeachtet. Die Energie aber, mit der er an seiner Erfindung festhielt, brachte ihm schließlich erheblichen Lohn. Er erkannte, daß nicht jene Mischung seltener Erden (Yttrium, Lanthan usw.), die er in seinen ersten Patenten angegeben hatte, die günstigste Leuchtkraft lieferte, sondern ein Glühkörper von Thoriumoxyd mit einer geringen Beimischung von Ceroyd. Damit (1892) begann der Aufschwung der Gasglühlichtbeleuchtung, welcher die gesamte Gasindustrie revolutionieren und auf eine nie geahnte Höhe bringen sollte.

Auch die Gaserzeugung wurde schon in den achtziger Jahren durch Bunte und Schilling, später durch Einführung der schräg liegenden Retorten durch Coze, durch die neuen Reinigungsverfahren und die Vertikalretorten von Bueb, dann durch den Übergang auf die Gaserzeugung in Kammeröfen, den wir der Initiative Ries' verdanken, wesentlich vervollkommenet.

In die Mitte der neunziger Jahre fällt auch die Erfindung der zweckmäßigen Darstellung von Calciumcarbid und Acetylen durch den Schüler Moissans, Bullier und die Einführung des Luftgases, d. h. der mit Benzindämpfen carburierten Luft durch Markus in Wien, des carburierten Wassergases durch Love und Granger in Amerika und dann durch Humphreys und Glasgow in Europa, die Einführung der Beleuchtung mit uncarburiertem Wassergas durch Strache, die Verbesserung der Wassergaserzeugung durch Dellwick

und Fleischer; schließlich finden wir zu Beginn des neuen Jahrhunderts die wesentliche Erhöhung des Effektes der Gasglühlichtbeleuchtung durch die Anwendung des Preßgases, der Preßluft und des Gemisches von Gas und Luft, wie wir es in der Selasbeleuchtung kennen gelernt haben, und das Invertgasglühlicht, welches schließlich in Form der Niederdruck-Starklichtlampen den relativen Verbrauch pro Hefnerkerze stündlich auf  $\frac{3}{4}$  Liter herabsetzte.

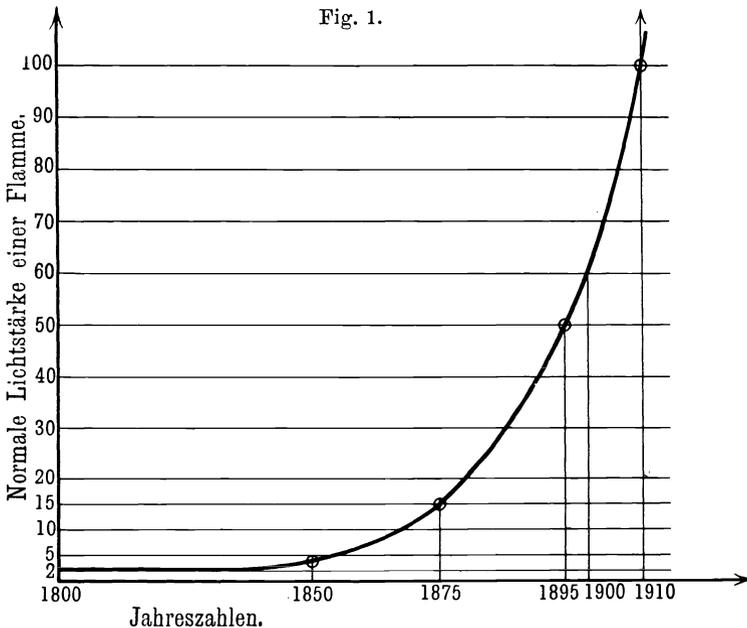
Die Erfolge der Gasglühlichtbeleuchtung haben die Elektrotechniker genötigt, nach Vervollkommnung der elektrischen Beleuchtung zu suchen, um dem elektrischen Licht die Konkurrenzfähigkeit zu sichern, und auch hier ist der Erfolg nicht ausgeblieben. Zuerst bemühte man sich, den Nutzeffekt der Kohlenfadenglühlampe durch größere Beanspruchung zu verbessern. Nernst erfand seine Lampe, welche einen Leiter II. Klasse als zum Glühen gelangenden Widerstand benutzte, und schließlich war in der Metallfadenglühlampe der größte Erfolg erreicht. Auch hier war es wieder Auer v. Welsbach, der bahnbrechend voranging. Er verwendete als erster das Metall Osmium an Stelle des Kohlenfadens und erkannte hier die große Überlegenheit des Metallfadens wegen der beträchtlich höheren Temperatur, die er verträgt.

War auch das Osmium zu teuer und die Herstellung der Osmiumlampe sehr kompliziert, so war doch der Anstoß gegeben, auf diesem Wege weiter zu suchen. So fanden dann nahezu gleichzeitig Kuzel, Justh u. a. die vorzügliche Eignung des Wolframs für die Glühlampe, und heute ist der Effekt des elektrischen Glühlichtes durch die Wolframlampe auf das Dreifache gesteigert. Ebenso ist die elektrische Bogenlampe zuerst durch Bremer in seiner Flammenbogenlampe zu wesentlich günstigeren Effekten gebracht worden, indem er die Kohlenstifte mit einem Docht von Fluorcalcium versah; auch hier sind andere auf gleichem Wege gefolgt und haben durch verschiedene Zusätze zu den Bogenlichtkohlen die erste Erfindung Bremers ausgebaut, und heute scheint in den „Albakohlen“ der beste Gesamteffekt erreicht zu sein. Schließlich ist die Elektrotechnik auch zur Ausnutzung des Lichteffektes, welchen Geißlersche Röhren liefern, geschritten, indem sie einesteils die für besondere Zwecke angewendete Quecksilberdampf- und anderenteils in der Moorschen Röhre das Tesla'sche Prinzip der Lichterzeugung durch hochgespannte, hochfrequente Wechselströme anwendete.

Als Beleuchtungsmittel verwendete man also erst feste Stoffe, dann Flüssigkeiten, dann Gas und schließlich die durch den elektrischen Strom erzeugte Wärme, und ging dann aber in der eben genannten Moorschen Röhre zu Schwingungen des Äthers über, welche durch elektrische Wechselströme angeregt werden. Da wir das Licht als eine Wellenbewegung des Äthers, sei dieselbe nun elastischer oder elektromagnetischer Art, betrachten, so scheint wohl diese letztere Methode die physikalisch unmittelbarste zu sein. Ob sie aber den Sieg über die neuen Methoden der Lichterzeugung davontragen wird, kann nicht vorausgesagt werden. Vielleicht lernen wir eine Form der Energie kennen, die uns noch günstigere Wege weisen wird. Vielleicht ist es die Strahlung des Radiums, die mit der Revolution der Anschauungen der Physik und Chemie auch eine Revolution im Beleuchtungswesen hervorrufen wird? Wir wissen es nicht. Heute brauchen wir uns mit derlei Ausblicken in die Zukunft nicht zu beunruhigen. Vorläufig werden

alle die genannten Beleuchtungsmittel nebeneinander verwendet und keines hat das andere vollkommen zu verdrängen vermocht. Wir müssen uns also mit dem Studium aller dieser Beleuchtungsarten befassen.

Hand in Hand mit der Entwicklung der Beleuchtungsarten geht die Entwicklung des Lichtbedürfnisses. Die Kurve Fig. 1 zeigt die zu den betreffenden Zeiten übliche Lichtstärke der gewöhnlich angewendeten Flammen. In der Mitte des vorigen Jahrhunderts war man mit fünf Kerzen Leuchtkraft zufrieden. Als das Leuchtgas kam, betrachtete man die 16kerzige Flamme für normal. Die Entwicklung des Gasglühlichtes in der Mitte der neunziger Jahre erhöhte die Lichtstärke einer normalen Flamme bis zu 50 HK, und heute können wir den 100 kerzigen Invertbrenner als Normaleinheit einer Beleuchtungsflamme betrachten. Wenn die Kurve in derselben



Weise weitergeht, so hätten wir in den nächsten Jahrzehnten noch eine Entwicklung des Lichtbedürfnisses vor uns, von der man sich heute noch gar keine Vorstellung machen kann. Wo soll aber das Ende dieser Entwicklung liegen? Offenbar nur an dem Punkte, wo wir das Ziel erreicht haben werden, das Sonnenlicht zu ersetzen. Wir wollen einmal untersuchen, was wir in dieser Beziehung erreicht haben.

Cohn in Breslau stellte in den achtziger Jahren als Minimalforderung für einen zum Arbeiten geeigneten Platz die Beleuchtungsstärke von 12 MK<sup>1)</sup> auf. Er betrachtete jedoch als anstrebenswertes Ziel die Platzhelligkeit von 60 MK. Bei der Innenbeleuchtung sind wir heute bereits so weit, daß wir dieses Ziel mit Hilfe des Gasglühlichtes leicht erreichen können. Wir brauchen doch nur einen Invertbrenner von 100 HK in 1,3 m Höhe über dem Arbeitsplatze

<sup>1)</sup> Wir geben hier sämtliche Zahlen auf die Hefnerkerze und das Meter umgerechnet an; Cohn gab seine Zahlen noch in deutschen Vereinskerzen an.

aufzuhängen, um diese Beleuchtungsstärke zu erzielen. Wollten wir hingegen z. B. mit der alten 16 kerzigen elektrischen Glühlampe ein gleiches Resultat erreichen, so müßten wir dieselbe in nur 0,5 m Höhe aufhängen, was praktisch kaum durchführbar wäre, da der Kopf und das Auge des Arbeitenden durch die Nähe der Lichtquelle zu sehr belästigt würden. Die Zahlen, die Cohn angab, erreichen jedoch noch nicht im entferntesten die Helligkeit eines gut beleuchteten Fensterplatzes bei Tage. Diese wurde bei bewölktem Himmel mit mehr als 2600 MK und auch bei starkem Regen mit mehr als 1000 MK gemessen. Daß diese Lichtmenge nicht nachteilig, sondern erwünscht ist, geht wohl daraus hervor, daß sich jeder Arbeitende auch bei hellem Himmel gern zum Fenster setzt. Cohn dürfte daher seine Wünsche nur mit Rücksicht auf das im letzten Viertel des vorigen Jahrhunderts nach seiner Meinung voraussichtlich Erreichbare gestellt haben, und er hätte seine Zahlen sicher weit höher gewählt, wenn er nur geahnt hätte, wie sich das Beleuchtungs-wesen in der kommenden Zeit entwickeln würde. Also für die Innenbeleuchtung brauchen wir nur eine 20mal so starke Beleuchtung, wie sie jetzt üblich ist, vorzusehen, um das Tageslicht zu erreichen.

Sehen wir uns nun aber die Verhältnisse auf der Straße an. Ein von der Sonne beleuchteter weißer Karton hat eine Helligkeit von etwa 100 000 MK; der blaue Himmel zeigt eine Helligkeit von 33 000 MK und wir bezeichnen eine künstliche Straßenbeleuchtung als „taghell“, wenn wir, gerade unter einer Straßenlampe stehend, eine Helligkeit von 10 MK erreichen, und sind vollständig zufrieden, wenn der dunkelste Punkt einer verkehrsreichen Straße noch 1 MK Helligkeit hat. Noch heute ist es in manchen kleinen Städten üblich, die Straßenbeleuchtung nicht in Funktion treten zu lassen, wenn Mondschein herrscht; denn der Mondschein liefert etwa 0,2 MK, und dies übersteigt noch die Helligkeit so mancher künstlicher Beleuchtung auf den Straßen in manchen kleineren Orten. Wollen wir also wirklich Tageshelle auf den Straßen schaffen, so bleibt dem Beleuchtungstechniker noch ein unabsehbar großes Feld seiner Betätigung.

Aber wir sollen ja das Tageslicht nicht nur seiner Intensität nach, sondern auch in der Farbe und in bezug auf die Lichtverteilung ersetzen. Die Entwicklung führt hier vom roten gegen das weiße Licht. Die orangefarbene Öllampe wurde durch die gelb leuchtende Petroleumlampe und durch das offene Steinkohlengaslicht ersetzt und auch das elektrische Kohlenfadenglühllicht gab noch ein deutlich rotgelbes Licht. Der ursprünglich grünlich leuchtende Auersehe Glühkörper wurde allmählich zu dem nahezu rein weiß leuchtenden Invertlicht vervollkommenet, und die deutlich violett leuchtende elektrische Bogenlampe fand nach dem Übergang über das orangefarbene Bremerlicht in den Bogenlampen mit Albakohlen die größte Ähnlichkeit mit dem weißen Sonnenlicht. Auch das Acetylen, die Nernstlampe und die elektrische Metallfadenglühlampe geben bedeutend weißeres Licht, als man mit der offenen Flamme und mit der Kohlenfadenlampe erzielen konnte.

Diese Verbesserungen konnten ausschließlich nur durch eine Steigerung der Temperatur hervorgerufen werden. Glühende Körper geben bekanntlich ein rotes Licht, wenn deren Temperatur nicht sehr hoch ist; die Farbe geht über Gelb nach Weiß, wenn man die Temperatur steigert. Es rührt dies daher, daß die Moleküle fester Körper um so rascher schwingen, je heißer sie werden und daß sie daher auch Lichtstrahlen von großer

Schwingungsfrequenz, also von kurzer Wellenlänge aussenden, wenn sie heißer werden. Die außerordentlich hohe Temperatur der Sonne liefert das Licht, welches wir als rein weiß bezeichnen, und somit geht auch die Entwicklung der Beleuchtungsmethoden dahin, immer höhere und höhere Temperaturen der Beleuchtung nutzbar zu machen. Dies ist um so mehr notwendig, als auch die Nutzeffekte, welche wir bei der Umsetzung von Wärme in Licht erreichen, um so günstiger sind, je weißer das Licht ist. Das menschliche Auge hat nämlich die Eigentümlichkeit, grünes Licht bedeutend stärker zu empfinden als rotes oder gelbes. Nun enthält aber ein weißes Licht gewöhnlich viel mehr grüne Strahlen als ein gelbes, daher können wir mit weißem Licht unser Auge viel leichter befriedigen als mit gelbem.

Wie sehr die Vorstellungen über das weiße Licht, wie wir es nennen, im vorigen Jahrhundert von der jetzigen Auffassung abweichen, geht daraus hervor, daß das offene Steinkohlengaslicht bei seiner Einführung auf großen Widerstand stieß, weil man es als so blendend weiß bezeichnete, daß es dem Auge schädlich sei. Wenn man heute eine offene Steinkohlengasflamme neben unseren jetzigen Beleuchtungsmitteln brennen sieht, so kann man diese Ansicht unserer unmittelbaren Vorfahren kaum verstehen. Vielleicht werden sich unsere Nachkommen darüber lustig machen, daß wir die so grell violett leuchtende Quecksilberdampf Lampe als für unser Auge schädlich empfinden.

Bezüglich der Gleichmäßigkeit der Lichtverteilung sind bisher überhaupt kaum merkliche Fortschritte zu verzeichnen; während wir im zerstreuten Tageslicht eine durchaus gleichmäßig verteilte Beleuchtung besitzen, können wir durch eine künstliche Beleuchtung nur Lichtpunkte schaffen, die das Auge blenden und den Ort der Arbeit beleuchten, ohne dessen Umgebung gleichmäßig zu erhellen. Bei dieser Art der Lichtverteilung ist es nicht zu verwundern, daß viele Leute eine zu starke Beleuchtung des Arbeitsplatzes durch künstliches Licht als dem Auge schädlich bezeichnen, während doch die Intensität des Tageslichtes noch lange nicht erreicht ist. Der Übelstand wird mit der zunehmenden Intensität unserer Lichtquellen größer, denn wir haben die heutigen starken Lichtquellen nicht durch eine Vergrößerung der Oberfläche, sondern, wie schon erwähnt, durch die Erhöhung der Temperatur erzielt und dadurch eine größere Helligkeit auf eine kleine Fläche konzentriert. Wie sehr die Lichtintensität pro Flächeneinheit, die als „Glanz“ bezeichnet wird, bei unseren heutigen Lichtquellen gestiegen ist, geht aus folgender Zusammenstellung hervor.

Lichtquellen	HK/cm <sup>2</sup>
Kerze . . . . .	0,6
Offene Acetylenflamme . . . . .	17
Elektrisches Kohlenfadenglühllicht . . . . .	47
„ Metallfadenglühllicht . . . . .	94
Nernstlampe . . . . .	150
Elektrischer Lichtbogen . . . . .	68—119
Gasglühllicht . . . . .	6,0

Es geht also daraus hervor, daß die neueren künstlichen Beleuchtungsarten das Auge stärker blenden als die älteren, und daß nur das Gasglühllicht eine rühmliche Ausnahme davon macht.

Dem Übelstand der ungleichmäßigen Beleuchtung im Inneren hat man in neuerer Zeit dadurch abzuhelpen gesucht, daß man bei der sogenannten indirekten Beleuchtung die Lichtquellen selbst gegen das Auge vollständig abblendet und das Licht gegen die weiße Zimmerdecke wirft, von der es diffus reflektiert wird. Aber die Lichtverluste dieser indirekten Beleuchtung sind groß und sie hat sich trotz ihrer großen Vorzüge nicht allgemein einzuführen vermocht. Für die Beleuchtung im Freien ist sie bisher überhaupt nicht verwendbar. Man beschränkt sich daher darauf, die Lichtquellen mit matten Gläsern oder dergleichen zu umgeben, um dem leuchtenden Objekt eine größere Ausdehnung, also eine kleinere Flächenhelligkeit zu geben. Dabei bleiben die einzelnen Lichtpunkte, die das Auge blenden, bestehen und es ist vorläufig nicht abzusehen, wo eine Verbesserung einsetzen soll.

Die unangenehme Nebenwirkung unserer Lichtquellen, die in der gleichzeitigen Wärmeentwicklung liegt, konnte durch die Verbesserung des Nutzeffektes im Laufe der Zeit wesentlich herabgesetzt werden. Die Stearinkerze entwickelt für je 1000 HK stündlich 89 400 Kal., das Invertgasglühlicht nur mehr 5000 Kal. und die elektrische Metallfadenglühlampe nur mehr 1000 Kal. pro 1000 HK und Stunde. Interessant ist der Umstand, daß die Herabsetzung der Wärmeentwicklung für die gleiche Lichtmenge durch die Erhöhung der Temperatur der Lichtquellen erzielt worden ist. Dies rührt daher, daß die Lichtstrahlung einer Lichtquelle in viel höherem Maße mit der Temperatur wächst, als die Wärmestrahlung, und hier sehen wir recht deutlich den Unterschied der Begriffe „Temperatur“ und „Wärmemenge“. Ein Körper von geringer Temperatur kann bei entsprechend großer Oberfläche eine sehr große Wärmemenge abgeben, während ein auf die höchsten Temperaturen erhitzter kleiner Körper nur wenige Wärme ausstrahlt; um ein deutliches Beispiel dieser oft zu Irrtümern führenden Verhältnisse zu geben, sei ein Kachelofen mit einem glühenden Draht verglichen. Ersterer, dessen Temperatur etwa 50° betragen möge, kann ein Zimmer heizen, während dies mit einem kleinen glühenden Draht, dessen Temperatur 1000° übersteigt, nicht möglich ist.

Ebenso wie die Wärmemenge ist auch die Kohlensäuremenge, welche unsere künstlichen Lichtquellen abgeben, mit der Vervollkommnung derselben wesentlich herabgesetzt worden. Stearinkerzen geben stündlich 13 cm<sup>3</sup> Kohlensäure pro 1000 HK Gesamtleuchtkraft, das Invertgasglühlicht hingegen nur 0,4 m<sup>3</sup> für die gleiche Lichtmenge. Die genauen Zahlen für alle Lichtquellen sind der vergleichenden Tabelle im Anhang zu entnehmen.

Ein wesentlicher Umstand, den wir bei unserem künstlichen Licht zu betrachten haben, ist auch die Bequemlichkeit der Handhabung, auf welche die Lichtkonsumenten oft einen größeren Wert legen als auf alle anderen Umstände. Die Bequemlichkeit hat der Gasbeleuchtung zur Einführung verholfen, denn der Konsument war dadurch der Mühe überhoben, seine Lampe in Ordnung zu halten und das Brennmaterial einzukaufen, und die Bequemlichkeit ist es auch, die dem elektrischen Licht in manchen Fällen den Vorzug vor dem Gaslicht verschafft, weil es die Entzündung der Lichtquelle erleichtert. Ist diese Erleichterung, die ja doch nur darin besteht, daß man das Handhaben eines Zündholzes erspart, auch noch so gering, so ist doch der Konsument bereit, dieses kleinen Vorteils halber wesentlich mehr Kosten zu tragen. Die Gasindustrie ist deshalb lebhaft bestrebt, auch in dieser Richtung Erleichterung zu schaffen, und es kann wohl kein Zweifel bestehen, daß

sie durch Schaffung geeigneter Zündvorrichtungen auch in dieser Richtung ihr Ziel erreichen wird.

Die Gasindustrie ist jedoch nicht auf das Beleuchtungswesen allein angewiesen. Die Vorzüge, welche die Ausnutzung der Heizkraft des Gases bietet, wurden zunächst nur bei den Arbeiten im chemischen Laboratorium erkannt, und ein Laboratorium ohne Gasheizung war schon in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts kaum mehr denkbar. Bunsen war es, der durch seinen Brenner die vorzügliche Heizflamme schuf, die dann später in allen möglichen Industrien zu umfangreicher Verwertung gelangte. Auch das Auerlicht nutzt schließlich nur die Heizkraft des Gases im Bunsenbrenner aus. Die Beheizung der Wohnräume fand zu den Zeiten, da das Gas nur zu hohen Preisen abgegeben werden konnte, nur langsam Eingang, weil die Kosten derselben die der Kohlenheizung um vieles überstiegen. Jetzt, da die neueren Methoden der Gaserzeugung und die Anzahl der Konsumenten pro Kilometer Rohrnetz eine wesentlich billigere Gasabgabe gestatten, findet das Gas auch für die Beheizung von Wohnräumen ausgedehnte Verwendung, und es kann wohl die Zeit vorausgesehen werden, daß die Gasheizung zum Wohl der Bevölkerung großer Städte Allgemeingut geworden sein wird. Wird doch die Rauch- und Rußplage, welche die Bevölkerung der Industriestädte bis zur Unerträglichkeit belästigt, durch die Gasfeuerung mit einem Schlage beseitigt. Hervorragende Gastechner bezweifeln zwar heute noch die Möglichkeit der allgemeinen Gasheizung wegen des großen Maximalstundenkonsums, welcher durch dieselbe bedingt würde. Allerdings steigen die Anlagekosten der Gaswerke zufolge der Notwendigkeit, einen großen Konsum, wie er bei allgemeiner Gasheizung an kalten Wintertagen eintreten kann, bewältigen zu können, beträchtlich. Es ist jedoch begründete Hoffnung vorhanden, daß die Entwicklung der Gaserzeugungsmethoden auch nach dieser Richtung hin Fortschritte machen wird.

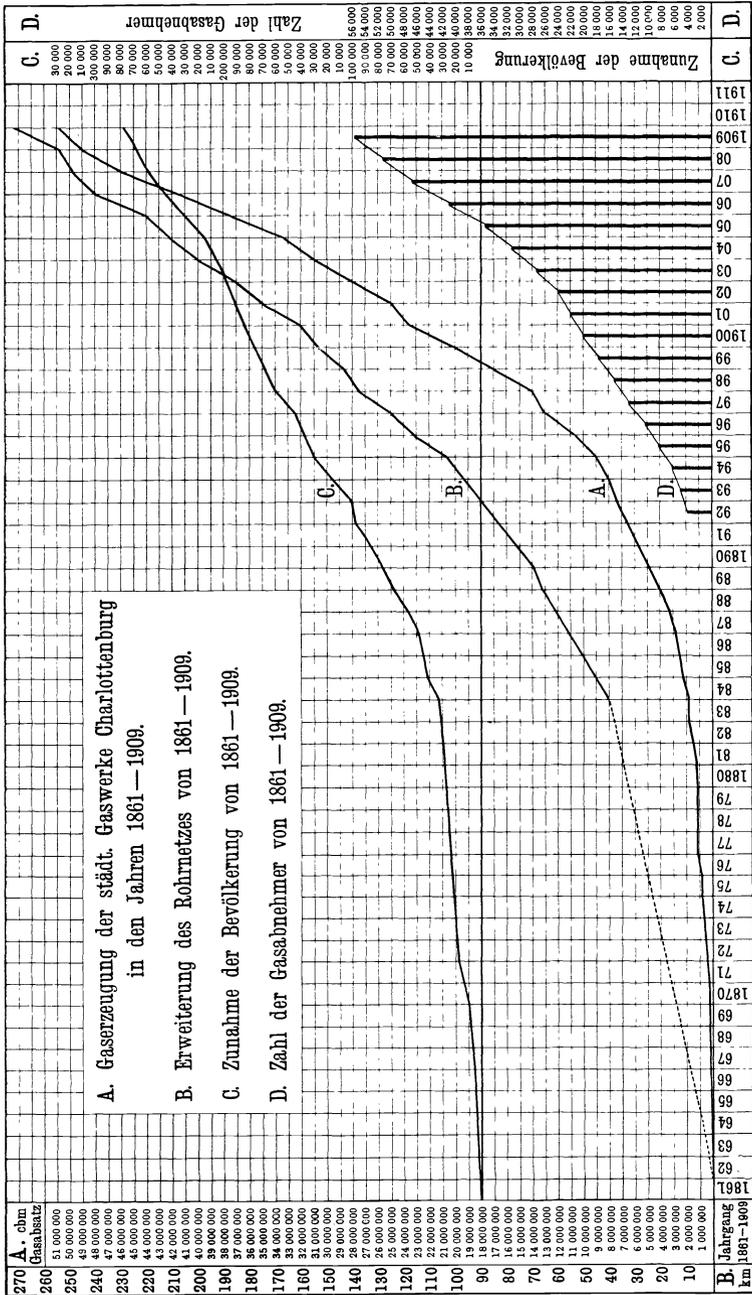
Das Kochen mit Gas hat sich in den letzten zwei Jahrzehnten noch rascher einzubürgern vermocht, als die Gasheizung. Wir sind tatsächlich zufolge des weit günstigeren Nutzeffektes schon bei den heutigen Gaspreisen in der Lage, Ersparnisse gegenüber der Kohlenfeuerung zu erzielen, und dazu kommt noch außer der Bequemlichkeit, die ja auch in der Küche hochgeschätzt wird, die Reinlichkeit und die Ersparnisse an Bedienung, die in einem kleinen Haushalte oft eine Dienstperson entbehrlich machen.

Die Entwicklung der Gasbeleuchtung in Verbindung mit der Gasheizung hat den Gasabsatz in den letzten Jahrzehnten in einer früher nie geahnten Weise gehoben. In 40 deutschen Städten ist die Einwohnerzahl innerhalb der Zeit von 1858 bis 1908 von 1,5 auf 6,2 Millionen gewachsen, gleichzeitig ist aber der Gaskonsum von 33 auf 705 Millionen Kubikmeter pro Jahr gestiegen. Einer Vervierfachung der Einwohnerzahl steht also ein zwanzigfach größerer Gaskonsum gegenüber. Dasselbe drückt der mittlere Gaskonsum pro Kopf der im Bereiche der Gaswerke vorhandenen Bevölkerung aus. Dieser ist von 12,3 m<sup>3</sup> im Jahre 1858 auf 71,7 m<sup>3</sup> im Jahre 1908 gewachsen. Bei größeren Werken stellt sich der Konsum pro Kopf auf 95,5 m<sup>3</sup>, bei mittleren auf 51,5 und bei kleinen auf 41 m<sup>3</sup>. Die höchsten diesbezüglichen Zahlen besitzen in Deutschland Charlottenburg mit 182,5 m<sup>3</sup> und Berlin mit 156,6 m<sup>3</sup> <sup>1)</sup>, und trotzdem ist der Gasverbrauch in Deutschland

<sup>1)</sup> Körtling, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 645.

noch ein außerordentlich bescheidener gegenüber dem Gasverbrauch der englischen Bevölkerung. Von 125 Werken Englands hat im Jahre 1908 keines einen geringeren Konsum als 131 m<sup>3</sup> pro Kopf (Rotherham) und bei

Fig. 2.



einzelnen steigt derselbe auf 376 m<sup>3</sup> (Margate). Die kleinste dieser Städte mit 2560 Einwohnern hat 345 000 m<sup>3</sup> Jahreskonsum. Was vor 12 Jahren auch in England noch Ausnahme war und heute in Deutschland noch kaum

erreicht werden kann, ist jetzt in England die Regel: jeder fünfte Einwohner des Gasversorgungsgebietes ist Gaskonsument <sup>1)</sup>. Daß aber auch in Deutschland ähnliches zu erwarten ist, zeigt das Ansteigen des Konsums in den letzten Jahrzehnten, das sich in ähnlichen Linien bewegt, wie die Kurve, die wir auf S. 8 kennen lernten. Ein Beispiel hierfür ist in der graphischen Darstellung der Zunahme des Gasverbrauches in Charlottenburg (Fig. 2) gegeben. Noch auffallender wird das Verhältnis, wenn man statt des Gaskonsums die gelieferte Lichtmenge betrachtet. Zufolge der heutigen weit günstigeren Ausnutzung des Gases bedeutet die 20fache Steigerung des Gaskonsums eine mehr als 120fache Steigerung des Lichtkonsums pro Kopf der Bevölkerung.

## 2. Das Wesen des Lichtes; das Auge.

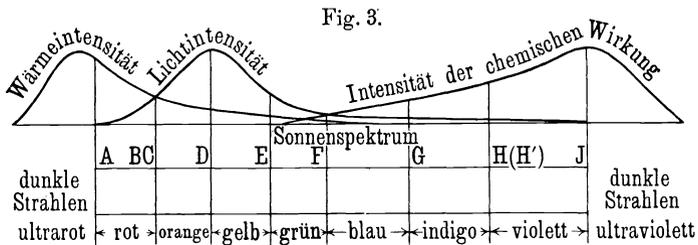
Das Licht ist eine subjektive, nur von unserem Auge abhängige Empfindung; ohne das Auge würde es kein Licht geben, denn als Licht empfinden wir mittels des Auges nur einen bestimmten Teil jener Wellenbewegung des Äthers, die wir „strahlende Energie“ nennen, und auch das Auge ist ein komplizierter Apparat, bei dem nur die Netzhaut die eigentliche Lichtempfindung vermittelt, während die übrigen Teile des Auges nur den Zweck haben, das Bild der uns umgebenden Gegenstände auf die Netzhaut zu werfen. Die Physik lehrt uns, daß die Strahlen, welche die Lichtempfindung auf der Netzhaut hervorrufen, in einer Wellenbewegung des überall vorhandenen Weltäthers bestehen. Die von einem glühenden festen Körper ausgehenden Ätherwellen besitzen nicht alle die gleiche Schwingungszahl, sondern es gehen von dem festen Körper Wellen von allen möglichen Schwingungszahlen aus. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen stets die gleiche ist, so ist die Wellenlänge umgekehrt proportional der Schwingungszahl, d. h. also, ein glühender fester Körper sendet Strahlen von allen möglichen Wellenlängen aus. Die Gesamtheit dieser Strahlen nennen wir „strahlende Energie“. Mit Hilfe des Prismas sind wir in der Lage, die Strahlen verschiedener Wellenlängen voneinander zu trennen, da die kurzen Wellen vom Prisma stärker abgelenkt werden als die langen. Auf diese Weise erhalten wir das „Spektrum“ der von einem Körper ausgesendeten Strahlen. Von allen diesen Strahlen verschiedener Wellenlänge empfindet unser Auge nur einen ganz bestimmten Teil, und zwar jenen, dessen Wellenlänge zwischen 0,4 und 0,8 Mikromillimeter ( $1 \mu = \frac{1}{1000} \text{ mm}$ ) gelegen ist. Es entspricht dies 388 bis 776 Billionen Schwingungen pro Sekunde. Diesen Teil nennen wir den leuchtenden Teil des Spektrums. Jene Strahlen, welche eine geringere Wellenlänge als  $0,4 \mu$  besitzen, kann unser Auge nicht mehr wahrnehmen; wir können jedoch das Vorhandensein solcher Strahlen leicht nachweisen, weil sie auf die photographische Platte einwirken, und zwar noch stärker, als die für unser Auge wahrnehmbaren sogenannten Lichtstrahlen. Man nennt sie „ultraviolette“ Strahlen, weil sie außerhalb des violetten Endes des sichtbaren Spektrums liegen. Jedoch auch das sichtbare Spektrum wirkt auf die photographische Platte; die stärkste Wirkung liegt im Violett, die schwächste im Rot. Auch die auf der anderen Seite des sichtbaren Teiles gelegenen langwelligen Strahlen

---

<sup>1)</sup> Schäfer, Gasautomaten in England und Deutschland. Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1017.

können wir wahrnehmen; zwar nicht mit der photographischen Platte, weil sie zufolge ihrer langsamen Schwingungen keine chemischen Veränderungen hervorrufen, wohl aber durch ihre Wärmewirkung. Bringen wir ein empfindliches Thermometer, das durch Berührung seiner Kugel für die Aufnahme von Strahlen geeignet gemacht worden ist, in den außerhalb des Rot gelegenen Teil des Spektrums, so zeigt uns das Steigen des Thermometers die „ultra-roten“ Strahlen. Noch leichter als mit dem Thermometer kann man sie mit Hilfe der Thermosäule nachweisen. Bringen wir jedoch die Thermosäule in den sichtbaren Teil des Spektrums, so finden wir auch dort noch eine starke Wärmewirkung. Diese ist im Rot am stärksten, wird im Gelb gering und ist im Violett schon außerordentlich schwach.

Wir sehen also, daß Wärmestrahlen, Lichtstrahlen und chemische Strahlen nicht etwa verschiedene Strahlen sind, sondern daß alle Strahlen der strahlenden Energie alle drei Wirkungen ausüben können, und zwar ist, je nachdem,



welche Beobachtungsmittel wir verwenden, Wärmewirkung, Wirkung auf das Auge oder Wirkung auf die photographische Platte vorhanden. Die nebenstehende Fig. 3<sup>1)</sup> zeigt diese Verhältnisse deutlich. Sie ist so zu verstehen, daß nicht etwa verschiedene Strahlengattungen übereinandergreifen und an derselben Stelle des Spektrums erscheinen, sondern es sind nur die verschiedenen Beobachtungsmittel, mit welchen wir die gleichen Strahlen wahrnehmen und deren Wirkung wir dann als Wärme-, Licht- oder chemische Wirkung registrieren. Aber auch im sichtbaren Teil des Spektrums üben die Strahlen verschiedene Wirkung auf das Auge, je nach ihrer Wellenlänge. Diese verschiedenen Wirkungen bezeichnen wir mit den Namen der verschiedenen Farben; die längsten, am wenigsten brechbaren Strahlen nennen wir rot, dann folgen der Reihe nach orange, gelb, grün, blau und violett, welche letztere Farbenwirkung durch die am raschesten schwingenden kurzwelligen, stark brechbaren Strahlen hervorgerufen wird. Die Wellenlängen, welche den einzelnen Spektralfarben entsprechen, sind in der Tabelle auf S. 18 nach Langleys Angaben notiert. Die Gesamtheit aller Lichtstrahlen in der Verteilung, wie sie das Sonnenspektrum zeigt, bringt in unserem Auge die Empfindung des „weißen“ Lichtes hervor. Fehlt eine der Farben des Spektrums des Sonnenlichtes, so sehen wir sofort wieder gefärbtes Licht; diese Farbe ist jedoch nicht durch Licht von einer bestimmten Wellenlänge hervorgerufen, sondern ein Gemisch verschiedenfarbiger Strahlen; man nennt sie daher eine „Mischfarbe“.

Fehlen aus dem Sonnenspektrum die roten Strahlen, so erscheint uns die verbleibende Mischfarbe grün; fehlen die orangegelben Strahlen, so empfinden

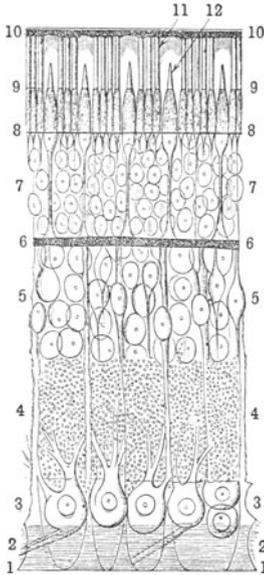
<sup>1)</sup> Aus einer Abhandlung von Rudolph: Journ. f. Gasbel. 1905, S. 214.

wir blaues Licht, und fehlt das gelbe Licht, so empfindet unser Auge eine violette Färbung. Ebenso ruft umgekehrt das Fehlen der grünen, blauen oder violetten Strahlen einen roten, orangefarbenen oder gelben Farbeindruck hervor. Man nennt diese Farben:

Rot . . . . . gegen Grün,  
 Orange . . . . . „ Blau,  
 Gelb . . . . . „ Violett

„Komplementärfarben“. Alle diese Farben geben, wenn sie gleichzeitig vorhanden sind, die Weißempfindung, aber auch zwei komplementäre Farben allein geben, wenn sie gleichzeitig auf das Auge wirken, die Empfindung des weißen Lichtes.

Fig. 4.



#### Schema

##### der Netzhautschichten:

1. Innere Grenzschicht (frühere Glashaut). — 2. Sehnervenfaserschicht. — 3. Ganglienzellenschicht. — 4. Innere granulirte Schicht. — 5. Innere Körnerschicht. — 6. Äußere granulirte Schicht. — 7. Äußere Körnerschicht. — 8. Äußere Grenzschicht. — 9. Stäbchen- u. Zapfenschicht. — 10. Pigmentschicht. — 11. Stäbchen. — 12. Zapfen.

Als Licht empfinden wir also einen bestimmten auf die Nerven der Netzhaut ausgeübten Reiz. Die Organe, welche diese Reizwirkung durch die Nerven auf das Gehirn übertragen, sind von zweierlei Art. Wir nennen sie „Stäbchen“ und „Zapfen“. In Fig. 4 ist ein Schnitt durch die Netzhaut des Auges dargestellt. Die Stäbchen sind hier links als schmale Linien erkenntlich, zwischen denen die Zapfen als massivere Körper eingelagert sind. Die Stäbchen übermitteln den Reiz ohne Unterschied der Farben und sind sehr empfindlich, weil von 120 Millionen Stäbchen, die in der Netzhaut eines menschlichen Auges vorhanden sind, immer eine große Anzahl an einem Nervenstrange sitzen. Besonders empfindlich sind diese Stäbchen gegen blaugrüne Strahlen. Die Zapfen sind dagegen viel weniger empfindlich, weil jeder davon seinen eigenen Nerv hat. Dagegen haben sie die Eigentümlichkeit, die Farbenempfindung zu übermitteln.

Bei geringer Helligkeit sind die Zapfen unwirksam und wir sind dann auf das Sehen mittels der Stäbchen angewiesen; daher können wir bei geringer Helligkeit keine Farben unterscheiden, und daher erscheinen uns am späten Abend alle Gegenstände grau. Bei hoher Helligkeit haben dagegen die Zapfen die Oberhand über die Stäbchen, und sehen wir daher bei größerer Helligkeit Farben. In der Netzhautgrube, das ist jene Stelle, wo die Achse des Auges die Netzhaut trifft, befinden sich keine Stäbchen, sondern nur Zapfen. Die Zahl der letzteren beträgt etwa 60 000. Da man nun aber nur jene Gegenstände deutlich sehen kann, auf die man die Achse des Auges richtet, derart, daß das Bild des fixierten Punktes auf der Netzhautgrube erscheint, so kann man bei geringer Helligkeit, bei der die Zapfen der Netzhautgrube nicht mehr wirken, nicht deutlich sehen. Man sieht eben dann nicht mit der Netzhautgrube, sondern nur mit der Umgebung derselben, d. h., man sieht nicht den Punkt des Gegenstandes, auf den man das Auge richtet, sondern nur die

Umgebung desselben. Daher rührt das gespensterhafte Aussehen der Gegenstände bei sehr geringer Beleuchtung.

Ein Experiment, welches uns diese Betrachtungen erläutert, welches sich auf das sogenannte Purkinjesche Phänomen stützt, ist das nachstehende. Man nimmt einen etwa 20 bis 30 cm im Quadrat messenden Karton, der zur Hälfte hellrot, zur Hälfte blaugrün gefärbt ist. Betrachtet man einen solchen Karton bei starker oder mäßiger Beleuchtung, so wird die rote Hälfte heller erscheinen als die blaugrüne. Verringert man dagegen die Beleuchtung allmählich bis auf ein Minimum, so tritt nach und nach die blaugrüne Hälfte wesentlich heller hervor, und bei sehr geringer Beleuchtung, an die sich das Auge allerdings erst eine Zeitlang gewöhnen muß, verschwindet die rote Hälfte vollständig und man sieht überhaupt nur mehr die blaugrüne, allerdings ohne die Farbe zu erkennen, nur als hellen Fleck. In diesem Moment ist die Tätigkeit der Zapfen vollständig ausgeschaltet, und die für die blaugrünen Strahlen sehr empfindlichen Stäbchen vermitteln die Lichtwirkung. Verringert man hingegen die Größe des betrachteten doppelfarbigen Rechteckes, z. B. indem man einen mit einem entsprechenden rechteckigen Ausschnitt versehenen schwarzen Karton darüber deckt, und zwar derart, daß das ganze Bild des Rechteckes nur mehr auf die Netzhautgrube fällt, so stellt sich das Phänomen anders dar. Bei abnehmender Beleuchtung werden dann beide Hälften des Rechteckes gleichmäßig dunkler und beide verschwinden zu gleicher Zeit und weit früher als im ersten Falle. Dies rührt daher, daß die Netzhautgrube, die allein von diesem verkleinerten Bilde getroffen wird, keine Stäbchen hat, welche die Sichtbarkeit des blaugrünen Teiles bei der geringsten Beleuchtung vermitteln.

Es gibt bekanntlich Tiere, die im Dunkeln weit besser sehen als bei hellem Licht; so z. B. die Eule und der Maulwurf; diese Tiere haben auch in der Netzhautgrube Stäbchen; manche Tiere haben sogar nur Stäbchen und man nennt diese Tiere dann „Stäbchenseher“. Wir werden später die Erscheinung der Grauglut kennen lernen, die beim Erwärmen eines Körpers eintritt, noch bevor derselbe zur Rotglut kommt. Auch diese Erscheinung kann zufolge ihrer geringen Lichtstärke nur mit Hilfe der Stäbchen wahrgenommen werden und erscheint daher farblos grau. Auch hier ist die Netzhautgrube außer Tätigkeit. Der Punkt, welchen das Auge fixiert, kann nicht gesehen werden, sondern nur seine Umgebung. Das Auge sucht daher andere Stellen zu fixieren, die wieder nicht gesehen werden können. Daher hat die Grauglut etwas Gespensterhaftes, hin und her Huschendes.

Die Empfindlichkeit des Auges ist eine außerordentlich große, jedoch nicht unbegrenzte. Ganz geringe Lichtintensitäten empfindet das Auge nicht mehr. Wie groß jedoch die Empfindlichkeit des Auges ist, geht schon aus der nachstehenden Betrachtung hervor. Eine gewöhnliche Kerze in 1 m Entfernung vor einer Öffnung aufgestellt, welche die Größe der Pupille des Auges hat, entsendet durch diese Öffnung eine gewisse Menge von Lichtstrahlen, welche, wenn man deren Energie zur Erwärmung von Wasser verwenden würde, 1 g Wasser in  $1\frac{1}{4}$  Jahren um einen Grad erwärmen würde. Nun ist aber bei vollständiger Dunkelheit und klarer Luft das Licht einer Kerze auch noch auf 1000 m Entfernung wahrnehmbar. Die Energiemenge, welche bei dieser Entfernung in das Auge gelangt, beträgt  $\frac{1}{1\,000\,000}$  von der oben genannten Energie. Sie würde also 1 g Wasser in der Zeit von  $1\frac{1}{4}$  Millionen Jahren um einen Grad erwärmen. In mechanischer Energie ausgedrückt, be-

trägt sie  $\frac{1}{100\,000}$  mm/mg. Dies ist die Energie, die  $\frac{1}{100\,000}$  mg beim Falle durch 1 mm Höhe abgibt. Sie ist also unserem Vorstellungsvermögen beinahe vollständig entrückt.

Die Energiemengen, welche vom Auge noch empfunden werden, sind für verschieden gefärbtes Licht sehr verschieden und für das Grün natürlich am geringsten. Nach Langleys Messungen betragen diese:

für rotes Licht . . . . .	34 000 000 . $10^{-20}$ PS
„ grünes Licht . . . . .	75 . $10^{-20}$ „
„ violetteres Licht . . . . .	1 800 . $10^{-20}$ „

Das Auge ist also, wie wir schon wiederholt hervorgehoben haben, für grünes Licht am empfindlichsten, das ist ungefähr für jene Wellenlängen, die auch von der Sonne am stärksten ausgesendet werden. Das Maximum der Energie des Sonnenspektrums liegt im Gelb, also nahe dem Grün. Auch hier hat sich der menschliche Körper den Lebensbedingungen auf das zweckmäßigste angepaßt und es gibt uns nur zu denken, warum das Auge für die blaugrünen Strahlen noch empfindlicher ist als für die von der Sonne bevorzugten gelben. Vielleicht kann dies als neuer Beweis für die Fischähnlichkeit unserer Vorfahren angesehen werden, die zufolge ihres Aufenthaltes im Wasser im wesentlichen nur blaugrüne Strahlen empfangen haben, so daß sich deren Auge danach ausbilden mußte.

Nach Langleys Angaben liefert die gleiche Energiemenge:

Wellenlänge 0,75 $\mu$ im Karminrot die Lichtmenge	1
„ 0,65 „ „ Hellrot „ „	1 200
„ 0,60 „ „ Orange „ „	14 000
„ 0,58 „ „ Gelb „ „	28 000
„ 0,53 „ „ Grün „ „	100 000
„ 0,47 „ „ Blau „ „	62 000
„ 0,40 „ „ Violett „ „	1 600

Tragen wir diese Zahlen in ein Diagramm ein, indem wir auf der Abszissenachse die Wellenlängen und auf der Ordinatenachse die obigen Zahlen auftragen, so erhalten wir Fig. 5, in der die Kurve I die Energieverteilung im Sonnenspektrum und Kurve II die obengenannten Zahlen nach Langley darstellt.

In neuerer Zeit hat Rudolph die Wertigkeitslinie der Spektralfarben untersucht<sup>1)</sup>; er fand das Maximum zwischen 0,57 und 0,59  $\mu$ , also weiter gegen Gelb verschoben als Langley, ferner ist sie von Lummer<sup>2)</sup> auf Grund der an dem absolut schwarzen Körper (S. 29) vorgenommenen Messungen festgestellt worden; diese letztere, für zwei verschiedene Beobachter ermittelt, zeigt Fig. 6.

Die Wirkungen, welche Strahlen von verschiedener Wellenlänge auf das Auge ausüben, sind also durchaus nicht proportional der Energiemenge, welche in ihnen enthalten ist. Es ist daher nicht möglich, ein mechanisches Äquivalent des Lichtes festzusetzen, etwa wie man das mechanische Wärmeäquivalent festgesetzt hat. Das mechanische Äquivalent des Lichtes ist eben nicht wie das mechanische Wärmeäquivalent eine rein physikalische Größe, sondern es ist physiologisch vom Auge beeinflußt und demgemäß für verschiedene Farben sehr verschieden<sup>3)</sup>. Es ist daher auch für verschiedene

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1905, S. 214. — <sup>2)</sup> Verein zur Förderung naturwissenschaftl. Unterrichts, Posen 1910; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 551. — <sup>3)</sup> Dow, Mechanisches Lichtäquivalent, Electrical World 1908, S. 1291; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 412.

Lichtquellen, welche die verschiedenen Farben nicht in gleichem Maße aussenden, verschieden. Drysdale fand es für weißes Licht zu 0,08 W/HK. Lux fand für Acetylen 0,103, für die Gleichstrombogenlampe 0,047 und für die Quecksilberdampf-Uvillampe 0,14 W/HK. Steinmetz fand hingegen für letztere nur 0,08 W/HK. Nach Drysdales Kurven berechnete Dow für weißes Licht zwischen 0,39 und  $0,76\mu$  Wellenlänge 0,103 W/HK und ein anderes Mal zwischen 0,45 und  $0,70\mu$  0,078 W/HK<sup>1)</sup>.

Für die Lichterzeugung kommen in erster Linie die grünen und blauen Strahlen in Betracht, wenn wir mit geringer Energie eine große Lichtmenge erzeugen wollen. Eine künstliche Lichtquelle wird einen um so günstigeren Nutzeffekt geben, je mehr grüne und blaue Strahlen dieselbe aussendet. Bei allmählicher Temperaturzunahme eines glühenden Körpers sind die ausgesendeten Lichtstrahlen zunächst nur rote und dann gesellen sich orangefarbene, gelbe, grüne usw. Strahlen hinzu. Der Nutzeffekt steigt daher mit zunehmender Temperatur ganz beträchtlich, und den günstigsten Effekt könnten wir erzielen, wenn wir die Temperatur der künstlichen Lichtquellen über jene der Sonne steigern könnten. Wie wir später sehen werden, besitzt aber die Sonne eine Temperatur von nahezu  $6000^{\circ}\text{C}$ , während wir bisher mit irdischen Mitteln noch kaum  $4000^{\circ}$  erreichen konnten. Allerdings würden wir bei allzu starker Steigerung der Temperatur die Menge der violetten und ultravioletten Strahlen erhöhen und dadurch den Nutzeffekt wieder herabsetzen; aber die obigen Zahlen zeigen, daß vorläufig keine Gefahr besteht, die Temperatur der Sonne zu überschreiten.

Wie die Vervollkommnung der Lichtquellen mit der Erhöhung der Temperatur Hand in Hand geht, zeigt die nachstehende Reihe, in die Voege<sup>2)</sup> die Lichtquellen betreffs ihrer Temperatur geordnet hat, nämlich:

Petroleum, elektrisches Kohlenfadenlicht, Tantallampe, Osmiumlampe, Nernstlampe, Acetylen, elektrisches Bogenlicht, Sonne.

Das Gasglühlicht und elektrische Flammenbogenlicht konnten in diese Reihe nicht aufgenommen werden, weil sie bestimmte Strahlengattungen mit

Fig. 5.

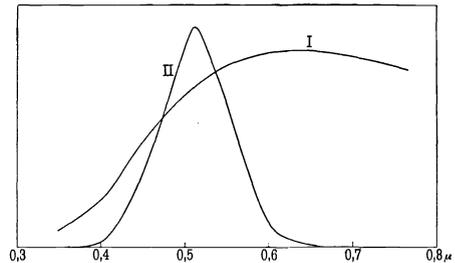
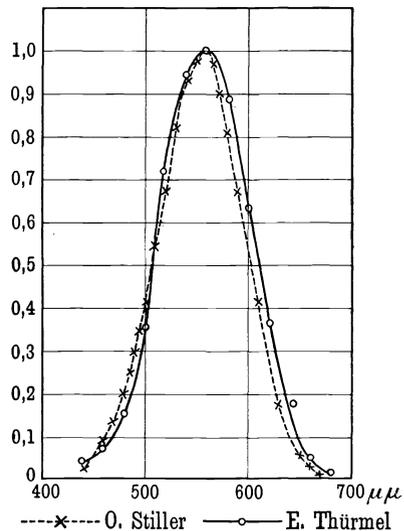


Fig. 6.

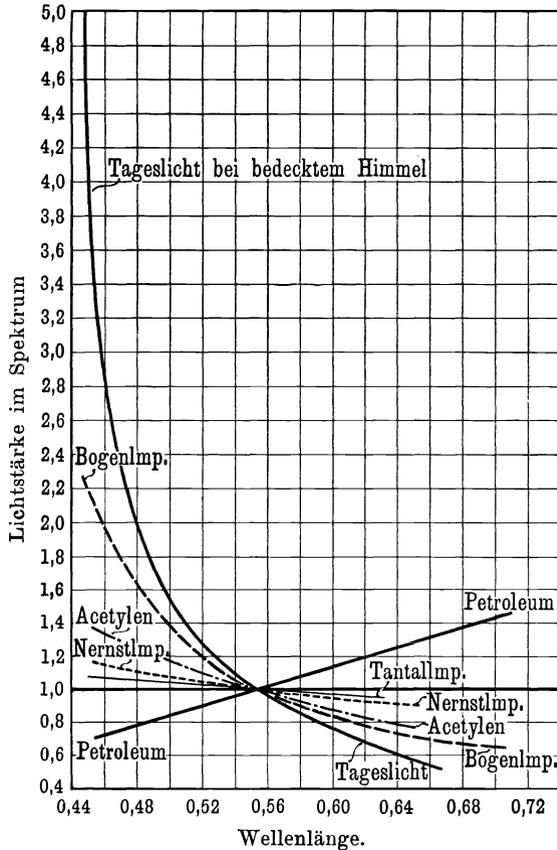


<sup>1)</sup> Über das Wärmeäquivalent des Lichtes siehe S. 36. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1905, S. 513.

größerer Intensität ausstrahlen und daher nicht zu den reinen Temperaturstrahlern gehören.

Die Untersuchungen Voeges zeigen weiter, wie sich die Farben der Lichtquellen zueinander verhalten. In Fig. 7 ist die Intensität der Farben auf eine elektrische Glühlampe von 100 HK bei 110 Volt als Einheit bezogen. Man denke sich dabei die Lichtstärke jeder Lichtquelle so geregelt, daß sie im gelben Teile des Spektrums die Intensität 1 besitzt. Daraus ergibt sich das

Fig. 7.



Diagramm, welches z. B. die große Intensität der roten Strahlen im Petroleumlicht und die höhere Intensität der blauen Strahlen im elektrischen Bogenlicht erkennen läßt.

Wir müssen auch berücksichtigen, daß eine zu große Menge von ultravioletten Strahlen dem Auge schädlich sein kann. Schanz und Stockhausen<sup>1)</sup> haben gezeigt, daß die Linse eines Auges zu fluoreszieren beginnt, wenn man dieselbe mit ultravioletten Strahlen von bestimmter Wellenlänge bestrahlt. Sie teilen die Strahlengattungen mit Rücksicht auf das Auge wie folgt ein:

Strahlen über  $0,76 \mu$  gelangen nicht oder nur zum geringsten Teil zur Netzhaut;  
 „ von  $0,4$  bis  $0,38 \mu$  gelangen unverändert zur Netzhaut;

<sup>1)</sup> Gräfes Archiv für Ophthalmologie 1908; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 856.

- Strahlen von  $0,35$  bis  $0,30 \mu$  dringen in das Auge ein, werden aber von der Linse vollständig absorbiert;  
 „ unter  $0,30 \mu$  dringen nicht durch die Hornhaut, verursachen aber eine Entzündung des äußeren Auges.

Sie haben deshalb ein Glas zusammengestellt, welches wohl die Lichtstrahlen, aber nicht den nach ihrer Meinung schädlichen Teil der ultravioletten Strahlung hindurchläßt, und haben demselben den Namen „Euphosglas“ gegeben.

In letzter Zeit ist jedoch der Meinung dieser beiden Forscher widersprochen worden. Voege<sup>1)</sup> hat gezeigt, daß bei gleicher Flächenhelle das Tageslicht mehr ultraviolette Strahlen hat, als sämtliche elektrische Glühlampen, das Gasglühlicht und die meisten Bogenlampen. Er führte diesen Beweis auf photographischem Wege, was wohl insofern bemängelt werden könnte, als nach Schanz und Stockhausen eben nur eine bestimmte Gattung der ultravioletten Strahlen dem Auge schädlich ist, während die photographische Platte durchaus nicht von der gleichen Strahlengattung am meisten beeinflusst wird. Voege führt noch an, daß das Sonnenlicht auch nach Durchgang durch eine 2 mm starke Glasplatte noch mehr ultraviolette Strahlen habe als die meisten künstlichen Lichtquellen; die Furcht vor den letzteren sei daher unbegründet und ein besonderes Schutzglas kaum nötig. Das Auge scheine vielmehr jedes Licht störend zu empfinden, das nicht von glühenden festen Körpern kommt. Damit sind wohl jene Lichtgattungen gemeint, die, wie z. B. das Quecksilberdampflicht, kein kontinuierliches Spektrum liefern, was allerdings bestimmte Teile der Netzhaut besonders schädigend beeinflussen könnte.

Einen außerordentlich schädigenden Einfluß übt auch die Ungleichmäßigkeit der Beleuchtung auf die Netzhaut, einerlei, ob dieselbe durch zeitliche oder örtliche Verschiedenheiten in der Lichtstärke bedingt ist, aus. Die Pupille des Auges verändert bekanntlich ihre Größe, um stets nur jene Menge von Lichtstrahlen in das Auge eintreten zu lassen, welche der Netzhaut nicht schädlich sind. Diese sogenannte „Akkommodation“ der Pupille findet jedoch nicht plötzlich statt, sondern nur sehr langsam. Wir können daher, wenn wir aus einem hellerleuchteten Raume in die Dunkelheit eintreten, nichts sehen, denn die Pupillenöffnung ist noch zu klein, um genügende Lichtmengen eintreten zu lassen, und erst allmählich erweitert sie sich derart, daß wir auch bei äußerst geringer Beleuchtung noch die Umrisse der Gegenstände erkennen können. Hierbei spielt auch der Übergang der Funktion des Sehens von den Zapfen auf die Stäbchen eine Rolle, denn die Vergrößerung der Pupillenöffnung entspricht noch nicht dem Größenunterschiede in den Beleuchtungsstärken, die hier in Betracht kommen. Treten wir umgekehrt aus einem dunkeln Raum ins Helle, so empfinden wir einen Schmerz im Auge, den wir als Blendung bezeichnen. Wechselt die Beleuchtung rasch nacheinander von Hell auf Dunkel, so ist die Pupille nicht in der Lage, die Helligkeitsunterschiede genügend rasch auszugleichen und dies wirkt schädigend auf das Auge. Nur bei sehr schnellem Wechsel hört die Schädlichkeit wieder auf, da dann das Auge nur ein Flimmern wahrnimmt, und bei noch schnellerem Wechsel hört auch das Flimmern auf, so daß das Auge dann nur ein scheinbar gleichbleibendes Mittel der Beleuchtungsstärke sieht.

Ähnlich verhält sich die Sache bei örtlicher Differenz in der Lichtstärke. Ist eine große Lichtmenge auf eine verhältnismäßig kleine Fläche konzentriert,

<sup>1)</sup> Elektrotechn. Zeitschr. 1908, S. 777; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 247.

und die Umgebung derselben dunkel, so wird die Pupille sich auf eine mittlere Größe einstellen, die jedoch nicht verhindert, daß ein Teil der Netzhaut, der von dem hell beleuchteten Flächenstück bestrahlt wird, zu viel Licht empfängt und daher geschädigt wird. Diese Art der Blendung des Auges ist durch den sogenannten „Glanz“ einer Lichtquelle (vgl. S. 10 und Kapitel 72) hervorgerufen, der erst in allerletzter Zeit genauer untersucht wurde. Nach Woodwell ist der schädigende Einfluß des Glanzes auch auf die Nachbilder zurückzuführen, durch welche eine Ermüdung der Netzhaut hervorgerufen wird. Die schädliche Wirkung ist um so größer, je geringer die Beleuchtungsstärke der Umgebung ist. Ist letztere größer als 23,6 MK, so wird der schädliche Einfluß erheblich reduziert.

Ebenso wie dem Auge die Intensität einer Beleuchtung mehr durch die Kontrastwirkung als durch die absolute Stärke zum Bewußtsein kommt, erscheinen dem Auge auch die Farben mehr durch den Kontrast bedingt, als durch die Farbe an sich. Man empfindet z. B. das Licht eines Gasglühlichtbrenners bei Tageslicht als gelb, während es uns neben einer elektrischen Glühlampe, die ein rötliches Licht hat, grün erscheint. Ebenso erscheint uns das Licht einer Metallfadenglühlampe weiß gegenüber dem rotgelben Kohlenfadenglühlicht, aber gelb gegenüber dem Tageslicht. Diese Wirkung wird durch dieselbe Ursache ausgelöst, wie die Blendung. Unsere Lichtquellen haben ja keine einheitliche Strahlung von bestimmter Farbe, sondern sie enthalten ein Gemisch von Strahlen aller Farben, in welchem eine derselben vorherrscht. Das Auge ermüdet nun bei dauernder Beeinflussung z. B. durch rotes Licht in bezug auf die Rotempfindung und sieht daher in einem Licht, welches weniger rote Strahlen enthält, das komplementäre Grün als vorherrschend.

Wie wir schon bemerkt haben, empfindet die Netzhaut durchaus nicht alle Strahlen, die das Auge treffen, sondern nur die Strahlen von 0,4 bis 0,8  $\mu$  Wellenlänge. Es war deshalb durchaus nicht leicht, die Strahlen jener Wellenlängen, die vom Auge nicht wahrgenommen werden, zu entdecken, und als Herschel im Jahre 1800 durch ein berußtes Thermometer nachweisen konnte, daß außerhalb des roten Teiles des Spektrums auch Strahlen vorhanden sein müssen, die eine Wärmewirkung hervorrufen, verursachte dies das gleiche Aufsehen, wie die Entdeckung der Röntgenstrahlen in unserer Zeit. Es ist ja verständlich, warum diese ultraroten Strahlen von unserem Auge nicht wahrgenommen werden können. Sie werden im Glaskörper des Auges absorbiert und gelangen daher gar nicht bis zur Netzhaut. Unsere Vorfahren lebten eben im Wasser und brauchten daher kein ultrarotes Licht zu sehen, da dieses auch das Wasser nicht zu durchdringen vermag.

Die längsten ultraroten Strahlen wurden von Rubens und Nichols mit 0,05 mm (= 50  $\mu$ ) gemessen. Die kleinsten elektrischen Wellen werden von Righi und Lebedew mit 2,5 mm (= 2500  $\mu$ ) angegeben. Diese von Hertz gefundenen elektrischen Wellen sind schon von diesem als vollständig gleich mit den Lichtwellen erkannt worden. Sie entstehen, wenn ein Wechselstrom hoher Frequenz durch einen Draht fließt und den ihn umgebenden Weltäther beeinflusst. Diese Wellen, welche sich ebenfalls mit Lichtgeschwindigkeit durch den Raum fortpflanzen, werden zur drahtlosen Telegraphie verwendet und erreichen Wellenlängen von mehreren 100 bis mehreren 1000 m. Wir sehen also, welcher geringen Teil der im Äthermeer möglichen Wellen, die sich von den Lichtwellen nur durch ihre Wellenlänge unterscheiden, das Auge wahr-

zunehmen vermag. In dieser Beziehung ist das Auge kein sehr vollkommenes Instrument, wenn wir ihm auch sonst unsere höchste Bewunderung zollen müssen. Würde das Auge auch ultrarote Strahlen sehen, so gäbe es für uns keine Nacht und alle Gegenstände würden uns in einem Lichte glühend erscheinen, das wir allerdings nicht näher bezeichnen können, da es eben eine neue Farbe hätte, die wir nicht kennen. Allerdings, wer weiß, welche Nachteile ein solches ultrarotes Licht sonst für das Auge hätte!

### 3. Mittel zur Lichterzeugung.

Die Lichtstrahlung kommt dadurch zustande, daß der Äther durch lebhaftere Schwingungen der kleinsten Teile eines Körpers (Moleküle bzw. Atome und die mit ihnen verbundenen Elektronen) in Wellenbewegung versetzt wird. Das einfachste Mittel, welches wir besitzen, um die Moleküle in lebhaftere Schwingungen zu versetzen, ist die Erwärmung eines Körpers. Eine Erwärmung im allgemeinen kann erfolgen durch Stoß, Reibung, chemische Reaktionen oder zufolge des Durchflusses des elektrischen Stromes. Praktisch kommt die Anwendung des Stoßes oder der Reibung nicht in Betracht, da die hierbei erzeugte Temperatur zu gering ist. Es bleiben uns daher nur die anderen beiden der genannten Mittel übrig, und wir unterscheiden danach zwei wesentlich voneinander verschiedene Beleuchtungsarten. Die erste Klasse umfaßt somit alle bisher bekannten Beleuchtungsarten mit Ausnahme des elektrischen Lichtes, denn unter die chemischen Reaktionen gehören auch die Verbrennung und somit auch alle Beleuchtungsarten, welche die Wärme durch Verbrennung eines Stoffes erzielen. In die zweite Klasse fällt die elektrische Beleuchtung. Wir werden uns nur mit der ersten Klasse dieser Beleuchtungsarten zu befassen haben und die elektrische Beleuchtung nur dort mit heranziehen, wo Vergleiche zu ziehen oder Gesetze und Erscheinungen zu besprechen sind, die auf beide Klassen der Beleuchtungsarten anzuwenden sind.

Wir haben die zum Leuchten zu bringenden Stoffe auf hohe Temperatur zu erhitzen. Je höher die Temperatur ist, desto mehr Licht strahlt ein Körper aus und auch das Verhältnis zwischen der Lichtausstrahlung und der gesamten ausgestrahlten Wärmemenge wird ein günstigeres. Wir werden später sehen, daß es zweckmäßig ist, als strahlende Substanzen feste Stoffe anzuwenden. Nur die elektrische Beleuchtung verwendet auch gas- oder dampfförmige Körper in der Quecksilberdampf- und der Flammenbogenlampe und in der Mooreschen Röhre. Da wir die festen Körper auf außerordentlich hohe Temperatur erhitzen müssen, sind wir betreffs der Wahl derselben sehr eng begrenzt, denn sie müssen diese Temperatur vertragen, ohne zu verdampfen. Die längste Zeit mußte man sich ausschließlich mit dem Kohlenstoff als glühende Substanz begnügen. Dieser verdampft erst bei etwa  $3600^{\circ}$  und erfüllt somit die wesentlichste der Bedingungen eines Leuchtstoffes. Aber ein glühender Kohlenfaden stößt schon lange, bevor er zur Verdampfung gelangt, einzelne Partikelchen ab, wie wir dies bei der elektrischen Kohlenfadenglühlampe aus dem Schwarzwerden der Glasbirne sehen. Praktisch kann man daher beim elektrischen Kohlenfadenglühllicht nur eine Temperatur unter  $2000^{\circ}$  anwenden, sonst wäre die Haltbarkeit des Fadens eine zu geringe. Man war deshalb bestrebt, den Kohlenstoff durch andere Substanzen zu ersetzen. Diesem Streben entspringt die Lampe von Nernst, welcher Oxyde seltener Erden als

Glühsubstanz verwendete, und die Osmium-, Tantal- und Wolframlampen, welche in neuester Zeit die elektrische Beleuchtung so wesentlich vervollkommen haben. Auch bei der elektrischen Bogenlampe ist es wieder nur Kohlenstoff, der zum Glühen erhitzt wird. Hier kann man aber bis zur Verdampfung des Kohlenstoffs gehen, weil man nicht an die Aufrechterhaltung der Form des Kohlenstoffs gebunden ist. Tatsächlich verdampfen die Kohlenstäbe der Bogenlampen und müssen daher häufig erneuert werden.

In anderer Form gelangt der Kohlenstoff bei den gewöhnlichen Flammen brennbarer Stoffe zum Glühen. Hier scheidet sich, aus den zunächst beim Erhitzen entwickelten gasförmigen Kohlenwasserstoffen durch Zersetzung derselben, Kohlenstoff in äußerst fein verteilter Form aus. Dieser bleibt in der Flamme suspendiert und wird durch die bei der Verbrennung erzeugte Wärme zum Glühen erhitzt, so daß die ganze Flamme leuchtet. Hier ist man also nicht an eine bestimmte Form des festen Kohlenstoffs gebunden und könnte ihn daher auf beliebig hohe Temperaturen erhitzen. In den gewöhnlichen Flammen brennbarer Stoffe steht uns aber leider nicht die hohe Temperatur zur Verfügung, die durch den elektrischen Strom erreichbar ist. Der Kohlenstoff der leuchtenden Flamme erreicht daher noch lange nicht 2000<sup>0</sup> und gibt keine günstige Lichtentwicklung im Verhältnis zur Wärmestrahlung. Man ist deshalb auch bei der Anwendung brennbarer Stoffe zu Beleuchtungszwecken dazu übergegangen, andere Glühsubstanzen an Stelle von Kohlenstoff anzuwenden und andererseits auch die Temperatur derselben höher zu steigern, als dies bei der einfachen Flamme organischer Substanzen möglich ist. Diesem Streben entspringt die Inkandeszenzbeleuchtung, die ihren Anfang in dem Drumondschen Kalklicht und ihren jetzigen Höhepunkt in der Auerschen Gasglühlichtbeleuchtung gefunden hat.

Alle die erwähnten Beleuchtungsmittel wirken durch das sogenannte „Temperaturleuchten“, denn ihr Effekt ist ausschließlich durch die Temperatur des betreffenden Stoffes bedingt. Es gibt aber auch „kalte Lichter“, d. h. Lichtwirkungen, die bei geringer Temperatur zustande kommen. Hierher gehört die Fluoreszenz, die gewissermaßen ein Aufspeichern des Lichtes und eine Wiederabgabe desselben in der Dunkelheit darstellt, ferner die Lumineszenz, bei welcher ohne Erzeugung hoher Temperatur, z. B. durch chemische Reaktionen, direkte Lichtwirkung zustande kommt. Die Fluoreszenz können wir am besten an gewissen Schwefelverbindungen, z. B. Schwefelcalcium (CaS), Schwefelbaryum (BaS), Schwefelzink (ZnS) u. dgl. wahrnehmen. Die Lumineszenz erfolgt häufig bei ganz langsamer Oxydation; wir sehen sie bei faulendem Holz, welches im Dunkeln leuchtet, beim Phosphor, der sich in der Luft, auch ohne zu brennen, langsam oxydiert, bei den Leuchtkäfern und anderen Organismen, die z. B. auch das Meeresleuchten hervorrufen. Das Glühwürmchen ist sogar als Ideal eines Lichtgebers anzusehen, da es 96,5 Proz. seiner Gesamtstrahlung als Lichtstrahlung aussendet. Das Glühwürmchenspektrum ist auf ein Band im Gelbgrün, das auf der einen Seite im Blaugrün, auf der anderen im Rot endet, beschränkt<sup>1)</sup>. Bei allen diesen kalten Lichtern werden Wellenbewegungen im Äther erregt, ohne daß sämtliche

<sup>1)</sup> Hyde, Journ. of the Franklin Inst. 1910, S. 439; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 17; Über die Feuerfliege und Einwirkung von Giften auf deren Leuchten siehe Kastle und McDermott, Chem. Zentralbl. 1911, S. 196; Zeitschr. d. österr. Gasvereins 1911, S. 129.

Moleküle die Temperatur annehmen, welche diese Wellenbewegung hervorrufen würde. Das gleiche findet in den luftverdünnten Geißlerschen Röhren und in dem erst in den letzten Jahren praktisch angewendeten Moorelicht — ebenfalls eine Art Geißlersche Röhre — statt, die durch elektrische Entladung zum Leuchten gebracht werden, ebenfalls ohne eine hohe Temperatur anzunehmen.

Ähnliches Leuchten verursachen auch die Kathodenstrahlen, die entstehen, wenn der elektrische Strom durch eine Röhre, die sehr stark verdünnte Luft enthält, hindurchgeht, und die als rasch hindurchfliegende elektrische Teilchen (Elektronen) aufgefaßt werden. Diese Kathodenstrahlen bringen auch feste Substanzen (Asbest, Glas oder verschiedene Mineralien) zum Leuchten, wenn sie auf diese treffen. Allerdings wird durch dieses Auftreffen der Kathodenstrahlen auch Wärme erzeugt, denn diese Substanzen gelangen allmählich zum Glühen; aber das Leuchten beginnt schon beim ersten Auftreffen der Kathodenstrahlen und wir haben es daher hier nicht mit einem Temperaturleuchten, sondern mit einer direkten Hervorrufung der Ätherschwingungen zu tun. Von der Glaswand, welche von den Kathodenstrahlen getroffen wird, gehen die Röntgenstrahlen aus, die wieder ihrerseits feste Stoffe, wie z. B. Baryumplatincyänür, zum Leuchten bringen.

Zweifellos kann durch derartige direkte Beeinflussung des Äthers ohne Zuhilfenahme hoher Temperaturen insofern auf günstige Weise Licht erzeugt werden, als dabei nicht gleichzeitig eine große Energiemenge in Form von Wärmestrahlen verloren geht. Man kann also diesen kalten Lichtern eine große Zukunft prophezeien, die Gegenwart muß aber mit dem Temperaturleuchten vorlieb nehmen, und wir werden uns im folgenden überwiegend mit diesem zu befassen haben.

#### 4. Emission und Absorption, Strahlungsgesetze.

Jeder erwärmte Körper sendet Strahlen aus. Dieses Vermögen, Strahlen auszusenden, bezeichnen wir mit „Emissionsvermögen“. Die Stoffe nehmen jedoch andererseits auch die auf sie fallenden Strahlen ganz oder teilweise auf. Es ist dies so zu verstehen, daß die Ätherschwingungen ebenso die Moleküle unter Vermittelung der mit ihnen verbundenen Elektronen in Bewegung setzen können, wie umgekehrt die Moleküle den Äther in Schwingung zu versetzen vermögen. Von keiner Substanz werden jedoch die Strahlen vollständig aufgenommen. Ein Teil derselben wird reflektiert und oft wird auch ein Teil derselben unbehindert durch die Substanz hindurchgelassen. Die durch Aufnahme der Strahlen in die Substanz übertragene Energie äußert sich in der Erwärmung der Substanz. Die reflektierten und die hindurchgelassenen Strahlen bleiben dagegen in der Form erhalten, wie sie zur Substanz gelangten, und erleiden nur Veränderungen betreffs der Fortpflanzungs- und Schwingungsrichtung, die den Gesetzen der Reflexion, Brechung und Polarisation unterstehen und auf die wir nicht weiter eingehen wollen, weil sie für das Beleuchtungswesen keine große Bedeutung besitzen. Das Vermögen einer Substanz, strahlende Energie, sei diese nun Wärme, Licht oder chemisch wirkende Strahlung, in sich aufzunehmen, bezeichnet man als „Absorptionsvermögen“ der Substanz.

Im allgemeinen sehen wir die Körper nur dadurch, daß sie Lichtstrahlen reflektieren und daß das Reflexionsvermögen verschiedener Substanzen für verschiedene Lichtwellen ein verschiedenes ist. Absorbiert der betreffende

Körper Strahlen von bestimmter Wellenlänge stärker als andere Strahlen, so wird das alle Farben enthaltende weiße Licht von einer Farbe mehr verlieren als von den anderen und es wird daher als gefärbtes Licht reflektiert werden. Daher rühren die Farben der Körper, die wir bei auffallendem Licht sehen. Auch beim durchfallenden Licht, das die Körper durchdringt, wird oft eine bestimmte Farbe absorbiert, so daß das hindurchfallende Licht gefärbt erscheint. So absorbiert z. B. ein rotes Glas vornehmlich grüne Strahlen, ein blaues Glas vornehmlich gelbe usw. Substanzen, die ungefärbt erscheinen, absorbieren sämtliche Wellenlängen vom sichtbaren Teil des Spektrums entweder nicht oder alle in gleichem Maße. Damit ist aber noch durchaus nicht gesagt, daß sie nicht ultrarote oder ultraviolette Strahlen absorbieren. In der Tat nimmt z. B. das Wasser, das uns ungefärbt erscheint, nahezu sämtliche ultraroten Strahlen auf und ist somit, mit Rücksicht auf die ultraroten Strahlen, undurchsichtig oder, mit Rücksicht auf die gesamte strahlende Energie, gefärbt. Auch Gase selbst, die dem Auge doch vollständig lichtdurchlässig erscheinen, zeigen oft eine solche „auswählende Absorption“. So z. B. nehmen Wasserdampf und Kohlensäure einen großen Teil der Wärmestrahlen auf und nur Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff zeigen nahezu gar keine Absorption.

Stoffe, welche für die leuchtende Strahlung vollständig durchlässig sind, nennt man durchsichtige Körper, solche, welche keine Lichtstrahlen hindurchlassen, nennt man undurchsichtige Körper, und solche, welche die verschiedenen Lichtstrahlen in verschiedenem Maße hindurchlassen, erscheinen uns, wie schon gesagt, als farbige Körper. Ebenso können wir betreffs der Durchlässigkeit für Wärmestrahlen unterscheiden: Stoffe, die für Wärmestrahlen vollständig durchlässig sind und die man als „diatherman“ bezeichnet zum Unterschiede von den „adiathermanen“, welche keine Wärmestrahlen hindurchlassen, und von den „thermochroischen“, welche betreffs der Wärmestrahlung eine auswählende Absorption zeigen. Kristallisiertes Steinsalz und der flüssige Schwefelkohlenstoff sind z. B. vollkommen durchsichtig und diatherman, d. h. also, für alle Licht- und Wärmestrahlen vollkommen durchlässig. Eine Alaunlösung dagegen ist zwar vollkommen durchlässig, aber adiatherman, und ebenso ist eine Lösung von Eisenvitriol in Wasser adiatherman, dabei aber schwach grün gefärbt. Eine Jodlösung in Schwefelkohlenstoff ist dagegen undurchsichtig, aber diatherman, weil sie keine Lichtstrahlen, wohl aber Wärmestrahlen hindurchläßt. Wasserdampf, welcher einen bestimmten Teil der Wärmestrahlen absorbiert, ist als durchsichtig und thermochroisch zu bezeichnen. Im nachstehenden seien einige Angaben über das Absorptionsvermögen einiger Stoffe für verschiedene Strahlen gemacht:

Wasser absorbiert alle Wellenlängen, welche größer sind als	0,001 mm,
Glas	„ „ „ „ „ „ „ 0,003 „
Flußspat	„ „ „ „ „ „ „ 0,012 „
Sylvin	„ „ „ „ „ „ „ 0,019 „

Für alle Instrumente, welche zur Messung ultraroter Strahlen dienen, muß daher Sylvin oder Flußspat statt Glas verwendet werden, da Glas die ultraroten Strahlen zum größten Teile absorbiert.

Die Farben, in welchen uns die Gegenstände, sei es im auffallenden oder im durchfallenden Licht, erscheinen, sind keine reinen Farben im Sinne des Spektrums, sondern es sind Mischfarben, die nahezu sämtliche Spektralfarben und nur die eine oder die andere der Farben in geringerem Maße enthalten.

Da alle diese Körperfarben auf Absorption beruhen, so sehen wir z. B. einen roten Gegenstand, der uns deshalb rot erscheint, weil er grünes Licht absorbiert, in einfarbig grünem Licht schwarz. Umgekehrt erscheinen uns, bei Beleuchtung mit gelbem oder rotem Licht, wie es die gewöhnlichen Flammen brennbarer Substanzen aussenden, grüne oder blaue Körper dunkel, weil sie eben rotes bzw. gelbes Licht absorbieren. Es ist also nicht zweckmäßig, einen mit roten Tapeten versehenen Raum mit grünem Licht zu beleuchten, weil dieses zum größten Teile absorbiert wird. Ein Stoff, der alle Lichtstrahlen absorbiert, wirft gar kein Licht zurück und er erscheint uns daher schwarz, und zwar einerlei, mit welcher Lichtfarbe er beleuchtet wird. Ein fester Körper hingegen, der alle Lichtstrahlen reflektiert, wird, mit weißem Licht beleuchtet, weiß erscheinen; beleuchtet man ihn hingegen mit gefärbtem Licht, so erscheint er uns nicht weiß, sondern in der Farbe, mit der er beleuchtet wird. Ein weißer Stoff kann uns also nur im Licht, welches alle Farben enthält, als weiß erscheinen. Absorbiert ein Körper alle Lichtstrahlen nur teilweise, aber in gleichem Maße, ohne eine bestimmte Farbe zu bevorzugen, so nennen wir ihn grau.

Als absolut schwarz bezeichnen wir einen Körper, wenn er nicht nur alle Licht-, sondern auch alle Wärme- und ultravioletten Strahlen absorbiert, und solche weder reflektiert, noch hindurchläßt. Solche Substanzen gibt es in Wirklichkeit nicht. Der schwärzeste Körper, den wir kennen, ist fein verteilter Kohlenstoff in Form von Ruß. Aber auch dieser hält durchaus nicht alle ultraroten und ultravioletten Strahlen zurück. Erst in letzterer Zeit ist es gelungen, gewissermaßen auf künstlichem Wege einen Körper herzustellen, welcher diesen Bedingungen, die in der Theorie des Beleuchtungswesens eine bedeutende Rolle spielen, entspricht. Wir werden später darauf zurückkommen. Ebenso wie es keinen vollkommen schwarzen Körper gibt, gibt es auch keinen absolut weißen Körper; denn jeder Stoff absorbiert einen wenn auch noch so kleinen Teil der Strahlung. Als absolut grau können wir einen Körper bezeichnen, wenn er alle Wellenlängen, seien es nun Licht- oder Wärme- oder chemisch wirksame Strahlen, in gleichem Verhältnis absorbiert. Da die Farben der Körper auf Mischungen verschiedener Farben des Spektrums beruhen, kann man sie eindeutig nur durch Angabe des Mischungsverhältnisses bezeichnen. Apparate, welche derartige Farbenmischungen auf spektroskopischem Wege erzeugen, nennt man „Chromoskope“<sup>1)</sup>.

Kirchhoff hat bewiesen, daß das Verhältnis zwischen Emissions- und Absorptionsvermögen einer Substanz für eine bestimmte Wellenlänge und bei der gleichen Temperatur für alle Körper dasselbe sein muß. Wir wollen in Zukunft das Emissionsvermögen eines Stoffes mit  $E$  und das Absorptionsvermögen mit  $A$  bezeichnen. Die Wellenlänge eines Strahles nennen wir  $\lambda$ . Das Emissionsvermögen für eine bestimmte Wellenlänge ist dann  $E_\lambda$  und das Absorptionsvermögen für dieselbe Wellenlänge  $A_\lambda$ . Das Kirchhoffsche Gesetz kann daher ausgedrückt werden durch die Formel:

$$\frac{E_\lambda}{A_\lambda} = \text{const} \dots \dots \dots \text{I}$$

<sup>1)</sup> Z. B. Mons Chromoskop, Ann. d. Phys. 1911, S. 799; Zeitschr. f. Beleuchtungswesen 1911, S. 395; Zeitschr. d. österr. Gasvereins 1911, S. 98.

Für einen absolut schwarzen Körper, der alle Strahlen absorbiert, ist natürlich  $A_\lambda = 1$ ; für diesen ist gemäß des obigen Ausdruckes für den Kirchhoffschen Satz  $E_\lambda = \text{const}$ , d. h. also, das Emissionsvermögen aller schwarzen Körper ist das gleiche. Bezeichnen wir es betreffs der Wellenlänge  $\lambda$  mit  $S_\lambda$ , so läßt sich der Kirchhoffsche Satz auch schreiben:

$$\frac{E_\lambda}{A_\lambda} = S_\lambda \dots \dots \dots \text{II}$$

oder in Worten ausgedrückt: das Verhältnis zwischen Emissions- und Absorptionsvermögen eines beliebigen Körpers für eine bestimmte Wellenlänge ist gleich dem Emissionsvermögen eines absolut schwarzen Körpers für dieselbe Wellenlänge.

Der Kirchhoffsche Satz sagt uns, daß alle Stoffe jene Strahlen mit Vorliebe absorbieren, welche sie bei der gleichen Temperatur mit Vorliebe aussenden, oder umgekehrt. Danach muß ein Körper, der ein hohes Absorptionsvermögen hat, auch ein hohes Emissionsvermögen haben, und ein schwarzer Körper, der alle Strahlen absorbiert, wird auch alle Strahlen aussenden. Ein absolut weißer Körper dagegen, der alle Strahlen reflektiert, also nichts absorbiert, würde auch keine Strahlen auszusenden vermögen. Das durchsichtige Glas kann man auch in glühendem Zustande nicht gut sehen, weil es auch in glühendem Zustande durchsichtig bleibt, also nur wenig Licht absorbiert und daher auch nur wenig Lichtstrahlen aussendet. Hingegen kann man sich sehr leicht davon überzeugen, daß glühendes Glas Wärmestrahlen aussendet. Bekanntlich hat das Glas auch ein hohes Absorptionsvermögen für Wärmestrahlen; darauf beruht ja die Wirkung der Glashäuser. Auch an den Gasen erkennt man die Richtigkeit des Kirchhoffschen Satzes, denn die durchsichtigen, keine Lichtstrahlen absorbierenden Gase kann man auch in der Glühhitze nicht wahrnehmen. Wir werden noch sehen, daß die Lichtwirkung der Flammen brennbarer Substanzen zum größten Teile nicht von glühenden Gasen herrührt, sondern von anderen Vorgängen. Man muß dabei berücksichtigen, daß der Kirchhoffsche Satz sich nur auf das Verhältnis zwischen Emissions- und Absorptionsvermögen bei der gleichen Temperatur bezieht. Aber das Absorptionsvermögen der Substanzen ändert sich bei wechselnder Temperatur nur wenig, und daher senden Stoffe, die in der Kälte durchsichtig sind, auch in der Glühhitze keine oder nur wenig Lichtstrahlen aus.

Wir haben aber nicht nur die Durchlässigkeit, sondern auch das Reflexionsvermögen der Substanzen zu berücksichtigen. Bezeichnen wir mit  $R$  das Reflexionsvermögen im allgemeinen und mit  $R_\lambda$  das Reflexionsvermögen für Strahlen von der Wellenlänge  $\lambda$ , so muß für undurchsichtige Körper die Summe des Absorptionsvermögens und des Reflexionsvermögens gleich 1 sein. Wir haben also zu schreiben:

$$A_\lambda + R_\lambda = 1$$

oder

$$A_\lambda = 1 - R_\lambda.$$

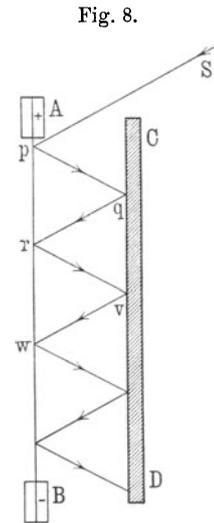
Daher können wir den Kirchhoffschen Satz für Körper, welche gewisse Strahlen reflektieren, schreiben:

$$E_\lambda = (1 - R_\lambda) \cdot S_\lambda \dots \dots \dots \text{III}$$

Bei einem absolut schwarzen Körper muß natürlich auch das Reflexionsvermögen für alle Temperaturen und alle Wellenlängen gleich 0 sein.

Metalle, welche das Licht in solchem Maße reflektieren, leuchten in der Glühhitze ebenso schwach, wie durchsichtige Körper. Jedenfalls leuchten sie bei der gleichen Temperatur viel weniger, wie irgend ein schwarzer Körper. Machen wir z. B. auf ein Platinblech einen Rußfleck, so tritt derselbe, wenn man das Platinblech zum Glühen erhitzt, hell leuchtend hervor, trotzdem er nicht heißer wird als das Platin.

Der Ruß ist für die Lichtstrahlen ein nahezu vollkommen schwarzer Körper, aber für verschiedene Untersuchungen ist es notwendig gewesen, einen absolut schwarzen Körper zu besitzen. Lummer und Wien<sup>1)</sup> haben daher auf eine höchst sinnreiche Weise auf künstlichem Wege eine Vorrichtung hergestellt, welche die Eigenschaften eines absolut schwarzen Körpers besitzt, sämtliche Strahlen bei jeder Temperatur vollkommen zu absorbieren. Lassen wir einen Strahl auf eine Fläche fallen, welche nur einen Teil desselben absorbiert und einen anderen Teil reflektiert, wie z. B. auf ein Platinblech, und stellen dieser Fläche eine zweite Fläche gegenüber, welche dieselben Eigenschaften hat (Fig. 8), so wird folgendes eintreten: der bei  $p$  eintretende Strahl wird bei  $q$  reflektiert, indem er einen Teil seiner Energie durch Absorption an die reflektierende Fläche abgibt; nehmen wir an, der Reflexionskoeffizient sei 0,5, so wird der reflektierte Strahl nur die Hälfte der Energie des einfallenden Strahles besitzen. Dieser reflektierte Strahl begegnet aber bei  $r$  wieder einer reflektierenden Fläche, die wieder die Hälfte seiner Energie absorbiert; der nun reflektierte Strahl wird also nur mehr  $\frac{1}{4}$  der Energie des einfallenden Strahles besitzen. Der Strahl gelangt dann wieder bei  $v$  auf die eine der beiden parallel einander gegenüber gestellten Flächen zurück, und auch dort wird wieder die Hälfte absorbiert. Nach  $w$  gelangt daher nur mehr  $\frac{1}{8}$  der ursprünglichen Energie, und wenn wir  $n$  solche Reflexionen vornehmen, so wird der reflektierte Strahl schließlich nur mehr  $\frac{1}{2^n}$  der ursprünglichen Energie be-



sitzen. Sind wir in der Lage,  $n = \infty$  zu machen, so wird schließlich der Strahl vollkommen absorbiert sein, und die Bedingung des absolut schwarzen Körpers ist hiermit erfüllt. Es ist nun in einfacher Weise möglich,  $n = \infty$  zu machen. Eine Hohlkugel reflektiert den durch eine kleine Öffnung  $A$  eintretenden Strahl, wie Fig. 9 andeutet, stets an ihren Wänden und gibt demselben sobald nicht wieder Gelegenheit, aus dieser Öffnung auszutreten. Durch diese häufige Reflexion im Inneren der Hohlkugel wird jeder einfallende Strahl, einerlei, welche Wellenlänge er besitzt, vollkommen absorbiert, und daher besitzt eine solche Hohlkugel alle Eigenschaften eines absolut schwarzen Körpers. Ein solcher muß, wie wir erläutert haben, Strahlen von sämtlichen Wellenlängen aussenden, weil er ja auch Strahlen von sämtlichen Wellenlängen absorbieren muß, und zwar bei jeder Temperatur. Es ist deshalb durchaus noch nicht notwendig, daß dieser absolut schwarze Körper schon bei gewöhnlicher Temperatur zu leuchten beginnt, denn der Kirchhoffsche Satz sagt ja

<sup>1)</sup> Wied. Ann. 1895, S. 451.

nur, daß das Verhältnis der Emission zur Absorption für jede Temperatur ein konstantes ist. Diese Konstante des Kirchhoffschen Satzes hat jedoch für jede Temperatur einen anderen Wert, und sie ist bei gewöhnlicher Temperatur für die sichtbaren Strahlen so klein, daß sie vollständig verschwindet und erreicht erst bei beginnender Rotglut den Wert, der unser Auge zu beeinflussen vermag.

Berußen wir den Boden eines Platintiegels an einigen Stellen und verschließen wir denselben mit einem Deckel, der nur eine kleine Öffnung hat, so daß das Ganze den Eigenschaften des Lummerschen schwarzen Körpers entspricht, so können wir in der Glühhitze

Fig. 9.

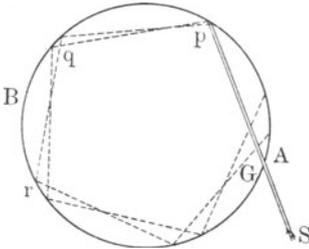
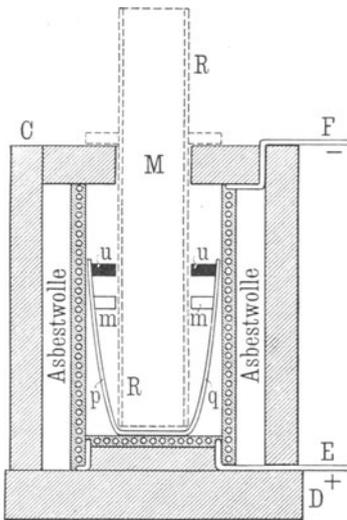


Fig. 10.



nicht mehr die einzelnen Rußflecken auf dem Platinblech hervortreten sehen, weil ja hier das Platinblech ebenso die Eigenschaften eines absolut schwarzen Körpers angenommen hat wie der Ruß. Führen wir dagegen durch die Öffnung ein Rohr ein, welches bis nahe an den Boden des Platintiegels heranreicht, wie dies Fig. 10 zeigt, so werden die berußten Stellen sofort wieder als helleuchtende Flecke sichtbar, denn es ist jetzt die vom Boden des Tiegels nach seitwärts abgehende Strahlung durch das Rohr abgelenkt und wird direkt nach außen geführt. Die von außen einfallenden Strahlen werden also nicht mehr in dem Hohlraum vollkommen absorbiert, sondern nur teilweise geschwächt zurückgeworfen, so daß die Vorrichtung jetzt nicht mehr alle Strahlen gleichmäßig absorbiert, infolgedessen auch nicht mehr alle Strahlen gleichmäßig emittiert. Daher treten die gewöhnlichen Strahlungsunterschiede zwischen dem blanken Platinblech und den Rußflecken wieder hervor.

John hat die für die Gasglühlichtindustrie so wichtigen seltenen Erden gemeinsam mit Platin in einem Schamotterrohr erhitzt, um zu untersuchen, ob das Emissionsvermögen der seltenen Erden ein

höheres ist als das des Platins. Er hat gefunden, daß beide Stoffe gleich hell leuchten. Mit Rücksicht auf die oben auseinandergesetzten Eigenschaften von Hohlräumen ist dieses Resultat für die Beurteilung des Strahlungsvermögens dieser Stoffe nicht maßgeblich, denn in einem langen Schamotterrohr werden stets alle Körper ohne Rücksicht auf ihr Absorptions- oder Emissionsvermögen bei gleichen Temperaturen gleich hell leuchten. Die Erwärmung dürfte nicht in einem Hohlraum stattfinden, wenn man das Emissionsvermögen beurteilen wollte.

Aus dem gleichen Grunde ist der von Draper aufgestellte Satz, daß alle Körper bei gleicher Temperatur zu leuchten beginnen, unrichtig, denn er hat die diesbezüglichen Versuche ebenfalls in einem Flintenlauf vorgenommen.

Die Anwendung des Kirchhoffschen Satzes auf die Gase sagt uns, daß sie auch nur jene Strahlen aussenden können, welche sie absorbieren. Dies steht in Übereinstimmung mit den Absorptions- und Emissionsspektren der Gase. Dieselben senden im glühenden Zustande nicht wie die festen Körper Strahlen von allen möglichen Wellenlängen aus, sondern sie liefern nur Strahlen von ganz bestimmter Wellenlänge. Ihr Emissionsspektrum besteht daher aus einzelnen hellen Linien; dieselben Strahlen, welche sie aussenden, absorbieren die Gase. Daher weist ein Absorptionsspektrum, welches dadurch entsteht, daß das Licht eines glühenden festen Körpers durch das Gas hindurchtritt, schwarze Linien auf hellem Grunde auf. Die Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum werden bekanntlich dadurch erklärt, daß der glühende, ein kontinuierliches Spektrum liefernde Sonnenball von einer gasförmigen Hülle umgeben ist, durch welche die Absorption bestimmter Wellenlängen und daher das Erscheinen schwarzer Linien zustande kommt.

Zur Messung der Strahlung verwendet man empfindliche Temperaturmesser, die an der Stelle, wo sie von den Strahlen getroffen werden, mit Ruß geschwärzt sind, damit alle Strahlen absorbiert und in Wärme verwandelt werden. Als solche Temperaturmesser dienen die Thermosäule oder das Bolometer. Die Thermosäule besteht aus Wismut- und Antimonstäbchen, welche abwechselnd aneinandergelötet sind. Die auf der einen Seite liegenden Lötstellen sind geschwärzt und geben bei Bestrahlung einen elektrischen Strom (Thermostrom), der mittels sehr empfindlicher Galvanometer gemessen wird. Rubens<sup>1)</sup> verwendet anstatt Wismut und Antimon 0,1 mm dicke Konstantan-Eisen-Elemente. Das von Lummer und Kurlbaum<sup>2)</sup> verbesserte Bolometer besteht aus 0,001 mm starken Platinstreifen, die geschwärzt sind und durch Annahme der erhöhten Temperatur bei Bestrahlung ihren elektrischen Leitungswiderstand erhöhen. Dieser wird mit einer Wheatstoneschen Brücke gemessen. Auch Luftthermometer sind nach Tumlirz<sup>3)</sup> zur Strahlungsmessung verwendbar.

Ein absolut schwarzer Körper gibt bei allen Temperaturen die größte Strahlung, die ein Körper überhaupt liefern kann, denn er hat ja auch, seiner Definition entsprechend, die denkbar größte Absorptionsfähigkeit. Man kann also mit keinem anderen Stoffe eine größere Strahlung erzielen, als mit einem schwarzen Körper. Trotzdem ist der schwarze Körper für die Lichterzeugung der unökonomischste. Betrachten wir, um dies zu beweisen, die Energieverteilung im Spektrum des absolut schwarzen Körpers; dieselbe ist durch das Diagramm Fig. 11 wiedergegeben. Auf der Abszissenachse sind die Wellenlängen aufgetragen und auf der Ordinatenachse die Energie, welche jeder Strahl von bestimmter Wellenlänge bei einer bestimmten Temperatur des strahlenden Körpers enthält. Bei verschiedenen Temperaturen ist diese Energie natürlich verschieden und sie steigt für alle Strahlengattungen mit der Temperatur. Sie steigt aber nicht für alle Strahlen gleichmäßig. In dem Diagramm sind jene Energien, welche der gleichen Temperatur entsprechen, durch je eine Kurve verbunden. Bei mäßigen Temperaturen liegt das Maximum der Energie im Ultrarot, wo unser Auge keine Strahlung wahrzunehmen vermag. Selbst bei einer Temperatur von 1646° C überwiegt die

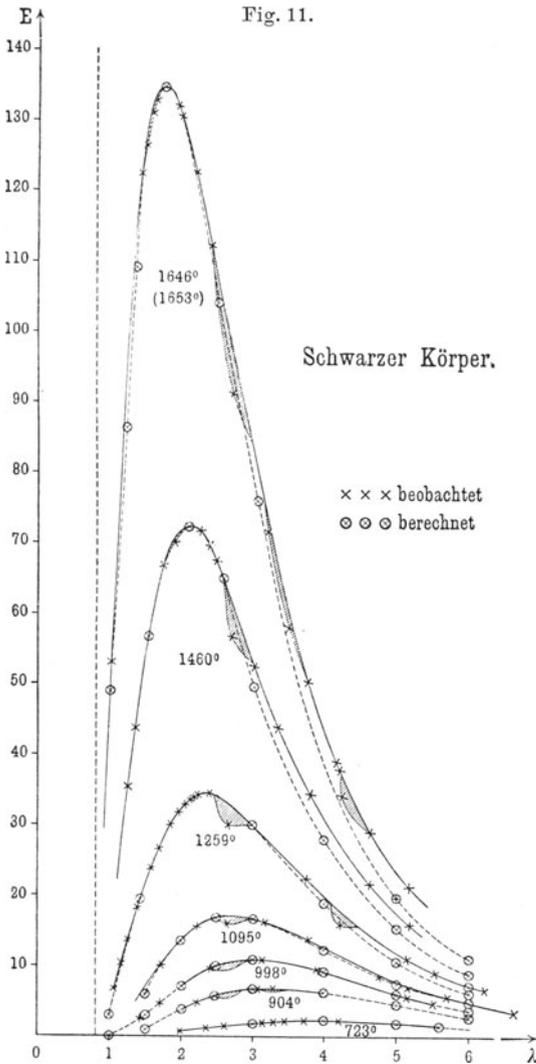
<sup>1)</sup> Wiener Berichte 1903, S. 1382. — <sup>2)</sup> Sillimans Journal 1881, S. 187. —

<sup>3)</sup> Zeitschr. f. Instrumentenk. 1898, S. 65.

Energie, welche durch Aussendung ultraroter Strahlen verloren geht, die Energie, die in Form von leuchtender Strahlung unser Auge trifft, um mehr als das Hundertfache, so daß wir selbst bei dieser hohen Temperatur nur einen Nutzeffekt von weniger als 1 Proz. erreichen können. Ebenso haben manche Substanzen, die sich ähnlich verhalten wie ein absolut schwarzer

Körper, eine hohe Gesamtstrahlung und daher ein ungünstiges Verhältnis der Lichtstrahlung zur Gesamtstrahlung, z. B. Eisenoxyd.

Platin ist schon vorteilhafter für die Lichterzeugung durch Strahlung zu verwenden als ein schwarzer Körper, denn seine Strahlung ist im allgemeinen bei der gleichen Temperatur geringer als die eines schwarzen Körpers, aber das Verhältnis der Energie der leuchtenden Strahlung gegenüber der unsichtbaren Wärmestrahlung ist ein günstigeres. Einige Zahlen über das Verhältnis der Gesamtstrahlung des schwarzen Körpers, des Platins und des Eisenoxyds zeigt die Tabelle auf S. 33, die den Beobachtungen von Lummer und Kurlbaum entnommen ist, und nach welcher das Eisenoxyd bei gleicher Temperatur vierbis fünfmal soviel strahlende Energie aussendet wie das Platin. Ähnlich wie Platin verhalten sich auch andere Metalle und wählt man ein Metall, welches außerdem höhere Temperaturen auszuhalten vermag als der schwarze Kohlenstoff, so kann man einerseits durch diese hohe Temperatur und andererseits durch den günstigen



Nutzeffekt in bezug auf die leuchtende Strahlung weit günstigere Lichtausbeuten erzielen. Ein solches Metall ist das Wolfram, und deshalb konnte man mit diesem Metall das elektrische Glühlicht so sehr vervollkommen.

Die besten Leuchtsubstanzen wären diejenigen, die alle Lichtstrahlen absorbieren und alle nicht sichtbaren Wärme- und ultravioletten Strahlen reflektieren oder hindurchlassen. Solche Substanzen würden auch keine un-

sichtbaren Strahlen auszusenden vermögen; bei ihrer Verwendung würde also alle aufgewendete Energie in die Form von Lichtstrahlen überführt. Leider gibt es solche Substanzen nicht; vielleicht läßt sich aber einmal auf ähnlichem Wege, wie es Lummer und Wien gelungen ist, den absolut schwarzen Körper zu konstruieren, auch der absolute Lichtstrahler künstlich herstellen.

Aus Fig. 11 haben wir erkannt, daß das Maximum der in den verschiedenen Strahlen enthaltenen Energie bei einer für jede Temperatur verschiedenen Wellenlänge zu suchen ist. Bei Steigerung der Temperatur verschiebt sich die Lage des Energiemaximums von den großen ultraroten Wellenlängen zu den kürzeren roten und gelben Wellenlängen. Wir wollen mit  $T$  die absolute Temperatur eines Körpers bezeichnen; das ist die Temperatur in Graden Celsius, vermehrt um  $273^{\circ}$  (d. h. also, die Temperatur in Celsiusgraden vom absoluten Nullpunkt an gerechnet, der bei  $-273^{\circ}$  liegt). Bezeichnen wir ferner mit  $\lambda_m$  die Wellenlänge, bei der das Maximum der Energie liegt, so besteht die Gleichung:

$$\lambda_m \cdot T = \text{const} \dots \dots \dots \text{IV}$$

d. h., das Produkt aus der absoluten Temperatur und der Wellenlänge des Energiemaximums ist konstant. Für den absolut schwarzen Körper ist diese Konstante gleich 2940. Aus dieser Gleichung können wir berechnen, welche Temperatur ein absolut schwarzer Körper besitzen muß, bei dem das Maximum der ausgestrahlten Energie bei der Wellenlänge  $\lambda_m = 0,5 \mu$  liegt. Wir haben dann zu setzen  $0,5 \cdot T = 2940$  oder  $T = 5880^{\circ}$ . Also erst bei dieser Temperatur liegt das Maximum der ausgestrahlten Energie in jenem Teile des Spektrums, wo die Sonnenstrahlung das Energiemaximum zeigt. Wenn wir also annehmen, daß die Sonne in gleicher Weise strahlt wie ein absolut schwarzer Körper, so können wir deren Temperatur auf 5500 bis 6000 $^{\circ}$  schätzen.

Ein weiteres Gesetz sagt uns, daß die Größe des Energiemaximums proportional der fünften Potenz der absoluten Temperatur ist. Bezeichnen wir mit  $E_m$  die Höhe dieses Maximums, so ist

$$E_m = T^5 \cdot \text{const} \dots \dots \dots \text{V}$$

Es ist dies das Wiensche Gesetz.

Für den absolut schwarzen Körper ist diese Konstante =  $5345 \cdot 10^{-9}$ .

Schließlich sagt uns das Stefan-Boltzmannsche Strahlungsgesetz, daß die Summe der ausgestrahlten Energie der Strahlen aller Wellenlängen zusammengenommen proportional der vierten Potenz der absoluten Temperatur ist, was wir schreiben können:

$$\Sigma E = T^4 \cdot \text{const} \dots \dots \dots \text{VI}$$

Die nachstehende Tabelle<sup>1)</sup> zeigt die Strahlungskonstante für den schwarzen Körper, Platin und Eisenoxyd. Sie ist nur für den absolut schwarzen Körper wirklich konstant, für Eisenoxyd annähernd, aber gar nicht für Platin.

Absolute Temperatur	Schwarzer Körper	Poliertes Platin	Eisenoxyd
492	109,0	4,23	—
654	108,4	5,56	33,1
795	109,9	8,14	36,6
1103	109,0	12,18	46,9
1481	110,7	16,69	64,3

<sup>1)</sup> Aus Jüptner, Technologie der Energien I, 1, S. 82.

Planck hat eine vollständige Spektralgleichung aufgestellt, mit deren Hilfe die Strahlungsenergie  $S_\lambda$  für den absolut schwarzen Körper für jede beliebige Wellenlänge  $\lambda$  aus der absoluten Temperatur  $T$  gefunden werden kann. Diese Gleichung lautet:

$$S_\lambda = \frac{C \lambda^{-5}}{e^{\frac{c}{\lambda T}} - 1} \dots \dots \dots \text{VII}$$

Hierin bedeuten  $C$  und  $c$  zwei Konstanten und  $e$  die Grundzahl der natürlichen Logarithmen. Für Körper, deren Strahlung nicht dem des absolut schwarzen Körpers nahekommt, gelten natürlich obige Gleichungen nicht, oder man kann mit Hilfe derselben nur Näherungswerte erreichen. Auch haben die einzelnen Konstanten für nicht schwarze Körper andere Werte. So z. B. ist für Platin in der Gleichung IV die Konstante mit  $2630^0$  anzunehmen, d. h., bei Platin liegt das Maximum der ausgesendeten strahlenden Energie bei geringerer Wellenlänge als beim absolut schwarzen Körper; daher wird durch glühendes Platin, wie wir schon früher erwähnt haben, das Verhältnis der leuchtenden Strahlung zur Gesamtstrahlung ein günstigeres.

So wie wir aus der Temperatur nach Gleichung IV die Lage der Maximalstrahlung ermitteln können, können wir natürlich auch umgekehrt aus der Lage des Energiemaximums die Temperatur berechnen, die ein Körper besitzt. Auf diese Weise wurden die Zahlen der nachstehenden Tabelle gefunden <sup>1)</sup>.

Lichtquelle	Wellenlänge des Energiemaximums $\lambda_m$	Absolute Temperatur	
		maximal $T_{\text{max}}$	minimal $T_{\text{min}}$
Bogenlampe . . . . .	0,7 $\mu$	4200	3750
Nernstlampe . . . . .	1,2 "	2450	2200
Auerlampe . . . . .	1,2 "	2450 <sup>2)</sup>	2200 <sup>2)</sup>
Elektrische Glühlampe (Kohlenfaden) . . . . .	1,4 "	2100	1875
Kerze . . . . .	1,5 "	1960	1750
Argandlampe . . . . .	1,55 "	1900	1700
Acetylen . . . . .	—	3000	2700 (?)
Sonne . . . . .	0,5 "	5880	5260

Sagt uns das Stefan-Boltzmannsche Strahlungsgesetz, daß die Summe der ausgesendeten strahlenden Energie proportional der vierten Potenz der absoluten Temperatur ist, so können wir daraus natürlich noch nicht einen Schluß auf die Steigerung der Leuchtkraft mit der Temperatur ziehen. Für diese müssen wir vielmehr die Plancksche Spektralgleichung benutzen, können aber nur für jede Wellenlänge die Berechnung gesondert durchführen. Für die Wellenlänge der Natriumlinie, die sich im Sonnenspektrum durch eine besonders starke schwarze Linie bei der Wellenlänge  $\lambda = 0,589$  zu erkennen gibt, berechnet sich beispielsweise bei einer Steigerung der absoluten Temperatur von 1800 auf  $1875^0$  die Gesamtenergie und daher

<sup>1)</sup> Nach Lummer, Ziele der Leuchttechnik, Journ. f. Gasbel. 1903, S. 281. —  
<sup>2)</sup> Wegen der auswählenden Emission der Auersubstanz wahrscheinlich ungenau; der Glühkörper kann nicht heißer sein als die Flamme (vgl. S. 78).

auch die Lichtintensität auf das Doppelte. Noch schneller wächst die Energie der Strahlen im Blau mit der Temperatur, langsamer dagegen im roten Teile des Spektrums. Die gesamte Helligkeit wächst in der Nähe der Rotglut etwa proportional der 30. Potenz der absoluten Temperatur. Bei hoher Weißglut wächst sie nur mehr proportional der 14. Potenz, und bei den höchsten irdischen Temperaturen proportional der 12. Potenz der absoluten Temperatur.

Die Lichtstärke eines schwarzen Körpers beträgt pro 1 mm<sup>2</sup> seiner Oberfläche:

bei 1175° C . . . . .	0,0042 HK
„ 1325° „ . . . . .	0,0220 „
„ 1435° „ . . . . .	0,0635 „
„ 1800° „ . . . . .	1,0 „

Bei der Steigerung der Temperatur von 2000 auf 4000° würde sich die Lichtmenge auf das 2<sup>12</sup>fache, das ist etwa auf das 4000fache, steigern. Bei einer Steigerung der Temperatur bis in die Nähe der Sonnentemperatur, das ist etwa 5400°, würde der Lichteffect auf das 3<sup>12</sup>fache, das ist rund auf das 600 000fache, steigen. Somit würde 1 mm<sup>2</sup> eines schwarzen Körpers von Sonnentemperatur eine Lichtstärke von etwa 600 000 Kerzen liefern. Die Farbe des Lichtes geht während dieser Temperatursteigerung von Rot allmählich auf Weiß über, weil die grünen und blauen Strahlen, wie erörtert, in stärkerem Maße zunehmen, wie die roten und gelben.

Bevor ein zum Glühen erhitzter Körper die unter gewöhnlichen Umständen unserem Auge sichtbare Rotglut annimmt, sendet derselbe ebenfalls schon Lichtstrahlen aus, die jedoch nicht den Zapfen, sondern nur den Stäbchen unserer Netzhaut wahrnehmbar sind. Diese Lichtstrahlen erscheinen uns daher ungefärbt. Weber hat festgestellt, daß feste Körper schon bei 400° C ein nur im Dunkeln erkennbares mattes, gespensterhaftes, düster nebelgraues Licht aussenden. Es erscheint unstet auf und ab huschend, weil, wie bereits erörtert, die Netzhautgrube zufolge des Mangels an Stäbchen das Licht nicht wahrnehmen kann. Bei steigender Temperatur gesellen sich dann allmählich rote und gelbe Strahlen hinzu, so daß die Farbe über Aschgrau und Gelblichgrau allmählich in Feuerrot übergeht.

Nach dem Kirchoffschen Gesetz muß die Grauglut und die Rotglut bei verschiedenen Körpern, die nicht absolut schwarze sind, bei anderen Temperaturen eintreten. In der Tat hat Emden gefunden, daß die Grauglut bei Gold schon bei 403° beginnt, während sie bei Platin erst bei 423° einsetzt. Den Beginn der Rotglut hatte Draper, wie bereits erwähnt, irrtümlich für alle Körper gleichmäßig auf 525° bestimmt, was nur dadurch erreicht wurde, daß die verschiedenen Substanzen in einem Flintenlauf erhitzt wurden, der ihnen als Hohlraum die Eigenschaft von schwarzen Körpern verleiht. Ein scharfer Beginn der Rotglut ist überhaupt nicht festzustellen, weil diese ja nur einen Übergang der Farbe von Gelblichgrau über Feuerrot darstellt, und eine Farbe ohne Angabe der Wellenlänge überhaupt nicht exakt bezeichnet werden kann.

Ein bei 600° glühendes Metall erscheint feuerrot, dann schließt sich Kirschrotglut, dann Gelbglut und bei 1200° schließlich Weißglut an. Die Wärmegrade, welche diesen Bezeichnungen entsprechen, werden wir unter Pyrometrie (S. 102) besprechen. Die Temperatur des elektrischen Kohlen-

fadenglühlichtes ist von Grau zu 1630° gemessen worden, die des elektrischen Lichtbogens beträgt, wie bereits erwähnt, 3600°, und die Temperatur der Sonne wurde von Paschen durch Strahlenmessungen zu 5400° C bestimmt.

Es entspricht dies unserer obigen Angabe, da 5400° C gleich 5673° absoluter Temperatur sind. Nach diesen Zahlen würde sich die Lichtmenge gleicher leuchtender Flächen des Bogenlichtes und der Sonne verhalten wie 36<sup>12</sup>:54<sup>12</sup>, oder wie 1: etwa 130.

### 5. Nutzeffekte der Lichtquellen.

Läßt man eine elektrische Glühlampe innerhalb eines Kalorimeters, welches keinerlei Strahlen nach außen hindurchläßt, glühen, so kann man dadurch die Wärmemenge bestimmen, welche durch Absorption der gesamten Strahlen auf das Kalorimeter übertragen wird. Läßt man dann die gleiche Glühlampe unter den gleichen Bedingungen in einem gläsernen Kalorimeter erglühen, das mit Alaunlösung gefüllt ist, so werden von dieser sämtliche dunkeln Wärmestrahlen absorbiert und nur die Lichtstrahlen werden hindurchgelassen. Die Differenz zwischen beiden ergibt die Energie, welche in den Lichtstrahlen der betreffenden Lichtquellen enthalten ist. Auf diese Weise hat schon Feldmann die Nutzeffekte von elektrischen Glühlampen bestimmt.

In neuerer Zeit sind die nachfolgenden Verhältniszahlen zwischen Lichtstrahlung und Gesamtstrahlung gefunden worden<sup>1)</sup>:

Hefnerlampe . . . . .	0,009
Nernstlampe . . . . .	0,045
Acetylen . . . . .	0,055
Bogenlampe . . . . .	0,08 — 0,13
Magnesiumlicht . . . . .	0,137
Quecksilberdampflampe . . . . .	0,41 — 0,48

Außer den Verlusten durch dunkle Strahlung haben aber unsere Lichtquellen auch noch Verluste durch Leitung und Erwärmung der Luft zu erleiden. Der Anteil des gesamten Wärmeverbrauches, welcher als Lichtenergie auftritt und den wir als „physikalischen Wirkungsgrad“ bezeichnen können, ist daher noch geringer, als oben angegeben.

Aus den obigen Zahlen und der Gesamtstrahlung in Kalorien ausgedrückt, berechnet sich das Wärmeäquivalent des Lichtes. Es wurde für die Hefnerlampe von Tumlirz<sup>2)</sup> zu 0,0036 g/Kal. und von Angström<sup>3)</sup> zu 0,0019 g/Kal. pro Sekunde, d. i. zu rund 7 Kal. pro Stunde gefunden. Danach würde man den Wirkungswert einer Lichtquelle finden, welche die gleiche Energieverteilung im Spektrum besitzt, wie die Hefnerlampe, indem man die Lichtenergie durch die gesamte aufgewendete Energie dividiert. Bezeichnet  $L$  die Leuchtkraft in Hefnerkerzen, so ist für eine solche Lichtquelle die Lichtenergie  $7L$  und wenn  $E$  die aufgewendete Energie in Kalorien pro Stunde bezeichnet, so ist der Wirkungswert  $w$

$$w = \frac{7L}{E}.$$

Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß der oben angeführte Koeffizient 7 eben nur für die Hefnerlampe gültig ist, denn bei höher temperierten Licht-

<sup>1)</sup> Vgl. Liebenthal, Prakt. Photometrie, Braunschweig 1907. — <sup>2)</sup> Wied. Ann. 1889, S. 640. — <sup>3)</sup> Phys. Zeitschr. 1901/02, S. 257.

quellen ändert sich ja auch die Energieverteilung im Spektrum. Diese Berechnungsart hat daher für die Praxis keinen Wert und würde für alle Lichtquellen, welche ein weißeres Licht liefern als die Hefnerlampe, viel zu große Werte geben, denn das Wärmeäquivalent des weißen Lichtes ist ein viel kleineres, als das des gelben Lichtes; bekanntlich geben aber alle jetzt verwendeten Lichtquellen viel weißeres Licht als die Hefnerlampe.

Es wäre also nötig, jede Lichtquelle besonders zu untersuchen, um ihren Wirkungswert zu erfahren, oder es müßte uns bekannt sein, welchen Einfluß, in Zahlen ausgedrückt, eine bestimmte Energie von bestimmter Wellenlänge auf unser Auge hat. Diese Zahlenwerte sind uns bis jetzt jedoch nur in unvollkommener Weise (Langley und Lummer, s. S. 18) bekannt. Außerdem müßten wir wieder für jede Lichtquelle die Energieverteilung im Spektrum genau kennen, um die Berechnung durchzuführen. Es ist daher einfacher, wenn wir nicht die einzelnen Wellenlängen in Rechnung ziehen, sondern die Wirkung der gesamten sichtbaren, von der Lichtquelle ausgesendeten Strahlung auf unser Auge kennen zu lernen suchen. Wir wollen zu diesem Zwecke einen Proportionalitätsfaktor  $k$  einführen. Dieser drückt die Lichtleistung von 1 Watt Gesamtenergie aus, wenn diese vollkommen in Lichtenergie umgesetzt würde, und zwar in Lichtenergie von jener Verteilung im Spektrum, wie sie die betreffende Lichtquelle tatsächlich besitzt. Der oben genannte physikalische Wirkungsgrad, den wir mit  $p$  bezeichnen, drückt dagegen aus, wieviel von der Gesamtenergie bei der betreffenden Lichtquelle in Form von leuchtender Strahlung, d. h. mit den Wellenlängen von  $0,4$  bis  $0,8 \mu$  enthalten ist. Die pro Energieeinheit (z. B. 1 Watt oder 1 Kal.) erzielbare mittlere sphärische Lichtstärke, die wir mit  $w$  bezeichnen wollen, stellt sich dann dar als das Produkt des physiologischen Proportionalitätsfaktors und des physikalischen Wirkungsgrades. Wir können also schreiben:

$$w = k \cdot p.$$

Die Werte von  $w$  sind leicht zu erhalten, wenn man die Wärmemenge kennt, welche von einer Lichtquelle pro Stunde entwickelt wird, und diese wieder ist aus der Verbrennungswärme des Brennstoffs leicht berechenbar. Wedding<sup>1)</sup> hat die sichtbare Strahlungsenergie, die pro 1 HK Lichtstärke auf eine Fläche von  $1 \text{ cm}^2$ , welche in 1 m Entfernung aufgestellt war, ausgesendet wurde, für die verschiedenen Lichtquellen bestimmt; sie ist in der ersten Rubrik der nachstehenden Tabelle wiedergegeben. Der reziproke Wert hiervon, jedoch auf die ganze Kugeloberfläche (in diesem Falle  $4 \cdot 10\,000 \pi \text{ cm}^2$ ) berechnet, stellt den physiologischen Proportionalitätsfaktor  $k$  dar, den die zweite Rubrik enthält. Die dritte zeigt den von Wedding ermittelten physikalischen Wirkungsgrad  $p$  und die vierte den als Produkt der beiden letzten erhaltenen Wirkungswert  $w$ .

Wir sehen aus dieser Tabelle, daß die physiologische Wirkung des Spiritusglühlichtes die höchste ist, daß dann die elektrische Bogenlampe, dann das Steinkohlengasglühlicht folgt, und das elektrische Kohlenfadenglühlicht und die gewöhnliche Petroleumlampe die geringste physiologische Wirkung besitzen.

Wir finden also auch hier wieder bestätigt, daß Lichtquellen von grünlischer Färbung, wie z. B. das Spiritusglühlicht, die stärkste Wirkung auf das

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1905, S. 87.

Lichtquelle	Wattverbrauch für sichtbare Strahlung pro 1 HK auf 1 cm <sup>2</sup>	Physiologischer Faktor $k$	Physikalischer Wirkungsgrad $p$	Wirkungswert $w = k \cdot p$
Petroleum . . . . .	0,1133 · 10 <sup>-6</sup>	71,6	0,029 · 10 <sup>-2</sup>	0,0208
Spiritusglühlicht . .	0,0092 · 10 <sup>-6</sup>	863,0	0,0063 · 10 <sup>-2</sup>	0,0544
Auerlicht . . . . .	0,018 · 10 <sup>-6</sup>	443,0	0,018 · 10 <sup>-2</sup>	0,0798
Lucaslampe, Preßgasglühlicht . . .	0,057 · 10 <sup>-6</sup>	139,0	0,0805 · 10 <sup>-2</sup>	0,1125
Kohlenfadenglühlicht . . . . .	0,083 · 10 <sup>-6</sup>	95,7	0,34 · 10 <sup>-2</sup>	0,326
Osmium . . . . .	0,077 · 10 <sup>-6</sup>	102,5	0,62 · 10 <sup>-2</sup>	0,636
Nernstlampe . . . .	0,127 · 10 <sup>-6</sup>	62,8	0,85 · 10 <sup>-2</sup>	0,533
Elektrische Bogenlampe . . . . .	0,0128 · 10 <sup>-6</sup>	662,0	0,318 · 10 <sup>-2</sup>	1,98

Auge besitzen. Interessant ist, daß das Preßgasglühlicht einen wesentlichen geringeren physiologischen Proportionalitätsfaktor besitzt, als das gewöhnliche Gasglühlicht, welches mit normalem Druck brennt, obwohl doch die Lichtleistung, welche pro 1 W Energieverbrauch erreichbar ist, bei Preßgas viel größer und daher die Wärmemenge, welche pro 1 HK Leuchtkraft geliefert wird, wesentlich kleiner ist. Dies rührt daher, daß das Gasglühlicht bei gewöhnlichem Druck ein grüneres Licht gibt, und daß durch die höhere Temperatur des Preßgases die Strahlen anderer Färbung, die im gewöhnlichen Gasglühlicht nur in geringerem Maße vorhanden sind, zufolge der höheren Temperatur stärker hervortreten. Dadurch wird der physikalische Wirkungsgrad wesentlich gesteigert, aber der physiologische Faktor herabgesetzt. Das Produkt aus beiden, d. i. die Lichtstärke pro Watt, ist beim Preßgas aber doch günstiger, weil die Steigerung des physikalischen Wirkungsgrades größer ist als die Verringerung des physiologischen Faktors.

Leimbach<sup>1)</sup> schlägt folgende Bezeichnungen betreffs der Nutzeffektberechnung für die Lichtquellen vor:

1. Als spezifischen Wattverbrauch die zur Erzeugung einer sphärischen Kerzenstärke erforderliche Energie  $\left(\frac{E}{J}\right)$ .

2. Als mittlere sphärische Gesamtstrahlung den Mittelwert der in Strahlung verwandelten Energie ( $S$ ).

3. Als mittlere sphärische Lichtstrahlung den Anteil der Gesamtstrahlung, der auf die Lichtstrahlung entfällt ( $l$ ).

4. Als relatives Strahlungsvermögen den Quotienten aus der Gesamtstrahlung und der aufgewendeten Energie  $\left(\frac{S}{E}\right)$ .

5. Als Lichteffekt den Quotienten aus der Lichtstrahlung und der Gesamtstrahlung  $\left(\frac{l}{S}\right)$ .

6. Als Nutzeffekt das Verhältnis der Lichtstrahlung zur aufgewendeten Energie  $\left(\frac{l}{E}\right)$ . Es entspricht dies dem auf S. 36 genannten Wirkungswert  $w$ .

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 924.

7. Als Wirkungsgrad das Verhältnis des Energiewertes der Lichtstrahlung der Hefnerlampe ( $l_1$ ) zum spezifischen Wattverbrauch  $\left(\frac{l_1 J}{E}\right)$ .

8. Als absolute spezifische Lichtstrahlung das Verhältnis der mittleren sphärischen Lichtstrahlung zur mittleren sphärischen Kerzenstärke  $\left(\frac{l}{J}\right)$ . Es entspricht dies dem reziproken Wert des auf S. 37 genannten physiologischen Proportionalitätsfaktors ( $k$ ) oder dem Wärmeäquivalent des Lichtes.

Die Tabelle zeigt, wie gering noch die physikalischen Nutzeffekte sind, die wir erreichen, und wie groß somit noch der Wirkungskreis des Beleuchtungstechnikers bleibt, um diese Nutzeffekte auf eine Höhe zu bringen, die den sonst in der Technik erreichbaren Effekten entspricht; die den Beleuchtungstechnikern zur Verfügung stehenden Mittel beschränken sich heute beinahe ausschließlich auf die Anwendung einer höheren Temperatur.

Wir wollen nun die Mittel kennen lernen, wie man diese hohe Temperatur erreichen kann, und wollen dabei die Anwendung der Elektrizität, als nicht in unser Gebiet gehörig, außer Betracht lassen.

## II. Der Verbrennungsprozeß.

### 6. Wesen des Verbrennungsprozesses.

Die Verbrennung besteht in einer energischen Vereinigung brennbarer Stoffe mit Sauerstoff unter beträchtlicher Wärmeentwicklung. Durch die Wärmeentwicklung werden entweder der brennbare Stoff oder die Verbrennungsprodukte zum Glühen erhitzt, wodurch das Leuchten eintritt. Als brennbare Stoffe können nun entweder feste Körper oder gas- bzw. dampfförmige Stoffe angewendet werden. Feste, nicht verdampfende Stoffe geraten bei der Verbrennung einfach ins Glühen, während Gase oder Dämpfe bei der Verbrennung die Erscheinung der Flamme liefern; so z. B. verbrennt reiner Kohlenstoff in Sauerstoff oder an der Luft unter Erglühen ohne Flammerscheinung; ebenso verbrennen Metalle, welche nicht leicht verdampfen, so z. B. Eisen, ohne Flamme unter einfachem Erglühen. Die Funken, welche entstehen, wenn ein Schmied das weißglühende Eisen schweißt, bestehen aus an der Luft verbrennenden Eisensplitterchen, und ebenso ist die Funkengarbe, welche wir sehen, wenn wir eine Uhrfeder in reinem Sauerstoff verbrennen, keine Flammerscheinung, sondern nur das Abspritzen kleiner, verbrennender Eisenteilchen. Entzünden wir dagegen ein brennbares Gas, wie z. B. Wasserstoff, Kohlenoxyd, Sumpfgas oder Acetylen, so haben wir eine Flammerscheinung, die wesentlich verschieden ausfällt, je nachdem, ob sich vor der Verbrennung des Gases feste Stoffe in der Flamme ausscheiden oder nicht. Tritt z. B., wie bei dem Acetylen oder allen mit leuchtender Flamme brennenden Gasen, vor der Verbrennung eine Ausscheidung von Kohlenstoff ein, so erglüht dieser in der Flamme und gibt der Flamme ihre Leuchtkraft.

Genau ebenso verhalten sich auch Flüssigkeiten, die in der Wärme verdampfen, wie z. B. Petroleum, Benzol oder zusammengesetzte feste Stoffe, die bei der Erwärmung zunächst brennbare Gase abgeben, wie z. B. Holz oder Steinkohle und auch Flüssigkeiten, die beim Erwärmen nicht unzersetzt verdampfen, sondern gasförmige Produkte liefern, wie z. B. Brennöl. Alle

diese Stoffe verbrennen also unter Flammenentwicklung; aber auch feste Körper, die zunächst unzersetzt verdampfen und sich erst dann mit dem Sauerstoff der Luft vereinigen, geben Flammenerscheinungen, so z. B. der Schwefel, der erst schmilzt, dann verdampft und zu schwefliger Säure verbrennt, oder Phosphor oder Magnesium, welche ebenfalls erst verdampfen und dann zu ihren festen Oxyden verbrennen. Bei diesen letzteren beiden Stoffen ist die Wärmeentwicklung eine sehr beträchtliche, wodurch die hohe Lichtentwicklung der glühenden Oxyde bedingt ist.

Da der Verbrennungsprozeß in erster Linie an das Vorhandensein von Luft gebunden ist, wollen wir dieselbe zunächst etwas näher kennen lernen. Die Luft ist ein Gemisch von etwa  $\frac{4}{5}$  Stickstoff und etwa  $\frac{1}{5}$  Sauerstoff. Die Zusammensetzung derselben ist in bezug auf den Stickstoff- und Sauerstoffgehalt gewöhnlich nur sehr geringen Schwankungen unterworfen. Außerdem sind stets geringe Mengen von Kohlensäure anwesend.

Naumann fand folgende Zusammensetzung:

Stickstoff (N <sub>2</sub> ) . . . . .	79,09 Vol.-Proz.
Sauerstoff (O <sub>2</sub> ) . . . . .	20,87 "
Kohlensäure (CO <sub>2</sub> ) . . . . .	0,04 "

also ohne Rücksicht auf den CO<sub>2</sub>-Gehalt, dessen Größe je nach dem Ort beträchtlich schwankt, rund 79,1 Vol.-Proz. N<sub>2</sub> und 20,9 Vol.-Proz. O<sub>2</sub>. Für alle in der Praxis vorkommenden Betrachtungen genügt es, die auf Ganze abgerundeten Zahlen zu verwenden, nämlich:

N <sub>2</sub> . . . . .	79 Vol.-Proz. oder 77 Gew.-Proz.
O <sub>2</sub> . . . . .	21 " " 23 "

Außer den genannten Hauptbestandteilen sind in der Luft auch noch andere Stoffe, wenn auch in geringen Mengen, vorhanden. So z. B. sind in dem Anteile, den man gewöhnlich als Stickstoff bezeichnet, auch die sogenannten Edelgase enthalten, und zwar:

Argon (A) . . . . .	0,941	Vol.-Proz.
Neon (Ne) . . . . .	0,000 008 6	"
Krypton (Kr) . . . . .	0,000 014	"
Xenon (X) . . . . .	0,000 002 6	"
Helium (He) . . . . .	0,000 000 56	"

Wir werden jedoch in unseren Berechnungen auf diese Edelgase keine Rücksicht nehmen, sondern sie als Stickstoff betrachten, da sie sich bei allen in Betracht kommenden Erscheinungen wie dieser verhalten.

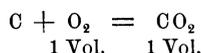
Ozon (O<sub>3</sub>) ist kein regelmäßiger Bestandteil der Luft; dagegen wurden noch andere Bestandteile in schwankenden, sehr geringen Mengen gefunden. So z. B. Wasserstoff (H<sub>2</sub>) 0,000 15 Vol.-Proz., Wasserstoffsuperoxyd (H<sub>2</sub> O<sub>2</sub>) 0,407 · 10<sup>-10</sup> Gew.-Proz., Ammoniak (NH<sub>3</sub>) etwa 1,0 · 10<sup>-7</sup> Gew.-Proz., Salpetrige Säure (HNO<sub>2</sub>) etwa 1,5 mg im Liter; auch etwas Sumpfgas (CH<sub>4</sub>) und andere Kohlenwasserstoffe sind in der Luft nachgewiesen worden.

Einen ganz wesentlichen Bestandteil der Luft haben wir bisher außer Betracht gelassen; es ist dies der Wasserdampf- oder Feuchtigkeitsgehalt der Luft, der gewöhnlich 1 bis 2 Vol.-Proz. ausmacht. Der genaue Wasserdampfgehalt der Luft, wenn diese mit Feuchtigkeit gesättigt ist, geht aus der nachstehenden Tabelle hervor.

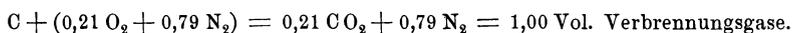
Der Verbrennungsprozeß ist häufig mit Volumveränderungen verbunden. Feste Stoffe, die Sauerstoff aufnehmen und dabei ein festes Ver-

Temperatur	Sättigungsdruck	Gewicht des gesättigten Dampfes	Temperatur	Sättigungsdruck	Gewicht des gesättigten Dampfes
°C	mm Hg	kg/m <sup>3</sup>	°C	mm Hg	kg/m <sup>3</sup>
0	4,60	0,004 75	55	117,48	0,104 57
5	6,53	0,006 66	60	148,79	0,130 64
10	9,16	0,009 22	65	186,94	0,162 00
15	12,70	0,012 60	70	233,08	0,199 39
20	17,39	0,017 02	75	288,50	0,243 68
25	23,55	0,022 75	80	354,62	0,295 84
30	31,55	0,030 05	85	433,00	0,356 94
35	41,83	0,039 31	90	525,39	0,428 16
40	54,91	0,050 90	95	633,69	0,510 78
45	71,39	0,065 29	100	760,00	0,605 77
50	91,98	0,082 98			

brennungsprodukt liefern, wie z. B. Eisen, entziehen der Luft den Sauerstoff, so daß deren Volumen sich von 100 auf 79 verringert. Anders liegt jedoch der Fall, wenn das Verbrennungsprodukt ein gasförmiges ist. Wir müssen uns dabei vor Augen halten, daß nach dem Avogadro'schen Gesetz in gleichen Raumteilen verschiedener Gase stets die gleiche Anzahl von Molekülen enthalten ist. 1 Mol. Sauerstoff besteht aus zwei Atomen und schreibt sich daher  $O_2$ . Bildet sich daraus Kohlensäure, welche 1 At. Kohlenstoff und 2 At. Sauerstoff im Molekül besitzt, sich also  $CO_2$  schreibt, so findet eine Volumveränderung nicht statt, denn aus 1 Mol.  $O_2$  entsteht 1 Mol.  $CO_2$ ; es bleibt die Gesamtzahl der gasförmigen Moleküle und daher auch das Volumen des Gases unverändert. Wir können somit schreiben:

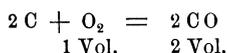


Verbrennen wir den Kohlenstoff in Luft, so erhalten wir:



Wir erhalten also als Verbrennungsprodukt ein gasförmiges Gemisch von 21 Vol.-Proz.  $CO_2$  mit 79 Vol.-Proz.  $N_2$ .

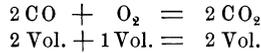
Verbrennt dagegen der Kohlenstoff mit einer ungenügenden Menge von Sauerstoff zu Kohlenoxyd ( $CO$ ), so ist in einem Molekül des Verbrennungsproduktes ( $CO$ ) nur 1 At. Sauerstoff enthalten und es entstehen daher aus 1 Mol. Sauerstoff ( $O_2$ ) 2 Mol. Kohlenoxyd ( $CO$ ); diese Verbrennung geht dann nach der Formel vor sich:



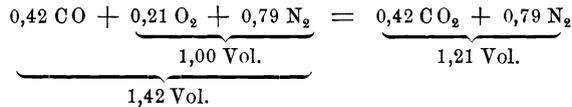
Es findet hier eine Volumvermehrung des Sauerstoffs auf das Doppelte statt. Verbrennen wir auch hier den Kohlenstoff nicht in reinem Sauerstoff, sondern in Luft zu Kohlenoxyd, so ist zu schreiben:

$2 C + (0,21 O_2 + 0,79 N_2) = 0,42 CO + 0,79 N_2 = 1,21 \text{ Vol. Verbrennungsgase,}$   
bestehend aus 34,7 Vol.-Proz.  $CO$  und 65,3 Vol.-Proz.  $N_2$ . Das Volumen des festen, verbrennenden Kohlenstoffs brauchen wir hier nicht zu berücksichtigen, weil dasselbe gegenüber dem großen Volumen der gasförmigen Produkte verschwindend klein ist. Verbrennen wir hingegen Gase, so müssen wir auch deren Volumen in Rücksicht ziehen. So z. B. entsteht bei der Vereinigung

von 1 Mol. CO mit 1 At. Sauerstoff (O) 1 Mol. Kohlensäure (CO<sub>2</sub>); da wir es jedoch bei den Gasen stets mit Molekülen und nicht mit einzelnen Atomen zu tun haben, dürfen wir auch nicht ein einzelnes Atom Sauerstoff in Rechnung ziehen, sondern wir müssen schreiben, indem wir 1 Mol. Sauerstoff (O<sub>2</sub>) einsetzen:

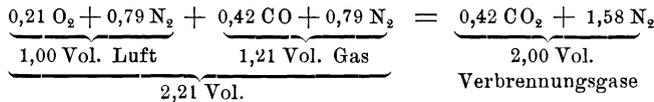


Es verbrennen also 2 Raum-Tle. Kohlenoxyd mit 1 Raum-Tl. Sauerstoff zu nur 2 Raum-Tln. Kohlensäure, d. h. bei der Verbrennung von Kohlenoxyd mit Sauerstoff tritt eine Volumkonzentration ein, und zwar verschwindet pro je 2 Vol. CO 1 Vol.-Tl., oder mit anderen Worten, es tritt eine Kontraktion von 33,3 Proz. des Gesamtvolumens ein, wenn das theoretische Gemenge von 2 CO mit O<sub>2</sub> verbrennt. Führen wir jedoch die Verbrennung mit Luft durch, so haben wir auf 1 Vol. Luft 0,21 Vol. O<sub>2</sub> zu rechnen und daher zweimal 0,21, d. i. 0,42 Vol. CO anzuwenden. Wir erhalten daher:



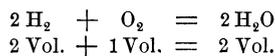
Die Verbrennungsgase bestehen aus 34,7 Proz. CO<sub>2</sub> + 65,3 Proz. N<sub>2</sub>. Die Kontraktion beträgt  $1,42 - 1,21 = 0,21$  Vol. oder in Prozenten  $\frac{0,21}{1,42} = 14,8$  Proz.

Verbrennt man das Gemisch von Kohlenoxyd und Stickstoff, welches bei unvollkommener Verbrennung des C in Luft entsteht, und aus 0,42 CO + 0,79 N<sub>2</sub> besteht, so erhalten wir die gleichen Produkte, wie sie bei der direkten Verbrennung von Kohlenstoff in der genügenden Luftmenge gemäß der zuerst angeführten Formel entstehen. Wir haben dann:



Die Verbrennungsgase bestehen also auch hier aus  $\frac{0,42}{2,00} = 21$  Proz. CO<sub>2</sub> und  $\frac{1,58}{2,00} = 79$  Proz. N<sub>2</sub>. Die Kontraktion beträgt  $2,21 - 2,00 = 0,21$  Vol. oder  $\frac{0,21}{2,21} = 9,1$  Proz.

Entstehen bei der Verbrennung keine gasförmigen, sondern flüssige oder feste Verbrennungsprodukte, so ist auch hierdurch wieder eine Volumveränderung bedingt. So z. B. verbrennen 2 Vol. Wasserstoff (2 H<sub>2</sub>) mit 1 Vol. Sauerstoff (O<sub>2</sub>) zu 2 Vol. Wasserdampf nach der Formel:

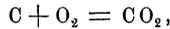


Der Wasserdampf bleibt jedoch bei der Abkühlung der Verbrennungsprodukte nicht als solcher bestehen, sondern er kondensiert sich zu flüssigem Wasser und verschwindet aus den Verbrennungsprodukten; für je 2 Raum-Tle. Wasserstoff verschwinden also 1 Raum-Tl. Sauerstoff mit. Bei der Verbrennung des Wasserstoffs in Luft stellt sich dann die Sache folgendermaßen:

$$\underbrace{\underbrace{0,42 \text{ H}_2 + 0,21 \text{ O}_2 + 0,79 \text{ N}_2}_{1,00 \text{ Vol. Luft}}}_{1,42 \text{ Vol.}} = \underbrace{0,42 \text{ H}_2\text{O} + 0,79 \text{ N}_2}_{1,21 \text{ Vol.}}$$

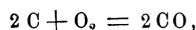
Aus den 1,21 Vol. der zunächst entstehenden Verbrennungsgase verschwindet dann der Wasserdampf, so daß nur 0,79 Vol. übrig bleiben. Wir haben somit eine Kontraktion von  $1,42 - 0,79 = 0,63$  Vol., d. i.  $\frac{0,63}{1,42} = 44,4$  Proz.

Aus den obigen Formeln ist auch der Sauerstoff- bzw. Luftbedarf der verbrennenden Stoffe zu erkennen. Wir müssen uns zu diesem Zwecke nur darüber klar sein, daß die chemischen Gleichungen auch gleichzeitig die Mengen der Stoffe ausdrücken, welche aufeinander wirken, und daß das Zeichen für jedes Atom gleichzeitig die relative Menge gemäß seines Atomgewichtes ausdrückt; so z. B. sagt die Formel:



wenn wir die Atomgewichte<sup>1)</sup>  $\text{C} = 12$  und  $\text{O} = 16$  berücksichtigen, daß sich 12 Gew.-Tle. Kohlenstoff mit  $2 \cdot 16 = 32$  Gew.-Tln. Sauerstoff zu  $(12 + 2 \cdot 16) = 44$  Gew.-Tln. Kohlensäure verbinden. Wollen wir aber mit Raumteilen rechnen, was bei allen Berechnungen, bei denen Gase in Betracht kommen, bedeutend einfacher ist, so müssen wir noch wissen, wieviel 32 kg Sauerstoff in Kubikmetern ausgedrückt sind. Wir haben bereits oben erwähnt, daß in  $1 \text{ m}^3$  jedes beliebigen Gases die gleiche Anzahl von Molekülen enthalten ist, umgekehrt können wir sagen, daß 1 Mol. irgend eines Gases immer denselben Raum beansprucht. So z. B. nehmen 2 g Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ), die das Molekulargewicht 2 besitzen, denselben Raum ein, wie 32 g Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ), dessen Molekulargewicht 32 ist, weil in 1 Mol. Sauerstoff zwei Atome miteinander verbunden sind.

Nehmen wir so viele Gramm irgend eines Stoffes, als dessen Molekulargewicht Einheiten besitzt, so nennt man diese Menge ein Grammmolekül oder ein Mol dieses Stoffes. Wir können also sagen, daß ein Grammmolekül jedes gasförmigen Stoffes den gleichen Raum einnimmt; so z. B. nehmen 2 g Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) denselben Raum ein, wie 32 g Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) oder wie 28 g Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) oder wie 44 g Kohlensäure ( $\text{CO}_2$ ). Diesen Raum, den ein Grammmolekül eines Gases einnimmt, nennt man Molarvolumen; es beträgt für alle Gase 22,3 Liter, bei  $0^\circ$  und 760 mm Gasdruck oder für das Kilogrammmolekül 22,3  $\text{m}^3$ . Wir wissen also jetzt, daß 32 kg Sauerstoff den Raum von 22,3  $\text{m}^3$  einnehmen. Bei der Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlensäure drückt uns also die obengenannte Formel nicht nur aus, daß sich 12 kg Kohlenstoff mit 32 kg Sauerstoff zu 44 kg Kohlensäure vereinigen, sondern auch, daß sich 12 kg Kohlenstoff mit 22,3  $\text{m}^3$  Sauerstoff zu 22,3  $\text{m}^3$  Kohlensäure verbinden. Der Sauerstoffverbrauch von 1 kg Kohlenstoff beträgt somit  $\frac{22,3}{12} = 1,86 \text{ m}^3$ , und weil in 100 Raum-Tln. Luft 21 Raum-Tle. Sauerstoff enthalten sind, so beträgt der Luftbedarf von 1 kg Kohlenstoff bei der Verbrennung  $\frac{22,3}{12} \cdot \frac{100}{21} = 8,87 \text{ m}^3$ . Verbrennt der Kohlenstoff zu Kohlenoxyd, so sagt die Formel:



<sup>1)</sup> Siehe Atomgewichtstabelle im Anhang.

daß  $2.12 = 24$  kg Kohlenstoff 1 Molar-Vol., d. i.  $22,3 \text{ m}^3$  Sauerstoff oder  $22,3 \cdot \frac{100}{21} \text{ m}^3$  Luft, somit daß 1 g Kohlenstoff  $\frac{22,3}{24} \cdot \frac{100}{21} = 4,44 \text{ m}^3$  Luft von  $0^\circ$  und 760 mm Barometerstand zur Verbrennung zu CO benötigen.

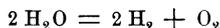
Auf diese Weise ist der Luftbedarf der wichtigsten bei den Verbrennungserscheinungen in Betracht kommenden Stoffe berechnet und in einer Tabelle im Anhange zusammengestellt. Hier sei nur erwähnt, daß die Verbrennung der einzelnen Gase nach folgenden Gleichungen erfolgt:

Gas	Gleichung	O-Bedarf
Wasserstoff . . . . .	$2 \text{ H}_2 + \text{ O}_2 = 2 \text{ H}_2\text{ O}$	0,5 Vol.
Kohlenoxyd . . . . .	$2 \text{ CO} + \text{ O}_2 = 2 \text{ CO}_2$	0,5 „
Methan . . . . .	$\text{ CH}_4 + 2 \text{ O}_2 = \text{ CO}_2 + 2 \text{ H}_2\text{ O}$	2,0 „
Äthylen . . . . .	$\text{ C}_2\text{ H}_4 + 3 \text{ O}_2 = 2 \text{ CO}_2 + 2 \text{ H}_2\text{ O}$	3,0 „
Acetylen . . . . .	$2 \text{ C}_2\text{ H}_2 + 5 \text{ O}_2 = 4 \text{ CO}_2 + 2 \text{ H}_2\text{ O}$	2,5 „
Benzol . . . . .	$2 \text{ C}_6\text{ H}_6 + 15 \text{ O}_2 = 12 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{ O}$	7,5 „

Die Wärme leitet aber nicht nur die Vereinigung verschiedener Stoffe ein, sondern bei höherer Temperatur tritt auch oft ein Zerfall der Verbindungen ein; so z. B. vereinigt sich bekanntlich Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasserdampf nach der Formel:



Erhitzt man jedoch diesen auf sehr hohe Temperaturen, etwa  $3000^\circ$ , so tritt umgekehrt eine Zerlegung des Wasserdampfes in Wasserstoff und Sauerstoff nach der Formel:

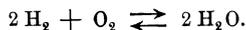


ein.

Man nennt diese Erscheinung die Dissoziation. Alle Stoffe, welche sich durch Vereinigung zweier Körper unter Wärmeentwicklung bilden, zerfallen bei erhöhter Temperatur wieder in diese Ausgangskörper. Die Dissoziation tritt jedoch nicht bei einer bestimmten Temperatur plötzlich ein, sondern sie findet auch schon bei niedrigeren Temperaturen statt und nimmt mit steigender Temperatur mehr und mehr zu.

Bei den meisten chemischen Reaktionen finden wir, daß sie nicht immer in einer Richtung verlaufen, sondern daß sie sich unter gewissen Umständen auch umkehren lassen, und es hat sich gezeigt, daß sich bei allen diesen Reaktionen ein gewisser Gleichgewichtszustand herstellt, der sich je nach den vorliegenden Umständen in der einen oder anderen Richtung verschiebt. Betrachten wir beispielsweise wieder die oben genannte Bildung von Wasserdampf aus seinen Elementen. Wir haben es hier ebenfalls mit einer umkehrbaren Reaktion zu tun. Bei einer hohen Temperatur, bei der die Dissoziation überhaupt schon eine Rolle spielt, werden Wasserstoff- und Sauerstoffatome zwar unter Bildung von Wasser zusammentreten, aber gleichzeitig werden auch umgekehrt Wassermoleküle in Wasserstoff- und Sauerstoffatome zerfallen. Die Zahl der sich vereinigenden Atome wird bei zunehmender Temperatur geringer und die Zahl der zerfallenden Moleküle wird bei steigender Temperatur größer. Die Gelegenheit zur Vereinigung steigt aber auch mit der Anzahl der zu vereinigenden Atome, die in der Raumeinheit vorhanden sind, d. h.

mit der Konzentration der betreffenden Stoffe. In dem Maße nun, als sich Wasserdampf bildet, nimmt die Anzahl der vorhandenen freien Wasserstoff- und Sauerstoffmoleküle ab, d. h. die Konzentration derselben wird geringer, und daher kann ein Punkt erreicht werden, wo die Anzahl der zerfallenden Wassermoleküle ebenso groß ist, wie die Anzahl der sich bildenden Moleküle. Es stellt sich dann ein Gleichgewichtszustand zwischen der Bildung und der Dissoziation der Wassermoleküle her. Man drückt dies aus durch die Formel:



Ein solches Gleichgewicht tritt bei allen umkehrbaren Reaktionen ein und es verschiebt sich nach der einen oder nach der anderen Seite, je nach den Zuständen, unter denen sich das betreffende Gemisch befindet. Von großem Einfluß sind dabei Temperatur und Druck. Eine Erhöhung der Temperatur wirkt in der Weise, daß sie die Bildung jener Stoffe fördert, durch deren Entstehung Wärme verbraucht wird. Bei der Bildung von Wasserstoff und Sauerstoff durch Dissoziation des Wassers wird Wärme verbraucht, daher nimmt die Dissoziation mit steigender Temperatur zu. Hohe Drucke befördern die Bildung jener Stoffe, die unter Druckverminderung gebildet werden. Bei der Bildung von Wasserdampf entstehen 2 Vol. Wasserdampf aus 3 Vol. des Gemenges von Wasserstoff und Sauerstoff. Der Druck des Gasgemisches, welches in einem bestimmten Raume eingeschlossen ist, wird daher abnehmen, wenn die Vereinigung stattfindet. Das obige Gesetz sagt uns also, daß durch hohen Druck die Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff begünstigt wird. Der durch die oben genannte Formel ausgedrückte Gleichgewichtszustand wird also durch Erhöhung der Temperatur nach der linken Seite hin, durch Erhöhung des Druckes hingegen nach der rechten Seite verschoben.

Entziehen wir aus dem Gemisch der in Reaktion stehenden Substanzen irgend einen der Stoffe (d. h. vermindern wir die Konzentration des betreffenden Anteils), so wird dieser Stoff sofort wieder neu entstehen, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist. Das Gleichgewicht wird also für jede Temperatur und für jeden Druck ein konstant bleibendes sein, und wir können eine Zahl ausfindig machen, welche einen solchen bestimmten Gleichgewichtszustand ausdrückt. Diese Zahl nennt man die Gleichgewichtskonstante. Sie drückt das Verhältnis der Konzentration der entstehenden und verschwindenden Stoffe aus; bezeichnen wir mit  $[\text{H}_2]$  die Konzentration des Wasserstoffs im Gemisch, mit  $[\text{O}_2]$  die Konzentration des Sauerstoffs und mit  $[\text{H}_2\text{O}]$  die Konzentration des Wasserdampfes, so ergibt sich die Gleichgewichtskonstante der Wasserbildung aus

$$k = \frac{[\text{H}_2\text{O}]}{[\text{H}_2] \cdot [\text{O}_2]}.$$

Vermindert man in dem Gemisch von Wasserdampf und Sauerstoff die Konzentration des Sauerstoffs, indem man irgend einen Körper hineinbringt, welcher den Sauerstoff absorbiert, so z. B. Eisen, so geht aus der obigen Formel hervor, daß sich die Konzentration des Wasserstoffs in gleichem Maße erhöhen muß, bzw. die Konzentration des Wasserdampfes verringern muß, um die Gleichgewichtskonstante  $k$  in ihrer gleichen Höhe zu erhalten, oder mit anderen Worten ausgedrückt, wenn man Sauerstoff aus dem reagierenden Gemisch entzieht, wird eine solche Anzahl von Wassermolekülen in Wasser-

stoff und Sauerstoff zerfallen, bis die Sauerstoffkonzentration wieder so groß geworden ist, daß die Vereinigung von Sauerstoff- und Wasserstoffatomen dem Zerfalle wieder das Gleichgewicht halten kann. Daraus geht hervor, daß das Eisen bei entsprechend hoher Temperatur den Wasserdampf unter Bildung von Wasserstoff zersetzt.

Wie schon bemerkt, ist die Gleichgewichtskonstante vom Druck und von der Temperatur abhängig. Die physikalische Chemie hat uns Mittel an die Hand gegeben, die Veränderungen der Gleichgewichtskonstanten aus der bei der Reaktion entstehenden Wärme und aus den spezifischen Wärmen der reagierenden Stoffe zu berechnen. Es würde jedoch zu weit führen, dies hier näher auseinanderzusetzen<sup>1)</sup>.

Diese Gleichgewichtszustände stellen sich bei den chemischen Reaktionen jedoch nicht sofort ein, sondern es braucht längere Zeit, ehe die Reaktion so weit vorgeschritten ist, daß sich die Konzentration nicht weiter ändert. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Gleichgewichtszustand erreicht wird, nennt man Reaktionsgeschwindigkeit. Solange die Konzentration der vorhandenen Stoffe noch stark von dem Gleichgewichtszustand abweicht, ist die Reaktionsgeschwindigkeit eine große. Sie vermindert sich jedoch, wenn der Gleichgewichtszustand schon nahezu erreicht ist, beträchtlich. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist ferner immer in hohem Grade abhängig von der Temperatur. Sie steigt außerordentlich stark mit der Temperatur an. So z. B. können wir ein Gemisch von Wasserstoff und Sauerstoff, welches ja bei gewöhnlicher Temperatur nicht im Gleichgewicht ist, da sich beide Stoffe beinahe vollkommen zu Wasser vereinigen müßten, jahrelang aufbewahren, ohne daß sich meßbare Mengen der beiden Stoffe vereinigen. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist eben bei so niedrigen Temperaturen außerordentlich gering. Auch bei 200° tritt selbst nach Monaten noch keine merkliche Vereinigung ein, bei 300° sind nach Wochen Spuren von Wasserbildung nachweisbar, bei 450° ist eine beträchtliche Reaktion nach Tagen nachweisbar, jedoch ist die Vereinigung unvollständig. Bei 600° tritt Entflammung ein, die nach einigen Sekunden beendet ist, bei 2000° zählt die Reaktionsdauer noch 10<sup>-6</sup> Sekunden. Bei hoher Temperatur tritt also die sofortige Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff ein, wegen der gesteigerten Reaktionsgeschwindigkeit, mit der das Gleichgewicht erreicht wird.

Es gibt Stoffe, welche in ganz geringen Mengen nur durch ihre Anwesenheit die Reaktionsgeschwindigkeit eines chemischen Prozesses steigern; solche Stoffe nennt man „Katalysatoren“. Bringt man z. B. Platinmohr in das Gasgemisch von Sauerstoff und Wasserstoff, welches bei gewöhnlicher Temperatur, wie erwähnt, unverändert erhalten bleibt, so wirkt das Platinmohr derart beschleunigend auf die Vereinigung, daß das Platin zum Glühen kommt. Das Platin ist in diesem Falle der Katalysator, und man sagt, das Platin wirke katalytisch. Durch die Gegenwart besonderer Stoffe kann wiederum die Wirkung eines Katalysators geschwächt oder ganz aufgehoben werden. Man sagt in diesem Falle, der Katalysator sei durch die Gegenwart irgend eines Stoffes vergiftet.

Bei den Flammerscheinungen spielt die Reaktionsgeschwindigkeit insofern eine wichtige Rolle, als dadurch die Verbrennungsgeschwindigkeit

---

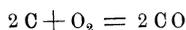
<sup>1)</sup> Siehe Haber, Thermodynamik techn. Gasreaktionen, Oldenburg 1905.

bedingt ist, d. h. die Geschwindigkeit, mit der sich eine Flamme in einem brennbaren Gasgemisch fortpflanzt. Wir werden bei der Besprechung der Flamme noch viel mit der Verbrennungsgeschwindigkeit zu tun haben.

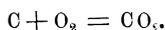
Ist in einem Gasgemisch ein brennbares Gas und nur so wenig Sauerstoff vorhanden, daß derselbe nicht zur vollkommenen Verbrennung des brennbaren Gases genügt, so daß wir es mit einer unvollkommenen Verbrennung zu tun haben, so können mehrere Fälle eintreten. Haben wir es mit einem einfachen Gase zu tun, welches nur aus einem einzigen Element besteht, wie z. B. der Wasserstoff, so wird sich der vorhandene Sauerstoff mit einem Teile des vorhandenen Wasserstoffs bis zur vollständigen Absättigung des Sauerstoffs verbinden, d. h. 1 Raum-Tl. Sauerstoff wird mit 2 Raum-Tln. Wasserstoff zu 2 Raum-Tln. Wasserdampf zusammentreten, der überschüssige Wasserstoff wird als solcher vorhanden bleiben; das Resultat der Verbrennung ist in diesem Falle Wasserdampf und Wasserstoff und wenn Luft zur Verbrennung angewendet wurde, auch noch der Stickstoff der Luft.

Verbrennen wir dagegen ein Gemisch mehrerer Gase mit einer Sauerstoffmenge, die zur vollkommenen Verbrennung derselben nicht ausreichend ist, so wird die Sache komplizierter, weil der Sauerstoff nicht nur mit einem der beiden Gase in Reaktion tritt, sondern sich zum Teil mit dem einen und zum Teil mit dem anderen Gase verbindet. Verbrennen wir ein Gemisch von Kohlenoxyd und Wasserstoff mit einer ungenügenden Sauerstoffmenge, so wird nicht etwa, wie man dies früher häufig annahm, der vorhandene Sauerstoff ganz an den Wasserstoff treten und das Kohlenoxyd unverändert lassen, sondern es wird ein Teil des Sauerstoffs [mit einem Teil des Wasserstoffs Wasser bilden und ein anderer Teil des Sauerstoffs tritt gleichzeitig mit dem Kohlenoxyd zu Kohlensäure zusammen. Es bildet sich dann zwischen Wasserdampf und Kohlenoxyd einerseits und Wasserstoff und Kohlensäure andererseits ein Gleichgewichtszustand (S. 44).

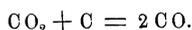
Bei manchen Elementen ist noch deren Eigenschaft in Betracht zu ziehen, daß sie mehrere Oxydationsstufen besitzen, d. h. daß sich 1 At. des betreffenden Elementes entweder mit einem oder mit mehreren Atomen Sauerstoff zu verbinden vermag. Beispielsweise kann je 1 At. Kohlenstoff (C) entweder mit je 1 At. Sauerstoff (O) nach der Formel:



zu Kohlenoxyd (CO) zusammentreten, oder aber es können 2 At. Sauerstoff (d. i. also 1 Mol. Sauerstoff) mit 1 At. Kohlenstoff zu Kohlendioxyd (CO<sub>2</sub>) (Kohlensäureanhydrid oder schlechtweg Kohlensäure genannt) sich vereinigen nach der Formel:

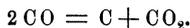


Bei solchen Stoffen mit mehreren Oxydationsstufen kann das höhere Oxyd, d. h. jenes Oxyd, welches mehr Sauerstoff enthält, zum niederen Oxyd reduziert werden, wenn ein Überschuß des brennbaren Stoffes vorhanden ist. Kohlensäure (CO<sub>2</sub>) kann beispielsweise durch Kohlenstoff zu Kohlenoxyd (CO) reduziert werden nach der Formel:

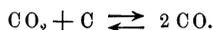


Die Bildung solcher verschiedener Oxydationsstufen hängt allerdings weniger von der Menge der vorhandenen Stoffe, als von der Temperatur ab, derart, daß die Gleichung, die wir eben aufgestellt haben, sogar nach der um-

gekehrten Richtung verläuft, wenn die Temperatur niedrig ist. Bei niedriger Temperatur zerfällt das Kohlenoxyd in Kohlenstoff und Kohlensäure nach der Formel:

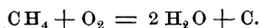


Wenn trotzdem das Kohlenoxyd bei gewöhnlicher Zimmertemperatur beständig zu sein scheint und nicht nach der obigen Formel zerfällt, so liegt dies nur daran, daß die Reaktionsgeschwindigkeit dieses Prozesses bei Zimmertemperatur und selbst auch noch bei einigen hundert Graden noch so gering ist, daß praktisch ein Zerfall gar nicht wahrgenommen werden kann. Die Reduktion der Kohlensäure zu Kohlenoxyd und umgekehrt der Zerfall des Kohlenoxyds findet bei allen Temperaturen gleichzeitig statt, nur überwiegt bei hohen Temperaturen die Bildung von Kohlenoxyd, bei niederen Temperaturen hingegen der Zerfall zu Kohlensäure und es stellt sich immer ein Gleichgewichtszustand her, wie wir dies schon früher besprochen haben, der geschrieben werden kann:



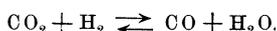
Wir werden uns mit diesem CO<sub>2</sub>-CO-Gleichgewicht unter dem Kapitel 58 „Generatorgas“ noch eingehend beschäftigen.

Recht kompliziert wird die unvollkommene Verbrennung, wenn eine chemische Verbindung unvollkommen verbrennt. Den einfachsten Fall haben wir bei der unvollkommenen Verbrennung des Methans (Sumpfgas, CH<sub>4</sub>) gegeben. Früher war man der Meinung, daß der Sauerstoff ausschließlich den einen der beiden Bestandteile bevorzugt und den anderen einfach frei werden läßt. So könnte z. B. das Sumpfgas mit einer ungenügenden Menge Sauerstoff derart verbrennen, daß der Sauerstoff sich mit dem Wasserstoff verbindet und Kohlenstoff ausgeschieden wird nach der Gleichung:



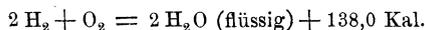
Daß dies den Tatsachen nicht entsprechen kann, geht schon daraus hervor, daß sich Wasserdampf und Kohlenstoff bei hoher Temperatur in Wasserstoff und Kohlenoxyd oder in Wasserstoff und Kohlensäure umwandeln, ferner aber, wie oben erwähnt, Kohlenoxyd in Kohlensäure und Kohlenstoff zerfallen kann. Es wird sich also auch hier ein für jede Temperatur bestimmter Gleichgewichtszustand zwischen Sumpfgas (CH<sub>4</sub>), Kohlenoxyd (CO), Wasserstoff (H<sub>2</sub>), Kohlensäure (CO<sub>2</sub>) und Kohlenstoff (C) herstellen, und schon aus der Anzahl der hier auftretenden Bestandteile ist zu ersehen, daß die Verhältnisse hierbei außerordentlich kompliziert werden. Noch schwieriger wird naturgemäß der Fall, wenn höhere Kohlenwasserstoffe, wie z. B. Äthylen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), unvollkommen verbrennen. Wir können uns mit der Theorie dieser komplizierten Erscheinungen hier nicht näher befassen.

Glücklicherweise aber werden die Verhältnisse einfacher, wenn wenigstens so viel Sauerstoff vorhanden ist, daß kein freier Kohlenstoff und kein Kohlenwasserstoff mehr in der Flamme enthalten ist, sondern alles bereits so weit zerfallen oder oxydiert ist, daß die Verbrennungsgase nur mehr aus Kohlenoxyd, Wasserstoff, Kohlensäure und Wasserdampf bestehen. Es stellt sich dann unter diesen Produkten das sogenannte Wassergasgleichgewicht her entsprechend der Gleichung:



Auch dieses Gleichgewicht ist von der Temperatur abhängig. Bei hohen Temperaturen treten die auf der rechten Seite der Gleichung stehenden Stoffe in größerem Maße hervor, bei geringeren Temperaturen die auf der linken Seite stehenden. Es ist daher möglich, aus der Zusammensetzung der Gase innerhalb einer Flamme einen Schluß auf die Temperatur dieser Flamme zu ziehen.

Alle chemischen Umsetzungen sind mit Veränderungen im Wärmegehalt der reagierenden Stoffe verbunden. So natürlich auch die Verbrennung. Bei der Verbrennung ist die Wärmeentwicklung gewöhnlich eine so große, daß die Verbrennungsprodukte ins Glühen geraten, und daher rührt zum Teil die Lichterscheinung bei der Verbrennung. Es kann jedoch eine Verbrennung auch ohne Flammerscheinung eintreten, wenn dieselbe so langsam erfolgt, daß die Ausstrahlung größer ist als die Wärmeentwicklung und daher eine hohe Temperatur nicht entstehen kann. Um die bei chemischen Umsetzungen auftretende oder verschwindende Wärme zu kennzeichnen, fügt man den betreffenden Gleichungen jene Wärmemenge in Kalorien mit positivem oder negativem Vorzeichen hinzu, welche eben bei dem Prozeß entsteht oder verbraucht wird. Man bezieht dabei die Angabe auf die in der Gleichung angegebenen Mole der reagierenden Stoffe, d. h. auf ebensoviele Gramm, als das Molekulargewicht des betreffenden Moleküls beträgt. Bei der Umsetzung ebenso vieler Kilogramme erhält man dann die Verbrennungswärme durch Multiplikation mit 1000. Die Formel:



sagt also nicht nur, daß 4 g Wasserstoff mit 32 g Sauerstoff zu 36 g Wasser zusammentreten, sondern sie sagt auch, daß bei der Verbrennung dieser Stoffe 138,0 Gramm-Kal. frei werden. Wollen wir dies auf 1 m<sup>3</sup> Wasserstoff beziehen, so müssen wir berücksichtigen, daß die oben angegebene Wärmemenge aus 2 Mol. Wasserstoff entsteht, also, da 1 Mol. jedes Gases 22,3 Liter einnimmt (vgl. S. 42), aus 2 × 22,3 Liter; somit beträgt die Verbrennungswärme eines Liters Wasserstoff  $\frac{138,0}{2 \cdot 22,3} = 3,090$  Kal. Rechnet man mit Kilogrammen und Kubikmetern, so erhält man in gleicher Weise die Verbrennungswärme von 1 m<sup>3</sup> Wasserstoff zu flüssigem Wasser zu 3090 großen Kalorien.

Wir können also ganz allgemein sagen: Wenn man die in den chemischen Formeln pro Molekül angegebene Reaktionswärme durch das Molarvolumen (22,3) dividiert und mit 1000 multipliziert, so erhält man die Reaktionswärme pro 1 m<sup>3</sup> des betreffenden Gases in großen Kalorien ausgedrückt.

Die wichtigsten Reaktionen, mit denen wir uns zu befassen haben und deren Wärmelieferung oder Wärmeverbrauch (beides wird als Wärmetönung bezeichnet) für uns in Betracht kommen, sind in der umstehenden Tabelle zusammengestellt, in der auch die auf 1 kg und auf 1 m<sup>3</sup> des betreffenden Brennstoffs umgerechneten Werte eingesetzt sind. Die Wärmetönung bezieht sich immer auf jene Anzahl der Moleküle, welche nach der angegebenen Gleichung zur Reaktion kommen.

Sämtliche Angaben dieser Tabelle beziehen sich auf 0° und 760 mm Druck. Für Kilogrammoleküle sind die Angaben der zweiten Rubrik mit 1000 zu multiplizieren.

Da die meisten organischen Substanzen und beinahe alle brennbaren Gase Wasserstoff enthalten, so tritt in den Verbrennungsprodukten beinahe

Gleichung	Wärmetönung Kal./Mol.	pro 1 kg		pro 1 m <sup>3</sup>	
		des Brennstoffs			
		Kal.	Kal.	Kal.	Kal.
$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{H}_2\text{O (Dampf)}$ . . . . .	+ 116,5	+ 29 150		+ 2608	
$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{H}_2\text{O (flüssig)}$ . . . . .	+ 138,0 <sup>1)</sup>	+ 34 220		+ 3090	
$\text{H}_2\text{O (Dampf)} = \text{H}_2\text{O (flüssig)}$ . . . . .	+ 10,75 <sup>2)</sup>	+ 597		+ 482	
$\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ . . . . .	+ 97,65 <sup>3)</sup>	+ 8 137		—	
$2 \text{C} + \text{O}_2 = 2 \text{CO}$ . . . . .	+ 58,0 <sup>4)</sup>	+ 2 420		—	
$\text{C} + \text{CO}_2 = 2 \text{CO}$ . . . . .	— 39,20	— 3 260		—	
$2 \text{CO} + \text{O}_2 = 2 \text{CO}_2$ : . . . . .	+ 136,4	+ 2 440		+ 3051	
$\text{C} + \text{H}_2\text{O (Dampf)} = \text{CO} + \text{H}_2$ . . . . .	— 29,7	— 2 480		—	
$\text{C} + 2\text{H}_2\text{O (Dampf)} = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2$ . . . . .	— 19,9	— 1 660		—	
$\text{CO} + \text{H}_2\text{O (Dampf)} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$ . . . . .	+ 9,5	+ 320		+ 144	

immer Wasser auf. Dasselbe findet sich in den Verbrennungsgasen zunächst als Wasserdampf vor; beim Abkühlen der Verbrennungsgase unter 100° scheidet sich dasselbe jedoch zum größten Teile als flüssiges Wasser aus und die bei der Kondensation des Wasserdampfes frei werdende Wärme, die in obiger Tabelle mit 10,75 Kal. pro 1 Mol. = 18 g Wasser angegeben ist, ist dann verfügbar. Die Verbrennungswärme eines Gases ist daher eine größere, wenn man die Verbrennung zu flüssigem Wasser in Rechnung zieht, und eine kleinere, wenn man nur die Verbrennung zu Wasserdampf annimmt. Demnach haben wir bei allen brennbaren Stoffen, die Wasserstoff enthalten, zwei verschiedene Verbrennungswärmen zu berücksichtigen, die man als „oberer Heizwert“ (Verbrennung zu flüssigem Wasser) und „unterer Heizwert“ (Verbrennung zu Wasserdampf) bezeichnet. Bei der Verbrennung des Wasserstoffs zu Wasserdampf werden nach obiger Tabelle für 2 Mol. Wasserstoff 116,5 Kal. frei, kondensiert sich der Dampf zu Wasser, so werden weitere  $2 \times 10,75 = 21,5$  Kal. frei, so daß die Verbrennung zu flüssigem Wasser  $116,5 + 21,5 = 138,0$  Kal. ergibt. Die Differenz zwischen oberem und unterem Heizwert beträgt bei Steinkohlengas etwa 10 Proz. Näheres über die Bestimmung des Heizwertes werden wir im Kapitel Nr. 9 über Kalorimetrie besprechen.

Man bezeichnet manchmal den oberen Heizwert als „Verbrennungswärme“ und den unteren Heizwert als „Heizwert“ schlechtweg. Wir wollen jedoch, um Irrtümer auszuschließen, die Bezeichnung „oberer“ und „unterer“ Heizwert beibehalten. Es ist nicht richtig, daß praktisch nur der untere Heizwert Bedeutung hat, wie viele meinen, weil die Verbrennungsgase meistens mit einer oberhalb 100° liegenden Temperatur abziehen, denn bei vielen Apparaten, z. B. Badeöfen oder dgl., wird ein Teil des bei der Verbrennung des Gases entstehenden Wassers in flüssigem Zustande als Kondenswasser aufgefangen. Es wird daher jetzt bereits meistens der obere Heizwert der Gase angegeben.

<sup>1)</sup> Letzte Bestimmung von Berthelot und Lurtignon 1893; siehe Landolt-Börnstein, physikalisch-chemische Tabellen, S. 427. — <sup>2)</sup> Dieterici s. Landolt-Börnstein, S. 474. — <sup>3)</sup> Letzte Bestimmung von Berthelot und Petit 1889; s. Landolt-Börnstein, S. 430. — <sup>4)</sup> Nach Thomson, s. Landolt-Börnstein, S. 430. — Auf Grund dieser Daten sind die übrigen Zahlen obiger Tabelle neu berechnet. Sie zeigen nicht unbedeutliche Abweichungen von den sonst gebräuchlichen Werten, sind aber richtiger.

Ferner bezieht sich die Angabe des Heizwertes der Gase stets auf ein Raummaß, das Kubikmeter. Das Volumen der Gase ändert sich jedoch mit dem Druck und der Temperatur, so daß die Angaben nötig sind, bei welcher Temperatur und bei welchem Druck das betreffende Gas gemessen wurde. Um aber einheitliche, vergleichbare Zahlen zu erhalten, nimmt man eine Umrechnung der Werte auf einen bestimmten Normalzustand der Gase vor. In der Physik und Chemie ist es üblich, die Temperatur von 0° C und den Druck von 760 mm Quecksilbersäule als Normalzustand der Gase zu betrachten, und alle Angaben über Heizwerte, spezifische Gewichte usw. der Gase, die man in wissenschaftlichen Werken findet, beziehen sich auf diesen Normalzustand. Es ist daher empfehlenswert, auch in der Gasindustrie alle Werte auf 0° und 760 mm zu beziehen. Dem steht allerdings gegenüber, daß das Gas, welches den Konsumenten verkauft wird, gewöhnlich nicht bei 0°, sondern bei höherer Temperatur gemessen wird, und deshalb ziehen es manche Gasfachmänner vor, die Angaben auf 15° C und 760 mm Druck zu beziehen. Einheitliche Vereinbarungen über die Wahl des oberen oder unteren Heizwertes und die Temperatur, auf welche die Gasvolumina, also auch die Heizwerte zu beziehen sind, wären außerordentlich erwünscht. Der Verein der Gas- und Wasserfachmänner in Österreich-Ungarn hat bereits im Jahre 1910 den Beschluß gefaßt<sup>1)</sup>, alle Zahlen, bei denen nichts Näheres gesagt ist, als auf 0° C und 760 mm Druck reduziert zu betrachten und alle Heizwerte, die keine nähere Angabe tragen, als obere Heizwerte zu betrachten. Es wäre erwünscht, wenn sich auch die anderen Vereine diesem Vorgehen anschließen würden.

Zum Zwecke der Umrechnung der Gasvolumina auf die Temperatur von 0° und den Druck von 760 mm ist wie folgt vorzugehen:

Nach dem Boyle-Gay-Lussacschen Gesetz ändert sich das Volumen eines Gases proportional der absoluten Temperatur  $T$  (das ist die Temperatur in Graden Celsius  $t + 273$ ) und umgekehrt proportional dem Druck  $P$ , unter dem das Gas steht. Letzterer setzt sich zusammen aus dem Luftdruck  $b$ , der durch den Barometerstand gegeben ist und dem Überdruck, unter welchem das Gas steht, und der, in Millimetern Quecksilber ausgedrückt, mit  $p$  bezeichnet werden möge. Soll aber das Volumen des trockenen Gases ermittelt werden, so ist außerdem auch noch die Tension des Wasserdampfes  $\tau$  bei der betreffenden Sättigungstemperatur des Gases  $t$  abzurechnen. Es ist also:

$$P = b + p - \tau.$$

Der Überdruck des Gases wird gewöhnlich mit einem Wassermanometer gemessen und er ist daher auf Millimeter Quecksilber umzurechnen, wozu die im Anhang wiedergegebene Tabelle dient. Ebenso ist die Tension des Wasserdampfes  $\tau$  bei der Temperatur des Gases  $t$  aus einer Tabelle des Anhangs zu entnehmen.

Bezeichnet  $V$  das abgelesene Gasvolumen, und  $V_0$  jenes bei 0° und 760 mm Druck, auf trockenen Zustand berechnet, so ist:

$$V_0 = \frac{P}{760} \cdot \frac{273}{T} = \frac{b + p - \tau}{760} \cdot \frac{273}{273 + t} \cdot V.$$

Auf Grund dieser Formel ist für verschiedene Barometerstände und Temperaturen der Umrechnungsfaktor  $f$  in der Tabelle des Anhangs berechnet. Nach Aufsuchung desselben ist dann zu setzen:  $V_0 = f \cdot V$ .

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasvereins 1910, S. 299.

Die Verbrennungswärme der wichtigsten festen Brennstoffe ist nachstehend wiedergegeben:

Holzkohle mit 20 Proz. Wassergehalt . . . . .	etwa 3600 Kal.
Braunkohle mit 20 Proz. Wassergehalt . . . . .	„ 5000 „
Steinkohle, z. B. Saarkohle, mit 5 Proz. Wasser- gehalt und 10 Proz. Asche . . . . .	„ 6500 „
Steinkohle, z. B. Ruhrkohle, mit 90 bis 95 Proz. brennbarer Substanz . . . . .	„ 7500 „

Der Heizwert der wichtigsten technisch angewendeten Gase pro Kubikmeter, bezogen auf 0 und 760 mm Barometerstand, ist in einer Tabelle des Anhangs angegeben, die auch sonstige für die einzelnen Gase wichtige Angaben enthält. Die letzte Rubrik dieser Tabelle zeigt den Quotienten aus dem Heizwert geteilt durch den Luftbedarf des betreffenden Gases. Der Vergleich der Zahlen der letzten Rubrik zeigt, daß bei den meisten technischen Gasen für eine bestimmte Menge verbrauchter Luft stets ungefähr die gleiche Wärmemenge gewonnen wird. Exakt ist diese Übereinstimmung jedoch nicht und sie entbehrt auch jeder wissenschaftlichen Grundlage, weil bei der Vereinigung einer bestimmten Menge von Sauerstoff mit verschiedenen Substanzen durchaus nicht immer die gleiche Wärmemenge erzeugt wird. Aus der beiläufigen Gleichheit der Zahlen kann man aber bei oberflächlichen Berechnungen Nutzen ziehen, indem man für Gase, die keine Kohlenwasserstoffe enthalten, pro 1 m<sup>3</sup> verbrauchter Luft eine Wärmelieferung von etwa 1200 Kal., bei Gasen, die Kohlenwasserstoffe enthalten, etwa 1100 Kal. annehmen kann. Für Acetylen ist diese Regel jedoch gänzlich unbrauchbar.

Die Verbrennungswärme der verschiedenen Stoffe bleibt bei verschiedenen Temperaturen nahezu konstant. Es besteht nur eine kleine Abweichung, die aus der Änderung der spezifischen Wärmen berechnet werden kann. Bezeichnen wir mit  $W_1$  und  $W_2$  die Wärmetönung bei den Temperaturen  $t_1$  und  $t_2$ , ferner  $c$  die Summe der Wärmekapazitäten der verbrennenden Stoffe und  $c_1$  die Summe der Wärmekapazitäten der Verbrennungsprodukte, so ergibt sich die Änderung der Verbrennungswärme mit der Temperatur aus der Formel:

$$W_1 - W_2 = (c - c_1)(t_2 - t_1).$$

Da die Änderung der spezifischen Wärmen in den meisten Fällen nur sehr gering ist, kann für alle technischen Zwecke die Änderung der Verbrennungswärme mit der Temperatur vernachlässigt werden.

Wenn ein Stoff verbrennt, so überträgt sich naturgemäß die gesamte entstehende Wärmemenge auf die Verbrennungsprodukte. Die Temperatur, welche hierbei die Verbrennungsprodukte annehmen, hängt von deren Wärmekapazitäten ab, d. h. von der Wärmemenge, welche dieselben bei 1<sup>o</sup> Temperatursteigerung aufzunehmen vermögen. Außer der Menge der Verbrennungsprodukte müssen wir also die Wärmeaufnahmefähigkeit der Gewichtseinheit oder der Volumeinheit, das ist die spezifische Wärme der einzelnen Verbrennungsprodukte, kennen. Die Kenntnis der spezifischen Wärmen ist um so wichtiger, als wir ja auch die Wärmemenge, welche von irgend einer Feuerungsanlage durch die Abgase fortgeführt wird, nur berechnen können, wenn wir wissen, welche Wärmemengen dieselben pro 1 m<sup>3</sup> bei 1<sup>o</sup> Temperatursteigerung aufnehmen. Wir haben hier die sogenannte „wahre“ von der „mittleren“ spezifischen Wärme zu unterscheiden. Die erstere, die wahre

spezifische Wärme, drückt die Wärmemenge aus, welche erforderlich ist, um  $1\text{ m}^3$  des betreffenden Gases (oder  $1\text{ kg}$ , wenn man die spezifische Wärme auf die Gewichtseinheit bezieht) um  $1^\circ\text{C}$  zu erwärmen. Die mittlere spezifische Wärme drückt hingegen jene Wärmemenge aus, welche erforderlich ist, um  $1\text{ m}^3$  (oder  $1\text{ kg}$ ) des Gases von  $0^\circ$  bis zu der betreffenden Temperatur zu erwärmen, geteilt durch die Anzahl der Grade, auf welche das Gas erwärmt worden ist. Wollen wir die Wärmemenge kennen, welche ein Gas bei einer bestimmten Temperatur mit sich fortführt, so müssen wir die mittlere spezifische Wärme in Rechnung stellen. Wollen wir dagegen finden, welche Wärmemenge erforderlich ist, um ein Gas von der Temperatur  $t^0$  auf die Temperatur  $(t + 1^0)$  zu erwärmen, so ist dies durch die wahre spezifische Wärme ausgedrückt. Letztere steigt mit zunehmender Temperatur speziell bei Kohlensäure und Wasserdampf recht beträchtlich an, so daß ziemlich große Differenzen zwischen der wahren und der mittleren spezifischen Wärme bestehen. Für die sogenannten permanenten Gase, besonders Stickstoff, Kohlenoxyd und Sauerstoff, sind dagegen die Abweichungen gering.

Ferner haben wir noch zu berücksichtigen, daß die Gase eine andere Wärmemenge benötigen, wenn man sie während der Erwärmung sich ausdehnen läßt, als wenn man sie auf gleichbleibendem Volum hält. Im ersteren Falle haben wir die spezifische Wärme bei konstantem Druck  $c_p$ , in letzterem Falle die spezifische Wärme bei konstantem Volum  $c_v$ . Daß diese beiden Größen bei Gasen nicht gleich sein können, geht daraus hervor, daß sich ja jedes Gas beim Ausdehnen abkühlt. Würden wir also ein Gas bei gleichbleibendem Volum erwärmen, wodurch der Druck zunimmt, und hierbei die spezifische Wärme  $c_v$  finden, so würde sich das Gas bei nachheriger Ausdehnung bis auf den ursprünglichen Druck wieder etwas abkühlen und es wäre somit ein neuerlicher Wärmeaufwand erforderlich, um es auf die gewünschte Temperatur zu bringen. Die spezifische Wärme bei konstantem Druck ( $c_p$ ) ist daher stets größer als die spezifische Wärme bei konstantem Volum ( $c_v$ ). Das Verhältnis der beiden spezifischen Wärmen ist für permanente Gase stets das gleiche, nämlich  $1,40$ .

Die spezifischen Wärmen der Gase, mit denen wir uns hauptsächlich zu befassen haben, sind nicht durchwegs mit großer Genauigkeit bestimmt; namentlich bei höheren Temperaturen ist die experimentelle Behandlung dieser Frage schwierig und findet man daher ziemlich bedeutende Abweichungen unter den Angaben der einzelnen Forscher.

Die spezifische Wärme ist auch durchaus nicht bei allen Temperaturen gleich, sondern sie steigt bei allen Gasen mit der Temperatur; besonders stark zeigt sich dies bei der Kohlensäure und dem Wasserdampf, die ja bei hoher Temperatur dissoziieren und schon deshalb eine größere Wärmemenge zu ihrer Erwärmung verbrauchen. In den Werten dieser beiden Gase zeigen sich auch die größten Abweichungen bei den Untersuchungen verschiedener Forscher. Die spezifische Wärme der sogenannten permanenten Gase (z. B.  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ) zeigt nicht nur große Übereinstimmung darin, daß dieselbe auch bei höheren Temperaturen konstant ist, sondern diese Gase haben auch alle die gleiche spezifische Wärme, wenn man dieselbe auf  $1\text{ m}^3$  bezieht, und zwar ungefähr  $0,31$ . Gewöhnlich findet man die spezifische Wärme der Gase pro Kilogramm angegeben. Wir wollen hingegen unserem Grundsatz getreu bleiben, alle Zahlenwerte für die Gase auf  $1\text{ m}^3$  von  $0^\circ$  und  $760\text{ mm}$  Druck anzugeben,

da hierdurch die Berechnungen vereinfacht werden. Eine Tabelle im Anhang zeigt die spezifische Wärme der Gase, mit denen wir am häufigsten zu tun haben. v. Ihering<sup>1)</sup> hat die wahrscheinlichsten Werte für die verschiedenen spezifischen Wärmen der Kohlensäure zusammengestellt, die in nachstehender Tabelle für die Gewichtseinheit (1 kg) angegeben und auf die Raumeinheit (1 m<sup>3</sup>) umgerechnet sind.

Wahre spezifische Wärme der Kohlensäure.

Temperatur $t = ^\circ\text{C}$	Spezifische Wärme bei konstantem Volum $c_v$ pro 1 kg CO <sub>2</sub>	Spezifische Wärme bei konstantem Druck $c_p$	
		pro 1 kg CO <sub>2</sub>	pro 1 m <sup>3</sup> CO <sub>2</sub> (gemessen bei 0° und 760 mm)
0	0,143	0,189	0,372
100	0,160	0,205	0,403
500	0,225	0,270	0,532
1000	0,297	0,342	0,674
1400	0,338	0,383	0,756
2000	0,389	0,434	0,854
2500	0,423	0,468	0,922
3000	0,457	0,502	0,990
4000	0,525	0,570	1,123

Das Diagramm Fig. 12 zeigt die wahren spezifischen Wärmen der CO<sub>2</sub> pro 1 kg in graphischer Darstellung. Nach Mallard und Le Chatelier ist die mittlere spezifische Wärme der Kohlensäure ausgedrückt durch die Formel<sup>2)</sup>:

$$mc_v = 6,3 + 6,0 t \cdot 10^{-3} - 1,18 t^2 \cdot 10^{-6},$$

daraus berechnet sich

$$mc_p = 8,3 + 6,0 t \cdot 10^{-3} - 1,18 t^2 \cdot 10^{-6}.$$

Für den Wasserdampf bis zu 1000° gibt v. Ihering<sup>3)</sup> die Mallardsche Gleichung als die beste an. Dieselbe lautet:

$$mc_v = 5,68 + 0,00656 t \quad \text{und} \quad mc_p = 7,68 + 0,00656 t.$$

Hierin drückt  $m$  das Molekulargewicht des Wassers aus,  $c_v$  die spezifische Wärme bei konstantem Volum und  $t$  die Temperatur in Celsiusgraden. Oberhalb 2000° hält v. Ihering die Berthelotsche Formel für die richtigste; diese lautet:

$$mc_v = 16,2 + 0,0038 (t - 2000)$$

$$mc_p = 18,2 + 0,0038 (t - 2000)$$

Zwischen 1000 und 2000° gelten mittlere Werte einer nahezu geraden Verbindungslinie zwischen den beiden Kurven, die der Mallardschen und der Berthelotschen Gleichung entsprechen. Für die spezifische Wärme bei konstantem Druck ist bei Wasserdampf zu setzen  $c_p = 1,30 \cdot c_v$ .

Für Sauerstoff und Stickstoff läßt v. Ihering ebenfalls bis 2000° die Mallardsche Gleichung, nämlich:

$$mc_v = 4,8 + 0,0012 t$$

$$mc_p = 6,8 + 0,0012 t$$

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1901, S. 66. — <sup>2)</sup> v. Ihering, Gasmaschinen, Leipzig 1907, S. 142. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1901, S. 66.

gelten und über 3000° die Berthelotsche Formel:

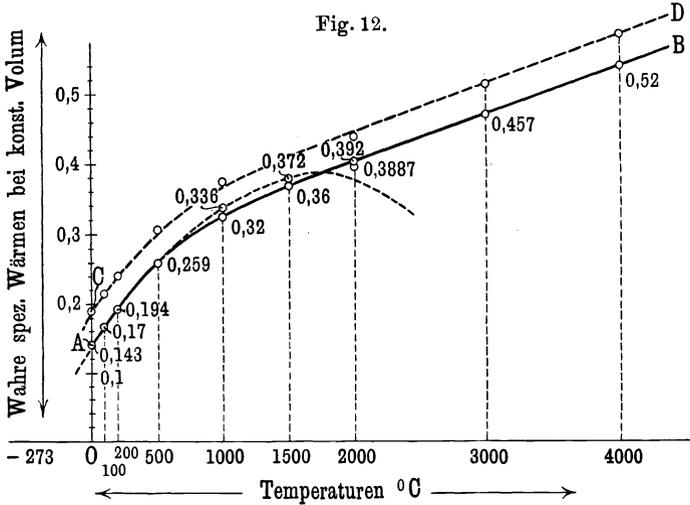
$$m c_v = 4,75 + 0,0032 (t - 1600)$$

$$m c_p = 6,75 + 0,0032 (t - 1600),$$

während zwischen 2000 und 3000° mittlere Werte gemäß einer nahezu geradlinigen Verbrennungskurve gelten.

Die spezifische Wärme  $c_p$  des CO beträgt nach Wiedemann<sup>1)</sup> pro 1 kg 0,2426, zwischen 26 und 198° pro 1 m<sup>3</sup> 0,306; für höhere Temperaturen können wir den S. 53 angegebenen Wert von 0,31 beibehalten<sup>2)</sup>.

Alle oben genannten sind wahre spezifische Wärmen. Die mittleren spezifischen Wärmen müssen aus den von den Kurven eingeschlossenen Flächen



berechnet werden. Für niedere Temperaturen von etwa 200° werden gewöhnlich die folgenden Größen der mittleren spezifischen Wärmen für die wichtigsten Verbrennungsprodukte verwendet:

	$c_p$	$c_v$
CO <sub>2</sub> (200°) . . . . .	0,2396	0,1714
H <sub>2</sub> O . . . . .	0,4805	0,3694
N <sub>2</sub> . . . . .	0,2438	0,1727

Formeln für die spezifische Wärme des Kohlenstoffs zwischen 523 und 873°<sup>3)</sup> und für Wasserstoff und Methan zwischen 20 und 208° sind von Mayer und Altmayer<sup>4)</sup> angegeben worden.

Wir haben schon bei den Verbrennungserscheinungen im allgemeinen (S. 46) hervorgehoben, daß jede chemische Reaktion mit einer bestimmten

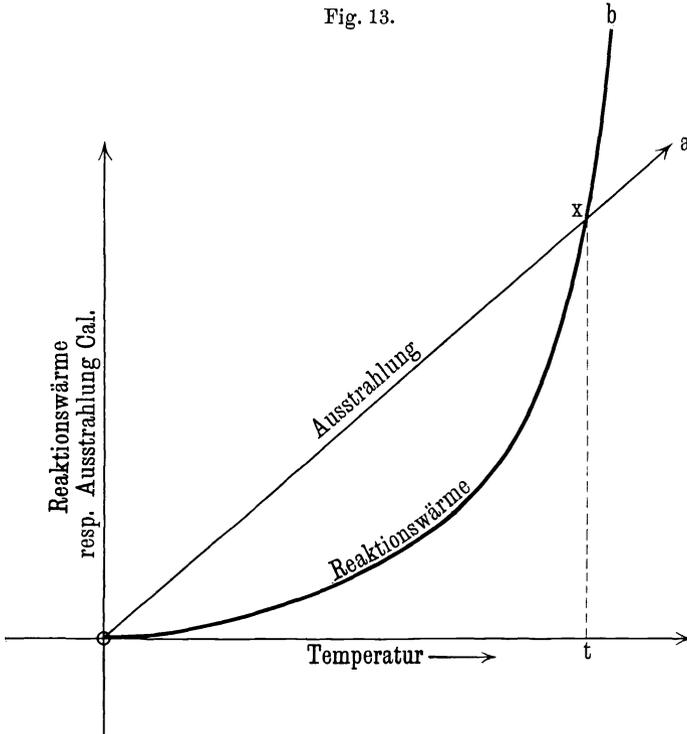
<sup>1)</sup> Nach Landolt-Börnstein, phys.-chem. Tabellen, S. 406. — <sup>2)</sup> Nach Pier, Zeitschr. f. Elektrochemie 1909, S. 536 und Journ. f. Gasbel. 1910, S. 210 sind die spezifischen Wärmen:

$$\begin{aligned} \text{für H}_2\text{O} & \dots 6,065 + 5,10^{-4}t + 0,2 \cdot 10^{-9}t^3, \\ \text{„ N}_2 & \dots 4,900 + 4,5 \cdot 10^{-4}t, \\ \text{„ H}_2 & \dots 4,700 + 4,5 \cdot 10^{-4}t, \end{aligned}$$

gültig zwischen 0 und 2350°. — <sup>3)</sup> Der Kohlenstoff zeigt bei höheren Temperaturen ebenfalls eine stark steigende spezifische Wärme; vgl. auch Voigt, Ztschr. des österr. Gasvereins 1909, S. 593, und Kunze, Ann. d. Phys., Bd. 14. — <sup>4)</sup> Über das Methan-gleichgewicht, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 238.

Geschwindigkeit verläuft und diese Geschwindigkeit sehr wesentlich mit der Temperatur steigt. Bei der Vereinigung brennbarer Stoffe mit Sauerstoff können wir die Reaktion bei gewöhnlicher Zimmertemperatur gar nicht wahrnehmen, weil sie mit einer zu geringen Geschwindigkeit verläuft. Erwärmen wir die brennbare Substanz, so wird die Reaktionsgeschwindigkeit zwar steigen, aber bei niederen Temperaturen bleibt sie deshalb noch immer außerordentlich klein, so daß eine eigentliche Verbrennung nicht wahrzunehmen ist. Durch die Vereinigung brennbarer Stoffe mit Sauerstoff wird zwar immer Wärme erzeugt, und diese müßte den verbrennenden Stoff auch bei ganz geringer Vereinigung von selbst auf eine höhere Temperatur bringen,

Fig. 13.



wenn nicht gleichzeitig Wärmeausstrahlung stattfinden würde. Ist die Wärmeausstrahlung größer wie die bei der allmählichen Vereinigung mit dem Sauerstoff entstehende Wärme, so kann eine Temperaturerhöhung nicht stattfinden; ist sie ebenso groß, so herrscht Wärmegleichgewicht und es kann eine weitere Erwärmung des Körpers ebenfalls nicht stattfinden. Steigern wir die Temperatur durch Wärmezufuhr von außen auf einen höheren Grad, so wird die Reaktionsgeschwindigkeit zwar größer, aber auch die Wärmeausstrahlung wird größer. Letztere steigt proportional der Temperaturdifferenz des Körpers gegen seine Umgebung. Die Reaktionsgeschwindigkeit, die bei gewöhnlichen Temperaturen so außerordentlich gering ist, nimmt dagegen bei höheren Temperaturen außerordentlich viel rascher zu. Es gibt daher einen Punkt, wo die durch die Reaktionsgeschwindigkeit erzeugte Wärme größer ist als die nur proportional der Temperaturdifferenz steigende Ausstrahlung. Fig. 13 zeigt dies graphisch dargestellt. Die Linie  $o-a$  drückt die Zunahme der

Ausstrahlung mit der Temperatur aus, die Kurve  $o-b$  hingegen die in der Zeiteinheit entwickelte Reaktionswärme. Die beiden Linien schneiden sich im Punkte  $x$ . Unterhalb dieser Temperatur ist die Wärmeentwicklung zufolge der langsamen Verbrennung geringer als die Ausstrahlung. Der Körper erwärmt sich daher nicht von selbst. Oberhalb der Temperatur  $t$  ist hingegen die Wärmeentwicklung viel größer als die Ausstrahlung und der brennbare Stoff wird sich somit von selbst weiter erhitzen und durch diese Temperaturzunahme von selbst seine eigene Verbrennungsgeschwindigkeit steigern. Wenn man also den brennbaren Stoff nur wenig über die Temperatur  $t$  erhitzt, so erwärmt sich derselbe weiter und steigert die Verbrennungsgeschwindigkeit ins Ungemessene. Diese Temperatur  $t$  ist also die Entzündungstemperatur des betreffenden Körpers. Die Entzündungstemperatur hängt nicht nur von der Substanz des Körpers und von dem Sauerstoffgehalt der Verbrennungsluft ab, sondern auch von einer Reihe anderer Umstände, welche die Reaktionsgeschwindigkeit beeinflussen. Wir haben schon früher (S. 46) bemerkt, daß sich die Reaktionsgeschwindigkeit durch die Gegenwart bestimmter Stoffe (Katalysatoren) wesentlich verändern läßt. Mehr oder weniger wirken alle fremden Körper beschleunigend oder verzögernd auf die Reaktionsgeschwindigkeit. Es werden daher auch alle fremden Körper Einfluß auf die Entzündungstemperatur von brennbaren Stoffen haben. Sehr deutlich bemerkt man dies beim Platinmohr, das zur Zündung von Gasen verwendet wird. Das Platinmohr steigert die Reaktionsgeschwindigkeit eines Gemisches von Gas und Luft derart, daß die entwickelte Wärme schon bei gewöhnlicher Außentemperatur höher ist als die Ausstrahlung. Daher erfolgt die selbsttätige weitere Erwärmung, d. h. die Entzündung des Gasgemisches, schon bei gewöhnlicher Außentemperatur. Umgekehrt können andere Körper, welche die Ausstrahlung vermehren, wie z. B. irgend welche feste Stoffe, oder solche, welche die Reaktionsgeschwindigkeit verzögern, wie z. B. indifferenten Gase in einem brennbaren Gasgemisch, die Entzündungstemperatur hinaufsetzen. Da man aber praktisch die Entzündungstemperaturen von Gasen doch nur in irgend welchen Gefäßen erproben kann, so üben die Wandungen des Gefäßes stets einen gewissen Einfluß auf die Entzündungstemperatur aus und daher kann man dieselben nicht mit großer Genauigkeit festsetzen.

Dixon und Coward leiteten das zu untersuchende Gas durch ein Rohr aufwärts zu einer Düse, die von einem elektrisch erhitzten weiteren Rohr umgeben war. Durch letzteres wurde Luft oder Sauerstoff zugeführt und die Temperatur an der Düse gemessen. Bei dieser Versuchsanordnung wurden trotz großer Änderungen der Abmessungen, speziell für Wasserstoff, bis auf  $10^{\circ}$  kontante Resultate erhalten. Die gefundenen Entzündungstemperaturen sind folgende:

Gas	In Sauerstoff °C	In Luft °C	Gas	In Sauerstoff °C	In Luft °C
H <sub>2</sub> . . . .	585	585	H <sub>2</sub> S . . . .	227	364
CO . . . .	650	651	CH <sub>4</sub> . . . .	556—700	650—750
(CN) <sub>2</sub> . . . .	811	—	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> . . . .	520—630	520—630
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> . . . .	510	540	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> . . . .	490—570	—
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> . . . .	428 (?)	429	NH <sub>3</sub> . . . .	700—860	—

Von Mallard und Le Chatelier waren früher folgende Entzündungstemperaturen gefunden worden:

Gasgemisch	Entzündungs- temperatur ° C
$H_2 + \frac{1}{2} O_2$ . . . . .	} 555
$H_2 + \frac{1}{2} O_2 + N_2$ . . . . .	
$H_2 + \frac{1}{2} O_2 + H_2$ . . . . .	
$H_2 + \frac{1}{3} O_2 + O_2$ . . . . .	530
$H_2 + \frac{1}{2} O_2 + CO_2$ . . . . .	580
$CH_4 + 2 O_2 + O_2$ . . . . .	} 650
$CH_4 + 2 O_2 + N_2$ . . . . .	
$CH_4 + 2 O_2 + CH_4$ . . . . .	
$CO + \frac{1}{2} O_2$ . . . . .	} 655
$CO + \frac{1}{2} O_2 + N_2$ . . . . .	
$CO + \frac{1}{2} O_2 + CO$ . . . . .	
$CO + \frac{1}{2} O_2 + O_2$ . . . . .	
$CO + \frac{1}{2} O_2 + CO_2$ . . . . .	700

Ferner sind an älteren Angaben zu finden:

	Entzündungs- temperatur ° C		Entzündungs- temperatur ° C
für $CS_2 + O_2$ . . . . .	228	für Fichtenholz . . . . .	395
„ Torf, trocken . . . . .	225	„ Steinkohle . . . . .	326
„ Fichtenholzkohle . . . . .	280	„ Koks . . . . .	Rotglut

Durch geringere Drucke wird die Entzündungstemperatur zufolge der Verringerung der Reaktionsgeschwindigkeit hinaufgesetzt, und umgekehrt sinkt sie bei der Komprimierung der Gase. Bei einer halben Atmosphäre Druck steigt die Entzündungstemperatur bei Wasserstoff um  $50^\circ$ , bei zwei Atmosphären sinkt sie um  $30^\circ$ . Die obige Tabelle zeigt, daß die Gegenwart von Stickstoff in der Luft die Entzündungstemperatur hinaufsetzt, daß aber die Steigerung derselben bei vielen Gasen unwesentlich ist.

Die außerordentlich niedere Entzündungstemperatur des Schwefelkohlenstoffs läßt sich zeigen, wenn man denselben in eine Porzellanschale gießt und mit einem Glasstab berührt, der nur schwach erwärmt ist. Die Entzündung tritt noch lange vor Rotglut des Glasstabes ein.

Durch die Entzündungstemperatur ist auch die Entzündungsgeschwindigkeit bedingt. Diese hängt jedoch auch noch von einer großen Reihe anderer Umstände ab. Als Entzündungsgeschwindigkeit oder Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Flamme bezeichnen wir die Anzahl von Metern, die eine Flamme in einem Gasgemisch pro Sekunde zurücklegt. Bringen wir in ein Rohr ein entzündliches Gemisch eines brennbaren Gases mit Sauerstoff oder Luft und entzünden das Gemisch an dem einen Ende des Rohres, so schreitet die Flamme mehr oder weniger schnell von hier aus gegen das andere Ende vor. Die Fortpflanzung der Flamme ist dadurch bedingt, daß die Gas-

schichten, welche sich in der unmittelbaren Nähe der Flamme befinden, von dieser durch Strahlung und Leitung erwärmt werden. Sie müssen auf die Entzündungstemperatur des Gasgemisches gebracht werden, ehe ein Fortschreiten der Flamme stattfinden kann. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist daher erstens von der Temperatur abhängig, die bei der Verbrennung entsteht (Flammentemperatur), denn durch diese ist die Wärmeausstrahlung auf die benachbarten Gasschichten bedingt; zweitens von der Entzündungstemperatur, drittens von der spezifischen Wärme des Gasgemisches und viertens von den durch Ausstrahlung an die Umgebung verloren gehenden Wärmemengen. Die Flammentemperatur, welche wir später genauer besprechen werden, hängt von der Verbrennungswärme des Gases und wieder von der spezifischen Wärme der Verbrennungsprodukte ab. Die Entzündungstemperatur wird, wie oben erörtert, von der Reaktionsgeschwindigkeit beeinflusst. Es ist also ersichtlich, daß eine Berechnung der Entzündungsgeschwindigkeit auf unüberwindliche Komplikationen stößt. Auch die Geschwindigkeit, mit der die Wärme durch Leitung und Strahlung auf die benachbarten Gasschichten übertragen wird, kann nicht ohne weiteres angegeben werden. Die Entzündungsgeschwindigkeit von Gasgemischen kann also nur durch den Versuch ermittelt werden.

Immerhin läßt sich aus dem oben Gesagten erkennen, daß die Entzündungsgeschwindigkeit um so größer ist, je höher die Flammentemperatur ist; ferner, daß sie um so größer ist, je niedriger die Entzündungstemperatur ist, und schließlich, daß sie um so größer ist, je besser das Gasgemisch die Wärme leitet, je wärmer das angewendete Gasgemisch und je geringer dessen spezifische Wärme ist, denn in diesem Falle wird ja die Entzündungstemperatur rascher erreicht.

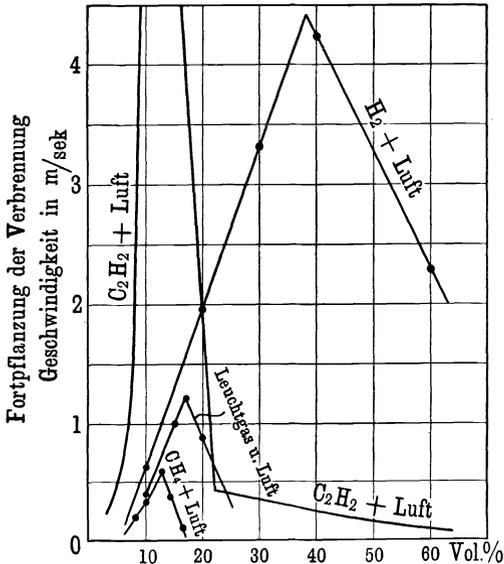
Die Flammentemperatur ist um so höher, je mehr sich das Gasgemisch der theoretischen Mischung von Gas und Sauerstoff, wie sie zu einer vollkommenen Verbrennung nötig ist, nähert. Daher ist auch die Entzündungsgeschwindigkeit jedes Gases im allgemeinen um so größer, je mehr sich der Sauerstoffzusatz dem theoretischen nähert. Durch Beimischung von Gasen, die an der Verbrennung nicht teilnehmen und daher die Flammentemperatur herabsetzen, wird auch die Entzündungsgeschwindigkeit wesentlich verringert. Die Entzündung eines Gemisches von Wasserstoff und Sauerstoff (Knallgas) erfolgt daher viel rascher, als die Entzündung eines Gemisches von Wasserstoff mit Luft. Aus dem oben Gesagten ersehen wir ferner, daß der Wasserstoff, welcher die Wärme viel besser leitet als alle anderen Gase, eine höhere Entzündungsgeschwindigkeit haben muß als alle anderen Gase.

Erhöhter Druck erhöht die Entzündungsgeschwindigkeit, weil die Gasschichten näher aneinander heranrücken und daher die Wärmeübertragung von Schicht zu Schicht rascher erfolgt. Die kleinen Drucke jedoch, die bei der Erzeugung und Verwendung der Gase üblich sind und die nach Millimetern Wassersäule gemessen werden, sind ohne meßbaren Einfluß. Die Gegenwart fester Körper, welche die Flamme abkühlen, z. B. die Wandungen eines Rohres, verringern die Entzündungsgeschwindigkeit.

Kontaktsubstanzen, welche durch ihre bloße Gegenwart die Reaktion beschleunigen, wie z. B. Platin, erhöhen auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Zündung. Ebenso wirken zerstoßene Ziegelsteine schon bei 300° auf ein Gemisch von Wasserstoff und Sauerstoff, die Vereinigung beschleunigend.

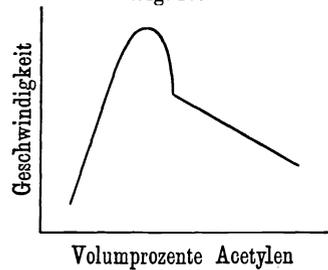
Fig. 14 u. 15<sup>1)</sup> zeigen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Flamme in Mischungen von Luft mit Wasserstoff, Sumpfgas, Leuchtgas und Acetylen<sup>2)</sup>. Aus dieser graphischen Darstellung ist ersichtlich, daß das Maximum der Geschwindigkeit mit der theoretisch günstigsten Mischung nicht ganz zusammenfällt. Die Unterschiede rühren daher, daß eben nicht allein die Reaktionsgeschwindigkeit, sondern auch das Wärmeleitungsvermögen für die Entzündungsgeschwindigkeit maßgeblich sind. Der Wasserstoff hat ein höheres Wärmeleitungsvermögen als die anderen Gase, und daher liegt das Maximum der Entzündungsgeschwindigkeit von Wasserstoff-Luftmischungen bei höheren Gehalten an Wasserstoff, als der theoretischen Mischung entspricht. Das Acetylen zeigt ein Verhalten, welches von dem der anderen Gase wesentlich abweicht. Der Knick in der Kurve von  $C_2H_2$  in nebenstehendem Diagramm entspricht dem Punkte, wo Abscheidung vom

Fig. 14.



Der Knick in der Kurve von  $C_2H_2$  in nebenstehendem Diagramm entspricht dem Punkte, wo Abscheidung vom

Fig. 15.



Kohlenstoff bei der Verbrennung beginnt.

Wenn ein explosives Gasluftgemisch in einem Gasbehälter oder einem anderen Gefäß unter Druck steht und

man gewährt dem Gase den Austritt aus einer Öffnung, so ist die Auströmungsgeschwindigkeit durch Überdruck und spezifisches Gewicht des Gases bestimmt. Entzündet man das Gasgemisch an der Austrittsstelle, so kann eine Explosion im Inneren des Behälters nur dann erfolgen, wenn die Auströmungsgeschwindigkeit kleiner ist als die Entzündungsgeschwindigkeit, das ist bei Steinkohlengas nach obigem Diagramm maximal 1,2 m/Sek.

Bei Verwendung von reinem Sauerstoff erhält man

für CO eine Entzündungsgeschwindigkeit von 2 m/sek.,  
 "  $H_2$  " " " " 20 "

CO hat die geringste Entzündungsgeschwindigkeit von allen technisch verwendeten Gasen,  $H_2$  die größte. Bei höheren Temperaturen wird die Entzündungsgeschwindigkeit vergrößert, weil die Entzündungstemperatur rascher erreicht wird. Umgekehrt wird durch Abkühlung des Gasgemisches die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Zündung kleiner. In engen Röhren ist

<sup>1)</sup> Nach v. Jüptner, Chem. Technol. d. Energien, I. Buch, 2. Teil, S. 15 u. 16. Verl. Deuticke, Wien 1906. — <sup>2)</sup> Über die Entflammungsgeschwindigkeit von Steinkohlengas-Luftgemischen siehe auch Meunier, Chem.-Ztg. 1911, Nr. 124, u. Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1190.

naturgemäß die Abkühlung der Flamme durch die Rohrwandungen eine sehr beträchtliche. Daher wird in solchen die Verbrennungsgeschwindigkeit derart verlangsamt, daß sie bei bestimmten geringen Dimensionen überhaupt gleich 0 wird und somit in solchen Röhren ein Fortschreiten der Flamme überhaupt nicht mehr möglich wird. Für ein Gemisch von Luft mit 10,4 Proz. Methan stellt sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit  $V$  der Flamme in Röhren vom Durchmesser  $d$  mm bei Zimmertemperatur wie folgt:

$d$	$V$
3,2 mm . . . . .	0,00 m/sek.
5,5 " . . . . .	0,22 "
8,0 " . . . . .	0,39 "
9,5 " . . . . .	0,41 "
12,2 " . . . . .	0,47 "

In einem Rohre, dessen lichter Durchmesser kleiner als 3,2 mm ist, kann also ein Fortschreiten der Flamme bei gewöhnlicher Temperatur nicht stattfinden, und ebensowenig kann durch ein Drahtnetz, dessen Maschenweite kleiner als 3,2 mm ist, die Flamme des obigen Gasgemisches hindurchschlagen. Dies gilt jedoch natürlich nur unter der Voraussetzung, daß das Gasgemisch nicht erwärmt wird. In diesem Falle müßte die Maschenweite bedeutend kleiner sein, um das Durchschlagen zu verhindern, und daher haben auch die gewöhnlichen Sicherheitsdrahtnetze viel kleinere Maschen, denn man muß ja mit dem Heißwerden dieser Drahtnetze rechnen.

Die Wirkung der Abkühlung auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Flamme zeigt sich auch deutlich in einem weiteren Glasrohre, das mit einem brennbaren Gasgemisch gefüllt ist. Entzündet man das Gasgemisch, so schreitet die Flamme in Form einer konkav gewölbten Fläche durch das Rohr fort. Die Wölbung der Flamme rührt daher, daß die Fortpflanzung in der Mitte des Rohres schneller ist als an den Wandungen, wo eine Abkühlung der Flamme stattfindet, so daß also die Entzündung von der Achse des Rohres aus gegen die Peripherie erfolgt.

Durch Wirbelbewegungen im Gase wird eine Erhöhung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Verbrennung hervorgerufen, weil dadurch eine raschere Übertragung der Wärme von Schicht zu Schicht stattfindet.

Eine interessante Erscheinung bei der Verbrennung von Gasen hat Bone<sup>1)</sup> gefunden. Läßt man Gas aus einem Rohre ausströmen und mischt allmählich Luft zu, so wird zufolge der größeren Verbrennungsgeschwindigkeit die Flamme immer kürzer. Ist schließlich die Verbrennungsgeschwindigkeit größer als die Ausströmungsgeschwindigkeit, so tritt die Flamme in das Rohr ein und der Brenner schlägt zurück. Dieses Zurückschlagen kann jedoch nicht stattfinden, wenn man an der Öffnung des Rohres ein engmaschiges Drahtsieb oder irgend einen Abschluß mit feinen Kanälchen anbringt. Die Flamme kann durch diese Kanälchen nicht eindringen, weil sie hier zu rasch abgekühlt würde und somit nicht nach rückwärts vorschreiten kann. Je feiner diese Kanälchen sind, um so sicherer wird das Zurückschlagen verhindert. Bone verwendet nun an der Ausströmungsöffnung eine Platte aus porösem Schamotte-material. Wenn man dann ein Gemisch von Gas und Luft unter einem Druck von nur 3 bis 5 mm Wassersäule durch diese poröse Membrane austreten läßt

<sup>1)</sup> Bone, Wilson und M. Court, Journ. of Gaslighting 1910, p. 711; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 603.

und anzündet, so brennt die Flamme zunächst wie gewöhnlich. Die Oberfläche des Diaphragmas erhitzt sich jedoch allmählich bis zur Glut und dann findet die Verbrennung vollständig an der Oberfläche des Diaphragmas statt. Die Verbrennungsgeschwindigkeit wird nämlich auch um so größer, je höher die Temperatur ist. Wenn also die Enden der feinen Kanälchen, d. h. die Oberfläche des Diaphragmas, heiß geworden sind, so ist dort die Verbrennungsgeschwindigkeit so groß, daß die Gase nicht mehr außerhalb dieser Kanälchen, sondern in den Kanälchen brennen. Es zeigt sich also dann keine Flammenerscheinung wie gewöhnlich, sondern die Oberfläche des Diaphragmas glüht dauernd fort. Die Rückwand des Diaphragmas bleibt dabei vollständig kalt, weil dort keine Verbrennung stattfindet und eine ständige Kühlung durch das Gas Platz greift. Das Gasluftgemisch wird also beim Hindurchdringen durch die Kanälchen allmählich vorgewärmt. Zunächst erreichte Bone bei freier Ausstrahlung der Oberfläche eine Temperatur von  $850^{\circ}\text{C}$ . Die Verbrennung findet dabei vollständig unabhängig von der äußeren Atmosphäre statt, weil ja das Gasluftgemisch genügend sauerstoffreich gemacht werden kann, um die vollkommene Verbrennung zu bewirken. Bone wandte dann an Stelle eines Diaphragmas eine Schicht von kleinen Magnesiakörnern an, die etwa 5 bis 10 mm Durchmesser hatten. Auch hierbei kann das Zurückschlagen vermieden werden. Die höchste Temperatur, welche Bone auf diese Weise erreichte, betrug  $2000^{\circ}\text{C}$ .

Bisher haben wir die Entzündung von Gasgemischen in offenen Gefäßen betrachtet. Die Entzündungserscheinungen verlaufen in ganz anderer Weise, wenn die Entzündung in geschlossenen Gefäßen vorgenommen wird. Es erfolgt dann, zunächst an der Zündstelle, eine beträchtliche Druckerhöhung, welche die benachbarten Gasschichten derart komprimiert, daß durch die Kompressionswärme allein schon die Entzündungstemperatur erreicht wird. Die Entzündung pflanzt sich dann mit derselben Geschwindigkeit durch das geschlossene Gefäß hindurch fort, mit der sich eine Druckwelle überhaupt durch ein Gas fortpflanzt. Es ist dies die Schallgeschwindigkeit. Bei starker Kompression wird die Fortpflanzungsgeschwindigkeit noch wesentlich größer als die Schallgeschwindigkeit beim Druck des kalten Gases, weil durch die Erwärmung des ganzen Gasgemisches ein höherer Druck entsteht.

Bei der Fortpflanzung von Flammen in geschlossenen Gefäßen haben wir es also mit einer ganz anderen Erscheinung zu tun, die man als die Explosionswellen bezeichnet. Die Geschwindigkeit derselben beträgt:

bei $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ . . . . .	2810 m/sek.
„ $\text{H}_2 + \text{Luft}$ . . . . .	2200 „
„ $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2$ . . . . .	2300 „

Mit zunehmendem Druck steigt auch die Geschwindigkeit der Explosionswelle. Sie beträgt:

bei 200 mm Druck . . . . .	2627 m/sek.
„ 760 „ „ . . . . .	2810 „
„ 1500 „ „ . . . . .	2872 „

Durch Gase, welche an der Verbrennung nicht teilnehmen, wird die Geschwindigkeit der Explosionswelle ebenfalls verändert. Im allgemeinen wird sie dadurch ermäßigt, durch überschüssigen Wasserstoff jedoch erhöht, weil zufolge des geringen spezifischen Gewichtes desselben auch die Schallgeschwindigkeit wesentlich zunimmt. Sie beträgt:

für $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + 3 \text{H}_2$ . . . . .	3530 m/sek.
„ $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2$ . . . . .	3270 „
„ $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + 1,5 \text{O}_2$ . . . . .	1227 „
„ $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2,5 \text{O}_2$ . . . . .	1710 „

Nach obigem kann eine Fortpflanzung der Entzündung in einem brennbaren Gasgemisch überhaupt nicht erfolgen, wenn die Flammentemperatur geringer ist als die Entzündungstemperatur. Durch die Anwesenheit verdünnender Gase, welche an der Reaktion nicht teilnehmen, kann die Flammentemperatur beliebig weit herabgedrückt werden. Sobald sie aber geringer geworden ist als die Entzündungstemperatur, kann ein selbsttätiges Fortschreiten der Flamme in dem Gasgemisch überhaupt nicht erfolgen, d. h., eine Entzündung des ganzen Gasgemisches von einer Stelle aus kann dann überhaupt nicht erfolgen.

Als verdünnende Gase können entweder Stickstoff oder andere inaktive Gase auftreten, oder auch ein Überschuß eines der Gase, die an der Verbrennung selbst teilnehmen. Gibt man z. B. einem Gemisch von Wasserstoff und Sauerstoff einen Überschuß von Sauerstoff zu, so bleibt dieser Überschuß den Verbrennungsprodukten beigemischt, er nimmt also einen Teil der Verbrennungswärme des Wasserstoffs auf, und daher wird sowohl die Flammentemperatur als auch die Entzündungsgeschwindigkeit geringer und bei großem Sauerstoffüberschuß kann die Flammentemperatur unter der Entzündungstemperatur bleiben, so daß bei einem bestimmten Sauerstoffüberschuß eine Entzündung des Gasgemisches nicht mehr stattfinden kann. Ganz ebenso liegt die Sache bei einem Überschuß des brennbaren Gases. Auch dieser Überschuß nimmt an der Verbrennung nicht teil und verringert daher die Flammentemperatur, eventuell soweit, daß bei einem entsprechenden Überschuß des brennbaren Gases keine Entzündung des Gemisches erfolgen kann.

Gemische von brennbaren Gasen mit Luft oder Sauerstoff sind also nur innerhalb eines gewissen Bereiches der prozentischen Zusammensetzung entzündbar. Man nennt diesen Bereich den Entzündungsbereich oder Explosionsbereich und die Grenzen, bei denen eine Entzündung nicht mehr möglich ist, die Explosionsgrenzen. Die Entzündung erfolgt dann am raschesten und die Explosion ist dann am heftigsten, wenn in der Mischung Sauerstoff und brennbares Gas in dem Verhältnisse vorhanden sind, wie dies einer vollkommenen Verbrennung entspricht. Schon daraus geht hervor, daß Gase, die einen großen Sauerstoff- oder Luftbedarf für die Verbrennung haben, viel tiefere Explosionsgrenzen zeigen müssen, als Gase mit geringem Luftbedarf. Aus der nachstehenden Tabelle ist dies erkenntlich. Als untere Explosionsgrenze bezeichnet man jenen geringsten Gasgehalt, der in einem Gasluft- oder Gassauerstoffgemisch enthalten sein muß, um die Entzündbarkeit hervorzurufen. Als obere Explosionsgrenze ist derjenige Gasgehalt in Vol.-Proz. zu verstehen, bei dem die Entzündbarkeit des Gemisches wegen zu hohen Gasgehaltes eben wieder aufhört. Nachstehend die Explosionsgrenzen der wichtigsten Gase, wie sie von Bunte und Eitner gefunden wurden (s. Tab. a. f. S.).

Über den Begriff „Explosion“ ist seitens des Vereins Deutscher Ingenieure und der Privat-Feuerversicherungsgesellschaften eine Vereinbarung getroffen worden. Danach wird unter „Explosion“ eine auf dem Ausdehnungsbestreben von Gasen und Dämpfen beruhende Kraftäußerung verstanden,

gleichgültig, ob die Gase oder Dämpfe bereits vor der Explosion vorhanden waren oder erst bei derselben gebildet worden sind. Im Falle der Explosion von Behältern wird festgesetzt, daß die Wandung eine Trennung in solchem Umfange erleiden muß, daß durch die Ausströmung ein plötzlicher Ausgleich der Spannungen stattfindet.

Läßt man Gas in Luft ausströmen, so tritt die Möglichkeit einer Explosion erst dann ein, wenn die untere Explosionsgrenze erreicht ist. Also z. B. bei Steinkohlengas erst dann, wenn mehr als 7,9 Proz. Gas in der Luft enthalten

Gas	Explosionsgrenzen	
	Vol.-Proz. des brennbaren Gases im Gemisch mit Luft	
	untere	obere
$C_2H_2$ . . . . .	3,35	52,3
$C_2H_6O$ -Dampf . . . . .	3,95	13,65
$C_2H_4$ . . . . .	4,1	14,6
$CH_4$ . . . . .	6,1	12,8
Leuchtgas . . . . .	7,9	19,1
$H_2$ . . . . .	9,45	66,4
$CO + H_2$ . . . . .	12,4	66,75
$CO$ . . . . .	16,5	74,95

sind. Bei Wassergas sogar erst dann, wenn die Luft 12,4 Proz. desselben enthält. Ebenso bedingt die untere Explosionsgrenze die Entzündbarkeit einer Gasflamme aus größerer Entfernung. Das Gas mischt sich ja beim Ausströmen mit der umgebenden Luft, und die Verdünnung des Gases durch die beigemischte Luft ist um so größer, je weiter sich das Gas von der Ausströmungsöffnung entfernt. Die Flamme ist dann nur von jenem Punkt aus entzündbar, wo ein Gasgemisch vorhanden ist, das der unteren Explosionsgrenze entspricht. Eine Steinkohlengasflamme ist daher bei gleicher Ausströmungsöffnung und gleicher Ausströmungsgeschwindigkeit von größerer Entfernung aus entzündbar, als eine Wassergasflamme. Dagegen ist im Mischrohr eines Bunsenbrenners nicht die Luft, sondern das Gas im Überschuß vorhanden. Dieses Gemisch ist nur entzündbar, wenn der Gasgehalt die obere Explosionsgrenze noch nicht erreicht hat. Eine Entzündung des Gasgemisches im Mischrohr eines Bunsenbrenners, die das sogenannte „Zurückschlagen“ einer Flamme hervorruft, ist daher um so leichter möglich, je geringer der Gasgehalt dieses Gemisches oder je höher die obere Explosionsgrenze ist. Daher schlägt ein mit Wassergas betriebener Bunsenbrenner viel leichter zurück, als ein solcher mit Steinkohlengas. Ebenso führt eine Beimischung von Luft, die in einem Gase enthalten ist, welches sich in einem geschlossenen Gefäße befindet, nur dann zur Explosionsfähigkeit, wenn der Gasgehalt die obere Explosionsgrenze nicht erreicht. So z. B. ist eine Beimischung von 60 Proz. Luft im Steinkohlengas (d. i. 40 Proz. Gasgehalt im Gemisch) noch ungefährlich, weil dieses Gemisch zwar beim Ausströmen aus einem Gefäß in die Luft entzündbar ist, aber das Gemisch an sich nicht explosiv ist. Der gleiche Luftzusatz zum Wassergas ist dagegen bereits gefährlich, weil eben dieser Prozentsatz beim Wassergas bereits in den Explosionsbereich (12,4 bis 66,75 Proz.) fällt.

Bei der Entzündung von Gasgemischen ist auch das Volumen der zündenden Wärmequelle (Zündflamme oder elektrischer Funken) maßgebend, insofern als eine zu kleine Zündquelle ein Gasgemisch nicht mit Sicherheit zur Zündung bringt, so daß dadurch das Entzündungsbereich eingengt erscheint. Eine Vergrößerung der Zündflamme erweitert dasselbe dann; hat jedoch die Zündflamme die Größe von  $1 \text{ cm}^3$  erreicht, so ist eine weitere Vergrößerung ohne Belang.

Die Entzündbarkeit von Gemischen brennbarer Gase mit Luft oder Sauerstoff ist auch an die Gegenwart von Wasserdampf gebunden. Vollständig trockene Gasgemische können nicht zur Entzündung gebracht werden. Der Wasserdampf wirkt hierbei als Katalysator (S. 46). Glühendes Platin vermag jedoch ebenfalls z. B. die Vereinigung von vollständig trockenem Kohlenoxyd mit Sauerstoff herbeizuführen<sup>1)</sup>.

Die Zusammensetzung der Verbrennungsgase ist nach dem vorher Gesagten leicht zu berechnen, wenn es sich um verbrennende Gase handelt. Schwieriger ist die Berechnung bei verbrennenden Flüssigkeiten oder festen Stoffen, wenn dieselben sauerstoffhaltig sind. Handelt es sich um sauerstofffreie Brennstoffe, so ist zu berücksichtigen, daß aus einem Molekül  $\text{O}_2$  stets ein Molekül  $\text{CO}_2$  entsteht; daß daher, wenn der Brennstoff keinen Sauerstoff enthält, die Summe der Vol.-Proz.  $\text{CO}_2$  und des überschüssigen  $\text{O}_2$  ebenso groß sein muß, wie der Sauerstoffgehalt der Luft, also 21 Proz. Bei wasserstoffhaltigen Brennstoffen wird dagegen ein Teil des Sauerstoffs der Luft in Form von Wasserdampf niedergeschlagen, und daher wird bei diesen die Summe von  $\text{CO}_2$  und  $\text{O}_2$  in den Verbrennungsgasen eine kleinere sein müssen als 21 Proz.

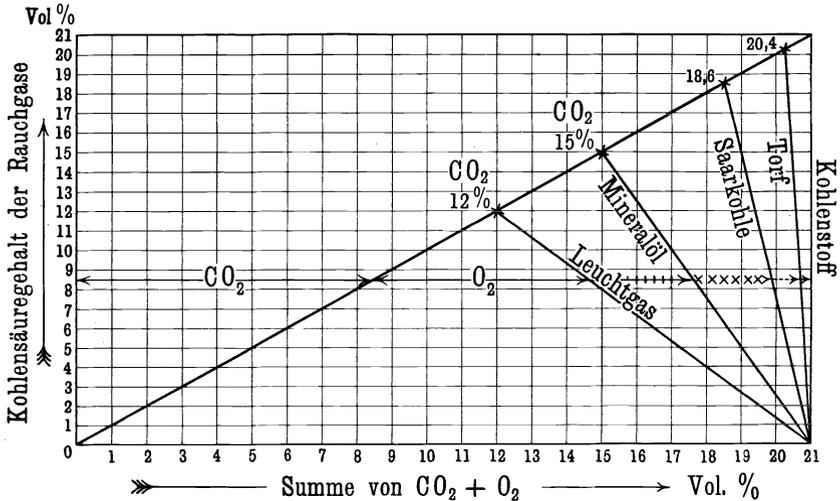
Bei sauerstoffhaltigen Brennstoffen ist zu bedenken, daß der Sauerstoffgehalt des Brennstoffs einen Teil des vorhandenen Wasserstoffs als Wasser bindet und nur ein Rest des vorhandenen Wasserstoffs für die Verbrennung verfügbar bleibt. Bei festen und flüssigen Brennstoffen können wir nicht mit Raumteilen rechnen, sondern wir müssen hier die Rechnung mit Gewichtsteilen zu Hilfe nehmen. 16 Gewichtsteile Sauerstoff beanspruchen zur Wasserbildung zwei Gewichtsteile Wasserstoff oder, wenn H die Gewichtsmenge Wasserstoff und O die Gewichtsmenge vom Sauerstoff ausdrückt, welche in dem Brennmaterial enthalten ist, so beträgt der für die Verbrennung verfügbare Wasserstoff  $\text{H} - \frac{\text{O}}{8}$  Gewichtsteile. Man nennt dies den disponiblen Wasserstoff. Je

mehr disponibler Wasserstoff in einem Brennstoff enthalten ist, desto kleiner ist die Summe von  $\text{O}_2 + \text{CO}_2$  in den Verbrennungsgasen. Die graphische Darstellung Fig. 16<sup>2)</sup> gibt ein bequemes Mittel an die Hand, aus dem in den Abgasen gefundenen  $\text{CO}_2$ -Gehalt und aus dem maximalen  $\text{CO}_2$ -Gehalt, welchen ein bestimmtes Brennmaterial liefern kann, den  $\text{O}_2$ -Gehalt zu ermitteln. Trägt man als Ordinaten die  $\text{CO}_2$ -Prozente, als Abszissen die Summe von  $\text{CO}_2$  und  $\text{O}_2$  in Vol.-Proz. ein, so gibt die Diagonale die Grenze zwischen  $\text{CO}_2$  und  $\text{O}_2$  für die Verbrennung von C in Luft. Die Summe beider ist immer 21. Sucht man nun den Punkt auf der Diagonale, welcher dem Maximalgehalt an  $\text{CO}_2$  bei Verbrennung irgend eines Stoffes entspricht, und verbindet man diesen Punkt mit der anderen Ecke des Rechteckes, wie dies Fig. 16

<sup>1)</sup> Dixon, Journ. of Gaslighting 1910, p. 47. — <sup>2)</sup> Nach H. Bunes „Gas-kurs“, München 1906, S. 86.

zeigt, so erhält man eine Linie, deren Punkte von der Ordinatenachse soweit entfernt sind, als dies der Summe von CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> entspricht, denn die Lage der Begrenzungslinie für den Sauerstoff ist durch den vorgenannten Punkt auf der Diagonale und durch den Punkt 21 auf der Abszissenachse bestimmt. Hat man nun z. B. ein Leuchtgas, welches bei vollkommener Verbrennung 12 Proz. CO<sub>2</sub> in den Abgasen liefert und zieht dementsprechend die Linie 12 — 21, hat man ferner bei der Verbrennung des Gases in irgend einem Heizapparat, z. B. 8,5 Proz. CO<sub>2</sub> gefunden, so braucht man nur den korrespondierenden Punkt auf der Diagonale zu ermitteln und die horizontale

Fig. 16.



Linie durch diesen zu ziehen, um in der Strecke rechts von der Diagonale bis zu der für Leuchtgas ermittelten Linie die Größe des O<sub>2</sub>-Gehaltes der Verbrennungsgase zu erhalten.

Der maximale CO<sub>2</sub>-Gehalt eines Brennstoffes mit C-Gewichtsprozenten Kohlenstoffgehalt und H-Gewichtsprozenten disponiblen Wasserstoffgehalt berechnet sich aus folgender Überlegung:

12 Gewichtsteile C verbinden sich mit 32 Gewichtsteilen O<sub>2</sub>, während nur 4 Gewichtsteile Wasserstoff (2 H<sub>2</sub>) sich mit 32 Gewichtsteilen O<sub>2</sub> zu Wasser verbinden. Der disponible Wasserstoff nimmt daher dreimal soviel Sauerstoff auf als der Kohlenstoff. Werden im ganzen C + 3 H-Gewichtsteile Sauerstoff verbraucht, so entfallen auf den Kohlenstoff C-Gewichtsteile und von 21 Raum-

teilen Sauerstoff werden daher  $21 \cdot \frac{C}{C + 3H}$ -Raumteile an Kohlenstoff gebunden, indem dabei eben so viele Raumteile CO<sub>2</sub> entstehen. Der Rest des Sauerstoffes verbindet sich mit dem disponiblen Wasserstoff zu Wasser, das sich kondensiert. Die Verbrennungsgase bestehen daher aus

$$21 \cdot \frac{C}{C + 3H} \text{-Raumteilen CO}_2 + 79 \text{ Raumteilen N}_2.$$

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt beträgt daher in Vol.-Proz. gemäß der Proportion:

$$\left(21 \frac{C}{C + 3H} + 79\right) : 21 \frac{C}{C + 3H} = 100 : x. \quad x = \frac{21 C}{C + 2,37 H}.$$

C und H sind in dieser Formel in Gewichtsprozenten auszudrücken.

Beim Prozesse der Verbrennung überträgt sich die gesamte Verbrennungswärme auf die entstehenden Verbrennungsprodukte. Würde also während der Verbrennung keine Ausstrahlung von Wärme nach außen stattfinden, so müßte die gesamte Verbrennungswärme in den Verbrennungsprodukten wiedergefunden werden. In der Praxis trifft das niemals zu, weil, zufolge der hohen Temperatur, die im Momente der Verbrennung entsteht, eine lebhaftete Wärmeausstrahlung stattfindet. Allerdings wird andererseits auch der zur Flamme zugeführte Brennstoff durch diese vorgewärmt, aber die Ausstrahlung übersteigt die Vorwärmung in allen Fällen beträchtlich, so daß man in den Verbrennungsgasen nicht mehr die gesamte Verbrennungswärme wiederfindet. Die nachstehenden Berechnungen der Verbrennungstemperaturen geben daher stets höhere Zahlen, als der Wirklichkeit entspricht.

Kennen wir die spezifische Wärme der Verbrennungsprodukte und den Wärmeinhalt derselben, d. h. jene Wärmemenge, welche dieselben aufgenommen haben, so können wir die Temperatur, die bei der Verbrennung entsteht, in nachstehender Weise ermitteln.

Bezeichnen wir mit  $M$  die Menge der verbrannten Substanz, mit  $W$  die Verbrennungswärme der Masseneinheit, mit  $s$  die spezifische Wärme des Produktes der Verbrennung, mit  $m$  die Menge des Verbrennungsproduktes und mit  $t$  die Temperaturerhöhung, welche das Verbrennungsprodukt gegenüber der Temperatur der verbrennenden Substanz und der Verbrennungsluft erfährt, so ist zu setzen:

$$M \cdot W = s \cdot m \cdot t.$$

Daraus berechnet sich die Temperaturerhöhung

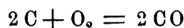
$$t = \frac{M \cdot W}{s \cdot m}.$$

Die Temperaturerhöhung ist also gleich der entstehenden Wärme ( $M \cdot W$ ) gebrochen durch die Wärmekapazität der Verbrennungsprodukte ( $s \cdot m$ ).

Die Wärmekapazität der Verbrennungsgase ist natürlich um so kleiner, je geringer die Menge derselben ist. Verbrennen wir eine Substanz mit einem Überschuß von Luft, so muß auch der Luftüberschuß auf die Temperatur der Verbrennung erhitzt werden. Die Wärmekapazität der Abgase wird also durch die überschüssige Luft bedeutend vermehrt, und die Verbrennungstemperatur wesentlich herabgesetzt. Das Maximum der Temperatur erhalten wir dann, wenn nur so viel Luft oder Sauerstoff zugeführt wird, um eine vollständige Verbrennung herbeizuführen, ohne daß jedoch ein Luftüberschuß vorhanden wäre. Praktisch ist dies nicht erreichbar. Es muß vielmehr stets ein kleiner Überschuß von Sauerstoff vorhanden sein, wenn man eine vollständige Verbrennung erzielen will. Aus diesem Grunde sowohl, wie auch zufolge der unvermeidlichen Verluste, die durch Strahlung und Ableitung der Wärme entstehen, kann die Temperatur, welche man aus obigen Formeln berechnet, niemals mit der wirklich erreichbaren Temperatur übereinstimmen, sondern man wird durch die Berechnung nur stets die obere Grenze finden können, die theoretisch überhaupt erreichbar wäre.

Den einfachsten Fall haben wir dann, wenn eine einheitliche Substanz mit Sauerstoff zu einem Produkt verbrennt, welches eine von der Temperatur unabhängige, also konstante spezifische Wärme besitzt. Diesen Fall

haben wir z. B. bei der Verbrennung des Kohlenstoffs mit Sauerstoff zu Kohlenoxyd. Nach der Formel



verbinden sich 24 Gew.-Tle. Kohlenstoff mit 32 Gew.-Tln. Sauerstoff zu 56 Gew.-Tln. Kohlenoxyd. Gemäß den Angaben über die Wärmetönung (S. 50) erhalten wir dabei pro 2 g-At. (das sind 24 g) Kohlenstoff 58,0 Kal. und es werden dabei 2 Mol. Kohlenoxyd (das sind 56 g CO) gebildet. Die spezifische Wärme des Kohlenoxyds beträgt nach S. 55 pro Kubikmeter 0,31, also pro 1 kg  $0,31 \frac{22,3}{28} = 0,247$  Kal. Da wir hier nach Gewichten rechnen wollen,

haben wir zu setzen:

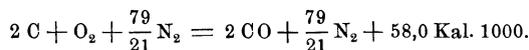
$$58000 = 56 \cdot 0,247 \cdot t$$

und erhalten  $t = 4180^{\circ}$ . Es berechnet sich also daraus die Verbrennungstemperatur des Kohlenstoffs in Sauerstoff zu Kohlenoxyd zu  $4180^{\circ}\text{C}$ . Hat der zur Verbrennung gelangende Kohlenstoff und die zugeführte Luft eine höhere Temperatur als  $0^{\circ}$  gehabt, so ist diese Temperatur der obigen hinzuzuzählen, denn die obige Zahl drückt ja nur die Temperaturerhöhung aus.

Für zusammengesetzte Substanzen und solche, die ein nicht einheitliches Verbrennungsprodukt liefern, berechnet sich die Temperaturerhöhung, welche die Verbrennung hervorruft, in ganz ähnlicher Weise, nur müssen wir dann die Summe der Verbrennungswärmen auf der einen Seite und die Summe der Wärmekapazitäten auf der anderen Seite in Rechnung stellen. Bezeichnen  $M_1, M_2, \dots, M_n$  die Mengen der einzelnen verbrennenden Stoffe,  $W_1, W_2, \dots, W_n$  die zugehörigen Verbrennungswärmen,  $s_1, s_2, \dots, s_n$  die spezifischen Wärmen der zugehörigen Verbrennungsprodukte und  $m_1, m_2, \dots, m_n$  die Mengen derselben, so berechnet sich die Temperaturerhöhung bei der Verbrennung aus

$$t = \frac{M_1 \cdot W_1 + M_2 \cdot W_2 + \dots + M_n \cdot W_n}{m_1 \cdot s_1 + m_2 \cdot s_2 + \dots + m_n \cdot s_n}.$$

Wie wir bereits früher erwähnt haben (S. 53), ist die spezifische Wärme für viele Gase, wenn man sie pro Kubikmeter berechnet, gleich, und zwar 0,31. Die Berechnung vereinfacht sich daher in vielen Fällen sehr, wenn man sie auf den Kubikmeter bezieht. Es kann dann aus den chemischen Gleichungen die Anzahl der Moleküle der entstehenden Verbrennungsgase entnommen werden, und da ein Kilogrammolekül jedes Gases den Raum von  $22,3 \text{ m}^3$  einnimmt, so beträgt die Wärmekapazität eines Mols  $22,3 \cdot 0,31$ , d. i. 6,91 Kal. Die Wärmekapazität der Verbrennungsgase, multipliziert mit der Temperatur, muß gleich sein der Verbrennungswärme, die nach der Tabelle auf S. 50 ebenfalls für die in Reaktion tretenden Mole angegeben ist. Daraus berechnet sich dann die Temperatur wie früher. Ein Beispiel wird dies am besten erläutern. Betrachten wir die Verbrennung des Kohlenstoffs zu CO in Luft. Mit Rücksicht auf den Stickstoffgehalt der Luft haben wir zu schreiben:



Die Anzahl der Mole in den Verbrennungsgasen beträgt somit  $2 + \frac{79}{21} = 5,77$ , und wir haben daher zu setzen:

$$5,77 \times 6,91 \times t = 58000.$$

Daraus berechnet sich:

$$t = \frac{58\,000}{5,77 \cdot 6,91} \doteq 1455^\circ.$$

Geschieht die Verbrennung nicht in kalter Luft, sondern in erwärmter Luft, so ist der Verbrennungswärme noch jene Wärmemenge hinzuzuzählen, welche die erwärmte Luft mitbringt. Auch hier rechnet man am besten nach Kubikmetern, da die spezifische Wärme eines Kubikmeters Luft wieder 0,31 beträgt.

Schwieriger macht sich die Berechnung, wenn in den Verbrennungsprodukten — wie dies gewöhnlich der Fall ist — auch Kohlensäure und Wasserdampf vorkommen, da die spezifischen Wärmen dieser Produkte nicht konstant sind, sondern mit der Temperatur beträchtlich steigen<sup>1)</sup>. Zuzufolge der Abhängigkeit der spezifischen Wärme von der Temperatur erhält man für die Berechnung der Temperatursteigerung Gleichungen zweiten Grades. So ergibt sich z. B. für die Verbrennung von Wasserstoff mit Sauerstoff aus der Formel für die spezifische Wärme des Wasserdampfes über 2000°:

$$m c_v = 16,2 + 0,0038(t - 2000) \text{ und } c_p = 1,30 c^v$$

die Gleichung:

$$1,30 [16,2 + 0,0038(t - 2000)] t = \frac{116\,500}{2},$$

woraus sich die Temperaturerhöhung ergibt zu

$$t = 2480^\circ;$$

benutzt man dagegen die Formel  $m c_p = 18,2 + 0,0038(t - 2000)$ , so erhält man

$$t = 2750^\circ.$$

Es ist bemerkenswert, daß in älteren Lehr- und Handbüchern die Temperatur der Knallgasflamme auf mehr als 6000° berechnet wird. Dies beruht auf der unrichtigen Annahme der Konstanz der spezifischen Wärme des Wasserdampfes. Diese Zahl zeigt am deutlichsten, wie groß die Fehler sind, die durch eine solche irrtümliche Voraussetzung hervorgerufen werden. Übrigens sind auch die neueren Angaben über die spezifischen Wärmen noch sehr unverläßlich, so daß alle diese Berechnungen für hohe Temperaturen noch keinen großen Grad der Sicherheit haben.

Die auf S. 78 angegebene Tabelle zeigt die auf Grund der von v. Ihering angegebenen spezifischen Wärmen<sup>2)</sup> berechneten maximalen Verbrennungstemperaturen.

Nicht nur bei Gasen, sondern auch bei Verbrennungen, bei denen keinerlei flüchtige Verbrennungsprodukte entstehen, kann man die Verbrennungs-

<sup>1)</sup> Vgl. S. 54 u. 55.

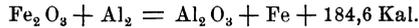
<sup>2)</sup> Zur Berechnung wurden die nachstehenden Formeln für die spezifischen Wärmen benutzt. Bei Verbrennung in Sauerstoff:

$$\begin{aligned} \text{Für CO}_2 \dots m c_p &= 8,3 + 0,006 t, \\ \text{„ H}_2\text{O} \dots m c_p &= 18,2 + 0,0038(t - 2000); \end{aligned}$$

bei Verbrennung in Luft:

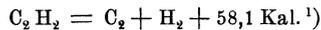
$$\begin{aligned} \text{Für CO}_2 \dots m c_p &= 8,3 + 0,006 t, \\ \text{„ H}_2\text{O} \dots m c_p &= 10,2 + 0,004 t, \\ \text{„ N}_2 \dots m c_p &= 6,8 + 0,0012 t. \end{aligned}$$

temperatur berechnen. Einen solchen Fall haben wir z. B. bei der von Goldschmidt in Essen zum Schweißen und Schmelzen von Metallen eingeführten Mischung von Eisenoxyd und Aluminium. Das Aluminium hat eine größere Verbrennungswärme als das Eisen, und daher vermag dasselbe dem Eisenoxyd den Sauerstoff unter großer Wärmentwicklung zu entziehen, indem sich dabei Aluminiumoxyd und metallisches Eisen bilden, nach der Formel:



Die spezifische Wärme der beiden Verbrennungsprodukte, die hier in festen Stoffen bestehen, ist im Verhältnis zur entstehenden Wärmemenge so gering, daß sie sich auf eine sehr hohe Temperatur erwärmen, die sich bei Annahme konstanter spezifischer Wärmen auf  $4520^0$  berechnet, jedoch in Wirklichkeit wegen der steigenden Wärmekapazität bei diesen hohen Temperaturen diese Höhe nicht erreichen dürfte.

In besonderer Weise geht die Verbrennung des Acetylens vor sich. Dieses zerfällt nämlich zunächst nach der Formel:



in Kohlenstoff und Wasserstoff unter Entwicklung einer beträchtlichen Wärmemenge. Da diese Zerlegung durch Temperaturerhöhung hervorgerufen wird, so ist die Möglichkeit gegeben, daß ohne Hinzutreten von Sauerstoff eine Zerlegung des Acetylgases durch seine ganze Masse hindurch fortschreitend stattfindet, ähnlich, wie wir dies bei der Verbrennung brennbarer Gasgemische kennen gelernt haben. Das Acetylen ist daher an sich ein explosiver Stoff, und wenn es unter gewöhnlichem Druck entzündet werden kann, ohne zu explodieren, so liegt dies nur daran, daß die Ausstrahlung der Wärme bei der geringen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Flamme so groß ist, daß diese nicht durch die ganze Masse hindurch fortschreitet.

Aus den spezifischen Wärmen des Kohlenstoffs und des Wasserstoffs und der oben genannten Zersetzungswärme des Acetylens berechnet sich eine Zersetzungstemperatur von  $2900^0$ . Steht das Acetylgas unter einem Druck von mehr als 2 Atm. so wird die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Zersetzung groß genug, um sich durch die ganze Gasmasse fortzupflanzen, und daher ist Acetylen unter einem Druck von mehr als 2 Atm. ein höchst gefährlicher Stoff.

Bei der Zerlegung des Acetylens tritt, gemäß obiger Formel, immer Kohlenstoff auf, der sich in sehr fein verteilter Form als Ruß abscheidet. Dasselbe tritt ein, wenn das Gas mit einer ungenügenden Menge von Luft gemischt war. Sobald jedoch genügend Sauerstoff vorhanden ist, um CO zu bilden, tritt keine Abscheidung von C ein. Ähnlich wie das Acetylen verhalten sich auch andere Kohlenwasserstoffe, die bei der Erwärmung zunächst Kohlenstoff abscheiden und dadurch das Leuchten der Flammen organischer Körper bedingen. Allerdings wird bei der Zerlegung anderer Kohlenwasserstoffe keine Wärme frei, sondern im Gegenteil Wärme verbraucht. Die Zerlegung findet daher bei diesen viel langsamer statt, als beim Acetylen.

In sehr hohen Temperaturen, wie sie z. B. in der Hochspannungsflamme eines elektrischen Flammenbogens herrschen, wirken die Gase in anderer Weise aufeinander ein, als bei den verhältnismäßig niederen Tempe-

<sup>1)</sup> Nach Berthelot u. Matignon; Landolt-Börnstein, Phys.-chem. Tabellen, S. 428.

aturen der gewöhnlichen Flammen. So z. B. verbindet sich nach Muthmann und Schaidhauf<sup>1)</sup> Methan und Stickstoff zu Cyanwasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff zu Stickoxyden usw.

## 7. Die Flamme.

Als „Flamme“ können wir jene Zone eines in lebhafter Reaktion befindlichen Gasgemisches bezeichnen, welche durch Aussendung sichtbarer Strahlen gekennzeichnet ist. Die Flammerscheinungen treten nämlich nicht nur bei der Verbrennung in Sauerstoff auf, sondern auch andere Gase, welche unter lebhafter Wärmeentwicklung aufeinander einwirken, geben Flammerscheinungen. Weder die Temperatur der entstehenden Verbrennungsprodukte, noch der Beginn und das Ende der stattfindenden Reaktion sind sichere Kennzeichen für den Umfang jenes Teiles der Verbrennungerscheinung, den wir als Flamme bezeichnen. Aber auch die Wahrnehmung durch das Auge gibt dem Umfang der Flamme keine scharfe Begrenzung. Betrachten wir z. B. die Flamme eines blau brennenden Bunsenbrenners bei völliger Dunkelheit, so können wir wohl die Ausdehnung der Flamme nach der Seite hin ziemlich scharf begrenzen, jedoch die Spitze der Flamme verläuft so allmählich, d. h. das ausgesendete bläuliche Licht wird so allmählich schwächer und schwächer, daß eine scharfe Grenze nicht angegeben werden kann.

Man war lange Zeit der Meinung, das Licht der brennenden Gase entsamme ausschließlich der hohen Temperatur, welche die Verbrennungsprodukte annehmen. Dies stimmt aber nur betreffs des in der Flamme ausgeschiedenen festen Kohlenstoffs, der durch die verbrennenden Gase zum Glühen erhitzt wird und daher Licht ausstrahlt. Die blaue Flamme, welche brennende Gase liefern, die während der Verbrennung keinen Kohlenstoff ausscheiden, wie z. B. die Wasserstofflamme oder die Flamme des entleuchteten Bunsenbrenners, ist dagegen nicht etwa durch glühenden Wasserdampf oder andere glühende Verbrennungsprodukte hervorgerufen, sondern Helmholtz hat nachgewiesen, daß diese Lichtstrahlen direkt durch die chemische Reaktion der Verbrennung hervorgerufen werden. Man kann sich davon überzeugen, wenn man Wasserdampf oder Kohlensäure oder andere Gase, die bei der Verbrennung entstehen, auf anderem Wege auf hohe Temperaturen erhitzt. Die so erhitzten Gase senden kein Licht aus, sondern sie liefern nur die Wärmestrahlung, die ihrem Temperaturzustande entspricht. Wir wollen daher die Lichtstrahlung, welche bei der Verbrennung auftritt, zum Unterschiede von der Temperaturstrahlung als „chemische Strahlung“ oder „Reaktionsstrahlung“ bezeichnen. Die letztere geht allerdings unmittelbar nach der Verbrennung in die reine Temperaturstrahlung über. Man nennt dies das Abklingen der Reaktionsstrahlung.

Die Form der Flamme eines brennenden Gases ist von einer großen Zahl verschiedener Umstände abhängig; zunächst von der Form der Ausströmungsöffnung und von der Ausströmungsgeschwindigkeit. Lassen wir ein Gas aus einer kreisrunden Öffnung mit einem gewissen Überdruck austreten, so wird dasselbe zunächst in Form eines zylindrischen Strahles wie

---

<sup>1)</sup> Wasser u. Gas 1911, S. 479; Zeitschr. d. Österr. Gasvereins 1911, S. 512.

ein Wasserstrahl austreten. Während jedoch der Wasserstrahl durch die gegenseitige Anziehung seiner Teilchen auf eine längere Strecke geschlossen bleibt, verbreitert sich der Gasstrahl sehr bald nach seinem Austritt, teils durch den Widerstand, den die Luft bietet, teils durch die Diffusion der Gasteilchen in die Luft. Ein solcher Gasstrahl wird also von der Ausströmungsöffnung an sich nach oben kegelförmig erweitern und sich gleichzeitig mit Luft mischen. Seine Geschwindigkeit verringert sich dabei im gleichen Verhältnis, wie sein Querschnitt zunimmt. Allerdings bleibt seine Geschwindigkeit in den höheren Schichten keine ganz gleichmäßige, sondern sie verringert und vermehrt sich dort stoßweise, offenbar zufolge des Widerstandes der Luft. Es treten daher in einiger Entfernung von der Ausströmungsöffnung schichtenweise größere und geringere Gasmengen auf, wie dies an jedem qualmenden Schornstein ersichtlich ist, bei dem sich die austretenden Rauchwolken ebenfalls wellenförmig zusammenballen. Auch wenn man ein Gas mit irgend einem fein verteilten festen Stoff in Staubform schwängert und dasselbe aus einer Öffnung ausblasen läßt, findet man in größerer Entfernung von der Austrittsöffnung diese wellenartige Erscheinung.

Entzündet man nun aber den austretenden Gasstrahl, so ist die erste Folge die, daß an der Trennungsfäche zwischen Gas und Luft die Verbrennung eintritt, welche den austretenden Gasstrahl zufolge der Wärmestrahlung erhitzt. Der Gasstrahl wird also kurz nach seinem Austreten eine bedeutende Temperaturerhöhung und daher Volumzunahme erfahren. Diese Volumzunahme macht sich nach allen Seiten hin geltend. Nach oben vergrößert sie die Geschwindigkeit der Gasteilchen, nach unten sucht sie dieselbe zu verringern und erhöht daher den Widerstand. Nach der Seite verbreitert sie den Querschnitt des Gasstrahls beträchtlich; dies ergibt die Ausbauchung, welche jede Flamme kurz oberhalb der Ausströmungsöffnung zeigt. Sofort mit der Temperaturerhöhung beginnt aber auch die Ausstrahlung und daher eine Temperaturabnahme bei weiterem Aufsteigen des Gasstrahles. Die Verringerung des Volumens, welche dadurch hervorgerufen ist, kann jedoch die Verbreiterung des Gasstrahles, welche durch die Verringerung der Geschwindigkeit und die Diffusion nach außen entsteht, nicht wettmachen. Wenn die Flamme von einem bestimmten Punkte an sich nicht mehr konisch nach oben erweitert, sondern im Gegenteil verengt und in eine Spitze ausläuft, so liegt dies nicht an dem Querschnitt, den die Verbrennungsgase einnehmen, sondern an der Verbrennungerscheinung selbst, die von außen allmählich nach der Mitte zu verläuft.

Wir haben bereits bei Besprechung der Entzündungsgeschwindigkeit das Fortschreiten der Flamme verfolgt, die sich bildet, wenn man ein in einem langen Rohre befindliches, brennbares Gasgemisch an dem einen Ende des Rohres entzündet. Ist das Gasgemisch nicht in Ruhe, sondern in fortschreitender Bewegung, so wird die Flamme nur eine relative Bewegung gegenüber dem Gasstrom ausführen. Bewegt sich also der Gasstrom entgegen der Fortpflanzungsrichtung zur Flamme, so muß letztere ihre eigene Geschwindigkeit gegenüber dem Gasrohr verringern. Ist die Bewegung des Gasstromes ebenso groß wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Flamme, so bleibt die Flamme an einer Stelle des Gasrohres still stehen, und ist schließlich die Geschwindigkeit des Gasstromes größer als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Verbrennung, so bewegt sich die Flamme mit dem Gas-

stromen nach außen und müßte eigentlich von der Mündung des Gasrohres weggeblasen werden, wenn der Gasstrom in Form einer zylindrischen Säule mit einer überall gleichen Geschwindigkeit aus dem Rohr austreten würde. Dies ist jedoch, wie wir oben erörtert haben, nicht der Fall, und nicht nur die Geschwindigkeit des Gasstromes, sondern auch die Zusammensetzung des Gasgemisches ändert sich, indem sich immer mehr Luft zumischt, je höher das Gas aufsteigt. Dadurch ändert sich die Entzündungsgeschwindigkeit; je höher das Gas steigt, desto größer wird die Entzündungsgeschwindigkeit; die Flamme bleibt an einer Stelle stehen, wo die Entzündungsgeschwindigkeit gleich ist der Strömungsgeschwindigkeit. Letztere ist aber im Inneren der Flamme nahe der Achse des Rohres größer als am Rande, wo sich der Gasstrahl schon ausgebreitet hat, und daher liegen die oberen Teile der Flammenoberfläche näher der Achse, als wie die unteren Teile, d. h. also, die Flamme wird sich oben konisch verengern. In den obersten Teilen sind dann die Gase bereits stark mit Verbrennungsprodukten durchsetzt, so daß die Verbrennung nicht mehr so lebhaft stattfindet wie unten. Die Intensität der Verbrennung wird immer geringer und daher auch die Reaktionsstrahlung, die ja die Grenzen der Flammen für unser Auge sichtbar macht. Allmählich hört dann die Verbrennung und die Reaktionsstrahlung ganz auf, so daß keine Lichtwirkung wahrnehmbar ist. Aus diesen Gründen ist die obere Spitze der Flamme keine scharf begrenzte, sondern sie verliert sich allmählich und ist auf um so größerer Höhe sichtbar, je mehr das Auge durch Abblendung äußerer Beleuchtung für geringe Lichtmengen empfindlich ist.

Bei Flammen, die nicht von einfachen Gasen, wie z. B. von Wasserstoff oder Kohlenoxyd, herrühren, ist die Erscheinung dadurch verwickelt, daß — wie schon bei den Verbrennungsvorgängen erörtert (vgl. S. 45 und 48) — mannigfache Umsetzungen zwischen den einzelnen Gasen eintreten, die schließlich zu einem der jeweiligen Temperatur entsprechenden Gleichgewichtszustande führen. Näheres hierüber werden wir beim Bunsenbrenner besprechen. Hier wollen wir zunächst die Flamme eines Kohlenwasserstoffe enthaltenden Gases, dem vor der Verbrennung keine Luft zugemischt wurde, besprechen. Wie bereits erwähnt, zerfallen die Kohlenwasserstoffe in Kohlenstoff und Wasserstoff. Auch bei der teilweisen Verbrennung wird, wenn nicht genügend Sauerstoff da ist, um CO zu bilden, zum Teil C abgeschieden. Bone<sup>1)</sup> hat zwar gezeigt, daß diese unvollkommene Verbrennung nicht so erfolgt, daß der Wasserstoff verbrennt und der Kohlenstoff übrig bleibt, sondern daß sich der Sauerstoff zunächst an die Kohlenwasserstoffe anlagert und hydroxylierte Verbindungen liefert, die erst später in Wasser und Äthylen oder Methan zerfallen, aber diese beiden letzteren Kohlenwasserstoffe zerfallen schließlich in Kohlenstoff und Wasserstoff, so daß eben aus allen Kohlenwasserstoffen schließlich Kohlenstoff ausgeschieden wird, wenn dieselben auf genügend hohe Temperatur erhitzt werden. Der ausgeschiedene Kohlenstoff gerät je nach der Temperatur der Flamme in mehr oder weniger intensive Glut und strahlt Licht und Wärme aus. Besonders die Lichtstrahlung wächst außerordentlich stark mit der Temperatur, und daher geben Gase, welche viel Kohlenstoff abscheiden und eine hohe Flammentemperatur besitzen, wie z. B. Acetylen, eine

---

<sup>1)</sup> Explosive Verbrennung von Kohlenwasserstoffen, Journ. of Gaslighting 1908, p. 541.

viel heller leuchtende Flamme, als solche Gase, die nur eine geringe Flammentemperatur besitzen oder wenig Kohlenstoff abscheiden, wie z. B. Methan.

Lewes hatte vor etwa zwei Jahrzehnten sogar eine Theorie aufgestellt, wonach die Lichtwirkung aller selbstleuchtenden Flammen darauf beruhen sollte, daß in jeder Flamme erst Acetylen gebildet werde, das dann unter hoher Wärmeentwicklung in C und H zerfällt. Diese Theorie hat sich jedoch nicht als stichhaltig erwiesen.

Der ausgeschiedene Kohlenstoff läßt sich in der Flamme durch Hineinhalten eines kalten Körpers leicht nachweisen. Er wird dann zufolge der Abkühlung der weiteren Verbrennung entzogen und scheidet sich in Form von Ruß auf dem festen Körper ab. Läßt man ihn dagegen in der Flamme, so nimmt derselbe an der weiteren Verbrennung teil, indem er sich zum Teil mit dem gebildeten Wasserdampf zu Kohlenoxyd und Wasserstoff umsetzt, zum Teil auch mit neu hinzutretendem Sauerstoff zu Kohlenoxyd verbindet, das sich seinerseits wieder mit Wasserdampf zu  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$  umsetzt. Oberhalb des leuchtenden Teiles der Flamme, der eben durch die Kohlenstoffausscheidung charakterisiert ist, bestehen also die Gase aus einem Gemisch von  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , CO und  $\text{H}_2\text{O}$ , das sich, wie schon erörtert, entsprechend der jeweiligen Temperatur in das Wassergasgleichgewicht begibt (vgl. S. 82).

Bei Besprechung der Strahlungsgesetze haben wir schon vernommen, daß Gase bei der gleichen Temperatur viel weniger Wärmestrahlen aussenden als feste Körper, ebenso wie sie viel weniger Strahlen absorbieren. Der glühende Kohlenstoff im leuchtenden Teile der Flamme sendet daher weit mehr Wärmestrahlen aus als die heißen Gase, und deshalb ist eine leuchtende Flamme stets viel kälter als eine nicht leuchtende, in der kein Kohlenstoff ausgeschieden wird. Die Strahlung, welche durch die chemische Reaktion des Verbrennens hervorgerufen wird, ist ebenfalls eine bedeutend größere als die Strahlung der heißen Gase.

Erwärmt man die Luft, welche einer leuchtenden Flamme zugeführt wird, so nimmt die Strahlung des Kohlenstoffs zufolge der höheren Verbrennungstemperatur beträchtlich zu. Anders verhält sich dies bei nicht leuchtenden Flammen. Hier bewirkt die höhere Flammentemperatur ein rascheres Abklingen (vgl. S. 71) der Reaktionsstrahlung in Temperaturstrahlung, und daher nimmt die Strahlung entleuchteter Flammen bei Luftvorwärmung ab.

Nach Helmholtz ist die Strahlung gleicher Mengen von Verbrennungsprodukten bei der entleuchteten Flamme für alle Gase ungefähr gleich, sie beträgt<sup>1)</sup> bei der Verbrennung von:

Gas	Verbrennungs- produkt	Strahlung	
		gefunden	berechnet
$\text{H}_2$ . . . . .	1 $\text{H}_2\text{O}$ —	74	
CO . . . . .	— 1 $\text{CO}_2$	177	
$\text{CH}_4$ . . . . .	2 $\text{H}_2\text{O}$ + 1 $\text{CO}_2$	327	$(2 \times 74) + 177 = 325$
$\text{C}_2\text{H}_4$ . . . . .	2 $\text{H}_2\text{O}$ + 2 $\text{CO}_2$	510	$(2 \times 74) + (2 \times 177) = 502$
Leuchtgas . . . . .	1,2 $\text{H}_2\text{O}$ + 0,5 $\text{CO}_2$	181	$(1,2 \times 74) + (0,5 \times 177) = 177$

<sup>1)</sup> Helmholtz, Licht- und Wärmestrahlung verbrennender Gase, Berlin 1889.

Die Qualität der Strahlen, d. h. deren Wellenlänge, ist nur von den auftretenden Verbrennungsprodukten abhängig.

Das Verhältnis der von einer Flamme ausgestrahlten Wärme zur gesamten Verbrennungswärme beträgt nach Helmholtz bei Flammen von 6 mm Durchmesser:

Bei CO . . . . .	8,7	Proz.
„ H <sub>2</sub> . . . . .	3,6	„
„ CH <sub>4</sub> . . . . .	5,1	„
„ C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> . . . . .	5,1	„
„ Leuchtgas . . . . .	5,1	„

Callendar<sup>1)</sup> fand hingegen bei Flammen von 30 mm Durchmesser 15 Proz. Strahlung; nach ihm ist die Strahlung annähernd proportional dem weiter unten genannten Flammenvolumen. Interessant ist, daß der Wasserstoff bei der Verbrennung dieselben Strahlen aussendet, für die der Wasserdampf ein starkes Absorptionsvermögen besitzt. Ebenso sendet verbrennendes Kohlenoxyd jene Strahlen am stärksten aus, die von der Kohlensäure am stärksten absorbiert werden. Nach dem Kirchhoffschen Gesetz ist die Absorption proportional der Emission für gleiche Wellenlänge und Temperatur. Wir müssen also aus obigem schließen, daß die Strahlen nicht von dem verbrennenden Gase (Kohlenoxyd oder Wasserstoff), sondern erst vom Verbrennungsprodukt (Kohlensäure und Wasserdampf) ausgesendet werden.

Das Verhältnis der Strahlung leuchtender Flammen, zur Strahlung jener Flammen, die durch Zumischung von Luft zum Gase entleuchtet sind, beträgt bei

CH <sub>4</sub> . . . . .	4 : 5
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> . . . . .	1 : 2
Leuchtgas . . . . .	2 : 3

Die gesamte Strahlung pro Volumeinheit verbrannten Gases ist in sehr verwickelter Weise von der Größe und Form der Flamme, ferner von den Mischungsverhältnissen von Gas und Sauerstoff und der Beimischung indifferenten Gase, sowie von der Vorwärmung der Luft und des Gases abhängig.

Saint Claire Deville brachte bei seinen Ausführungen über die absolute Leuchtkraft der Gase eine neue auf die Flamme bezügliche Definition, nämlich die Projektion der Flamme auf eine vertikale Ebene, welche er als Flammenoberfläche bezeichnet<sup>2)</sup>. Diese Oberfläche, auf 100 Liter Stundenkonsum berechnet, nennt er „relative Flammenoberfläche“, und die Lichtstärke der Flächeneinheit nennt er Flächenhelle. Die relative Oberfläche ist von der Zahl der glühenden Kohlenstoffteilchen abhängig, während die Temperatur die Flächenhelle bedingt.

Einen noch wichtigeren neuen Begriff, der speziell für die Bunsenflamme von Bedeutung ist, gaben Bunte, Mayer und Teichel in ihren Studien über die Verbrennungsvorgänge bei Gasglühlichtlampen<sup>3)</sup>. Die Form und Größe einer Bunsenflamme ist von der Menge der von innen nach außen strömenden

---

<sup>1)</sup> British associat. for the advancement of science; Journ. of Gaslighting 1910, p. 640; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 40. — <sup>2)</sup> Bericht an den zweiten Kongreß der internationalen Lichtmeßkommission, Zürich 1907; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 1097. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 265.

Gase und von der Menge der zur Verbrennung nötigen Luft abhängig. Die Verbrennung selbst erfolgt in einer Zone, die nur Bruchteile eines Millimeters dick ist. Der von dem Flammenmantel eingenommene Raum wird als Flammenvolumen bezeichnet. Dieses spielt betreffs der Temperatur der Flamme und betreffs der Leuchtkraft der Glühkörper, die in dieser erhitzt werden, eine große Rolle, auf die wir noch zu sprechen kommen.

Bei der hohen Temperatur, die bei der Verbrennung der Gase entsteht, tritt auch eine ganz geringe Vereinigung der beiden Bestandteile der Luft, des Stickstoffs und des Sauerstoffs ein: es entstehen Stickoxyde, die jedoch nur in so geringen Spuren auftreten, daß sie praktisch ganz ohne Belang sind. Haber<sup>1)</sup> hat die Intensität dieser Stickoxydbildung ermittelt. Sie kann nachgewiesen werden, wenn man die Verbrennungsgase etwa 1 cm über der Flammenspitze absaugt und diese mittels Diphenylamin und Schwefelsäure prüft. Es ergibt sich dabei eine Blaufärbung. Übrigens gibt sich die Stickoxydbildung auch an einem feinen orangegelben Saum der Flamme zu erkennen.

Nach Nernst<sup>2)</sup> bildet sich in heißen Gasflammen übrigens auch Ozon ( $O_3$ ), das bei 2048° bereits 1 Vol.-Proz. und bei 4500° sogar 10 Vol.-Proz. ausmachen soll.

Eine andere Erscheinung, die hier erwähnt werden möge, ist die elektrolytische Dissoziation der Moleküle, welche ebenfalls nur in geringem Betrage in den Flammen eintritt. Diese Erscheinung besteht darin, daß die einzelnen Gasteilchen teils positive, teils negative Ladung erhalten, wodurch sie in sog. Ionen übergehen. Die Flammen erhalten dadurch elektrisches Leitvermögen, indem bei Einwirkung einer elektrischen Spannungsdifferenz die positiven Ionen nach der Kathode und die negativen Ionen nach der Anode wandern. Bei Flammen, die besonders hohe Temperaturen besitzen, wie z. B. der grüne Innenkegel einer Bunsenflamme mit hoher Luftbeimischung, ist das elektrische Leitvermögen ein so hohes, daß die der Flamme entsteigenden Gase mindestens zu  $\frac{1}{10}$  elektrolytisch dissoziiert (ionisiert) sein müssen. Die Ionen haben im allgemeinen die Eigenschaft, chemische Reaktionen zu beschleunigen, und es ist daher nicht unwahrscheinlich, daß die hohe Reaktionsgeschwindigkeit, mit der die Verbrennung stattfindet, durch die Ionen hervorgerufen ist<sup>3)</sup>. Die Ionen vereinigen sich später wieder zu neutralen Molekülen, so daß die Leitfähigkeit der Flammengase beim Austritt aus der Flamme wieder verschwindet.

Die Flammentemperaturen sind von verschiedenen Forschern in sehr verschiedener Weise gemessen worden. Sie sind naturgemäß auch an verschiedenen Stellen sehr verschieden, und man bekommt auch verschiedene Resultate je nach der Methode, welche man zur Messung verwendet. Das einfachste und sicherste Mittel ist wohl das Le Chateliersche Pyrometer, das wir in dem Kapitel Pyrometrie (S. 99) kennen lernen werden. Jedoch auch bei diesem ist zu berücksichtigen, daß die Platindrähte einen Teil der Wärme ausstrahlen und daher nicht die volle Flammentemperatur annehmen können. Es muß deshalb für genaue Messungen durch eine Reihe von

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Elektrochem. 1908, Nr. 36; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 146. —

<sup>2)</sup> Fischer u. Brähler, Berl. Berichte 1909, S. 966. — <sup>3)</sup> Haber, Zeitschr. f. Elektrochem. 1908, Nr. 36; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 146.

Bestimmungen mit immer dünner werdenden Drähten der Einfluß der Dicke des Drahtes ermittelt und durch Extrapolieren die Temperaturanzeige für einen Draht von der Stärke 0 gefunden werden.

Ein anderes Mittel zur Bestimmung der Flammentemperatur liegt bei leuchtenden Flammen in der Beobachtung der Strahlungsverhältnisse der glühenden Kohlenstoffteilchen. So z. B. bestimmte Ladenburg <sup>1)</sup> die Temperatur der glühenden Kohlenstoffteilchen der Hefnerlampe zu 1405° und jene der Acetylenflamme zu 1842°. Allerdings ist auch hier wieder zu berücksichtigen, daß zufolge der höheren Wärmeausstrahlung der Kohlenstoffteilchen diese nicht ganz die Temperatur der Flamme annehmen können. Bei der Kleinheit der Kohlenstoffteilchen dürfte jedoch diese Differenz keine erhebliche sein.

Aber auch bei nicht leuchtenden Gasen kann man nach den Strahlungsgesetzen aus Emissions- und Absorptionsvermögen die Temperatur bestimmen. Man muß dabei allerdings von der Reaktionsstrahlung, die mit der Temperatur nicht zusammenhängt, absehen und annehmen, daß die gesamte Strahlung ausschließlich reine Temperaturstrahlung sei. Auf diese Weise fand H. Schmidt <sup>2)</sup> in der Mitte der Bunsenflamme 1600°, am Rande 1800°, im Mittel 1640°.

Die Temperatur der Kohlenoxyd-Sauerstoffflamme wurde von Haber und Hodsmann <sup>3)</sup> auf 2600° geschätzt, die der Wasserstoff-Sauerstoffflamme auf mehr als 3000°. Nach E. Bauer <sup>4)</sup> beträgt letztere jedoch nur 2200 bis 2300° und die der Bunsenflamme 1750°.

Ein Mittel zur Bestimmung der Flammentemperatur ist auch die Untersuchung des Wassergasgleichgewichtes, das an der betreffenden Stelle der Flamme herrscht, d. h. die Bestimmung des Verhältnisses von CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO und H<sub>2</sub>O. Dieses Mittel ist jedoch nur dort tauglich, wo sehr hohe Temperaturen herrschen, weil nur dort die Reaktionsgeschwindigkeit eine so große ist, daß der Gleichgewichtszustand tatsächlich erreicht wird.

Von Mahler wurden die Flammentemperaturen angegeben, wie aus der nachstehenden Tabelle ersichtlich ist. Diese Tabelle enthält auch die Flammentemperaturen, wie sie sich aus der Berechnung mittels der Verbrennungswärme und der spezifischen Wärme der Verbrennungsprodukte (S. 69) ergeben.

Im modernen Beleuchtungswesen spielt die offene Flamme lange nicht mehr die Rolle wie die Bunsenflamme. Man ist davon abgekommen, den in der Flamme sich ausscheidenden Kohlenstoff als Glühsubstanz für Leuchtzwecke zu verwenden, und benutzt dazu jetzt feste Körper, die weniger Wärme ausstrahlen als der Kohlenstoff, deren Lichtstrahlung aber trotzdem günstig ist, so daß das Verhältnis der Lichtstrahlung zur Wärmestrahlung ein günstigeres wird, wie wir dies auf S. 24 erläuterten. Zur Erhitzung dieser Glühkörper müssen aber Flammen verwendet werden, welche keinen Ruß abscheiden und welche eine möglichst hohe Temperatur besitzen. Um dies zu erreichen, mischt man das Gas vor der Verbrennung mit Luft. Der Bunsenbrenner spielt daher im modernen Beleuchtungswesen eine ganz hervorragende Rolle.

<sup>1)</sup> Phys. Zeitschr., 7. Jahrg., S. 10. — <sup>2)</sup> Ber. d. deutsch. phys. Ges. 1909; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 765; Chem.-Ztg. 1909, S. 1078. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 400; Chem.-Ztg. 1909, S. 1113. — <sup>4)</sup> Chem.-Ztg. 1909, S. 582.

Der Bunsenbrenner beruht auf dem Prinzip der Injektorwirkung. Ein Gasstrahl, welcher aus einer kleinen Öffnung in ein weiteres Rohr ausströmt, ruft an den Stellen des Rohres, die in gleicher Höhe liegen wie die Austrittsöffnung, eine Luftverdünnung hervor. Bringt man daher an diesen Stellen

Verbrennender Stoff	Flammentemperaturen in °C		
	Nach Mahler	Berechnet aus spez. Wärme	
		in kalter Luft	in kaltem O <sub>2</sub>
C zu CO . . . . .	2100	1455	4180
C zu CO <sub>2</sub> . . . . .	—	1860	3400 <sup>2)</sup>
CH <sub>4</sub> . . . . .	1850	1795	3025
H <sub>2</sub> . . . . .	1960	1885	2750
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> . . . . .	—	1920	3320
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> . . . . .	—	1860	3310
CO <sup>1)</sup> . . . . .	1569	2030	2760
Wassergas . . . . .	2000	—	—
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> . . . . .	2350	2110	3680
Leuchtgas . . . . .	1950	—	—

des Rohres Öffnungen an, so wird hier Luft von außen angesogen. Diese Saugwirkung ist um so stärker, je größer die Geschwindigkeit des austretenden Gasstrahles ist, und da die Geschwindigkeit von dem Druck bedingt ist, unter dem das Gas ausströmt, so ist die angesaugte Luftmenge um so größer, je größer der Gasdruck vor der Ausströmungsöffnung ist. Die Luft, welche durch die Öffnungen eintritt, vermischt sich mit dem Gasstrahl, und die Mischung wird eine um so vollkommener, je weiter das Gas im Rohre hinaufsteigt. Um eine gute Mischung von Gas und Luft zu erzielen, muß daher das sogenannte Mischrohr jedes Bunsenbrenners eine gewisse, nicht zu geringe Länge haben.

Der Bunsenbrenner besteht daher in seinen wichtigsten Teilen, wie nebenstehende Fig. 17 zeigt, aus folgenden Bestandteilen: die Düse *d* bildet die Ausströmungsöffnung. Oberhalb derselben ist das Mischrohr *m* angebracht, und seitlich neben der Düse vor Beginn des Mischrohres befinden sich die Lufteintrittsöffnungen *o, o*, welche die Luft in die Ansaugkammer *h* führen. Die Anordnung dieser drei wichtigsten Teile des Bunsenbrenners ist nebensächlich. Wichtig ist nur, daß die Achse des Mischrohres beiläufig in der Verlängerung der Mittellinie des ausströmenden Gasstrahles liegt. Es ist auch durchaus nicht notwendig, daß der Gasstrahl vertikal nach oben austritt. Er kann in jeder beliebigen Neigung seitlich oder horizontal oder nach unten gerichtet sein. Bedingung ist stets nur, daß der Gasstrahl vollkommen von dem Mischrohr aufgenommen wird.

<sup>1)</sup> Nach Geipert. — <sup>2)</sup> Das anscheinend widersinnige Resultat, daß C bei der Verbrennung zu CO<sub>2</sub> eine geringere Temperatur geben soll als bei der Verbrennung zu CO, erklärt sich daraus, daß die spezifische Wärme der CO<sub>2</sub> bei so hohen Temperaturen zufolge ihrer Dissoziation sehr hoch ist, viel höher als die des CO.

Beobachten wir den Gasstrahl, wie er aus der Ausströmungsöffnung austritt, so bemerken wir, daß er sich konisch nach oben erweitert, wie dies in Fig. 17 durch die punktierten Linien angedeutet ist. Es ist nun von Wichtigkeit, daß die äußersten Ränder dieses konischen Strahles in dem Mischrohr aufgenommen werden, ohne daß dem Strahl wesentliche Widerstände entgegengesetzt werden. Die günstigste Form des Mischrohres oberhalb der Ansaugkammer  $h$  ist daher eine sich konisch nach oben erweiternde, wie dies Fig. 18 zeigt. Auch die Form der Ansaugkammer  $h$  ist nicht ohne Bedeutung. Ist diese so ausgebildet, wie man dies bei den gewöhnlichen Bunsenbrennern findet, nämlich wie in Fig. 17, so entstehen in der Ansaugkammer Wirbelbewegungen der einströmenden Luft, die dadurch hervorgerufen sind, daß die Luftstrahlen von der Seite her gegen den Gasstrahl anprallen und diesen in seiner gleichmäßigen Ausbreitung stören. Es war deshalb als besonderer Fortschritt zu betrachten, daß Teclu seinem Brenner eine Ansaugkammer gab, deren Form in Fig. 18 dargestellt ist. Dadurch, daß die Lufteinströmung  $o, o$  hier viel tiefer liegt als die Düse  $d$ , und dadurch, daß sich die Ansaugkammer nach oben zu konisch verjüngt, wird jede Wirbelbildung der einströmenden Luft

vermieden, und daher finden auch keine Energieverluste statt. Die Regulierung der Luftzuströmung erfolgt beim Teclubrenner durch eine in ihrer Höhe verstellbare kreisrunde Platte. Auch hierdurch ist eine möglichst gleichmäßige Zufuhr der Luft gewährleistet. Allerdings besitzt der Brenner, welchen Teclu konstruierte, nicht das konisch erweiterte Mischrohr, wie es in Fig. 18 dargestellt ist. Dieses stellt vielmehr eine weitere Vervollkommnung des Tecluschen Brenners dar. Die Erweiterung darf auch nicht in zu große Höhen des Mischrohres fortgeführt werden, weil der Querschnitt sonst zu groß wird und demgemäß die Geschwindigkeit des sich fortbewegenden Gasgemisches zu klein wird, was Nachteile mit sich bringt, die wir sofort erörtern werden.

Von größter Bedeutung für die Arbeitsweise des Bunsenbrenners ist die Entzündungsgeschwindigkeit des Gasgemisches, welches im Mischrohr enthalten ist, und die Strömungsgeschwindigkeit. Wir haben ja schon auf S. 72 gesehen, daß eine Flamme am Ende eines Rohres, aus welchem ein brennbares

Fig. 17.

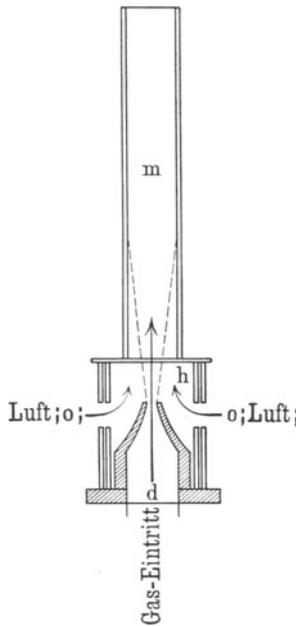
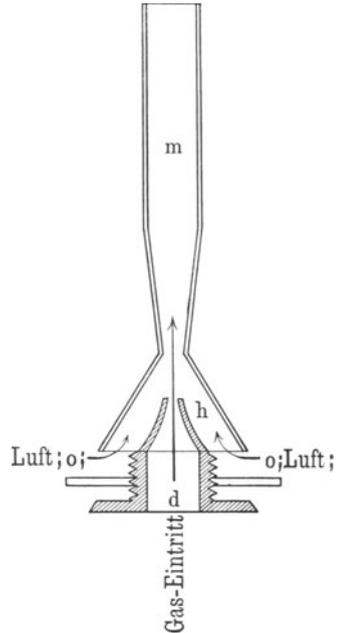


Fig. 18.



Gasgemisch ausströmt, sich nur dann dort erhalten kann, ohne in das Rohr hineinzuschlagen, wenn die Ausströmungsgeschwindigkeit mindestens ebenso groß ist wie die Entzündungsgeschwindigkeit. Ist sie kleiner, so schreitet die Flamme in entgegengesetzter Richtung zur Strömung vor und gelangt dadurch bis zur Düse des Brenners. Wir sagen in diesem Falle, der Brenner sei zurückschlagen, denn nun brennt das Gas direkt an der Düse mit der zur vollkommenen Verbrennung nicht genügenden Luftmenge, welche bei  $0,0$  einströmt. Sie erhitzt den Brenner oft bis nahe an die Schmelztemperatur der metallenen Bestandteile, und die unvollkommene Verbrennung des Gases, die durch den Mangel an Luft hervorgerufen und zufolge der Abkühlung durch das Mischrohr noch verschlechtert wird, verursacht beim Steinkohlengas die Bildung von Kohlenoxyd und von gewissen ungesättigten Kohlenwasserstoffen, die einen außerordentlich unangenehmen intensiven Geruch verbreiten. Es ist dies der Geruch zurückgeschlagener Bunsenbrenner, den wir häufig bei nicht richtig brennenden Gasglühlichtbrennern oder Kochapparaten wahrnehmen können und der zufolge des CO-Gehaltes der hier auftretenden Verbrennungsgase zu Kopfschmerzen Veranlassung gibt. Den gleichen Geruch können wir auch an den Auspuffgasen von Gas- oder Benzinmotoren wahrnehmen. Die letzteren machen ja das modernste Fahrzeug, das Benzinautomobil, zu einer neuen Qual des Großstadtlebens. Bei den Motoren wird allerdings die unvollkommene Verbrennung nur durch die rasche Abkühlung der Gase während der Verbrennung durch den Zylindermantel hervorgerufen.

Wenn das Gas unter einem normalen Druck von etwa 30 bis 50 mm Wassersäule steht, so wird eine Luftmenge angesogen, die beim Steinkohlengas zur vollkommenen Verbrennung des Gases nicht hinreichend ist. Die Teclubrenner saugen etwa das dreifache Volumen der eigenen Gasmenge an Luft an, während zur vollkommenen Verbrennung nach der im Anhang wiedergegebenen Tabelle etwa das 5,5fache Luftvolumen erforderlich ist. Wird das Mischrohr eines Bunsenbrenners nach abwärts gerichtet, so wirkt der Auftrieb des Gases, welches leichter als die Luft ist, der Strömungsrichtung entgegen, wodurch die angesaugte Luftmenge verringert wird. Wird der Brenner entzündet, so erwärmt sich das Mischrohr und auch das dieses durchstreichende Gasgemisch. Die Erwärmung bewirkt zweierlei; einesteils wird das Gas leichter, wodurch sich der Auftrieb beim stehenden Mischrohr vergrößert, beim abwärts gerichteten hingegen verringert, anderenteils nimmt das Gas durch die Ausdehnung an Volumen zu, wodurch eine Erhöhung des Widerstandes im Mischrohr hervorgerufen wird. Bei erwärmtem Mischrohr ist aus letzterem Grunde die angesogene Luftmenge auf alle Fälle geringer. Selbst bei aufrecht stehendem Mischrohr ist die Gesamtwirkung dieser beiden Umstände eine Verringerung der Luftansaugung, wie schon Süssmann<sup>1)</sup> gefunden hat. H. Bunte<sup>2)</sup> untersuchte das Luftmischungsverhältnis bei auf- und abwärts gerichteten Teclu- und Invertbrennern in kaltem und brennendem Zustande und fand nachstehende Zahlen (s. Tab. a. f. S.).

Bei erhöhtem Druck wird die Menge der angesogenen Luft wesentlich größer, so daß es bei etwa 1000 bis 1500 mm Wassersäule bereits möglich

---

<sup>1)</sup> Hängendes Glühlicht, Journ. f. Gasbel. 1906, S. 826. — <sup>2)</sup> Verbrennungsvorgänge bei hängendem Glühlicht, Journ. f. Gasbel. 1907, S. 865.

ist, die gesamte zur Verbrennung des Steinkohlengases erforderliche Luftmenge durch die Öffnungen des Bunsenbrenners anzusaugen. Wir werden hierauf näher bei der Besprechung des Preßgases eingehen.

Brenner	Teclu	Invertbrenner
Aufwärts, kalt . . . . .	1 : 3,15	1 : 2,6
Aufwärts, brennend . . . . .	1 : 3,01	1 : 2,48
Abwärts, kalt . . . . .	1 : 1,71	1 : 2,17
Abwärts, brennend . . . . .	1 : 1,34	1 : 1,39

Aus dem Umstande, daß nur ein Teil der zur Verbrennung nötigen Luft durch die Öffnungen der Mischkammer des Bunsenbrenners angesogen wird, geht hervor, daß die Verbrennung, welche zunächst stattfindet, keine vollkommene sein kann, sondern daß eine nochmalige Zufuhr von Luft von außen her erforderlich ist, um das Gas vollständig zu verbrennen. Man unterscheidet daher die vom Bunsenbrenner angesogene Luftmenge als Primärluft von der von außen zugeführten Luftmenge als Sekundärluft. Bei Gasen, welche einen geringen Luftbedarf haben (s. Tabelle im Anhang), wird im Bunsenbrenner beim gleichen Druck zwar auch nicht mehr Luft angesogen, und das Mengenverhältnis zwischen Gas und Luft bleibt das gleiche, wie in obiger Tabelle angegeben, das Verhältnis der Primärluft zur Sekundärluft aber ist bei solchen Gasen ein anderes, weil eben nur eine weit geringere Menge von Luft als Sekundärluft zugeführt werden muß. Am besten ist es, die angesogene Primärluftmenge in Prozenten der erforderlichen Gesamtluftmenge auszudrücken. Nehmen wir z. B. ein Steinkohlengas, welches das 5,5fache seines Volumens Luft zur vollkommenen Verbrennung benötigt, und rechnen die Verhältniszahlen der in obiger Tabelle angegebenen Primärluft auf Procente um, so ergeben sich folgende Zahlen:

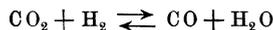
Brenner	Teclu	Invertbrenner
Aufwärts, kalt . . . . .	57,2	47,3
Aufwärts, brennend . . . . .	54,7	45,2
Abwärts, kalt . . . . .	31,1	39,4
Abwärts, brennend . . . . .	24,4	25,3

Würden wir dagegen unkarburiertes Wassergas bei gleichem Druck in den gleichen Brennern verwenden können, und berücksichtigen wir, daß dasselbe nur das 2,5fache Volumen zur Verbrennung benötigt, so würden sich nachstehende Procente ergeben:

Brenner	Teclu	Invertbrenner
Aufwärts, kalt . . . . .	126	104
Aufwärts, brennend . . . . .	121	99
Abwärts, kalt . . . . .	68	87
Abwärts, brennend . . . . .	53	56

Daraus ist also ersichtlich, daß bei Gasen mit geringem Luftbedarf schon bei normalem Druck die gesamte Luftmenge als Primärluft angesogen werden kann und daß sogar noch ein Überschuß von Luft vorhanden sein kann, was sich durch die Zahlen, die über 100 Proz. liegen, ausdrückt. Leider kann dieser Vorteil der Gase mit geringem Luftbedarf nicht ohne weiteres ausgenutzt werden, denn wie schon S. 60 erwähnt, haben Mischungen von Gas und Luft, die nahezu die theoretische Zusammensetzung haben, eine sehr hohe Verbrennungsgeschwindigkeit, und es muß ihnen daher eine sehr hohe Ausströmungsgeschwindigkeit gegeben werden, um das Zurückschlagen zu vermeiden. Dies ist aber bei gewöhnlichen Drucken nicht ohne weiteres möglich, weil bei hohen Ausströmungsgeschwindigkeiten die Widerstände im Mischrohr zu hoch werden.

Die erste Verbrennung, welche beim Ausströmen des Gasgemisches aus der Mündung des Bunsenbrenners bemerkt werden kann, ist nach obigem bei Steinkohlengas zufolge des Luftmangels eine Verbrennung von Luft im Gase. Die Verbrennungsprodukte, welche hierbei entstehen, sind Kohlenoxyd und Wasserdampf, Kohlensäure und Wasserstoff. Diesen ist der Stickstoffgehalt der Primärluft unverändert beigemischt. Die genannten vier Verbrennungsprodukte setzen sich gemäß der Gleichung:



ins Wassergasgleichgewicht (s. S. 48 und 85). Dabei ist zu berücksichtigen, daß diese Stoffe nicht in den Mengen vorhanden sind, wie sie der obigen Gleichung entsprechen, sondern in verschiedenen Mengen, je nachdem, wieviel Kohlenstoff und Wasserstoff im Gas enthalten war, und je nachdem, wieviel Primärluft angesogen wurde. Immer muß aber das Verhältnis dieser Mengen der Formel entsprechen:

$$\frac{[\text{CO}_2] \cdot [\text{H}_2]}{[\text{CO}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]} = \text{konst.}$$

Die Höhe dieser Konstanten verändert sich mit der Temperatur (S. 49).

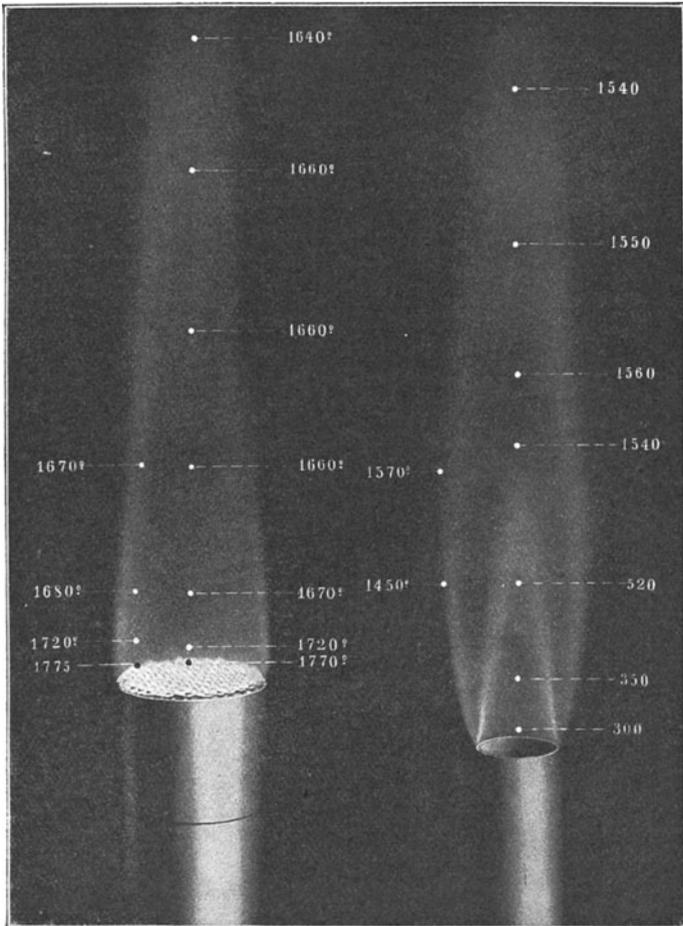
Das Gemisch dieser Gase ist zufolge seines CO- und H<sub>2</sub>-Gehaltes noch brennbar. Die Luft, welche außen zur Flamme des Bunsenbrenners tritt, verbrennt dieses Gasgemisch, und diese Verbrennung erzeugt den äußeren Flammenmantel der Bunsenflamme. Wir unterscheiden also einen inneren und einen äußeren Flammenkegel. Fig. 19 zeigt die in diesem gemessenen Temperaturen.

Die Höhe des inneren Flammenkegels ist von der Ausströmungsgeschwindigkeit und von der Entzündungsgeschwindigkeit abhängig. Je größer die Ausströmungsgeschwindigkeit und je geringer die Entzündungsgeschwindigkeit ist, desto höher wird der innere Flammenkegel. Ist die Ausströmungsgeschwindigkeit gleich der Entzündungsgeschwindigkeit, so schrumpft der innere Flammenkegel so weit ein, daß er in eine Ebene mit der Ausströmungsöffnung zu liegen kommt. Verändern wir den Luftzusatz durch Verkleinerung der Primärluftzuführungsöffnungen, so wird die Entzündungsgeschwindigkeit eine geringere, dadurch hebt sich der innere Flammenkegel in die Höhe. Allerdings wird durch die Verringerung der Primärluft auch die Gesamtmenge des Gasgemisches und daher auch die Ausströmungsgeschwindigkeit verringert. Dies macht jedoch nicht so viel aus, wie die Verringerung der Entzündungsgeschwindigkeit. Durch Veränderung der Primärluftmenge haben wir es also

in der Hand, den inneren Flammenkegel beliebig hoch zu machen. Um eine möglichst heiße Flamme zu erzielen, soll der innere Kegel niedrig und scharf umgrenzt sein, weil dies eine hohe Primärluftzufuhr andeutet. Ist er jedoch zu niedrig, so tritt leicht das Zurückschlagen der Flamme in das Mischrohr ein.

Nehmen wir als Mischrohr ein langes Glasrohr, so können wir den Vorgang des Zurückschlagens genauer verfolgen. Hier sehen wir bei allmählicher

Fig. 19.



Mekerbrenner.

Gewöhnl. Bunsenbrenner.

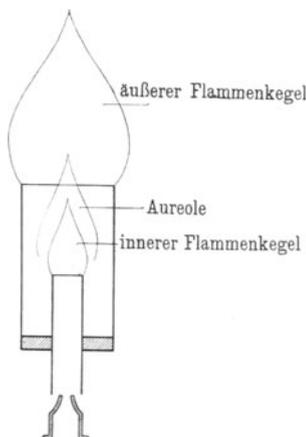
Verringerung der Gaszufuhr, daß der innere Kegel, sobald er so klein geworden ist, daß er in der Ebene des oberen Randes des Glasrohres liegt, dann als eine nach unten gewölbte Flamme in dem Glasrohr nach abwärts schreitet. Ist das Glasrohr dagegen sehr lang, so wird zufolge der Erwärmung des Rohres im Momente des Zurückschlagens ein solcher Auftrieb hervorgerufen, daß die Geschwindigkeit des Gasstromes durch vermehrte Luftansaugung wieder

wesentlich vergrößert wird. Die Flamme geht dann wieder zurück nach oben, schlägt dann von neuem zurück, und dies wiederholt sich, so daß dadurch ein lebhaftes Flackern der Flamme bedingt wird.

Wir haben also hier eine Spaltung der Flamme in zwei Teile<sup>1)</sup> vorgenommen, und wir können den einen Teil beliebig weit von dem anderen entfernen. Wollen wir die gespaltene Flamme in Ruhe beobachten, so verwenden wir dazu die Vorrichtung gemäß Fig. 20. Hier besteht das Mischrohr in einem engen unteren Glasrohr, das mittels eines Korkstopfens in ein weiteres oberes Glasrohr (zweckmäßig Lampenzylinder) eingesetzt ist.

Führen wir diesem Bunsenbrenner nur wenig Luft zu, so brennt die Flamme an dem oberen weiten Glasrohr. Die Geschwindigkeit des Gasstromes ist jedoch dort eine außerordentlich geringe, so daß schon eine geringe Vergrößerung der Luftzufuhr genügt, um das Zurückschlagen im weiten Rohre zu verursachen. Dagegen ist die Geschwindigkeit im engen Rohre eine wesentlich höhere, so daß die Flamme in dieses Rohr nicht hineinschlagen kann, vielmehr sich dort als innerer Flammenkegel der Bunsenflamme ganz getrennt von dem äußeren, oberen Flammenkegel aufsetzt. Mit dieser Vorrichtung sind wir in der Lage, die beiden Flammenkegel und die dazwischen enthaltenen Gase getrennt voneinander zu studieren.

Fig. 20.



der äußere Flammenkegel gewinnt dementsprechend an Intensität. Verstärkt man dagegen die Luftzufuhr in das Mischrohr, so wird der innere Flammenkegel intensiver bläulich leuchtend, und bei genügend großer Luftzufuhr gewinnt er eine deutlich grüne Färbung und scharfe Umgrenzung. Dagegen wird der äußere Flammenkegel wesentlich kürzer und fahl, weil das Gasgemisch, welches sich zwischen den beiden Flammen befindet, und im äußeren Flammenkegel zur Verbrennung gelangt, viel  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  enthält. Bei manchen Gasen zeigt sich oberhalb des inneren Flammenkegels noch eine leuchtende Zone, die mit dem Namen „Aureole“ bezeichnet wird. Dieselbe wird deutlich sichtbar, wenn man irgend ein Natron enthaltendes Salz (z. B. etwas Kochsalz oder Soda) in der Nähe der Luftzuführungsöffnungen zerstäubt. Dieselbe tritt dann stark leuchtend hervor.

Hält man einen Platindraht in den Flammenspalter, so erkennt man, daß die Temperatur der Aureole sehr hoch ist. Wahrscheinlich ist sie nur durch die heißen Gase hervorgerufen, in welchen Staubteilchen zum Glühen kommen, wodurch sie sichtbar sind.

Als Beispiel für die Zusammensetzung des Gasgemisches zwischen den beiden Flammenkegeln eines mit Steinkohlengas betriebenen, mit grünem Innenkegel brennenden Bunsenbrenners seien nachstehende Zahlen gegeben:

Hält man einen Platindraht in den Flammenspalter, so erkennt man, daß die Temperatur der Aureole sehr hoch ist. Wahrscheinlich ist sie nur durch die heißen Gase hervorgerufen, in welchen Staubteilchen zum Glühen kommen, wodurch sie sichtbar sind.

Als Beispiel für die Zusammensetzung des Gasgemisches zwischen den beiden Flammenkegeln eines mit Steinkohlengas betriebenen, mit grünem Innenkegel brennenden Bunsenbrenners seien nachstehende Zahlen gegeben:

<sup>1)</sup> Über Flammenspaltung siehe auch: Allner, Journ. f. Gasbel. 1905, S. 1083.

H <sub>2</sub> O . . . . .	16 Vol.-Proz.
N <sub>2</sub> . . . . .	60 "
CO . . . . .	9 "
H <sub>2</sub> . . . . .	10 "
CO <sub>2</sub> . . . . .	5 "

Das chemische Gleichgewicht zwischen diesen Bestandteilen ist, wie schon wiederholt erwähnt, von der Temperatur des Innenkegels abhängig. Bei der Verbrennung in diesem wird meist eine so hohe Temperatur erreicht, daß das Gleichgewicht sich momentan einstellt. Sowie jedoch das Gasgemisch den Innenkegel verläßt, sinkt die Temperatur so weit herab, daß die Reaktionsgeschwindigkeit derart verlangsamt wird, daß eine Änderung des Gleichgewichts, welche der veränderten Temperatur entsprechen würde, nicht mehr eintritt. Man nennt dies das Festfrieren des Gleichgewichtszustandes. Demzufolge ist es eben möglich, aus der Zusammensetzung der Gase zwischen den Flammenkegeln einen Schluß auf die Temperatur des inneren Flammenkegels zu ziehen. Die Einstellung des Gleichgewichts erfolgt bei einer Temperatur, die über 1230° liegt, sofort. Die Änderung der Gleichgewichtskonstanten bis zu 1500° ist gering<sup>1)</sup>. Allner<sup>2)</sup> berechnete die Reaktionsisochore, aus der die Temperatur nach Ermittlung der Zusammensetzung der Gase gefunden werden kann, nach den von Schreiber<sup>3)</sup> gefundenen Werten wie folgt:

Temperaturgrade C:	Gleichgewichtskonstante <i>k</i> :
686	0,48
886	1,10
1086	2,10
1205	2,61
1405	3,67
1600	4,71
1800	5,91
2000	6,63
2200	7,42

Zeigt sich der innere Flammenkegel nicht grün, sondern blau, so ist in den Produkten der unvollkommenen Verbrennung außer den oben genannten Gasen auch noch Methan enthalten. Es kann dann vorkommen, daß bei Erwärmung dieses Gasgemisches der Methangehalt zu einer Abscheidung von Kohlenstoff im äußeren Flammenkegel, d. h. zu einem Rußen der Flammenspitze führt.

Es muß hervorgehoben werden, daß nicht nur die Beimischung von Luft zum Gase die Flamme entleuchtet; auch wenn man andere Gase, die an der Verbrennung nicht teilnehmen, z. B. Stickstoff, Kohlensäure u. a. zusetzt, tritt Entleuchtung ein. Die Ursache hiervon ist die Herabsetzung der Flammentemperatur unter jene Höhe, welche eine Zersetzung der Kohlenwasserstoffe unter Abscheidung von C zur Folge hat.

Lewes<sup>4)</sup> fand die Temperaturen der Steinkohlengas-Bunsenflamme wie folgt<sup>5)</sup> (s. Tab. a. f. S.).

Gemäß der früheren Erörterungen (S. 67) ist die Temperatur einer Flamme von der Verbrennungswärme des Gases und von der spezifischen

<sup>1)</sup> Haber, Zeitschr. f. Elektrochemie 1908, Nr. 36; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 146. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1905, S. 1035. — <sup>3)</sup> Dingler, Polyt. Journ. 1903, S. 435. — <sup>4)</sup> Journ. f. Gasbel. 1897, S. 739. — <sup>5)</sup> Buchwald (Ann. d. Phys. **33**, S. 928; Chem. Zentralbl. 1911, S. 117; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 97) bestimmte die mittlere Temperatur der Bunsenflamme durch Strahlungsmessungen zu 1878°.

Wärme der Verbrennungsprodukte abhängig. Sie könnte sich also durch die Art der Verteilung der Verbrennungsluft als Primär- und Sekundärluft nicht ändern, wenn nur die Verbrennung eine vollkommene ist. Die obigen Messungen

Ort	Bei blauem	Bei grünem
	Kegel	
Spitze des inneren Kegels . . . . .	1090°	1575°
Mitte des äußeren Kegels . . . . .	1533	1630
Spitze des äußeren Kegels . . . . .	1175	1545
Rand des äußeren in der Höhe der Spitze des inneren Kegels . . . . .	1333	1511

zeigen jedoch, ebenso wie die beim Gasglühlicht beobachteten Erscheinungen, daß die Temperatur der Flamme in allen ihren Teilen eine höhere wird, je größer die Zumischung von Primärluft wird. Dies rührt daher, daß eine höhere Primärluftzufuhr wegen der größeren Verbrennungsgeschwindigkeit das Flammenvolumen wesentlich verkleinert. Hierbei handelt es sich allerdings nur zunächst um das Volumen des inneren Kegels, aber das Volumen des äußeren Kegels kommt dabei nicht in Betracht, da hier eine Mischung der Gase mit Luft vor der Verbrennung nicht eingetreten ist und infolgedessen die Verbrennungsgeschwindigkeit und auch das Flammenvolumen nicht von der Menge der von außen hinzutretenden Luft abhängt. Das kleinere Volumen der Flamme bedingt eine geringere Ausstrahlung und daher eine höhere Temperatur.

Das Flammenvolumen ist deshalb, weil es die Temperatur der Flamme ganz wesentlich beeinflusst, für alle technischen Verwendungen des Bunsenbrenners und ganz besonders für das Gasglühlicht von hervorragender Bedeutung. Wie bereits S. 84 erörtert, ist die Form und Größe des äußeren Kegels einer Bunsenflamme von der Menge des aus dem inneren Kegel nach außen strömenden Gasgemisches und von der Menge der zur Verbrennung nötigen Luft abhängig. Das wirkliche Flammenvolumen ist jedoch nicht identisch mit der Menge der pro 100 Kal. Wärmeentwicklung entstehenden Menge der Verbrennungsgase, weil die Entzündungsgeschwindigkeit dabei eine große Rolle spielt. Nur durch diese ist es ja zu erklären, daß durch Zumischung von Primärluft das Flammenvolumen kleiner wird als bei ebenso großer Sekundärluftzufuhr. Wir wollen uns daher der Definition des Flammenvolumens, wie sie Mayer und Schmiedt<sup>1)</sup> gegeben haben, nicht anschließen und als Flammenvolumen den vom äußeren Flammenmantel eingeschlossenen Raum betrachten. Durch Verstärkung der Primärluftzufuhr wird nach obigem nicht nur der innere Flammenkegel verkleinert, sondern auch der äußere Flammenkegel schrumpft zusammen. Hat die Primärluftzufuhr die theoretisch zur Verbrennung des Gases erforderliche Luftmenge erreicht, d. h. ist sie 100 Proz. geworden, so ist schließlich der äußere Flammenkegel vollständig verschwunden und das Flammenvolumen ist dann identisch mit dem vom inneren Kegel eingenommenen, also sehr kleinen Raum.

Dieselbe Erscheinung tritt ein, wenn wir den gewöhnlichen Bunsenbrenner, also ohne Flammenspalter, betrachten. An der Basis der Flamme berühren sich der äußere und der innere Flammenkegel. In dem Maße, als

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 1137.

die Primärluft gesteigert wird, verkleinert sich der innere Kegel, aber auch der äußere schrumpft mehr und mehr zusammen<sup>1)</sup>, bis er schließlich bei 100 Proz. Primärluft mit dem inneren zusammenfällt. Steigert man die Primärluftzufuhr noch weiter, so gewinnt die Flamme ein ganz anderes Aussehen, sie wird dann matter und hebt sich schließlich von der Brennermündung ab.

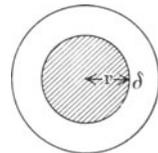
Je stärker die Primärluftzufuhr ist, desto stärker wird das Geräusch, welches brennende Bunsenbrenner von sich geben. Die Mischung von Gas und Luft ist bei den kurzen Mischröhren, wie sie die in Laboratorien benutzten gewöhnlichen Bunsenbrenner tragen, keine vollkommene. Es befinden sich daher im Gasstrom Teile, die verschiedene Verbrennungsgeschwindigkeiten besitzen. Dadurch wird ein rasches Auf- und Abgehen des inneren Flammenkegels bedingt, welches das Geräusch des Bunsenbrenners hervorruft. Dementsprechend verschwindet das Geräusch, wenn man sehr lange Mischrohre anwendet, oder wenn man am Brennerkopf Erweiterungen anbringt mit irgend welchen Einlagen, welche die Mischung vervollkommen, wie dies z. B. beim Gasglühlichtbrenner geschieht.

Eine ungenügende Mischung im Mischrohre bringt auch leicht das Zurückschlagen des Brenners mit sich. Befinden sich Gaspartien im Mischrohre, die eine hohe Entzündungsgeschwindigkeit besitzen, so wird in dem Momente, wo diese Partien zur Flamme kommen, eine plötzliche Entzündung eintreten, deren Geschwindigkeit größer sein kann als die Ausströmungsgeschwindigkeit, und sich daher in den oberen Teil des Mischrohres fortpflanzt. Durch die plötzliche Ausdehnung des Gasgemisches bei dieser Zündung im Mischrohre wird dem nachströmenden Gasgemisch ein höherer Widerstand entgegengesetzt, so daß sich die Strömungsgeschwindigkeit verlangsamt und das vollständige Zurückschlagen eintritt.

Bringt man feste Körper in eine Flamme, so erleiden die Verbrennungsgase eine Ablenkung und eine Abkühlung. Der feste Körper erwärmt sich dabei, doch kann derselbe niemals die volle Temperatur der Flamme annehmen, weil die Strahlung des festen Körpers immer größer ist als die Wärmeausstrahlung der Gase. Die Temperatur, welche ein fester Körper in einer gegebenen Flamme annimmt, hängt von der Dicke desselben ab. Dies hat folgenden Grund<sup>2)</sup>:

Betrachten wir die Erwärmung eines Drahtes von kreisrundem Querschnitt gemäß Fig. 21, so können wir annehmen, daß nur jene Teile der heißen Flammgase, welche den Draht berühren, Wärme an denselben abgeben. Die Dicke der Gasschicht, welche hier in Betracht kommt, kann bei bestimmter Geschwindigkeit als gleichbleibend angenommen werden, einerlei ob der Querschnitt des Drahtes groß oder klein ist. Die Dicke dieser Schicht wird sich nur dann vergrößern, wenn zufolge einer größeren Strömungsgeschwindigkeit eine lebhaftere Bewegung der Gasteilchen in der Nähe des Drahtes stattfindet. Das wärmeabgebende Volumen ist proportional der durch

Fig. 21.



<sup>1)</sup> Der mit konischem Mischrohr und sehr hoher Luftzufuhr arbeitende Mékerbrenner (Lieferanten Josef Pieniczka in Wien und Dujardin u. Co. in Düsseldorf), dessen Flamme in Fig. 19 abgebildet ist, zeigt einen Innenkegel, der vollständig auf den Öffnungen des siebartigen Einsatzes aufsitzt, wodurch die höhere Flammentemperatur bedingt ist. — <sup>2)</sup> Nach einer persönlichen Mitteilung von Dr. F. Blau.

die Dicke  $\delta$  dieser Schicht gekennzeichneten Ringfläche, also proportional der Größe:  $\pi(r + \delta)^2 - r^2\pi = (2r + \delta)\delta\pi$ . Die Wärmestrahlung des Drahtes ist dagegen proportional dem Umfange  $2\pi r$ . Wenn nun der Radius unendlich klein, also  $r = 0$  wird, so wird die Strahlung des Drahtes gleich Null, während die Wärmeabgabe nicht Null, sondern proportional  $\delta^2\pi$  bleibt. Ein äußerst dünner Draht wird daher nahezu vollständig die Temperatur der Flamme annehmen. Ferner erkennen wir hieraus auch, daß lebhaft bewegte Verbrennungsgase, wie sie z. B. ein Gebläse liefert, einen festen Körper auf höhere Temperatur zu bringen vermögen als eine schwach bewegte Flamme. Beim Gebläse wirkt allerdings auch die erhöhte Primärluftzufuhr auf die Erhöhung der Flammentemperatur.

Große feste Körper können also, wenn man deren Wärmeausstrahlung nicht verhindert, nicht auf hohe Temperaturen erhitzt werden. Große feste Körper kühlen vielmehr die Flammen ab und verursachen dadurch eine unvollkommene Verbrennung, die sich bei Steinkohlengas durch üblen Geruch zu erkennen gibt. Die Auspuffgase der Gas- und Benzinmotoren verdanken ihren unangenehmen Geruch der Abkühlung, welche die Flamme im Inneren des Motorzylinders bei der Explosion erfährt. Aber auch Bügeleisen, welche durch eine heiße Flamme von innen geheizt werden, wie man dies häufig vorfindet, kühlen die Flamme so stark ab, daß die Verbrennungsgase stark riechen und zufolge ihres Kohlenoxydgehaltes Kopfschmerzen verursachen. Auch die Flamme eines gewöhnlichen Bunsenbrenners leidet in der Vollkommenheit der Verbrennung, wenn sie einen festen Körper direkt berührt. Ein Bunsenbrenner z. B., der eine Metallschale umspült, wie sie für die Sandbäder in Laboratorien verwendet werden, gibt stündlich etwa 0,6 Liter CO ab. Diese geringe Menge ist zwar selbst dann noch unschädlich, wenn eine große Anzahl von Bunsenbrennern in dieser Art in einem Raume betrieben werden, aber bei Apparaten mit größerem Gaskonsum, wie z. B. Bügeleisenerhitzern, soll darauf gesehen werden, daß die Flamme den Gegenstand niemals direkt berührt. Gleiches gilt auch für Kochvorrichtungen aller Art.

Die abkühlende Wirkung, welche feste Körper auf die Flamme haben, wird in den Schutznetzen praktisch ausgenützt, die das Zurückschlagen einer Flamme in irgend einen Raum verhindern sollen. Läßt man eine Bunsenflamme unter einem Drahtnetz brennen, und führt das letztere von oben her tiefer auf die Flamme herab, so werden die Flammengase unter ihre Entzündungstemperatur abgekühlt, so daß die Produkte der unvollkommenen Verbrennung durch das Drahtnetz entweichen, ohne sich zu entzünden. In diesem Falle sind sie geruchlos, weil die Verbrennung schon unterhalb des Drahtnetzes bis auf Kohlenoxyd und Wasserstoff — also geruchlose Gase — vorgeschritten war. Gelangt das Drahtnetz zum Glühen, so entzünden sich die Gase auch oberhalb des Drahtnetzes an diesem. Umgekehrt kann man auch das Gasluftgemisch, das einem Bunsenbrenner entströmt, oberhalb eines darübergehaltenen Drahtnetzes entzünden, ohne daß die Flamme nach unten durchschlägt. Auch hier erfolgt die Entzündung auf der anderen Seite des Drahtnetzes erst dann, wenn das Drahtnetz glühend geworden ist. Daß diese Schutzwirkung der Drahtnetze tatsächlich auf einer abkühlenden Wirkung beruht, erkennt man auch daraus, daß in einem Rohre, in welchem sich ein brennbares Gasgemisch fortbewegt, bei Gegenwart eines Drahtnetzes in demselben die Flamme, die man durch Entzündung an der Ausströmungsseite

erhält, sich auf das Drahtnetz aufsetzt, ohne dieses vollkommen zu berühren. Bei genauer Betrachtung sieht man vielmehr einen kleinen Zwischenraum zwischen Flamme und Drahtnetz, der etwa  $\frac{1}{2}$  bis 1 mm betragen mag. Daraus ist ersichtlich, daß die abkühlende Wirkung des Drahtnetzes sich schon auf eine gewisse Entfernung zu erkennen gibt, daß schon dort das Gasgemisch die Entzündungstemperatur nicht mehr erreichen kann. Die Abkühlung des zuströmenden Gases verlangsamt eben die Entzündungsgeschwindigkeit.

Die Schutzwirkung der Drahtnetze findet vielfache Anwendung. So z. B. wird sie in den bekannten Davyschen Sicherheitslampen (Grubenlampen) verwendet, um das Durchschlagen der Flamme, welche im Inneren der Lampe entsteht, wenn man dieselbe in ein entzündbares Gasluftgemisch bringt, nach außen zu verhindern. Ferner verwendet man Drahtnetze an den Köpfen der Bunsenbrenner, um das Zurückschlagen zu verhindern. Schließlich hat Blau auch eine Konstruktion angegeben, bei der die Flamme eines Bunsenbrenners, welcher zur Destillation feuergefährlicher Flüssigkeiten in Laboratorien dient, mit einem Schutznetz umgeben ist, so daß die Flamme nicht nach außen schlagen kann.

### III. Maße und Meßinstrumente.

#### 8. Pyrometrie.

Der Begriff, den wir mit dem Worte Temperatur bezeichnen, besitzt durchaus nicht die Sicherheit, welche man ihm gemeinhin beilegt. Die ursprünglichste Methode, einen Temperaturunterschied wahrzunehmen, liegt im Gefühl. Ist unsere Hand kälter als ein Gegenstand, dessen Wärmezustand wir erkennen wollen, so geht Wärme von diesem Gegenstand auf die Hand über und dies ruft eine Empfindung in unseren Nerven hervor, die wir als Wärme bezeichnen. Ist jedoch unsere Hand wärmer als der betreffende Gegenstand, so geht Wärme aus der Hand in den Gegenstand über und wir bezeichnen ihn als kühl. Das Gefühl kann also nicht den absoluten Wärmezustand eines Gegenstandes bestimmen, sondern nur den Übergang von Wärme, welcher aus einem Unterschiede in den Wärmezuständen hervorgeht.

Jedoch auch die Instrumente, die wir zur genauen Beobachtung von Wärmezuständen verwenden, geben eigentlich keine bestimmten Größen über diese Wärmezustände an. Schmelzendes Eis und siedendes Wasser charakterisieren einen bestimmten Wärmezustand. Übertragen wir diesen auf Quecksilber, so finden wir, daß das Volumen desselben in beiden Wärmezuständen ein verschiedenes ist. Wir können also an einem Quecksilberthermometer zwei Marken anbringen, welche die Wärmezustände des schmelzenden Eises und des siedenden Wassers charakterisieren. Wenn wir zu diesen beiden Marken die Ziffern 0 und 100 schreiben, so ist dies ein ganz willkürliches Vorgehen, wie dies ja schon die Existenz dreier verschiedener Thermometerskalen beweist (Reaumur, Fahrenheit, Celsius). Die Willkür ist aber eine viel weitergehende, als man bei oberflächlicher Betrachtung annimmt. Wir sind gewöhnt, den Zwischenraum an der Skala des Quecksilberthermometers zwischen Gefrier- und Siedepunkt des Wassers, wenn wir nach Celsius rechnen, in 100 gleiche Teile einzuteilen. Wir können aber damit nicht beweisen, daß ein solcher Teilstrich den hundertsten Teil der Differenz in den Wärmezuständen des Gefrier- und Siedepunktes angibt, sondern nur, daß ein Teil-

strich dem hundertsten Teile jener Volumzunahme entspricht, welche speziell das Quecksilber zwischen Gefrier- und Siedepunkt erfährt. Die einzelnen Grade des Thermometers sind also nur als bestimmte Temperaturzustände aufzufassen, die wir zweckmäßig mit Nummern bezeichnen, ohne daß wir diesen Nummern bestimmte Zahlenwerte beilegen müßten. In der Tat erhalten wir andere Grade für dieselben Temperaturzustände, wenn wir statt des Quecksilbers irgend ein anderes Material der Ausdehnung beim Erwärmen unterwerfen. Verwenden wir Alkohol oder Luft und teilen das Intervall zwischen den Wärmezuständen des Gefrier- und Siedepunktes des Wassers wieder in 100 gleiche Teile, so sind die Wärmezustände, welche den einzelnen Teilstrichen entsprechen, mit denen des Quecksilberthermometers durchaus nicht identisch, sondern jedes besondere Material ergibt eine zugehörige Skala, und es entsteht die Frage, welches Material man denn wählen solle, wenn man die Temperaturzustände durch bestimmte Zahlangaben, die aus der Ausdehnung der Körper resultieren, charakterisieren will.

Es bleibt nichts übrig, als irgend eine Annahme einer Gesetzmäßigkeit zu machen, ohne daß wir das Gesetz beweisen können. Nehmen wir z. B. an, das Quecksilber dehne sich genau proportional der Temperatur aus, so ist dies eine willkürliche Annahme, die eine bestimmte Thermometerskala ergibt. Nehmen wir dagegen an, die Luft dehne sich proportional der Temperatur aus, und teilen danach die Thermometerskala ein, so bekommen wir wieder eine Skala, welche nur für diese Hypothese gilt. Nun ist allerdings die kinetische Gastheorie eine Hypothese, welche für die gesamte Physik und Chemie so ausgezeichnete Dienste geleistet hat, daß wir uns auch betreffs der Temperaturzustände vorteilhaft dieser Hypothese anschließen. Diese Hypothese sagt, daß die mittlere kinetische Energie (lebendige Kraft) der Moleküle jedes Gases proportional der absoluten Temperatur desselben sei. Sie bezeichnet als vollkommene Gase jene, bei denen auch das Volumen proportional der mittleren kinetischen Energie, also proportional der absoluten Temperatur ist.

Erst wenn wir eine solche Hypothese zur Grundlage nehmen, gewinnt jeder Temperaturgrad die Bedeutung einer bestimmten physikalischen Größe. Nun gibt es allerdings solche vollkommene Gase, wie sie die kinetische Gastheorie annimmt, in der Praxis überhaupt nicht, wohl aber kennen wir ein Gas, welches annähernd die Eigenschaften der idealen Gase besitzt. Es ist dies der Wasserstoff. Wenn wir daher das Wasserstoffthermometer als Meßinstrument anwenden, so erhalten wir eine Gradeinteilung, welche sehr nahe der Teilung entspricht, welche mit jener der kinetischen Gastheorie übereinstimmt<sup>1)</sup>. Ebenso wie die Grundsätze der kinetischen Gastheorie könnte auch irgend ein anderes Naturgesetz zur Definition der Temperaturskala herangezogen werden, so z. B. erscheinen die Strahlungsgesetze hierfür besonders geeignet und Lummer hat tatsächlich eine solche Skala abgeleitet, welche dem Stefan-Boltzmannschen Strahlungsgesetze entspricht. Nach diesem ist die absolute Temperatur proportional der vierten Wurzel aus der Gesamtstrahlung, und somit läßt sich der Temperaturzustand auch hiernach als eine bestimmte physikalische Größe definieren; die aus den Strahlungsgesetzen ab-

---

<sup>1)</sup> Näheres über diesen Gegenstand siehe: „Mach, Die Prinzipien der Wärmelehre, Verlag Barth 1896, welcher aus den Hauptsätzen der mechanischen Wärmelehre eine absolute Temperaturskala ableitet.

geleitete Temperaturskala muß jedoch deshalb noch lange nicht mit der Skala, wie sie sich aus der kinetischen Gastheorie ergibt, übereinstimmen.

Die Abweichungen, welche gemäß der obigen Erörterungen zwischen den verschiedenen Temperaturskalen bestehen, sind, wenn man sich an die konventionelle Übereinkunft hält, das Intervall zwischen Gefrier- und Siedepunkt des Wassers in 100 gleiche Teile zu teilen, nur so gering, daß sie für praktische Zwecke nicht in Betracht kommen. Man kann daher als thermometrische Substanz verschiedene Materialien verwenden, je nach den besonderen Zwecken, die mit dem betreffenden Thermometer erreicht werden sollen. Legt man das Gesetz der Ausdehnung durch die Wärme zugrunde, so kommen in Betracht: Quecksilber, Alkohol, Metalle, Graphit, Luft und Wasserstoff. Nach den obigen Erörterungen ist das Wasserstoffthermometer dasjenige, welches sich am ehesten als einem Naturgesetz angepaßt bezeichnen läßt, und daher ist es üblich, alle wissenschaftlichen genauen Angaben auf das Wasserstoffthermometer zu beziehen. Zur Bestimmung der Temperatur werden hauptsächlich die nachstehenden Gesetzmäßigkeiten in den Eigenschaften der Körper verwendet:

1. Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme, wie oben beschrieben.
2. Die Zunahme der Dampfspannung bei Flüssigkeiten oder die Zunahme der Dissoziationsspannung mit der Temperatur bei festen Körpern.
3. Das Wärmeleitungsvermögen.
4. Die Schmelzpunkte der Körper.
5. Die Fähigkeit zweier Körper, die sich berühren, beim Erwärmen des Berührungspunktes einen elektrischen Strom hervorzurufen (Thermoelektrizität).
6. Die Erhöhung des elektrischen Leitungswiderstandes der Metalle mit der Temperatur.
7. Der Wärmehalt fester Körper.
8. Die Gesetzmäßigkeiten der Strahlung.

Natürlich lassen sich auch noch andere Eigenschaften der Stoffe, die sich mit der Temperatur ändern, zur Temperaturbestimmung heranziehen. Wir wollen jedoch nur die derzeit praktisch angewendeten im nachstehenden erörtern.

1. Die Ausdehnung der Körper. Man muß hierbei berücksichtigen, daß wir bei einem Thermometer die Ausdehnung einer Substanz allein nicht bestimmen können. Es ist uns immer nur möglich, die Differenz in der Ausdehnung zweier verschiedener Stoffe zu ermitteln, so z. B. ist die Anzeige des Quecksilberthermometers nicht durch die Ausdehnung des Quecksilbers allein bedingt, sondern durch die Differenz der Ausdehnungen von Glas und Quecksilber. Würde sich nur das Glasgefäß ausdehnen und nicht das Quecksilber, so würde die Quecksilberkuppe bei Erwärmung des Thermometers sinken, anstatt zu steigen. Das Quecksilber besitzt jedoch einen höheren Ausdehnungskoeffizienten als das Glas und deshalb resultiert ein Steigen der Quecksilberkuppe im Glasgefäß beim Erwärmen.

Thermometer, welche zur Messung höherer Temperaturen dienen, nennt man Pyrometer. Die Anwendung des Quecksilbers für die höheren Temperaturen stößt auf zweierlei Schwierigkeiten: einestils ziehen sich die Glasgefäße, welche auf höhere Temperaturen erwärmt worden sind, beim Erkalten nicht sofort wieder auf ihr ursprüngliches Volumen zusammen, und dement-

sprechend geht die Anzeige des Quecksilberthermometers nach starker Erwärmung nicht mehr auf die richtige Stelle zurück. Erst nach Ablauf längerer Zeit zeigt das Thermometer wieder richtig. Man nennt dies die „thermische Nachwirkung“. Schott und Genossen in Jena haben ein besonderes Glas für Thermometer hergestellt, das diese thermische Nachwirkung in nur ganz geringem Grade zeigt. Man nennt es Normalglas.

Der zweite Umstand, der die Temperaturmessungen mit dem Quecksilberthermometer begrenzt, ist der Siedepunkt des Quecksilbers ( $360^{\circ}$ ). Man kann zwar Quecksilberthermometer bei Temperaturen bis zu  $500^{\circ}$  verwenden, diesfalls darf sich aber über dem Quecksilber kein luftleerer Raum befinden, sondern man verwendet dann ein komprimiertes Gas, welches zufolge seines hohen Druckes den Siedepunkt des Quecksilbers erhöht. Das Gas muß frei von Sauerstoff sein, weil letzteres das Quecksilber bei diesen hohen Temperaturen oxydieren würde; man verwendet gewöhnlich Stickstoff, in neuerer Zeit auch  $\text{CO}_2$ ; diese sollen bis  $550^{\circ}$  verwendbar sein. Für noch höhere Temperaturen bis zu  $750^{\circ}\text{C}$  dienen Quecksilberthermometer aus Quarz.

Für genaue Ablesungen des Quecksilberthermometers ist zu berücksichtigen, daß jener Teil des Quecksilberfadens, welcher sich außerhalb des erwärmten Raumes befindet, nicht die Temperatur des letzteren annimmt und daher nicht die Länge hat, die ihm bei der zu messenden Temperatur zukommen würde. Es muß daher bei genauen Messungen eine Korrektur angebracht werden, die nach Thorpe zu berechnen ist aus der Formel:

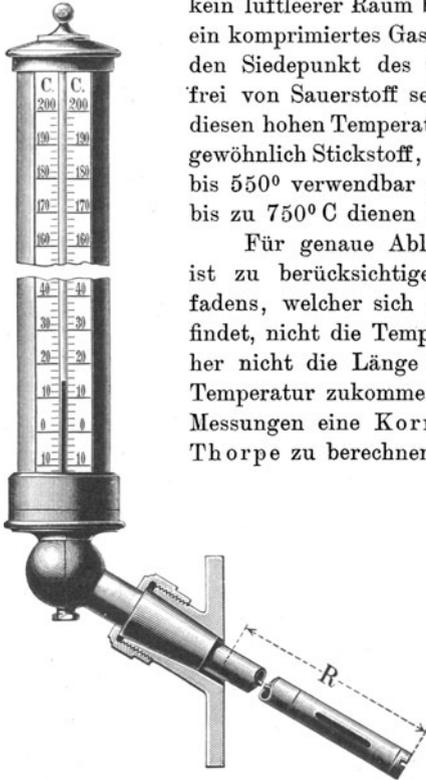
$$T = t + 0,000148n(t - t')$$

Hierin bedeutet  $T$  die gesuchte Temperatur,  $t$  die angezeigte Temperatur,  $t'$  die mittlere Temperatur des herausragenden Fadens und  $n$  die Anzahl der herausragenden Grade. Die mittlere Temperatur des herausragenden Fadens  $t'$  wird gewöhnlich durch Anlegen eines zweiten Thermometers in mittlerer Höhe des herausragenden Fadens bestimmt.

Um die Quecksilberthermometer gegen Bruch zu schützen, versieht man sie mit Hüllen, denen man, je nach dem Verwendungszweck, verschiedene Formen gibt, wie obenstehende Fig. 22 zeigt. Da jedoch das Glas auch in der Umhüllung stets gebrechlich bleibt, läßt man die Ausdehnung des Quecksilbers in den Pyrometern von Steinle und Hartung in einem Stahlrohre auf eine Anzeigevorrichtung, die einem Federmanometer gleicht, wirken, ein solches Pyrometer ist in Fig. 23 dargestellt.

Da Quecksilber in Glasthermometern nur bis zu Temperaturen von  $550^{\circ}$  anwendbar bleibt, verwendet man für höhere Temperaturen andere Stoffe, deren Ausdehnung oder Ausdehnungsdifferenz gemessen wird. So z. B. Metalle, deren Ausdehnung ein Zeigerwerk betätigt; solche Metallpyrometer sind

Fig. 22.



bis zu einer Temperatur von etwa  $600^{\circ}$  brauchbar. Sie müssen häufig nachgeeicht werden, weil sich die Lage des Nullpunktes verändert.

Fig. 23.

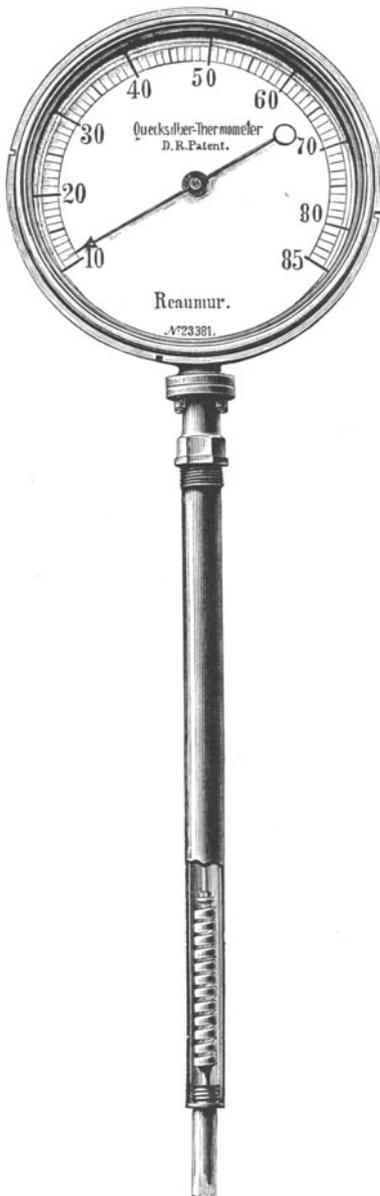
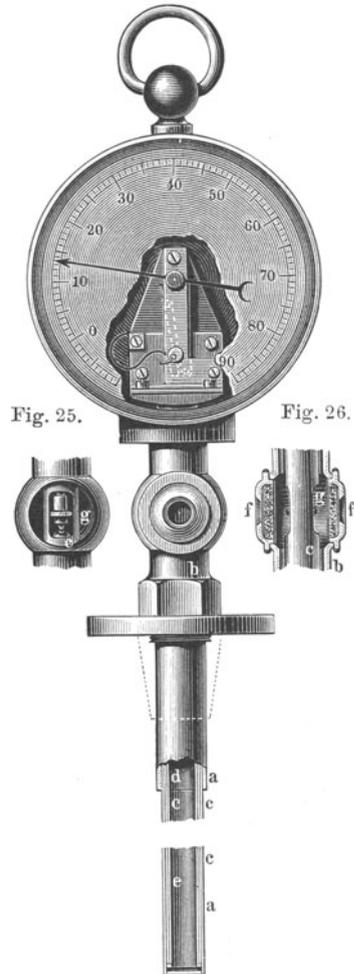


Fig. 24.



Will man höhere Temperaturen messen, so kommt als Ausdehnungs-  
substanz nur Graphit in Betracht. Dieser hat die Eigentümlichkeit, sich in  
der Wärme wesentlich geringer auszudehnen als Eisen. Bringt man daher in  
ein schmiedeisernes Rohr ein Stück Graphit, das von einem eisernen Stabe

Fig. 27.

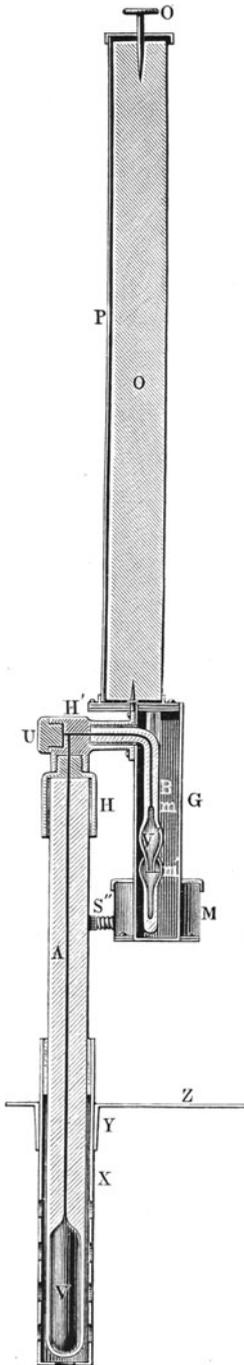
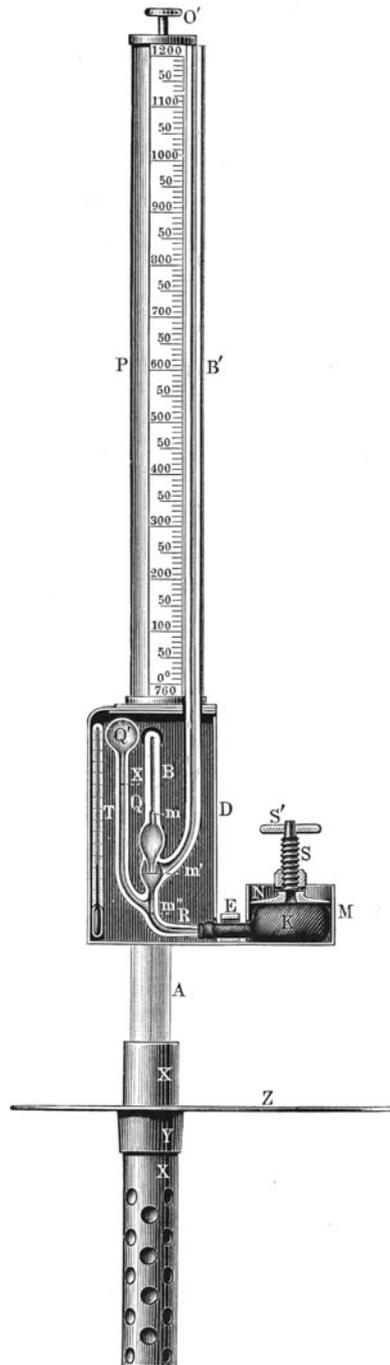


Fig. 28.



nach unten gedrückt wird, wie Fig. 24 bis 26 zeigen, so wird sich beim Erwärmen das Gußeisenrohr stärker ausdehnen als das Graphitstück, und daher wird das obere Ende des Graphitstückes eine relative Bewegung nach abwärts ausführen. Diese wird durch den eisernen Stab auf ein Zeigerwerk übertragen, wo man an einer Skala direkt die Temperatur ablesen kann. Solche Graphitpyrometer sind bis zu  $1000^{\circ}$  geeicht. Sie sind jedoch für so hohe

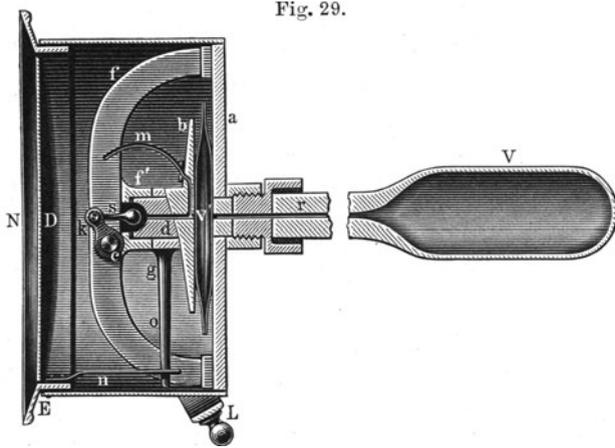


Fig. 30.

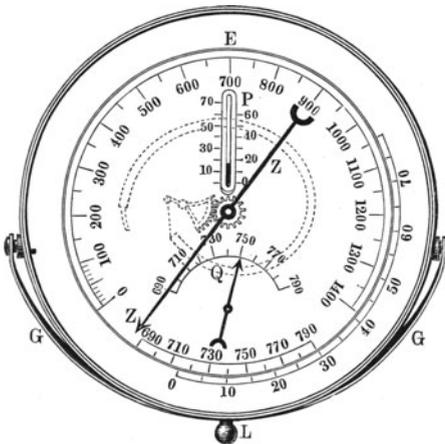
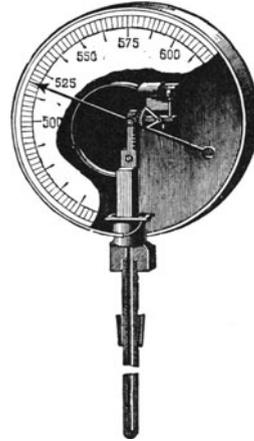


Fig. 31.



Temperaturen kaum verwendbar, weil sie dann beim Abkühlen nicht mehr auf den normalen Stand zurückgehen. Da jedoch für geringere Temperaturen andere der oben genannten Thermometer zweckmäßiger verwendbar sind, so kommen die Graphitpyrometer nur für Temperaturen von  $500$  bis  $800^{\circ}$  in Betracht.

Das genaueste Pyrometer, welches die Ausdehnung einer Substanz mißt, ist zweifellos das Gasthermometer. Es mißt den Druck der Luft oder des in einem abgeschlossenen Raume befindlichen Gases, welcher beim Erwärmen

hervorgerufen wird. Genauer als Luft ist die Anwendung von Wasserstoff. Als Gefäß dient bis zu 500° Glas, darüber hinaus glasiertes Porzellan; Platin ist unbrauchbar, einesteils weil es Wasserstoff durchdiffundieren läßt, anderen-teils weil es von reduzierenden Flammgasen angegriffen wird.

Eine sehr praktische Methode der Temperaturmessung mit Hilfe des Luftthermometers hat Wiborgh angegeben (Fig. 27 und 28). Das eigentliche Pyrometergefäß  $V$  geht in eine Porzellankapillare  $A$  über. An diese ist das gläserne Manometer  $B'$  angeschlossen. Es wird nun nicht die einfache Druckzunahme beim Erwärmen gemessen, sondern die Druckzunahme, welche entsteht, wenn eine bestimmte Menge Luft in das Gefäß  $V$  hineingepreßt wird. Zu diesem Zwecke ist bei  $V'$  eine Erweiterung des Glasrohres, welches zum Manometer geführt ist, angebracht. In diese wird aus der Dose  $K$  mit Hilfe eines eisernen Deckels und einer Schraube  $S$  Quecksilber hineingepreßt. Dasselbe verdrängt zunächst die Luft aus dem Manometerrohre, bis es das untere Ende von  $V'$  abgeschlossen hat. Beim weiteren Hineinpressen steigt das Quecksilber einerseits in  $V'$  in die Höhe, die dort befindliche Luft in das Thermometergefäß  $V$  hineinpressend, andererseits auch in dem Manometerrohre  $B'$  dort den Druck, der im Gefäß  $V$  herrscht, anzeigend. Das Hineinpressen des Quecksilbers wird so lange fortgesetzt, bis es oberhalb des Gefäßes  $V'$  die Marke  $m$  erreicht hat. Dann erfolgt die Ablesung des Druckes an dem Manometerrohre. Der Nullpunkt wird eingestellt, indem man die gleiche Operation bei gewöhnlicher Temperatur vornimmt, also die Druck-erhöhung mißt, welche entsteht, wenn das Luftvolumen  $V'$  zum Luftvolumen  $V$  hinzugepreßt wird. Die Kugel  $Q'$  dient zur Korrektur der Ablesungen, die zu- folge Veränderungen der Barometerstände erforderlich sind.

Um die Gebrechlichkeit des Instrumentes zu verringern, hat Wiborgh ferner das Quecksilbermanometer durch ein Federmanometer ersetzt. Das Instrument erhält dann das Aussehen gemäß Fig. 29 und 30. Hier ist es das Luftvolumen in der elastischen Kapsel  $V'$ , das mit Hilfe des Hebels  $L$  in das Pyrometergefäß  $V$  hineingepreßt wird. Die Druckerhöhung gibt sich an dem Zeiger  $Z$  zu erkennen. Der Barometerstand wird an dem Aneroid  $Q$  und die Lufttemperatur an  $P$  abgelesen<sup>1)</sup>.

2. Die Dampfspannung und Dissoziation. Die Anwendung der mit der Temperatur steigenden Dampfspannung der Flüssigkeiten ist in dem Thalpotasimeter von Klinghammer durchgeführt. Das Instrument besteht gemäß Fig. 31 aus einem Rohre, welches die betreffende Flüssigkeit enthält und das mit einem Federmanometer in Verbindung steht. Als Füllflüssigkeit wird verwendet:

Flüssige Kohlensäure . . . . .	von — 65 bis + 123° C
Flüssige schweflige Säure . . . . .	„ — 10 „ + 100
Wasserfreier Äther . . . . .	„ + 35 „ + 120
Destilliertes Wasser . . . . .	„ + 100 „ + 226
Schwerflüchtige Kohlenwasserstoffe . .	„ + 216 „ + 360
Quecksilber . . . . .	„ + 357 „ + 780

Das Thalpotasimeter findet man jedoch in der Praxis weniger angewendet. Das gleiche kann man von den Pyrometern sagen, die mit der Dissoziations-

<sup>1)</sup> Beide Arten des Wiborghschen Luftpyrometers sind von Geislers Nachfolger in Bonn erhältlich.

spannung arbeiten. Als dissoziierende Substanz ist hauptsächlich kohlen-saurer Kalk vorgeschlagen worden, der gemäß der Formel:



bei höheren Temperaturen  $\text{CO}_2$  abgibt und bei niederen Temperaturen  $\text{CO}_2$  wieder aufnimmt. Es stellt sich auch hier ein Gleichgewichtszustand ein, der vom Drucke und von der Temperatur abhängig ist, derart, daß die Temperatur durch den entstehenden Druck (Dissoziationsspannung) gemessen werden kann.

3. Die Wärmeleitung, welche von dem Temperaturgefälle abhängig ist, wird bei dem Wiborghschen Thermophon zur Temperaturbestimmung angewendet. In einem kleinen Tonzylinder befindet sich eine Sprengkapsel, welche bei einer bestimmten Temperatur zur Explosion kommt. Die Zeit, welche erforderlich ist, bis die Kapsel die Entzündungstemperatur erreicht hat, ist von dem Temperaturgefälle abhängig, welches die Wärme von der Oberfläche des Tonzylinders bis in die Mitte treibt. Dementsprechend kann die Temperatur eines Raumes gefunden werden, wenn man den Wiborghschen Tonzylinder hineinbringt und die Zeit bestimmt, welche bis zur Explosion der Kapsel verläuft. Letztere kennzeichnet sich durch einen schwachen Knall, weshalb man diesem Instrument den Namen Thermophon gegeben hat. Zweckmäßig ist es, zunächst ein Rohr in den Raum einzubringen, dessen Temperatur ermittelt werden soll und erst in dieses den Tonzylinder fallen zu lassen. Die den Zeiten entsprechenden Temperaturen sind dann einer Tabelle zu entnehmen<sup>1)</sup>.

4. Der Schmelzpunkt verschiedener Substanzen läßt sich zur Temperaturbestimmung benutzen indem man eine Anzahl verschiedener Stoffe in den zu messenden Raum bringt und beobachtet, welche von diesen Substanzen schmelzen und welche den Schmelzpunkt noch nicht erreicht haben.

Für niedere Temperaturen verwendet man Princeps Legierungen von Gold und Silber, die, in wechselnden Mengenverhältnissen gemischt, Schmelzpunkte von 954 bis 1075° besitzen<sup>2)</sup>. Für Temperaturen von 1075 bis 1775° C werden Princeps Gold-Platinlegierungen verwendet. Die letztgenannte Temperatur stellt den Schmelzpunkt des reinen Platins dar.

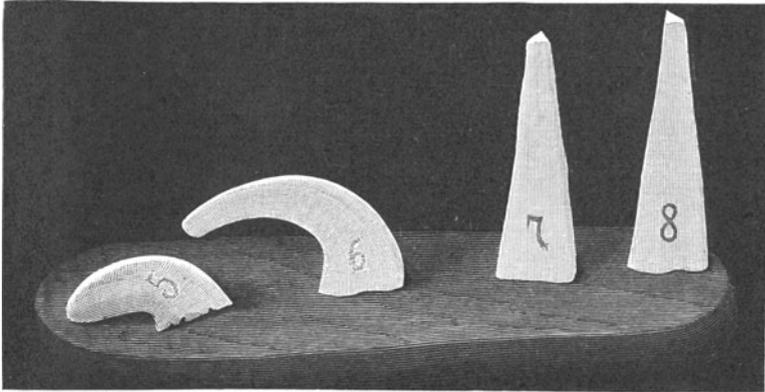
Die Princepschen Legierungen dürfen nicht in Räume gebracht werden, die von reduzierenden Flammen geheizt werden. Denn in diesen bedecken sie sich leicht mit einer Schlackenhaut, wodurch die Schmelzpunkte erniedrigt werden.

Viel allgemeiner als die Princepschen Legierungen werden die sog. Segerkegel zur Bestimmung höherer Temperaturen verwendet. Es sind dies kleine konische Körper, gewöhnlich dreiseitige Pyramiden, die aus einem Gemisch von Quarz, Kaolin, Marmor und Feldspat bestehen. Für niedere Temperaturen wird auch Eisenoxyd verwendet<sup>3)</sup>. Diese Pyramiden werden, auf geeigneten Unterlagen aufgestellt, in den zu messenden Raum geschoben. Es werden dabei mehrere derselben von verschiedenem Schmelzpunkte nebeneinandergestellt, und man beobachtet, welche von den Segerkegeln, die mit

<sup>1)</sup> Jüptner, Technologie der Energien, I, 1, S. 91. — <sup>2)</sup> Jahrb. f. d. Berg- u. Hüttenw. im Königreich Sachsen. — <sup>3)</sup> Die Segerkegel können von der Königlichen Porzellanmanufaktur in Charlottenburg oder von dem Chemischen Laboratorium für Tonindustrie in Berlin NW, Kreuzstraße 6 bezogen werden.

Nummern bezeichnet sind, weich werden und sich umbiegen und welche die betreffende Temperatur unverändert aushalten. Die Schmelztemperatur jenes Kegels, der sich so weit gekrümmt hat, daß dessen Spitze die Unterlage berührt, wie dies Fig. 32 zeigt, betrachtet man als die Temperatur, welche der betreffende Raum erreicht hat.

Fig. 32.



Diese Seegerkegel werden für Temperaturen von 1150 bis 1700° C hergestellt. Für höhere Temperaturen von 1510 bis 1890° hat Cramer besondere Kegel angegeben.

Zur Temperaturbestimmung können noch die nachstehenden Schmelz- und Siedepunkte einiger Substanzen verwendet werden:

Siedepunkt des Wassers . . . . .	100° C
„ von Naphthalin . . . . .	218
Schmelzpunkt von Zink . . . . .	420
Siedepunkt „ Schwefel . . . . .	445
Schmelzpunkt „ Aluminium . . . . .	655
„ „ Kochsalz . . . . .	800
„ „ Natriumsilikat . . . . .	883
Siedepunkt „ Zink . . . . .	930
Schmelzpunkt „ Silber . . . . .	960
„ „ Gold . . . . .	1045
„ „ Palladium . . . . .	1500
„ „ Platin . . . . .	1780

Durch die Schmelzpunkte der Substanzen, wie sie oben geschildert sind, lassen sich nur die erreichten Höchsttemperaturen ermitteln. Will man dauernd steigende und fallende Temperaturen beobachten, so muß man andere Hilfsmittel anwenden.

5. Thermoelektrizität. Von besonderer Wichtigkeit für die Messung hoher Temperaturen sind die thermoelektrischen Pyrometer geworden. Berühren sich zwei verschiedene Metalle an einer Stelle und erwärmt man diesen Berührungspunkt, so entsteht eine elektrische Spannung, die einen elektrischen Strom verursacht, wenn man die beiden freien Enden der beiden Metalle leitend miteinander verbindet. Man nennt dies den Thermostrom und die in der beschriebenen Weise gebildete Vorrichtung ein Thermoelement. Die leitende Verbindung der beiden freien Enden kann natürlich ebenfalls nur

durch ein Metall (Draht) erfolgen. Es entstehen also dadurch zwei neue Berührungspunkte zweier verschiedener Metalle. Würden diese Berührungspunkte ebenfalls erwärmt, so würde hier eine elektrische Spannung entstehen, die nach der entgegengesetzten Seite gerichtet wäre und somit der ersterwähnten entgegenwirken würde. Würde man diese Verbindungsstellen auf ebenso hohe Temperaturen erhitzen wie das eigentliche Thermoelement, so könnte ein Strom überhaupt nicht entstehen. Die an den freien Enden des Thermoelementes meßbare Spannung ist also nur von der Temperaturdifferenz abhängig, welche zwischen dem eigentlichen Thermoelement und den Anschlußstellen des Leitungsdrahtes besteht. Zur Messung der Spannung müssen sehr empfindliche Volt-

Fig. 33.

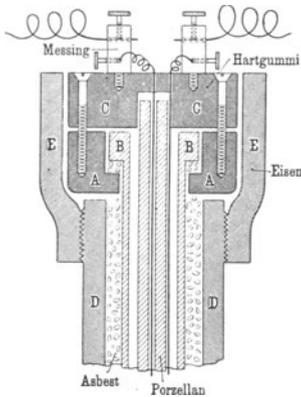
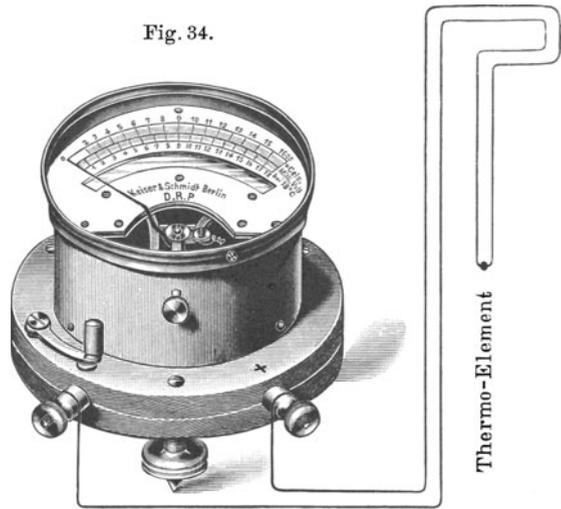


Fig. 34.



meter verwendet werden, weil die bei einem einzelnen Thermoelement auftretende Spannung nur sehr gering ist. Gewöhnlich verwendet man in Millivoltmeter.

Le Chatelier ist es zu danken, daß dieses Verfahren der Temperaturmessung weit verbreitete Einführung gefunden hat. Um sehr hohe Temperaturen messen zu können, verwendet er als Thermoelement die schwerst schmelzbaren Metalle, nämlich einerseits Platin und andererseits die Legierung von Platin mit 10 Proz. Rhodium. Die Berührungsstelle der beiden aus diesen Metallen gefertigten Drähte wird durch Schmelzen in der Knallgasflamme verlötet. Das Instrument ist später von Holborn und Wien verbessert worden. Es wird heute in der nachstehenden Form angewendet (Fig. 33 und 34). In ein Porzellanrohr *B* ist ein ganz dünnes zweites Porzellanrohr eingeschoben, welches den einen Platindraht aufnimmt. Der zweite Draht befindet sich im Zwischenraum zwischen den beiden Porzellanrohren und die Lötstelle am untersten Ende des inneren Porzellanrohres, welches der zu messenden Temperatur ausgesetzt ist. Das innere Porzellanrohr dient somit nur zur Isolierung der beiden Drähte voneinander und das äußere Porzellanrohr dient zum Schutze der Platindrähte gegen direkte Flammengase. Durch kohlenstoffhaltige Gase würde nämlich das Platin angegriffen, indem es brüchig würde. Zum Schutz des Porzellanrohres gegen

Stöße wird dasselbe noch mit einem eisernen Rohre *D* umgeben, welches jedoch nur anwendbar ist, wenn es sich um Temperaturen handelt, die beträchtlich unter 1200° C liegen. Auf das eiserne Rohr *D* ist dann noch die Muffe *E* aufgeschraubt, welche die geeigneten Befestigungsvorrichtungen für die beiden Porzellanrohre und die Platindrähte trägt, wie Fig. 33 zeigt.

Will man die Temperatur einer verhältnismäßigen kleinen Flamme ermitteln, wie dies z. B. bei der gewöhnlichen Bestimmung der Flammentemperaturen der Fall ist, so ist selbstverständlich die Umhüllung des eigentlichen Thermo-elementes mit einem Porzellanrohre unzulässig, es muß dann vielmehr das Thermoelement direkt in die Flamme gebracht werden. Bei anderen Arbeiten im Laboratorium kann es zweckmäßig sein, anstatt eines Porzellanrohres ein anderes Schutzmittel gegen die Einwirkung von Substanzen, welche dem Platin schädlich sind, anzuwenden. Ein solches Schutzmittel erhält man z. B., wenn man feingepulvertem Quarz 10 Proz. feuerfesten Ton zusetzt und die Masse mit Natronwasserglas anrührt<sup>1)</sup>.

Das Le Chateliersche Pyrometer hat, wie alle thermoelektrischen Pyrometer, den großen Vorzug, daß man die Ablesung an einer Stelle vornehmen kann, die von der betreffenden Feuerungsanlage weit entfernt ist. Man braucht ja nur die Drahtleitungen zu dem beliebig weit entfernten Voltmeter zu leiten. Es ist jedoch zu beachten, daß der Widerstand der gesamten Leitung 1 Ohm nicht übersteigen darf.

Da die Porzellanrohre des Le Chatelierschen Pyrometers leicht gebrechlich sind, hat man in neuerer Zeit Schutzrohre aus Quarzglas verwendet, welche nicht zerspringen<sup>2)</sup>. Das Quarzglasschutzrohr darf jedoch nicht mit Eisen in Berührung kommen, da es Eisenoxyd aufnimmt und dadurch leicht zerstört wird. Die Genauigkeit des Le Chatelierschen Pyrometers beträgt  $\pm 5^{\circ}$ . Die elektromotorische Kraft desselben beträgt:

Grade Celsius	Millivolt
300 . . . . .	2,27
500 . . . . .	4,17
1000 . . . . .	9,50
1500 . . . . .	15,69

Der Anstieg der elektromotorischen Kraft ist daher nahezu proportional der Temperatur.

Hartmann und Braun in Bockenheim bei Frankfurt a. M. bringen ein thermoelektrisches Pyrometer in den Handel, welches ein Platinnickel-Thermoelement enthält. Dieses hat die doppelte Empfindlichkeit, wie das Le Chateliersche Element, ist jedoch nur bis 1000° verwendbar.

Hirschsohn hat ein thermoelektrisches Pyrometer angegeben, dessen Thermoelement aus Nickel und Kohlenstoff besteht. Da jedoch Nickel Kohlenstoff aufnimmt und brüchig wird, wenn man es zum Glühen erhitzt, so schaltet man zwischen die beiden Substanzen metallisches Eisen ein. Das Hirschsohnsche Thermoelement liefert ebenfalls eine größere Stromstärke als das Le Chateliersche, ist jedoch nur bis 1250° brauchbar. Dagegen hat es den Vorzug der Billigkeit.

6. Widerstandserhöhung. Für ganz genaue Temperaturmessungen leistet das Widerstandspyrometer von Siemens gute Dienste. Es beruht

<sup>1)</sup> Jüptner, Technologie der Energien, I, 1, S. 88. — <sup>2)</sup> Becker, Journ. f. Gasbel. 1907, S. 895.

auf der Erhöhung des elektrischen Leitungswiderstandes, welche alle Metalle beim Erhitzen erfahren. Man verwendet einen Platindraht, der ebenfalls sehr sorgfältig vor der direkten Einwirkung der Flammengase geschützt sein muß, er wird auf einen Schamottezylinder spiralförmig aufgewickelt. Der Widerstand, welchen ein von einer Batterie kommender Strom erfährt, wird mittels Rheostat und Differentialgalvanometer auf gewöhnliche Weise bestimmt. Bedeutet  $R_t$  den Widerstand bei der Temperatur  $t$ ,  $R_0$  den Widerstand bei  $0^\circ$  und  $T$  die absolute Temperatur, so läßt sich der Leitungswiderstand durch die Formel ausdrücken:

$$R_t = R_0 (\alpha \cdot \sqrt{T} + \beta \cdot T + \gamma).$$

Hierin bedeuten  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  Konstante. Es sind jedoch bei diesem Instrument öftere Korrekturen notwendig, weil sich der Leitungswiderstand des Platins ändert. Es ist bis  $1200^\circ$  verwendbar.

Ähnliche Widerstandspyrometer sind von Hartmann und Braun und Callendar angegeben worden.

7. Wärmehalt. Die Wärmemenge, welche bestimmte Substanzen beim Erhitzen auf die zu messende Temperatur aufzunehmen vermögen, wird bei den kalorimetrischen Pyrometern zur Temperaturbestimmung benutzt. Derartige Pyrometer wurden von Weinhold, Fischer und Siemens in die Praxis eingeführt. Als thermometrische Substanz benutzt man einen Eisen- oder Nickelzylinder, der in dem zu messenden Raume erwärmt und dann rasch in Wasser gebracht wird, dessen Temperaturerhöhung man ermittelt. Es ist jedoch dabei zu berücksichtigen, daß die spezifische Wärme dieser Substanzen ebenfalls keine gleichbleibende ist, sondern mit der Temperatur steigt, so daß besondere Tabellen für die Auffindung der Temperatur aus der aufgenommenen Wärmemenge angewendet werden müssen.

Zufolge der Umständlichkeit in der Behandlung dieser Pyrometer finden dieselben heute in der Praxis nur mehr geringe Verwendung<sup>1)</sup>.

8. Strahlungspyrometer. Die umfangreichste Anwendung in der Pyrometrie findet die Eigenschaft der Körper, beim Erwärmen Strahlen auszusenden. Bei Besprechung der Strahlungsgesetze (S. 31) haben wir zwar gesehen, daß nur bei einem absolut schwarzen Körper die Emission von Strahlen mit solcher Gesetzmäßigkeit erfolgt, daß der Zusammenhang zwischen Strahlung und Temperatur rechnerisch ermittelt werden kann. Wir haben aber ferner gesehen, daß Hohlräume — einerlei von welchen Substanzen dieselben umgeben sind — die Strahlen nach den gleichen Gesetzen aussenden, wie ein absolut schwarzer Körper. Nun haben wir es aber bei Temperaturmessungen in der überwiegenden Zahl der Fälle mit Hohlräumen zu tun, und können wir somit hier unbedenklich die Strahlungsgesetze anwenden. Große Vorsicht müssen wir hingegen dort gebrauchen, wo keine Hohlräume und keine schwarzen Körper gemessen werden sollen, wie z. B. bei der Temperaturbestimmung von elektrischen Metallfadenglühlampen oder vom Gasglühlichtstrumpf.

Die nachstehenden Gesetzmäßigkeiten der Strahlung sind praktisch zur Pyrometrie verwendet worden:

<sup>1)</sup> Näheres über kalorimetrische Pyrometer siehe Jüptner, Technologie der Energien, I, 1. Abt., S. 62, und Bechstein, Instrumente zur Messung der Temperatur, S. 24; Verlag Jänecke, Hannover 1905.

a) Die Änderung der Farbe des beim Glühen ausgesendeten Lichtes. Bekanntlich gesellen sich den anfänglich auftretenden roten Strahlen bei Steigerung der Temperatur gelbe, grüne, blaue und violette Strahlen hinzu, während gleichzeitig die Intensität jeder einzelnen Strahlengattung beträchtlich zunimmt. Das Gemisch aller Strahlen, welches unser Auge trifft, zeigt daher anfangs eine rote Farbe und geht allmählich über Gelb nach Weiß. Die Beurteilung der Glühfarbe mit dem freien Auge ist das älteste und am allgemeinsten angewendete Mittel zur Bestimmung hoher Temperaturen. Gleichzeitig ist es aber sehr ungenau, da die Beurteilung der Farbe durch das Auge keine absolute ist, sondern als Kontrastwirkung empfunden wird (vgl. S. 25). Es wird daher die Farbe des den glühenden Körper umgebenden Lichtes auf die Bestimmung der Glühfarbe von großem Einfluß sein. Bei weißem Licht wird die Glühfarbe vom Auge stets mehr rot wahrgenommen werden, während bei rotem Licht die gleiche Glühfarbe gelb oder weiß eingeschätzt werden kann. Daher rühren wohl auch die Unterschiede in den Temperaturangaben, die den bestimmten Glühfarben entsprechen. Auch die Intensität des Lichtes der Umgebung spielt dabei eine große Rolle, so z. B. wird ein glühender Draht, der von direktem Sonnenlicht beschienen ist, stets zu kalt eingeschätzt werden. Im nachstehenden sei eine Tabelle wiedergegeben, die von White und Taylor<sup>1)</sup> durch Vergleich mit den Angaben des Le Chatelierschen Pyrometers erhalten wurde:

Glühfarbe	Grade Celsius
Dunkelrot (blutrot) . . . . .	566
Dunkelkirschrot . . . . .	635
Kirschrot (volle Rotglut) . . . . .	746
Hellkirschrot . . . . .	843
Orange . . . . .	899
Hellorange . . . . .	941
Gelb . . . . .	996
Hellgelb . . . . .	1079
Weiß . . . . .	1205

Gegenüber diesen Angaben sind die älteren Werte, die man in der Literatur verbreitet findet und die sich auf die alten Pouillet'schen Angaben, die aus dem Jahre 1836 stammen, stützen, viel zu hoch, so z. B. wird dort Dunkelgelb bereits auf 1100° geschätzt, während nach den neueren Messungen hierfür nur 950° anzunehmen sind.

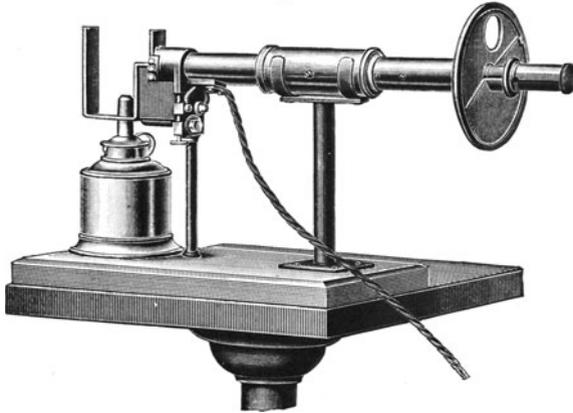
Zur genaueren Bestimmung der Glühfarbe haben Mesuré und Nouël ihre „Lunette pyrometrique“ konstruiert, welche bei E. Ducretet in Paris erhältlich ist. Sie besteht aus zwei Nicolschen Prismen, zwischen welche eine Quarzscheibe eingeschaltet ist. Durch das erste Prisma wird das Licht polarisiert. Steht der zweite Nicol senkrecht zum ersten, so kann dort kein Licht durchdringen und das Gesichtsfeld erscheint dunkel, wenn keine Quarzplatte vorhanden wäre. Die Quarzplatte bewirkt hingegen eine Drehung der Polarisationssebene, wodurch das Gesichtsfeld aufgehellt wird. Da jedoch die Drehung von der Wellenlänge der Lichtstrahlen abhängig ist, so werden die einzelnen Farben des Spektrums in verschiedener Weise geschwächt, so daß das Gesichtsfeld eine Mischfarbe zeigt. Durch Drehung des einen Nicolschen Prismas wird die Farbe geändert und es ergibt sich an einer bestimmten

<sup>1)</sup> The Metallgraphist 1900, S. 41.

Stelle ein bestimmter Farbenton, der als Übergangsfarbe genau einstellbar ist. Die Drehung, welche zur Erreichung dieses Farbentons erforderlich ist, hängt natürlich von der Farbe des einfallenden Lichtes ab, somit kann man aus der Drehung auf die Glühfarbe und also auch auf die Temperatur schließen. Dieser Apparat hat den Vorteil, daß keine Vergleichsflamme erforderlich ist, wie bei den nachstehenden Apparaten.

b) Die Intensität der roten Strahlen wurde zuerst von Cornu und Le Chatelier zur Bestimmung der Temperatur eines glühenden Körpers benutzt. Um die anderen Strahlen abzublenden, wird das vom glühenden Körper kommende Licht ebenso wie das von einer Normalflamme kommende durch rotes Glas filtriert und durch Blenden so lange geschwächt, bis die

Fig. 35.



Felder, die teils von der Normalflamme, teils vom glühenden Körper erhellt sind, gleich hell erscheinen. Die Änderung der Intensität des roten Lichtes läßt sich dabei durch den Ausdruck darstellen:

$$J = 10^{6,7} \cdot T^{-\frac{3210}{T}}$$

Das Instrument ist nur für hohe Temperaturen geeignet.

Auf dem gleichen Prinzip beruht das Wannernsche Pyrometer, welches von Schmidt u. Haensch in Berlin angefertigt wird. Es unterscheidet sich von dem vorgenannten dadurch, daß das Licht durch ein geradsichtiges Prisma spektral zerlegt wird und nur rotes Licht von bestimmter Wellenlänge in das Gesichtsfeld eintritt. Die Schwächung erfolgt durch Drehung des Okulars, in welchem sich ein Nicolsches Prisma befindet. Als Vergleichslichtquelle dient eine kleine elektrische Glühlampe, die im Apparat selbst untergebracht ist und von einem Akkumulator gespeist wird. Diese Glühlampe ist verschiebbar, so daß die Helligkeit des einen Gesichtsfeldes durch Verschieben der Glühlampe stets auf das gleiche Maß gebracht werden kann, wenn auch die Lichtstärke derselben infolge Schwankungen der Spannung Änderungen unterworfen ist. Zum Zwecke der Einstellung ist dem Apparat eine Amylacetatlampe beigegeben, deren Lichtfarbe konstant ist. Die richtige Einstellung der Glühlampe erfolgt dann durch Anvisieren der Amylacetatflamme auf einem Gestell gemäß Fig. 35. Bei der Handhabung des Instrumentes zur

Temperaturbestimmung eines Ofens wird es dann von dem Gestell abgenommen und direkt die betreffende Stelle des Ofens, deren Temperatur ermittelt werden soll, anvisiert.

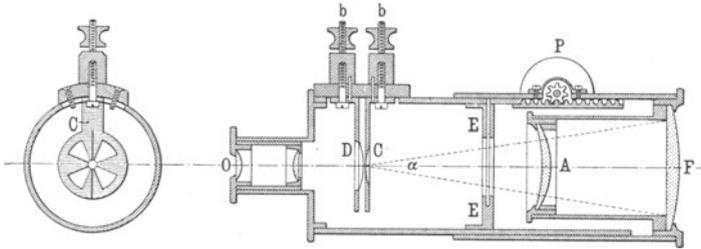
Die Änderung der Lichtstärke erfolgt gemäß der Formel:

$$\frac{J}{J_1} = e^{-\frac{C_2}{\lambda} \cdot \left(-\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1}\right)}.$$

In dieser Formel bedeuten  $J$  und  $J_1$  die Lichtintensitäten bei den absoluten Temperaturen  $T$  und  $T_1$ ,  $\lambda$  die Wellenlänge,  $C_2$  eine Konstante und  $e$  die Grundzahl der natürlichen Logarithmen.

In der älteren Ausführung begann das Meßbereich des Instrumentes bei 900°. Eine neuere Ausführungsform ermöglicht schon Temperaturen von 600° anfangen zu messen, indem bei dieser Ausführung das von dem glühenden Körper kommende Licht ungeschwächt zum Auge gelangt. Durch das Wannersche Pyrometer wird ebenso wie bei den vorhergenannten auf Strahlungsmessungen beruhenden Pyrometern nicht die Temperatur der Flamme,

Fig. 36.



sondern nur die Temperatur der Fläche, welche anvisiert wird, ermittelt, denn die Strahlung der Gase ist einesteils gering und anderenteils stimmt dieselbe keineswegs mit der Strahlung absolut schwarzer Körper überein<sup>1)</sup>.

c) Die Größe der Gesamtstrahlung verwendet das thermoelektrische Teleskop Férys zur Temperaturbestimmung (Fig. 36). Es ist hier das Stefan-Boltzmannsche Strahlungsgesetz angewendet, wonach die Gesamtstrahlung proportional der vierten Potenz der absoluten Temperatur ist. Die Strahlung des glühenden Körpers wird durch die Linse  $F$  und eine Blende, welche einen konstanten Aperturwinkel bedingt, auf ein Thermoelement konzentriert. Ein als Fernrohr dienendes Okular  $O$  dient zur Einstellung des Instrumentes auf die zu messende Stelle. Das Instrument ist später dahin abgeändert worden<sup>2)</sup>, daß statt des Thermoelementes eine aus dünnem Silber, Gold und Platinstreifen zusammengelötete Spirale zufolge der Wärmeausdehnung die auf ihr konzentrierte Gesamtstrahlung durch Drehung eines Zeigers anzeigt. Dieses Instrument ist in Frankreich als eichfähig erklärt worden. In ähnlicher, jedoch umständlicherer Weise bestimmt das Pyrometer von Hartmann und Braun (D. R.-P. Nr. 156 008) die Temperatur durch Vergleich der Strahlung des zu untersuchenden Körpers mit jener eines elektrisch geheizten Thermoelementes.

<sup>1)</sup> Geipert, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 1096. — <sup>2)</sup> Verdier, Verhandlungen der Soc. techn. de l'industrie du gaz en France 1907, p. 253.

Die auf Messung der Gesamtstrahlung beruhenden Pyrometer haben den Nachteil, daß Gase, welche Wärmestrahlen lebhaft absorbieren, wie z. B. Kohlensäure und Wasserdampf, die Anzeige des Instrumentes beeinträchtigen. Bei Pyrometern hingegen, welche nur die leuchtende Strahlung verwenden, entfällt dieser Übelstand, weil Gase die Lichtstrahlen nicht in erheblicher Weise absorbieren. Dagegen muß auch bei diesen Rauch oder dergleichen zwischen dem Instrument und der beobachteten Fläche sorgfältig vermieden werden.

d) Die Lichtstärke einer glühenden Fläche wird im optischen Pyrometer von Holborn und Kurlbaum, welches von Siemens u. Halske erzeugt wird, zur Temperaturbestimmung verwendet, indem eine mittels eines Widerstandes regulierbare Glühlampe vor die zu messende Fläche gehalten wird. Ein Amperemeter gibt die Temperatur an; ähnlich ist auch das von Morse konstruierte Pyrometer gebaut.

## 9. Kalorimetrie.

Die Einheit der Wärmemenge nennt man „Kalorie“. Es ist dies jene Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 kg Wasser von 0° auf 1° C zu erwärmen. Für manche wissenschaftliche Zwecke ist es erforderlich, kleinere Wärmeeinheiten anzuwenden. Zu diesem Zwecke wurde die sogenannte kleine Kalorie geschaffen, es ist dies jene Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 g Wasser von 0° auf 1° C zu erwärmen. Wir unterscheiden somit die große oder Kilogrammkalorie von der kleinen oder Grammkalorie. Für unsere praktischen Zwecke kommt stets nur die große Kalorie in Betracht und ist daher im folgenden mit der Bezeichnung Kal. stets die große Kalorie gemeint.

In England ist dagegen die „British Thermal Unit“ (B. T. U.) im Gebrauch. Sie bezeichnet jene Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 englisches Pfund Wasser um 1° F zu erwärmen. Daraus ergibt sich die Beziehung:

$$1 \text{ B. T. U.} = 0,252 \text{ Kal.}$$

Handelt es sich jedoch um den Heizwert fester Brennstoffe, so ist zu berücksichtigen, daß diese ebenfalls nicht nach Kilogrammen, sondern nach englischen Pfunden gerechnet werden und daß daher für diese Angaben der Umrechnungsfaktor nur aus dem Verhältnis der Celsiusgrade zu den Fahrenheitgraden resultiert, daß somit

$$1 \text{ B. T. U. pro Pfund} = 0,556 \text{ Kal. pro Kilogramm.}$$

Für Gase wird die Wärmemenge nach Kubikfuß und Kubikmetern gerechnet und ist

$$1 \text{ B. T. U. pro Kubikfuß} = 0,891 \text{ Kal. pro Kubikmeter.}$$

In der Gasindustrie kommen Messungen von Wärmemengen hauptsächlich bei der Bestimmung der Verbrennungswärme verschiedener Substanzen in Betracht. Hierbei haben wir zu berücksichtigen, daß die verbrennenden Stoffe gewöhnlich Wasserstoff enthalten, der bei der Verbrennung Wasserdampf erzeugt. Kondensieren wir den Wasserdampfgehalt der Verbrennungsgase, was dann geschieht, wenn wir die Verbrennungsgase vollständig abkühlen, so wird die Wärmemenge, welche bei Kondensation des Wasserdampfes frei wird (die Kondensationswärme oder latente Wärme des Wasserdampfes), ebenfalls nutzbar gemacht. Wir erhalten somit eine andere Wärmemenge disponibel, wenn wir

die Verbrennung zu flüssigem Wasser durchführen, als wenn wir sie nur bis zu dampfförmigem Wasser leiten. Im ersteren Falle ist der Wärmegegewinn ein höherer, und dementsprechend spricht man von einem oberen und einem unteren Heizwert der Brennstoffe, wie wir dies bereits im Kapitel über den Verbrennungsprozeß besprochen haben. Manchmal bezeichnet man auch den oberen Heizwert als „Verbrennungswärme“ im Gegensatz zum unteren Heizwert, den man rundweg als „Heizwert“ bezeichnet.

Bei der Bestimmung der Verbrennungswärme der Gase müssen wir noch den Zustand berücksichtigen, unter welchem die Gase gemessen werden, bevor man sie der Verbrennung zuführt. Man mißt sie ja stets nach dem Volumen und dieses ist ein verschiedenes, je nach der Temperatur und dem Druck, unter denen sie stehen. Man muß daher stets die Reduktion auf einen angenommenen Normalzustand durchführen. Als Normaldruck wird stets der Druck einer Atmosphäre, das ist 760 mm Quecksilbersäule, angenommen. Der Druck, unter welchem ein Gas steht, ist teils von dem Barometerstande, der in der Außenluft herrscht, teils von dem Überdruck abhängig, den das Gas gegenüber dem äußeren Luftdruck besitzt. Der Druck, unter dem das Gas steht, ist daher gleich der Summe des äußeren Luftdruckes in Millimetern Quecksilbersäule (also dem Barometerstande) zuzüglich dem an einem gewöhnlichen Wassermanometer abzulesenden Überdruck des Gases, der jedoch ebenfalls auf Millimeter Quecksilbersäule umzurechnen ist. Zu diesem Zwecke ist der am Wassermanometer abgelesene Druck durch die Dichte des Quecksilbers, das ist 13,5955 (also rund 13,6) zu dividieren. Eine im Anhang angefügte Tabelle zeigt die auf Quecksilbersäule umgerechneten Ablesungen am Wassermanometer.

Das Volumen eines Gases ändert sich nach dem Boyle-Mariotteschen Gesetz umgekehrt proportional dem Drucke, unter dem es sich befindet. Bezeichnet somit  $b$  den Barometerstand,  $p$  den Überdruck des Gases, beides in Millimetern Quecksilbersäule,  $V$  das abgelesene Volumen des Gases, so ist das auf 760 mm Druck reduzierte Volumen  $\frac{b+p}{760} \cdot V$ . Nun ist aber weiter noch zu berücksichtigen, daß die Gase gewöhnlich in mit Feuchtigkeit gesättigtem Zustande abgemessen werden. Denn die Gasmesser sind ja gewöhnlich mit Wasser gefüllt. Die Menge von Wasserdampf, welche ein Gas aufnimmt, ist von der Temperatur abhängig, welche das Gas besitzt. Würde man einem mit Feuchtigkeit gesättigten Gase von bestimmtem Volumen den Wasserdampf entziehen, so würde sich der Druck des Gases auf seine Umhüllung verringern. Diese Druckverminderung ist gleich der Tension des Wasserdampfes bei der betreffenden Temperatur. Wollen wir somit das Volumen eines Gases kennen lernen, welches dasselbe im trockenem, also wasserfreien Zustande einnehmen würde, so müssen wir von dem oben angegebenen Druck  $b+p$  noch die Tension des Wasserdampfes ( $\tau$ ) abziehen. Die Tabelle im Anhang zeigt die Tensionen des Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen in Millimetern Quecksilbersäule. Wollen wir also das Volumen kennen lernen, welches ein Gas im trockenem Zustande beim Normaldruck von 760 mm Quecksilbersäule einnehmen würde, so müssen wir dazu die Formel verwenden:

$$V_0 = \frac{b+p-\tau}{760} \cdot V.$$

Nun haben wir noch die Ausdehnung zu berücksichtigen, welche das Gas durch die Wärme erfährt. Diese ist durch das Gay-Lussacsche Gesetz festgelegt, wonach sich die Volumina der Gase verhalten wie die absoluten Temperaturen. Die absolute Temperatur ist dabei gleich der Temperatur in Celsiusgraden ( $t$ ) vermehrt um 273 zu setzen. Die Reduktion des Gasvolumens auf 0° vollzieht sich daher nach der Formel:

$$V_0 = \frac{273}{273 + t} \cdot V.$$

Kombiniert man die beiden Formeln für die Umrechnungen auf den Normaldruck und die Normaltemperatur, so ergibt sich:

$$V_0 = \frac{b + p - \tau}{760} \cdot \frac{273}{273 + t} \cdot V.$$

Der dieser Formel entsprechende Reduktionsfaktor  $f$  ist übrigens in einer Tabelle des Anhanges für verschiedene Temperaturen und Drucke  $P = b + p$  berechnet. Man erhält dann das auf trockenes Gas von 0° und 760 mm Druck reduzierte Gasvolumen  $V_0$ , indem man das abgelesene  $V$  mit diesem Faktor multipliziert:

$$V_0 = f \cdot V.$$

Die Tension des Wasserdampfes  $\tau$  ist also in diesem Faktor bereits berücksichtigt.

Häufig wird die Reduktion des Gasvolumens mit Rücksicht auf den Heizwert nicht auf 0° vorgenommen, sondern auf 15° C. Die Formel lautet dann:

$$V_{15} = \frac{b + p - \tau}{760 - \tau_{15}} \cdot \frac{273 + 15}{273 + t} \cdot V.$$

Die Frage, ob der Heizwert eines Gases als oberer oder unterer anzugeben sei, und ob er auf das Gasvolumen bei 0° oder 15°, ob er auf trockenes oder feuchtes Gas zu beziehen sei, ist wiederholt Gegenstand der Diskussion von Fachmännern gewesen. Die einen meinen, bei der praktischen Benutzung des Gases käme nur der untere Heizwert in Betracht und das Gas werde in der Praxis nicht bei der Temperatur von 0°, sondern gewöhnlich bei einer mittleren Temperatur, die nahe an 15° liegt und nicht in trockenem Zustande, sondern feucht gemessen. Die anderen heben dagegen hervor, daß es bei entsprechender Vervollkommnung der Heizapparate möglich wäre, die Abgase bis zur Kondensation des Wasserdampfes abzukühlen, und daß in der Wissenschaft, wenn von einem Normalzustande der Gase gesprochen werde, immer der Zustand bei 0° und 760 mm Druck gemeint sei, daß daher die Technik nicht einen anderen Normalzustand einführen dürfe, da dies nur Verwirrung bringen könne. Tatsächlich müßten ja auch alle Angaben über die Heizwerte von reinen Gasen, wie wir sie bei Besprechung der Verbrennung kennen gelernt haben, erst auf 15° umgerechnet werden, denn alle Physiker und Chemiker, welche diese Heizwerte ermittelt haben, haben dieselben auf den in der Wissenschaft üblichen Normalzustand von 0° bezogen, und sie haben selbstredend nur reine Gase, die keinen Wasserdampf enthalten haben, angewendet. Will man aus einer Gasanalyse den Heizwert des Gases berechnen, so muß man naturgemäß die in der Literatur zu findenden Angaben über den Heizwert der Bestandteile anwenden, und das Resultat ist daher auf 0° bezogen und auf trockenes Gas. Wissenschaftlich korrekter ist es zweifellos,

auch alle anderen Angaben über Gasvolumina, die in der Praxis vorkommen, so z. B. Gasausbeuten u. dgl., auf trockenes Gas von 0° zu beziehen. Mit Rücksicht auf diese Erwägungen hat die internationale Lichtmeßkommission in Zürich im Jahre 1903 den Beschluß gefaßt, die Heizwerte von Gasen stets auf 0° zu beziehen. Ebenso hat der österreichische Verein der Gas- und Wasserfachmänner bei seiner Versammlung in Innsbruck im Jahre 1910 den Beschluß gefaßt, alle Angaben seiner Mitglieder über Heizwerte, die keine nähere Bezeichnung tragen, als obere Heizwerte der trockenen Gase auf 0° und 760 mm Druck bezogen anzunehmen. Es ist zu hoffen, daß sich auch andere Fachvereine diesem Beschlusse anschließen werden. Jedenfalls sollte aber keine Angabe eines Heizwertes ohne genaue Bezeichnung gemacht werden, ob der obere oder untere Heizwert des trockenen oder feuchten Gases auf 0° oder 15° reduziert gemeint ist.

Die Bestimmung des Heizwertes aus der Analyse ist eine einfache Rechnungssache, wenn man die Angaben über die Heizwerte der einzelnen Bestandteile, die in der Tabelle im Anhange niedergelegt sind, zugrunde legt. Haben wir z. B. ein Gas von 50 Proz. H<sub>2</sub>, 45 Proz. CO und 5 Proz. CO<sub>2</sub>, so berechnet sich der Heizwert wie folgt:

H <sub>2</sub> . . . . .	0,50 m <sup>3</sup> . 3090 =	1545 Kal.
CO . . . . .	0,45 „ . 3051 =	1373 „
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,05 „ — =	— „
Summe . .	1,00 m <sup>3</sup> — =	2918 Kal.

In gleicher Weise berechnet sich der Heizwert eines Gases auch für kompliziert zusammengesetzte Gasgemische.

Schwieriger als beim Gas stellt sich die Berechnung des Heizwertes aus der Zusammensetzung bei den Kohlen. Hier läßt sich die Verbrennungswärme nicht einfach als die Summe der Verbrennungswärmen der einzelnen Bestandteile hinstellen, weil die einzelnen Bestandteile, die in der Kohle chemisch gebunden sind, zu ihrer Trennung eine gewisse Wärmemenge verbrauchen. Auch ist zu berücksichtigen, daß der Wasserstoffgehalt des Brennstoffes, zum Teil direkt mit dem Sauerstoffgehalt desselben vereint, die Kohle als Wasserdampf verläßt und daß außerdem zur Verdampfung des hygroskopisch gebundenen Wassers eine gewisse Wärmemenge erforderlich ist.

Die wichtigsten Formeln, die zur Berechnung des Heizwertes aus der Kohlenanalyse angegeben wurden, sind die nachstehenden<sup>1)</sup>. Hierin bedeutet *C* den Kohlenstoffgehalt, *H* den Wasserstoffgehalt, *O* den Sauerstoffgehalt, *W* den Gehalt an hygroskopischem Wasser und *S<sub>v</sub>* den Gehalt an verbrennlichem Schwefel.

Formel nach:

$$\text{Dulong . . . . . } K = 80,8 C + 344,62 \left( H - \frac{O}{8} \right)$$

$$\text{Schwackhöfer . . } K = 80,8 C + 344,62 \left( H - \frac{O}{8} \right) - 6,37 (W + 9 H)$$

$$\text{Balling . . . . . } K = 80,8 C + 344,62 \left( H - \frac{O}{8} \right) - 6,52 (W + 9 H)$$

$$\text{Kerl . . . . . } K = 81 C + 345 H - 6 (W + 9 H)$$

$$\text{Ferrini . . . . . } K = 81 C + 345 H - 5,4 (W + 9 H)$$

$$\text{Verbandsformel . } K = 81 C + 290 \left( H - \frac{O}{8} \right) - 6 (W + 25 S_v)$$

<sup>1)</sup> Nach Bauer, Zeitschr. d. österr. Gasvereins 1909, S. 474.

Bei den älteren Formeln wurde der Heizwert des Kohlenstoffes mit 8080 Kal. pro Kilogramm angenommen, bei den neueren mit 8100 Kal. Der richtige Wert beträgt nach S. 50 8137 Kal. Das  $H - \frac{O}{8}$  stellt den Gehalt an disponiblen, das ist nicht an Sauerstoff gebundenem Wasserstoff, dar. Die Zahl 344,62 bzw. 345, stellt den oberen Heizwert von einem Prozent Wasserstoff dar. Nach S. 50 wäre derselbe richtig zu stellen mit 342,2. Für die Berechnung des unteren Heizwertes gilt die in der Verbandsformel aufgenommene Zahl 290, die nach S. 50 auf 291,5 zu korrigieren wäre. Ferner ist in obigen Formeln noch die Verdampfungswärme des hygroskopischen Wassers und jenes Wassers berücksichtigt, das aus dem Wasserstoffgehalt entsteht.

Nach unseren neuesten Kenntnissen der Verbrennungswärmen hätte also die korrigierte Verbandsformel zu lauten:

$$K = 81,37 C + 291,5 \left( H - \frac{O}{8} \right) - 6 W + 25 S_v.$$

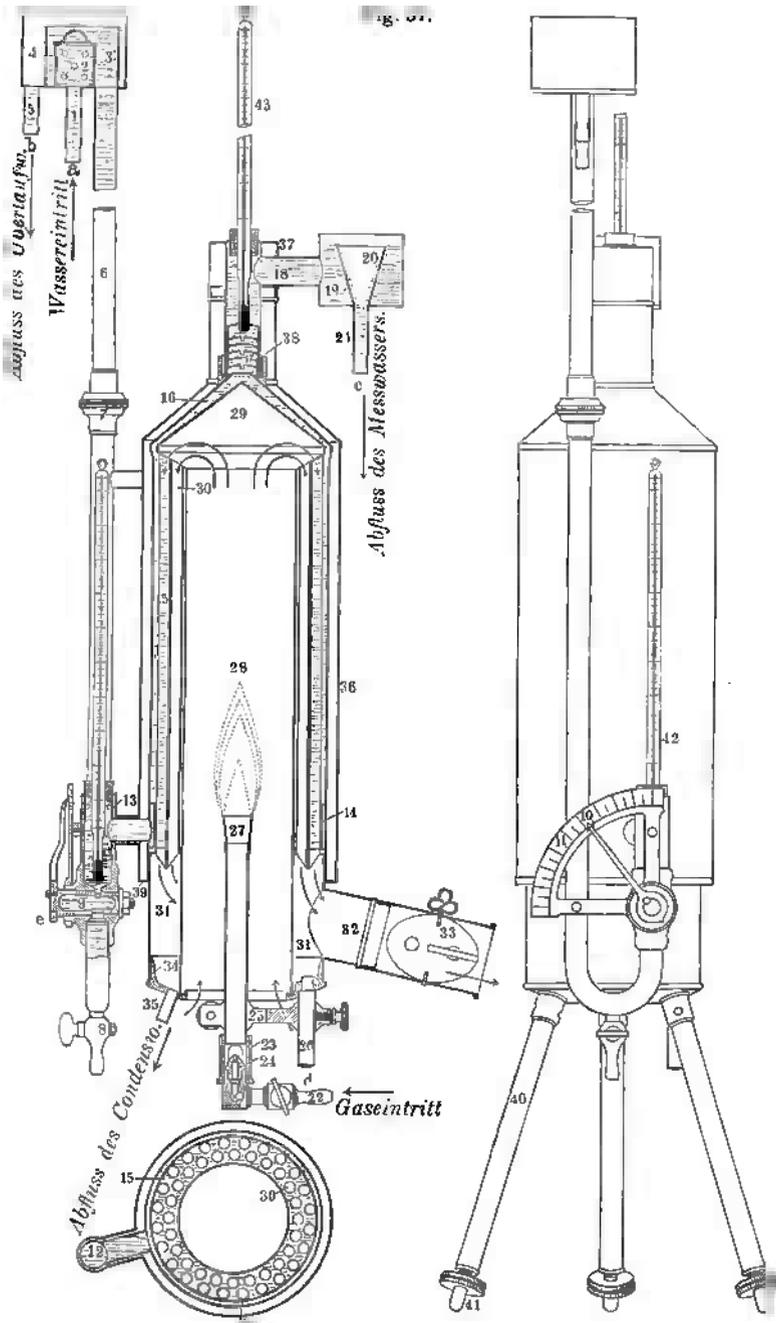
Heute wird die Verbandsformel nahezu allgemein verwendet. Sie kann auf ungefähr 10 Kal. Genauigkeit geschätzt werden. Näheres über die Heizwertbestimmung der Kohlen, besonders auch über die Bestimmung des Heizwertes des Gases, das aus der Kohle gewonnen werden kann, werden wir auch unter dem Kapitel 17 über Untersuchung der „Kohlen“ besprechen.

Hier sei nur noch erwähnt, daß auch indirekte Methoden der Heizwertbestimmung aus dem Sauerstoffverbrauch der Brennmaterialien angewendet werden. Diese sind jedoch ungenau, da die gleiche Menge Sauerstoff bei der Verbrennung verschiedener Substanzen durchaus nicht immer den gleichen Heizwert ergibt. Für minder genaue Berechnungen sind diese Methoden immerhin brauchbar. So z. B. kann man für die üblichen Heizgase, mit Ausnahme des Acetylens, in roher Annäherung annehmen, daß dieselbe Luftmenge immer denselben Heizwert ergibt. Insofern ist der von Göhrum<sup>1)</sup> konstruierte Bunsenbrenner, der den Luftbedarf des Gases zu schätzen gestattet, auch als rohes Gaskalorimeter zu gebrauchen. Er besteht aus einem Kochbrenner, dessen Gasdüse geregelt werden kann und dessen Luftzufuhr durch eine Hülse mit Gradbogen und Zeiger in meßbarer Weise verkleinert werden kann. Bei bestimmtem Druck und Konsum wird gemessen, wie weit die Luftzufuhr offen sein darf, ehe der Brenner zurückschlägt. Die Luftmenge, welche das Zurückschlagen verursacht, soll annähernd dem Luftbedarf proportional ein.

In ähnlicher Weise sucht Ott<sup>2)</sup> durch einen Bunsenbrenner, dessen Luftöffnungen meßbar geregelt werden, bis die gelbe Flammenspitze verschwindet, den Luftbedarf eines Gases zu bestimmen, um auf dessen Heizwert zu schließen.

Eine neuartige Methode der Bestimmung des Luftbedarfes eines Gases hat Casaubon<sup>3)</sup> vorgeschlagen. Er bestimmt die Luftmenge, welche erforderlich ist, um den Farbenumschlag eines durch die betreffende Flamme beheizten Ceroxydglühkörpers von Rot auf Weiß hervorzurufen. Dieser Um-

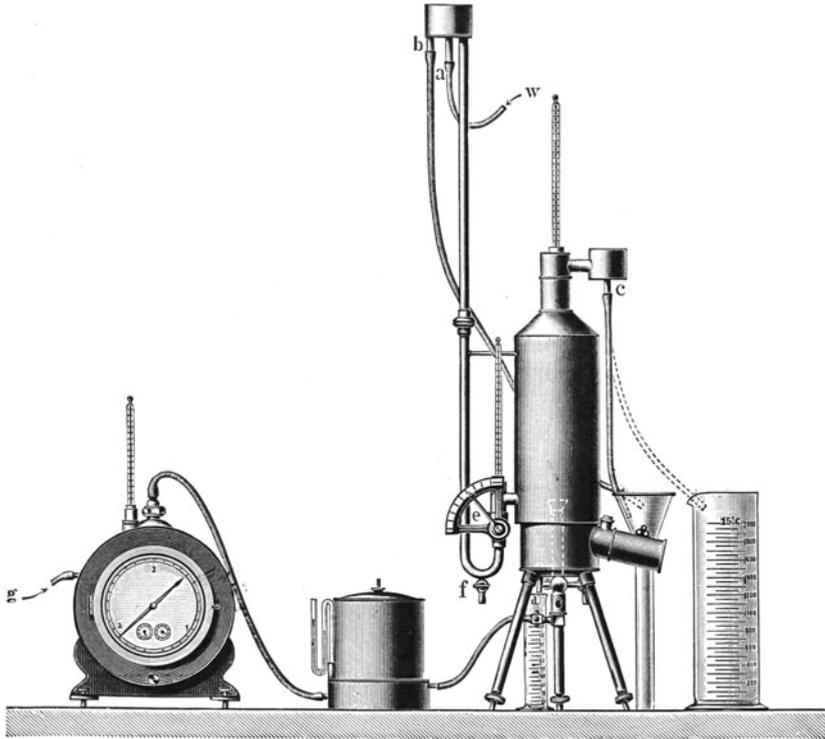
<sup>1)</sup> Wird von der Berlin-Anhaltischen Maschinenbau-Aktiengesellschaft geliefert. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 427; D. R.-P. Nr. 214 295. — <sup>3)</sup> Ebend. 1906, S. 1057.



schlag tritt ein, sobald überschüssiger Sauerstoff vorhanden ist. Casaubon will dieses Verfahren zur Heizwertbestimmung der Gase verwenden, weil er annimmt, daß der Heizwert proportional dem Luftbedarf sei. Weil dies nur annähernd zutrifft, haben alle derartigen Kalorimeter einen geringen Grad von Genauigkeit.

Zur genaueren Bestimmung der Heizwerte der Gase bedient man sich ausschließlich der Kalorimeter, welche den Heizwert einer Gasflamme zur Erwärmung irgend einer Substanz verwenden. Es seien hier nur jene Apparate

Fig. 38.



beschrieben, welche in der Praxis verwendet werden, da die betreffenden wissenschaftlichen Instrumente eine zu komplizierte Behandlung benötigen.

Das Junkerssche Kalorimeter (Fig. 37) überträgt die Heizwirkung der Flamme auf fließendes Wasser; der Gaszutritt zur Flamme und die Geschwindigkeit des Wasserstromes wird möglichst konstant gehalten, so daß die Temperatur des abfließenden Wassers eine annähernd gleichmäßige bleibt. Das Junkerssche Gaskalorimeter enthält einen Bunsenbrenner, der mittels des Trägers 25 an den Stift 26 herausnehmbar angeschraubt ist. Der Gaszutritt erfolgt durch einen Hahn bei 22, nachdem das Gas in einem genauen, noch  $10\text{ cm}^3$  Gas anzeigenden Gasmesser gemessen und mittels eines Druckreglers auf konstantem Druck erhalten wird (Fig. 38). Das Gas strömt durch die Düse 24, welche für verschiedene Gase verschieden groß gewählt wird, und daher auswechselbar sein muß, in das Mischrohr des Bunsenbrenners.

Die Mischkammer unterhalb des Mischrohres trägt die durch eine Hülse 23 einstellbaren Luftzuführungsöffnungen. Die Flamme setzt sich auf den Kopf 27 des Bunsenbrenners auf und befindet sich im Hohlraum 28 eines ringzylindrischen Wassergefäßes 11. In diesen Ringzylinder sind eine Anzahl Rohre eingelötet, die aus dem Grundriß ersichtlich sind (30). Durch diese Rohre gehen die Verbrennungsgase der Flamme nach abwärts, während der Wasserstrom in umgekehrter Richtung nach aufwärts steigt. Dadurch werden die Abgase nahezu bis auf die Temperatur des einströmenden Wassers abgekühlt und entweichen durch den Unterteil 31 und den Abgasestutzen 32, der durch eine Klappe 33 zum Teil abgeschlossen werden kann. Letztere besitzt eine Öffnung, welche bei geschlossener Klappe noch ebensoviel Abgase austreten läßt, um die Flamme bei genügendem Luftzug brennend zu erhalten. Die Luftzirkulation wird durch den Auftrieb der heißen Abgase im Inneren des Ringzylinders (28) hervorgerufen, der größer ist, als der entgegenwirkende Auftrieb der schon teilweise abgekühlten Abgase, die in den Rohren 30 nach abwärts steigen. Junkers nennt diese Anordnung einen „vorgeschalteten Schornstein“.

Der Wasserzuluß muß, wie erwähnt, auf konstanter Geschwindigkeit erhalten werden. Zu diesem Zwecke ist bei 3 ein hochgestelltes Niveaugefäß angebracht, das durch das Rohr 1 mit Wasser gespeist wird. Eine durchlochte Kappe 2 verhindert das Eintreten von Unreinigkeiten. Der Wasserzuluß zum Niveaugefäß wird derart reguliert, daß dasselbe stets überfließt. Das überfließende Wasser sammelt sich in dem umgebenden Raume 4 und fließt von da durch das Überlaufrohr 5 in einen Wasserabfluß.

Das in dieser Art auf konstantem Niveau gehaltene Wasser fließt durch das Rohr 6 zum Kalorimeter. Es passiert jedoch zuvor einen Regulierhahn 9, der mit einem Zeiger 10 verbunden ist, so daß an dem Gradbogen 11 stets die Stellung des Hahnes abgelesen werden kann. Der Hahn 8, welcher unterhalb des Regulierhahnes an dem Wasserzulaufrohr angebracht ist, dient nur zum Entwässern dieses Rohres beim Auseinandernehmen des Apparates. Bevor das Wasser in das Kalorimetergefäß gelangt, umspült es in der Kammer 12 ein in Zehntelgrade geteiltes Thermometer 42, das mit Hilfe eines Gummistopfens bei 13 eingesetzt wird. In 15 steigt das Wasser, wie erwähnt, in die Höhe, indem es dabei die Wärme der Abgase aufnimmt. Schließlich umspült es bei 16 noch den Oberteil 29 des die Abgase enthaltenden inneren Raumes, und gelangt durch das Rohr 17 und 18, das ebenfalls in Zehntelgrade geteilte Thermometer 43 umspülend, in den Wasserablauf. Dieser würde jedoch hebernd wirken und dadurch Unregelmäßigkeiten im Wasserzuluß hervorrufen, wenn nicht hier wieder ein Niveaugefäß 19 angeordnet wäre, von dem das Wasser durch den Trichter 20 mit konstantem Niveau abläuft. Hier schadet nun die Heberwirkung nichts mehr, weil durch diese nur Außenluft in den Trichter mit hineingesogen wird.

Um mit dem Junkersschen Kalorimeter eine Heizwertbestimmung auszuführen, nimmt man zunächst den Bunsenbrenner vom Stift 26 herab, entzündet die Flamme, belastet den Druckregler derart, daß die Glocke noch schwimmt, aber genug Gas vorhanden ist, um eine gut brennende Bunsenflamme zu erhalten. Etwa 20 mm Wasserdruck sind hierfür genügend. Man stellt den Gashahn bei 32 so ein, daß zwischen 150 und 300 Liter Gas pro Stunde verbraucht werden, und reguliert die Luftzufuhr durch Drehen der

Hülse 23 des Bunsenbrenners so, daß die Flamme vollständig entleuchtet ist, aber noch ruhig brennt, so daß ein Zurückschlagen ausgeschlossen ist. Bei Verwendung von uncarburiertem Wassergas muß die Luftregulierung vollkommen oder nahezu vollkommen geschlossen sein. Nun befestigt man den brennenden Bunsenbrenner im Inneren des Kalorimetergefäßes und reguliert die Wassermenge durch Drehen des Hahnhebels 10 so, daß die Temperaturdifferenz zwischen dem einströmenden und ausströmenden Wasser etwa 10 bis 15° beträgt. Man achte dabei darauf, daß in das Niveaugefäß 3 so viel Wasser einströmt, daß es beim Überlauf 5 abfließt. Das aus dem Abfluß 21 aus dem Kalorimeter abfließende Wasser führt man zunächst mittels eines Schlauches in einen Ablauf. Sobald der Brenner im Inneren einige Minuten gebrannt hat, kann man die Klappe 33 schließen. Man läßt nun den Apparat so lange in Tätigkeit, bis die an den beiden Thermometern abgelesenen Temperaturen konstant geworden sind. Hat das zufließende Wasser stets dieselbe Temperatur, so ist dieser Zustand in etwa 5 bis 10 Minuten erreicht. Schwankt die Temperatur des einer Wasserleitung entnommenen Wassers stark, so ist es vorzuziehen, ein hochgestelltes Reservoir zunächst mit dem Wasser zu füllen und aus diesem das Kalorimeter zu speisen.

Sobald die Temperaturen konstant geworden sind, kann die Ablesung beginnen. Man beobachtet zu diesem Zwecke den Gasmesser und steckt in dem Moment, wo der Zeiger des Gasmessers die Nullage passiert, das in den Ablauf mündende Ende des Schlauches, welches am Abfluß 21 befestigt ist, in einen etwa 2 Liter fassenden Meßzylinder. Man notiert etwa alle halben Minuten den Stand der beiden Thermometer, die mit Hilfe zweier dem Apparate beigegebener Lupen auf hundertstel Grade genau abgelesen werden können. Sobald der Gasmesser den Durchgang einer bestimmten Anzahl von Litern — gewöhnlich wählt man 3 Liter bei Steinkohlengas oder 6 Liter bei uncarburiertem Wassergas — anzeigt, entfernt man rasch den Schlauch aus dem Meßgefäß, indem man das Wasser wieder dem Ablauf zuführt. Der Stand des Wassers im Meßgefäß gibt somit die Wassermenge an, welche erwärmt worden ist, und das Mittel der Temperaturen des austretenden Wassers und des zufließenden Wassers ergibt durch Subtraktion die Temperaturerhöhung, welche das Wasser erfahren hat. Durch Multiplikation der beiden Größen erhält man die während der Ablesung vom Gase entwickelte Wärmemenge, und dividiert man diese durch die Anzahl der während der Ablesung durchgegangenen Liter Gas, so erhält man den Heizwert für einen Liter. Bezeichnet  $W$  die Wassermenge,  $T$  die Temperatur des zufließenden und  $T_1$  die Temperatur des abfließenden Wassers,  $G$  die Gasmenge in Litern, so ist der gefundene obere Heizwert des Gases roh gerechnet:

$$H_0 = \frac{W \cdot (T_1 - T)}{G}.$$

Wir erhalten hier den oberen Heizwert, weil die Abgase so weit abgekühlt werden, daß sich der Wasserdampf kondensiert. Das Kondenswasser fließt bei dem Röhrchen 35 am Unterteil des Kalorimeters aus und kann in einem kleinen Meßzylinder aufgefangen werden. Um die Menge des Kondenswassers zu bestimmen, ist es notwendig, den Apparat längere Zeit in Funktion zu lassen, so daß etwa 50 bis 100 cm<sup>3</sup> Kondenswasser gewonnen werden. Man notiert dann gleichzeitig die Gasmesserstände zu Beginn und am Schluß

dieser Messung und erhält durch Division der Kondenswassermenge durch den Gasverbrauch die Kondenswassermenge pro 1 Liter Gas. Diese Wassermenge ist mit der Verdampfungswärme des Wassers (das ist 0,597 pro 1 g) zu multiplizieren und erhält man dann die Wärmemenge, welche durch Kondensation des Wasserdampfes gewonnen wurde. Diese ist von dem oberen Heizwert abzuziehen, wenn man den unteren Heizwert erfahren will. Bezeichnet  $w$  die Menge des Kondenswassers in Kubikzentimetern, die von  $g$  Litern Gas gewonnen wurden, so ist der untere Heizwert pro Liter roh gerechnet<sup>1)</sup>:

$$H_u = H_0 - 0,597 \cdot \frac{w}{g}.$$

Bei der oben angegebenen Berechnung ist die Wärmemenge nicht berücksichtigt, welche das Kalorimeter während des Versuches von der umgebenden Luft aufnimmt oder an diese abgibt, ebenso ist auf den Wasserdampf keine Rücksicht genommen, welcher von der Verbrennungsluft mitgebracht und von den Abgasen abgeführt wird. Diese Art der Berechnung, wie sie gewöhnlich ausgeführt wird, hat daher zur Folge, daß oft recht beträchtliche Fehler von mehreren hundert Kalorien pro Kubikmeter unberücksichtigt bleiben. Auch erfordern Bestimmungen, die auf einige Genauigkeit Anspruch machen, die Kontrolle aller verwendeten Meßinstrumente, besonders des Gasmessers und der Thermometer, und es genügt durchaus nicht der Bezug dieser Instrumente von erstklassigen Firmen, um die geringe Arbeit der eigenhändigen Kontrolle zu umgehen. Zeigen doch die Gasmesser oft um 3 Proz. falsch und die beiden Thermometer weichen oft um zehntel Grade voneinander ab, so daß unter ungünstigen Verhältnissen auch hierdurch wieder Fehler von einigen hundert Kalorien auftreten können und Heizwertbestimmungen ohne Berücksichtigung aller dieser Korrekturen, wenn sich die Fehler nicht zufällig aufheben, oft ganz unbrauchbare Werte ergeben.

Um also fehlerfreie Werte mit dem Junkersschen Kalorimeter zu erhalten, muß wie folgt vorgegangen werden<sup>2)</sup>:

Es sind zunächst die beiden Thermometer durch Eintauchen in gut durchmisches, verschieden temperiertes Wasser miteinander zu vergleichen und die nötigen Korrekturen zu notieren; der Gasmesser ist, nachdem er genau horizontal gestellt und bis zum Überlauf gefüllt ist, mit Hilfe eines Eichkolbens (s. Kapitel 50) oder durch Anschluß einer etwa 5 bis 10 Liter fassenden Flasche zu eichen, in welche man das Gas nach Passieren des Wassers eintreten läßt und das gleichzeitig austretende Wasser wägt; dabei ist das spezifische Gewicht des Wassers bei höherer Temperatur zu berücksichtigen, welches beträgt:

bei 15° C . . . . .	0,9991
„ 20° C . . . . .	0,9982
„ 25° C . . . . .	0,9971
„ 30° C . . . . .	0,9957

<sup>1)</sup> Zur bequemen Berechnung der Resultate hat Lux (Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1273) einen kalorimetrischen Rechenschieber von van Balkour auf den Markt gebracht, bei dem zwei besondere Schieber zur Berechnung des oberen und unteren Heizwertes dienen. — <sup>2)</sup> Vgl. Immenkötter, Journ. f. Gasbel. 1905, S. 736; ferner Holgate, Journ. of Gaslighting 1910, S. 355, 432, 573, 655; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 723.

Das Wasser in dieser Flasche muß die gleiche Temperatur besitzen wie jenes im Gasmesser, ebenso muß der Gasdruck in beiden Räumen der gleiche sein, was am besten durch Drosselung des aus der Flasche ausfließenden Wassers zu erreichen ist. Außerdem soll das dem Gasmesser zugeführte Gas mit Feuchtigkeit gesättigt sein. Die Geschwindigkeit des Gasdurchganges durch den Gasmesser ist dabei ebenso groß zu wählen, wie bei der darauf folgenden Heizwertbestimmung, denn die Korrektur hat für verschiedene Geschwindigkeiten verschiedene Werte. Auch ist darauf zu achten, daß die einzelnen Meßkammern des Gasmessers nicht gleich groß sind, daß daher bei allen Ablesungen am Gasmesser stets nur eine ganze Anzahl von Umdrehungen abgelesen werden soll. Auch die die Temperatur des Gases, der Außenluft und der Abgase anzeigenden Thermometer müssen untereinander und mit den Thermometern des Kalorimeters verglichen werden; ferner ist darauf zu achten, daß die Thermometer so tief in das Kalorimeter hineingesteckt werden müssen, daß sie sich tatsächlich im strömenden Wasser befinden und nicht in einem toten Raume, wo das Wasser stillsteht. Man bestimmt dann bei einer einmal festgesetzten Stellung des Wasserzulaufhahnes den Wasserdurchgang pro Minute und ermittelt die Zeit, welche das Wasser braucht, um vom Einlauf des Kalorimeters bis zum Auslauf zu gelangen. Dies kann durch Eingießen einiger Tropfen Permanganatlösung in den Einlauffrichter und Messung der Zeit bis zum Auftreten der Färbung im Auslauf geschehen. Alle Temperaturablesungen an den beiden Thermometern werden dann mit jener Zeitdifferenz gemacht, welche dieser Durchlaufgeschwindigkeit entspricht. Da der Wasserinhalt eines Junkersschen Kalorimeters etwa 1,6 Liter beträgt, ist diese Zeit bei 0,8 Liter minutlichem Wasserdurchgang etwa 30 Sekunden und bei 1,6 Liter Wasserdurchgang 1 Minute.

Man geht dann an die Ermittlung, wieviel Wärme das Kalorimeter aus der Außenluft aufnimmt oder an diese abgibt. Zu diesem Zweck nimmt man den Brenner aus dem Kalorimeter heraus und verschließt die untere Öffnung durch einen Korkstopfen, so daß keine Luft hindurch zirkulieren kann. Man läßt dann eine bestimmte Menge Wasser hindurchfließen, bestimmt die Temperaturerhöhung oder -erniedrigung, die es im Kalorimeter erfährt, diese multipliziert mit der Wassermenge in Kilogrammen pro Minute ergibt die Wärmeaufnahme oder -abgabe pro Minute, und wenn man sie durch die Temperaturdifferenz zwischen Außenluft und mittlerer Kalorimetertemperatur dividiert, die Wärmeaufnahme oder -abgabe pro 1<sup>o</sup> Temperaturdifferenz. Wir wollen sie als „Strahlung“ mit dem Buchstaben *S* bezeichnen. Da man gewöhnlich Leitungswasser verwendet, welches wesentlich kälter ist als die Raumtemperatur, so daß auch die mittlere Temperatur des Kalorimeters gewöhnlich niedriger ist als die Raumtemperatur, ist die Strahlungskorrektur gewöhnlich negativ, d. h. sie ist als unbeabsichtigte Wärmezufuhr vom erhaltenen Resultate abzuziehen. Man rechnet sie zweckmäßig bei der Bestimmung des Heizwertes ebenso wie alle anderen Korrekturen auf 1 m<sup>3</sup> Gas um.

Die weiteren Korrekturen bestehen in der Berücksichtigung der durch die Verbrennungsluft und das Gas zugeführten Wärmemenge; dabei kommt nicht nur die spezifische Wärme der Luft und des Gases in Betracht, sondern auch deren Wasserdampfgehalt, da sich ein Teil desselben im Kalorimeter kondensiert und auch die Menge des Kondenswassers, die zur Bestimmung des unteren Heizwertes zu ermitteln ist, erhöht und gleichzeitig zufolge der

Kondensationswärme einen beträchtlichen Wärmeüberschuß liefert, der berücksichtigt werden muß. Ebenso muß die zufolge der Temperatur und des Feuchtigkeitsgehaltes der Abgase von diesen abgeführte Wärme berücksichtigt werden. Die Temperatur derselben ist am Thermometer ablesbar; betreffs des Feuchtigkeitsgehaltes hat Immenkötter nachgewiesen, daß dieselbe der Sättigungstemperatur des einfließenden kalten Wassers entspricht. Schließlich entführt das aus dem Kalorimeter abfließende Kondenswasser auch noch eine kleine Wärmemenge und ist daher dessen Temperatur zu ermitteln; da jedoch dessen Temperatur im Moment des Ausfließens maßgeblich ist und diese nicht leicht gemessen werden kann, so kann man sie gleich der Temperatur des einfließenden Kühlwassers setzen.

Zur Ermittlung, welche Luftmenge bei der Heizwertbestimmung dem Kalorimeter zuströmt und welche Menge von Abgasen diesen verläßt, ist die Bestimmung des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes der Abgase und die Ermittlung der  $\text{CO}_2$ -Menge, welche  $1 \text{ m}^3$  Gas bei der Verbrennung liefert, sowie des Luftbedarfs des Gases erforderlich. Man verpufft daher eine abgemessene Gasmenge mit einer abgemessenen Menge von Luft in der Explosionspipette (s. Kapitel 14), bestimmt dann den  $\text{CO}_2$ -Gehalt und den  $\text{O}_2$ -Überschuß in den Verpuffungsgasen und berechnet aus der Differenz des zugegebenen Luftsauerstoffs und des Sauerstoffüberschusses den Luftbedarf zur Verbrennung von  $1 \text{ m}^3$  Gas. Aus diesen Zahlen und dem  $\text{CO}_2$ -Gehalt und  $\text{O}_2$ -Gehalt der Abgase des Kalorimeters läßt sich dann die Menge der zugeführten Verbrennungsluft und die Menge der Abgase berechnen.

Es sind daher folgende Bestimmungen erforderlich:

$t_w$  und  $t_k$  die Temperaturen des einfließenden kalten und des ausfließenden warmen Kühlwassers, wobei die Korrektur der Thermometer zu berücksichtigen ist.

$t_d$  die Temperaturerhöhung des Kühlwassers berechnet sich aus diesen beiden Größen

$$t_d = t_w - t_k.$$

$t_r t_u t_a$  die Temperaturen des Raumes, etwa  $15 \text{ cm}$  vom Kalorimeter entfernt, des Gases im Gasmesser und der Abgase beim Austritt aus dem Kalorimeter.

$w_r w_u w_a$  die Wasserdampfmenge in Kilogrammen, welche in  $1 \text{ m}^3$  Luft bzw. Gas bei der Sättigungstemperatur  $t_r t_u t_k$  enthalten ist (siehe Tabelle im Anhang). Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Sättigungstemperatur der Abgase nicht gleich der Temperatur der Abgase  $t_a$ , sondern gleich der Temperatur des eintretenden Kühlwassers  $t_k$  ist.

$h$  der relative Feuchtigkeitsgehalt der Raumluft, am Hygrometer abgelesen, jedoch nicht in Prozenten, sondern in Bruchteilen der Einheit ausgedrückt.

$w_h$  der wirkliche Feuchtigkeitsgehalt der Luft berechnet sich dann aus:

$$w_h = h \cdot w_r.$$

$m_a$  und  $o_a$  der  $\text{CO}_2$ - bzw.  $\text{O}_2$ -Gehalt der Verbrennungsgase in Volumprozent.

$m_1$  und  $o_1$  die Menge  $\text{CO}_2$ , welche  $1 \text{ m}^3$  Gas bei der Verbrennung liefert bzw. die Menge  $\text{O}_2$ , welche von  $1 \text{ m}^3$  Gas verbraucht wird, beides aus der Verpuffung zu berechnen.

$l_1$  der Luftbedarf zur Verbrennung von  $1\text{ m}^3$  Gas berechnet sich aus:

$$l_1 = \frac{100}{21} \cdot o_1.$$

$A$  die Menge der Abgase bei Verbrennung von  $1\text{ m}^3$  Gas im Kalorimeter berechnet sich aus:

$$A = \frac{m_1}{m_a} \cdot 100.$$

$L_a$  der Luftüberschuß auf  $1\text{ m}^3$  im Kalorimeter verbrannten Gases berechnet sich aus:

$$L_a = \frac{A \cdot o_a}{21}.$$

$L$  die im Kalorimeter zur Verbrennung von  $1\text{ m}^3$  Gas zugeführte Verbrennungsluft berechnet sich aus:

$$L = l_1 + L_a.$$

$w_e$  und  $w'_a$  die durch die Verbrennungsluft zugeführte bzw. durch die Abgase abgeführte Menge Wasserdampf, auf  $1\text{ m}^3$  verbranntes Gas berechnet, ergeben sich aus:

$$w'_e = w_h \cdot L; \quad w'_a = w_a \cdot A.$$

$w'$  die gesamte von der Luft und vom Gase zugeführte Wasserdampfmenge berechnet sich aus:

$$w' = w'_e + w_u.$$

$S$  die Strahlung des Kalorimeters pro Minute und  $1^\circ$  Temperaturdifferenz ermittelt, wie oben beschrieben.

$g_u$  die pro Minute dem Kalorimeter zufließende Gasmenge in Litern.

$\delta$  die Differenz zwischen der mittleren Kalorimetertemperatur und der Außenluft ergibt sich aus:

$$\delta = t_r - \frac{t_k + t_w}{2}.$$

$S_1$  die auf  $1\text{ m}^3$  verbranntes Gas berechnete Strahlung berechnet sich dann aus:

$$S_1 = S \frac{1000}{g_u} \cdot \delta.$$

$C_1$  die pro  $1\text{ m}^3$  verbranntes Gas im trockenen Zustande und die von der trockenen Luft zugeführte Wärmemenge berechnet sich aus:

$$C_1 = 0,31 (t_u + L t_r).$$

$C_2$  die durch die Kondensationswärme des in der Luft und im Gase enthaltenen Wasserdampfes (597 Kal. pro 1 kg) in das Kalorimeter hereingebrachte Wärmemenge berechnet sich aus:

$$C_2 = 597 \cdot w'.$$

$C_I$  die gesamte, dem Kalorimeter zugeführte Wärmemenge berechnet sich dann aus:

$$C_I = S_1 + C_1 + C_2.$$

$D$  die Menge des Kondenswassers in Kilogrammen, welche bei einem besonderen Versuche von etwa  $\frac{1}{2}$  stündiger Dauer aus dem Kalorimeter abfließt.

$t_D$  die Temperatur desselben, welche der Temperatur des einlaufenden Wassers  $t_k$  gleichgesetzt werden kann.

$V_D$  das am Gasmesser abgelesene Gasvolumen in Litern, welches bei diesem Versuche verbraucht wurde.

$b$  den Barometerstand in mm-Quecksilbersäule.

$\beta$  den Überdruck, unter welchem das Gas steht, auf Quecksilbersäule umgerechnet (s. Tabelle im Anhang).

$p_u$  die Tension des Wasserdampfes in Millimetern Quecksilber bei der Temperatur  $t_u$  (s. Tabelle im Anhang).

$V_{D_0}$  das auf  $0^\circ$  und  $760^\circ$  mm und trockenen Zustand reduzierte, zur Bestimmung der Kondenswassermenge verwendete Gasvolumen in Litern, zu berechnen aus:

$$V_{D_0} = V_D \frac{b + \beta - p_u}{760} \cdot \frac{273}{273 + t_u}.$$

$c$  den bei der Eichung des Gasmessers gemäß S. 115 erhaltenen Korrekturfaktor.

$V_{Dc}$  das nach der Eichung des Gasmessers korrigierte, auf  $0^\circ$  reduzierte Gasvolumen in Litern:

$$V_{Dc} = V_{D_0} \cdot c.$$

$D_1$  die aus diesem  $\frac{1}{2}$  stündigen Versuch zu berechnende Menge von Wasser, welche aus der Verbrennung von  $1 \text{ m}^3$  des Gases stammt, ergibt sich aus:

$$D_1 = \frac{D}{V_{Dc}} + w'_a - w'.$$

$C_3$  die Wärmemenge pro  $1 \text{ m}^3$  verbrannten Gases, welche durch das ablaufende Kondenswasser abgeführt wird, berechnet sich aus:

$$C_3 = D \cdot \frac{1000}{V_{Dc}} \cdot t_D.$$

$C_4$  die Wärmemenge, welche von den trockenen Abgasen fortgeführt wird, berechnet sich aus:

$$C_4 = 0,32 \cdot A \cdot t_a^1).$$

$C_5$  die Verdampfungswärme, welche durch den Wasserdampfgehalt der Abgase fortgeführt wird, berechnet sich aus:

$$C_5 = 597 \cdot w'_a.$$

$C_{II}$  die gesamte aus dem Kalorimeter abgeführte Wärmemenge berechnet sich dann aus:

$$C_{II} = C_3 + C_4 + C_5.$$

$C$  die gesamte Korrektur, welche an dem roh berechneten Heizwert in Kalorien pro  $1 \text{ m}^3$  anzubringen ist, ergibt sich somit aus:

$$C = C_I - C_{II}.$$

$V_u$  das bei der Heizwertbestimmung abgelesene Gasvolumen in Litern.

$V_o$  das auf  $0^\circ$  und  $760 \text{ mm}$  und auf den trockenen Zustand reduzierte

---

<sup>1)</sup> Die spezifische Wärme der Abgase pro  $1 \text{ m}^3$  (0,32) ist etwas höher als die der Luft und des Gases (0,31) wegen der höheren spezifischen Wärme der Kohlen-säure.

Gasvolumen berechnet sich aus:

$$V_o = V_u \frac{b + \beta - p_u}{760} \cdot \frac{273}{273 + t_u}.$$

$V_c$  das nach der Eichung des Gasmessers korrigierte, auf  $0^\circ$  reduzierte Gasvolumen in Litern ergibt sich aus:

$$V_c = V_o \cdot c.$$

$Q$  die während des Versuches aus dem Kalorimeter ausgeflossene Kühlwassermenge in Kilogrammen auf luftleeren Raum bezogen.

$W$  die unkorrigierte, roh berechnete obere Verbrennungswärme pro  $1 \text{ m}^3$  Gas, auf  $0^\circ$  und trockenem Zustand berechnet, ergibt sich aus:

$$W = \frac{Q t_d}{V_c}.$$

$W_{co}$  die korrigierte obere Verbrennungswärme bei  $0^\circ$ , trocken, ergibt sich aus:

$$W_{co} = W - C.$$

$W_{cu}$  die korrigierte untere Verbrennungswärme bei  $0^\circ$ , trocken, berechnet sich schließlich aus:

$$W_{cu} = W_{co} - 597 \cdot D_1.$$

Ist die Temperatur des Raumes ( $t_r$ ) und der Feuchtigkeitsgehalt der Luft groß, die Temperatur des einfließenden Kühlwassers ( $t_k$ ) und die mittlere Kalorimetertemperatur, dementsprechend auch die Temperatur der Abgase gering, so kann der Fehler, der durch Vernachlässigung der Korrektur  $C$  entsteht, 300 Kal. pro Kubikmeter betragen; kommt dazu noch ein Fehler im Gasmesser, der 3 Proz. betragen kann, und ein Fehler in den Thermometern, die manchmal um  $0,1^\circ$  differieren, was bei einer Temperaturdifferenz von  $10^\circ$  ebenfalls 1 Proz. ausmacht, und addieren sich zufälligerweise alle diese Fehler, so können bei der üblichen ungenauen Arbeitsweise mit dem Junkersschen Kalorimeter Fehler bis gegen 500 Kal. entstehen. Daraus geht hervor, daß dieses sonst so vorzügliche Instrument sorgfältig behandelt werden muß, um richtige Angaben zu liefern.

Eine neuere Form des Junkersschen Kalorimeters vermeidet noch einige kleine Übelstände, die demselben anhaften. Das Ablesen der beiden Thermometer muß bei der oben beschriebenen Ausführung in zwei stark verschiedenen Höhenlagen erfolgen, was eine Unannehmlichkeit bei der Ablesung bedeutet. Bei der neueren Ausführungsform ist der Wasserzu- und -ablauf in die gleiche Höhenlage gebracht, so daß die beiden Thermometer in der gleichen Höhenlage knapp nebeneinander stehen und somit die rasche Ablesung beider Thermometer wesentlich erleichtert wird. Eine weitere Verbesserung betrifft den Wasserablauf. Wie oben erörtert, muß bei der bisherigen Ausführung bei Beginn der Ablesung der Wasserablaufschlauch in das Wassermessgefäß gebracht und am Schluß der Ablesung rasch wieder entfernt werden. Beides muß in dem Moment geschehen, wo der Zeiger des Gasmessers eine bestimmte Zahl des Zifferblattes passiert. Bei der neuen Ausführung ist der Wasserablauf in Form eines hin und her schwenkbaren Rohres ausgebildet, welches vor und nach der Ablesung in einen kleinen Ablauftrichter mündet, der auch das Überlaufwasser aus dem Niveaugefäß 3 aufnimmt. Während der Zeit

der Ablesung wird dieses drehbare Rohr über das Wassermessgefäß geschwenkt, was in einfacher Weise und mit großer Schnelligkeit geschehen kann.

Sehr arme Generatorgase von weniger als 800 Kal. Heizwert brennen nicht gleichmäßig, namentlich wenn sie einen geringen Wasserstoffgehalt haben. Deshalb kann man entweder der Verbrennungsluft etwas Sauerstoff beimischen oder man verbrennt das Gas mit Hilfe eines nach abwärts gerichteten Brenners, der das Gas vorwärmt, bevor es zur Flamme gelangt.

Das Junkerssche Kalorimeter eignet sich auch für flüssige Brennstoffe und ist neben der kalorimetrischen Bombe (S. 129) der einzige Apparat, welcher die Heizwertbestimmung flüssiger Brennstoffe auf einfache Weise gestattet. Zur Verbrennung der Flüssigkeiten wird eine Lampe verwendet, in welcher die Flüssigkeit mittels Druckluft zu einer von der Flamme beheizten Verdampfungskammer und in verdampftem Zustande zu der Düse geleitet wird. Diese saugt in einem Bunsenbrenner so viel Luft an, daß auch bei schweren Kohlenwasserstoffen (Petroleum, Gasöl u. dgl.) eine vollständig rußfreie Verbrennung erzielt wird. Diese Lampe wird an einem Wagebalken aufgehängt und die Wagschale, die sich an dem anderen Arme befindet, zum Auflegen der Gewichte benutzt. Man hält den Druck durch Einpumpen von Luft in die Lampe auf etwa 1 bis 2 Atmosphären. Sobald die Lampe ordnungsmäßig funktioniert, schiebt man den Brenner derselben von unten in das Kalorimetergefäß, indem man darauf achtet, daß die Lampe frei schwebt und der Brenner nirgends das Kalorimetergefäß berührt. Man überzeugt sich hiervon durch Darunterhalten eines kleinen Spiegels, in dem man den Brennerkopf und die Flamme erblicken kann. Man gibt nun so viel Taragewichte auf die Wagschale, daß die Lampe noch einige Gramme Übergewicht besitzt, und läßt dieselbe so lange brennen, bis der Zeiger des Wagebalkens gerade den Nullpunkt durchschreitet.

Hat man vorher dafür gesorgt, daß der Wasserzulauf zum Kalorimeter richtig eingestellt und die Konstanz der Temperatur erreicht ist, so kann sofort die Ablesung beginnen. Man läßt dann das Wasser, wie bei der Heizwertbestimmung der Gase schon beschrieben, in dem Moment in das Meßgefäß laufen, wo der Durchgang des Wagebalkens durch die Gleichgewichtslage erfolgt. Nun erleichtert man die Wagschale um 5 oder 10 g und beobachtet die Temperaturen so lange, bis der Zeiger des Wagebalkens wieder durch die Nullage geht. Der Heizwert der Flüssigkeit ergibt sich dann in gleicher Weise, wie wir dies bei den Gasen kennen gelernt haben. Die entsprechenden Korrekturen wegen der durch den Feuchtigkeitsgehalt der Luft und der Abgase zu- und abgeführten Wärmemengen sind sinngemäß anzuwenden.

Das Junkerssche Gaskalorimeter ist ein Apparat, der sich zufolge seiner einfachen Bedienung in alle größeren Gaswerke Eingang verschafft hat. Es ist jedoch ziemlich kostspielig und seine Handhabung muß immerhin gelernt sein, namentlich dann, wenn Fehlerquellen, die Differenzen von einigen hundert Kalorien hervorrufen können, vermieden werden sollen. Namentlich aber der hohe Preis ist es, der das Bestreben wachgerufen hat, das Junkerssche Gaskalorimeter durch ein einfaches, billigeres Instrument zu ersetzen, von dem man allerdings nicht die gleiche Genauigkeit erwarten darf. Im nachfolgenden seien die wichtigsten dieser einfacheren Gaskalorimeter aufgezählt.

Das Gräfesche Gaskalorimeter<sup>1)</sup> besteht aus einem Wassergefäß von einem Liter Inhalt, mit Thermometer und Rührwerk. Das Gas zur Beheizung dieses Gefäßes wird einer geeichten Flasche entnommen. Die Fehlergrenze wird mit 3 Proz. angegeben. Somit können bei einem Gas von 5000 Kal. Fehler von 150 Kal. auftreten, was auch für technische Zwecke kaum als genügend genau bezeichnet werden kann. Da jedoch schon bei dem viel genauer arbeitenden Junkersschen Kalorimeter bei Vernachlässigung der nötigen Korrekturen Fehler von 3 Proz. unterlaufen können, dürfte dieses Instrument diese Genauigkeit kaum erreichen. Es besitzt vor dem Junkersschen Kalorimeter ebenso wie die weiter unten genannten einfacheren Kalorimeter den Vorzug, daß es von einer Wasserzu- und -ablauffleitung unabhängig ist. Auch kann das Gas an einer beliebigen Stelle entnommen und an einem anderen Orte untersucht werden, was beim Junkersschen Kalorimeter nicht möglich ist. Noch einfacher wäre das Rauppsche Kalorimeter<sup>2)</sup>, das allerdings auch keinen höheren Grad der Genauigkeit erreicht. Bei diesem wird ein Kupferzylinder, dessen oberes Ende ein Thermometer trägt, mit einer Gasflamme von konstantem Konsum geheizt. Die Abgase der Flamme werden durch einen geeigneten Schirm von dem Oberteil des Apparates abgehalten. Dieses Kalorimeter setzt also voraus, daß die Abkühlung des Kupferzylinders durch Ausstrahlung für jede Temperatur eine bestimmte, konstante Größe sei. Die Ausstrahlung ist jedoch sehr von dem Zustande der Oberfläche des Metalles abhängig und außerdem gibt das Metall auch durch Leitung Wärme an die umgebende Luft ab, welche Abgabe um so größer wird, je bewegter die Luft ist. Luftströmungen haben daher einen ziemlich großen Einfluß auf die Anzeige dieses Kalorimeters und es kann daher nur für minder genaue Messungen verwendet werden.

In ähnlicher Weise wie das Gräfesche arbeitet auch das Gaskalorimeter von Wobbe<sup>3)</sup>. Bei diesem werden 2 Liter Wasser in einem Topf, der im Inneren vertikale Heizkanäle trägt, durch 2 Liter Gas um etwa 5,2° erwärmt. Das Thermometer ist in Vierzigstelgrade geteilt, so daß ein Teilstrich 25 Kal. entspricht.

Am Schlusse der Messung wird durch ein Röhrchen Luft in das Wasser eingeblasen, um letzteres zu mischen. Die Wärmemenge, welche das Gefäß aufnimmt, kann unberücksichtigt bleiben, wenn man vor Beginn der Untersuchung das Kalorimetergefäß auf die beiläufig vorausbestimmte mittlere Temperatur erwärmt. Ein Versuch dauert etwa 15 Minuten.

Ein zweckmäßiges Kalorimeter zur Bestimmung des Heizwertes von kleinen Gasmengen haben Stoecker und Rothenbach<sup>4)</sup> konstruiert. Die Messung des Gases erfolgt bei diesem in einem Junkersschen Eichkolben (Kapitel 50). Das Gas passiert eine Kapillare, um ein etwa 15 mm langes Flämmchen zu erhalten. Durch eine zweite Kapillare führt man der Flamme Sauerstoff zu. Man läßt dieses Flämmchen in einem Glasgefäß brennen, welches die Abgase durch ein 2,5 m langes, spiralförmig aufgewundenes Rohr entweichen läßt. Der ganze Apparat befindet sich in einem Mahlerschen Kalorimetergefäß (vgl. S. 129), in welchem die Erwärmung des Wassers nach Verbrennung von einem Liter Gas gemessen wird. Ein Versuch nimmt

<sup>1)</sup> Pleyer, Journ. f. Gasbel. 1907, S. 831; auch Journ. f. Gasbel. 1909, S. 452. —

<sup>2)</sup> Lux, Journ. f. Gasbel. 1906, S. 475. — <sup>3)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 49. —

<sup>4)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 121.

15 Minuten Zeit in Anspruch und soll Resultate mit 0,5 Proz. Genauigkeit ergeben. Es sind jedoch zwei Beobachter erforderlich.

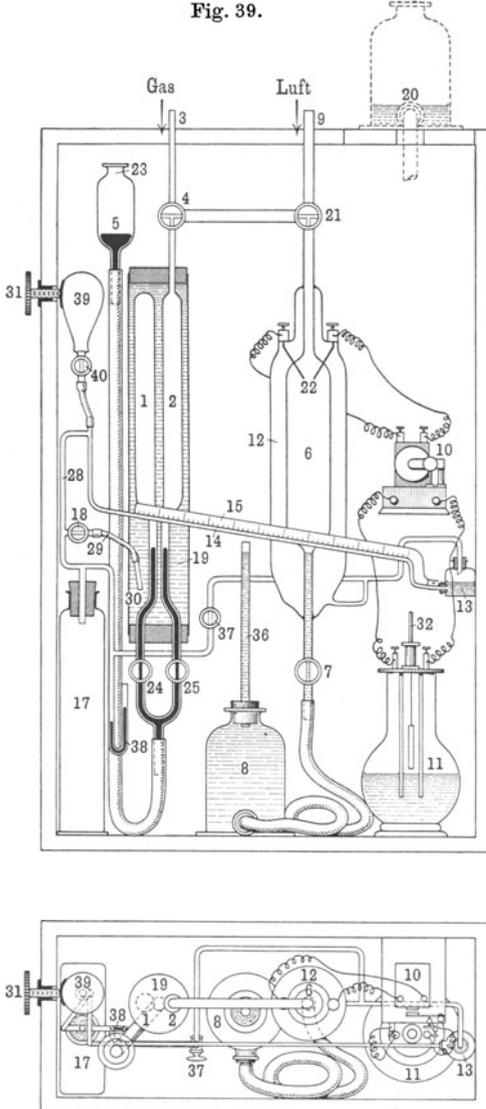
Mit einer noch wesentlich geringeren Gasmenge findet das Kalorimeter von Strache<sup>1)</sup> das Auslangen. Es ist in Fig. 39 dargestellt. Ein gläsernes Gefäß 6 von etwa 200 cm<sup>3</sup> Inhalt wird mit einer abgemessenen Gasmenge und mit Luft gefüllt. Das Gemisch

wird durch einen elektrischen Funken, der zwischen den zwei eingeschmolzenen Platindrähten 22 überspringt, entzündet, und die entstehende Wärmemenge wird dadurch gemessen, daß sie von der Luft aufgenommen wird, welche sich im Zwischenraum zwischen dem Explosionsgefäß und einem dasselbe vollständig umhüllenden Glasgefäß 12 befindet. Die Ausdehnung der Luft wird an dem Manometer 13, dessen einer Schenkel zum Zwecke einer genaueren Ablesung in seinem oberen Ende schräg gestellt, abgelesen, wo eine Skala 15 direkt den Heizwert des Gases anzeigt. Als Manometerflüssigkeit dient Petroleum, das sich im Manometergefäß befindet.

Die Abmessung des Gasvolumens erfolgt in der Meßpipette 2, indem das Quecksilberniveau-gefäß 5, nach Öffnen der Quecksilberabsperrhähne 24 und 25, gesenkt wird. Der T-Hahn 4 wird dabei so gestellt, daß das zu untersuchende Gas durch das Rohr 3, an welchem der Gaszuführungsschlauch angesetzt wird, in die Meßpipette 2 einströmt. Ein neben der Meßpipette befindliches genau gleiches Vergleichsrohr 1 enthält ein Normalluftvolumen, das bei 0° und 760 mm Druck in trockenem Zustande z. B.

genau 30 cm<sup>3</sup> einnimmt. In beiden Pipetten befinden sich über dem Quecksilber einige Tropfen Wasser, so daß die Gasmengen stets mit Wasserdampf gesättigt sind. Bei höherer Temperatur oder anderem Druck ändert

Fig. 39.



<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, Nr. 10; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 25, sowie Breisig, Journ. f. Gasbel. 1912, S. 833.

sich das Luftvolumen und man braucht somit in der Meßpipette 2 stets nur die gleiche Gasmenge abzumessen, welche dem Luftvolumen im Rohre 1 entspricht, um bei jeder beliebigen Temperatur und bei jedem Druck ein Gasvolumen zu erhalten, welches bei 0° und 760 mm in trockenem Zustande 30 cm<sup>3</sup> einnehmen würde. Zum Zwecke der Abmessung des Gases senkt man also das Quecksilberniveaugefäß 5 so weit, bis in 1 und 2 das Quecksilber gleich hoch steht, denn dann ist der Druck in beiden Gefäßen gleich, und für die gleiche Temperatur sorgt ein gemeinsames Wasserbad 19, in dem sich beide Rohre befinden.

Nach Abmessung des Gases wird die Explosionspipette mit Wasser gefüllt, indem die Niveauflasche 8 auf den Deckel des Apparatkastens gestellt wird; dann wird der T-Hahn 4 in die Stellung gebracht, wie dies die Fig. 39 zeigt, und auch der T-Hahn 21 so gestellt, daß das Gas in die Explosionspipette 6 übertreten kann. Man senkt nun die Flasche 8 bis auf den Boden des Apparatkastens bei geöffnetem Hahn 7, wie dies die Zeichnung zeigt. Dadurch wird das abgemessene Gasvolumen aus der Meßpipette 2 in das Explosionsgefäß 6 herübergebracht. Das Quecksilberniveaugefäß 5 wird dabei an den Deckel des Apparatkastens angehängt. Die Menge des Quecksilbers ist so bemessen, daß in dieser Stellung des Niveaugefäßes 5 die ganze abgemessene Gasmenge hinübergedrückt wird und das Quecksilber bis zum Hahn 4 aufsteigt, ohne daß das Quecksilber selbst mit hinüberspritzt. Nun dreht man den Hahn 21 so, daß Luft durch das Rohr 9 von oben angesogen werden kann. Das Wasser tritt dabei aus dem Explosionsgefäß 6 in die Wasserflasche 8, füllt dieselbe gänzlich und steigt schließlich in dem Niveaurrohr 36, welches auf die Wasserflasche aufgesteckt ist, in die Höhe, bis es dort ebenso hoch steht, wie in dem Rohr unter dem Explosionsgefäß. Nun werden die Hähne 7 und 21 (letzterer durch Schrägstellung) geschlossen und es kann die Zündung erfolgen.

Bevor man die Zündung einleitet, muß man sich überzeugt haben, ob die Luftmenge, welche die entstehende Wärme aufnehmen soll, die gleiche wie bei der Eichung geblieben ist. Die Druckseite des Manometers steht mit dem Mantelraum 12 der Explosionspipette, das andere Ende des Manometerrohres durch das Rohr 28 mit dem Luftgefäß 17 in Verbindung. Dieses hat den Zweck, die Schwankungen des äußeren Luftdruckes nicht auf das Manometer wirken zu lassen und die Luftmenge, welche der Ausdehnung unterworfen wird, trotz der Schwankungen des äußeren Luftdruckes konstant zu erhalten. An diesem Gefäß 17 ist ein Hahn 18 angebracht, der mittels des Schlauches 29 unter Zwischenschaltung eines in der Zeichnung nicht wiedergegebenen Chlorcalciumrohres das Mundstück 30 trägt. Bläst man nun hier bei geöffnetem Hahn 18 Luft ein oder saugt solche heraus und öffnet gleichzeitig den Umgangshahn 37, der das Manometer ausschaltet, so kann man damit jede gewünschte Menge Luft in das System hineinbringen. Genauere Einstellung bewirkt man durch die Schraube 31, welche den Gummiball 39 zusammendrückt. Nach Einstellung ist der Hahn 40 zu schließen, da sonst das Luftvolumen des Gefäßes 17 um jenes des Gummiballes vermehrt wäre und die Anzeige zu hoch ausfiel.

Auf diese Weise wird bei der Eichung eine bestimmte Luftmenge eingeführt. Bei vollständig dichtem Apparat wird diese Luftmenge sich bei richtiger Bedienung natürlich nicht verändern. Es ist aber doch notwendig,

vor Beginn einer Versuchsreihe die richtige Einstellung zu kontrollieren. Das Manometer 38 zeigt den Überdruck der Luft in dem System an, der sich mit dem Luftdruck und der Temperatur verändert. War bei der Eichung bei z. B. 20° C und 760 mm Barometerstand der Überdruck 0, so muß er bei  $t^{\circ}$  C und bei  $b$  mm Quecksilber betragen:

$$p = (760 - b) + \frac{t - 20}{293} \cdot 760 = (760 - b) + 2,6(t - 20),$$

das Manometer muß also den jeweiligen Barometerstand auf 760 ergänzen und gleichzeitig für je 1° oberhalb 20° ein Mehr von 2,6 mm Quecksilber bzw. für 1° unterhalb 20° ein Weniger von 2,6 mm Quecksilber anzeigen.

Da die in der Vergleichspipette eingeschlossene Luftmenge in gleicher Weise von Luftdruck und Temperatur beeinflusst ist, so kann man aus ihrem jeweiligen Zustande ohne Kenntnis des Barometerstandes den Druck erkennen, welchen das Manometer 38 anzeigen muß. Eine entsprechende Tabelle wird dem Kalorimeter beigegeben.

Die Petroleumfüllung des Manometers ist so bemessen, daß der Flüssigkeitsfaden bei geöffnetem Verbindungshahn 37 auf 0 steht, vorausgesetzt, daß der Kasten nach dem eingebauten Lot horizontal gestellt ist.

Hat man die Luftfüllung des Systems neu einstellen müssen, so schließt man den Verbindungshahn 37 und beobachtet, ob das Manometer 13 bei 0 ruhig steht. Ist dies nicht der Fall, so öffnet man nach einiger Zeit und wartet den völligen Ausgleich der Temperatur ab. Dann schließt man den Verbindungshahn und zündet durch Eintauchen der Zinkplatte des Tauchelementes 32. Dieses ist mit einer 10 proz. Lösung von Chromsalz in Wasser mit einem Zusatz einiger Tropfen Schwefelsäure gefüllt. Der Strom betätigt den Funkeninduktor 10, der mit den Klemmen des Explosionsgefäßes, welche die eingeschmolzenen Platindrähte tragen, in Verbindung steht. Sofort nach erfolgter Zündung beginnt das Manometer zu steigen und man muß den Hahn 21 öffnen, noch bevor das Manometer seinen Höchststand erreicht hat, damit die Kontraktion, welche bei der Verbrennung des Gases eintritt, durch Einströmen von Luft ausgeglichen wird. Würde man dies unterlassen, so würde man die Verbrennungswärme des Gases bei konstantem Volumen bestimmen, während man doch gewöhnlich die Verbrennungswärme bei konstantem Druck zu erfahren wünscht. Letztere ist etwas größer, weil noch die Kompressionswärme beim Nachströmen der Luft hinzukommt.

Die Manometerflüssigkeit erreicht in 20 bis 30 Sekunden ihren höchsten Stand und bleibt dort lange genug stehen, um mit Sicherheit ablesen zu können. Später zieht sie sich zufolge der Abkühlung des Gefäßes 12 wieder zurück. Nach Beendigung eines Versuches hebt man die Wasserflasche wieder auf den Deckel des Apparatkastens bei 20 und öffnet den Hahn 7, wodurch das Explosionsgefäß 6 wieder mit Wasser gefüllt wird und die Verbrennungsgase durch das Rohr 9 in die Luft entweichen. Die Wassermenge ist so bemessen, daß das Rohr 9 gerade mit Wasser gefüllt wird, ohne überzufießen. Zum Zwecke des Versandes ist das Rohr 9 etwas kürzer gehalten und wird bei Inbetriebnahme durch Aufstecken eines kleinen Glasröhrchens mit Hilfe eines Gummischlauches verlängert.

Das mit Petroleum gefüllte Manometergefäß ist durch Zwischenschaltung von in der Zeichnung nicht angegebenen Absorptionsgefäßen, die mit Gummistückchen gefüllt sind, von den beiden Luftgefäßen getrennt. Dies hat den Zweck, Petroleumdämpfe, welche in die Luftgefäße herübertreten könnten, zurückzuhalten. Zur Erzielung genauer Angaben ist es nämlich unbedingt erforderlich, daß die Luft in den beiden Gefäßen vollständig trocken und frei von allen Flüssigkeitsdämpfen, die sich am Glase kondensieren könnten, ist.

Um eine Erwärmung des Sperrwassers in der Flasche 8 zu vermeiden, ist dasselbe bei Ausführung mehrerer Bestimmungen hintereinander durch Wasser von Raumtemperatur zu ersetzen.

Eine Bestimmung mit diesem Apparat erfordert  $30\text{ cm}^3$  Gas und dauert 3 bis 5 Minuten, so daß sehr viele Bestimmungen hintereinander durchgeführt werden können.

Die Anzeigen am Manometer sind etwas verschieden, je nachdem die Verpuffung bei vollständigem Temperatúrausgleich, z. B. bei Beginn oder bei einem geringen Temperaturunterschied zwischen Mantel und Innenraum, erfolgt, wie er nach der für eine erneute Bereitstellung erforderlichen Zeit von etwa 3 bis 5 Minuten vorhanden ist. Um die lange Wartezeit zu vermeiden, werden bei der Eichung die Bestimmungen in Zeitabständen von 3 bis 5 Minuten ausgeführt, die erste bei völligem Temperatúrausgleich erfolgende Bestimmung aber nicht berücksichtigt.

Im Gebrauch ist deshalb die erste Bestimmung etwas zu hoch, die zweite und weiteren in Abständen von etwa 3 bis 5 Minuten aber richtig.

Die Eichung des Apparates erfolgt mit reinem Wasserstoff, indem einmal  $30\text{ cm}^3$ , das zweite Mal durch doppelte Füllung  $60\text{ cm}^3$  Wasserstoff verwendet werden und somit zwei Punkte auf der Skala gefunden werden, nach welchen die Teilung der Skala erfolgt. Für ganz genaue Bestimmungen kann man eine Kontrolle mit reinem Wasserstoff durchführen. Die Genauigkeit der Anzeige ist ausschließlich von der Sorgfalt bei den verschiedenen Einstellungen abhängig und beträgt bei der Handhabung durch Geübte 0,2 Proz., in ungeübter Hand ist sie auf 0,5 Proz. zu veranschlagen.

Kurz zusammengefaßt geht die Handhabung dieses Kalorimeters wie folgt vor sich:

1. Kontrolle des Druckes in der Gegenflasche; nur zu Anfang einer Versuchsreihe bei ausgeglichener Temperatur vorzunehmen.
2. Senken des Gefäßes 5 zur Abmessung des Gasvolumens.
3. Drehen der Hähne 4 und 21 und Heben des Gefäßes 5 in die Klammer 23.
4. Herabstellen der Wasserflasche 8 und Drehen des Hahnes 21 zum Zwecke des Luftansaugens.
5. Einstellen des Nullpunktes durch Öffnen und Schließen des Verbindungshahnes und Zünden des Gases.
6. Ablesen des Ausschlages und Heben der Wasserflasche 8 auf den Sockel 20.

Die Vorzüge, welche dieses Gaskalorimeter besitzt, sind folgende:

Die Unabhängigkeit von einer Wasserleitung und einer Abflaufleitung, so daß an jeder beliebigen Stelle eines Gaswerkes eine Heizwertbestimmung ausgeführt werden kann, der geringe Gasbedarf von nur  $30\text{ cm}^3$ , die Geschwindigkeit, mit welcher die Bestimmungen ausgeführt werden können und

die direkte Ablesung von auf 0<sup>0</sup> und 760 mm Druck reduzierten Angaben, sowie der Fortfall aller Korrekturen, auch bei genauesten Bestimmungen.

Dieses Kalorimeter eignet sich auch zur Bestimmung des Gasgehaltes in Gemischen, die auf gewöhnliche Weise gar nicht verbrannt werden können, z. B. Bestimmung der unverbrannten Anteile in Auspuffgasen, geringen Gasgehaltes in der Luft, Schlagwetter, Generatorgase, Gichtgase usw., wobei eine Pipette Wasserstoff zugesetzt und, falls genügend Sauerstoff im Gemisch vorhanden ist, die ganze Explosionspipette mit dem zu untersuchenden Gemisch gefüllt werden kann.

Ebenso leistet das Kalorimeter bei der Untersuchung von Kohlen und anderen Brennstoffen auf ihren Gasgehalt und ihren Heizwert vorzügliche Dienste, wie dies bei der Untersuchung von Kohlen in Kapitel 17 besprochen werden wird.

Ein Gaskalorimeter, welches von Parr<sup>1)</sup> angegeben wurde, mißt ebenfalls gleiche Volumina von Gasen unter gleichen Bedingungen und wird auch bei diesem ein Normalgas zum Vergleich herangezogen.

In neuerer Zeit, seit man dem Heizwert des Gases eine größere Bedeutung beilegt, als der Leuchtkraft desselben in der offenen Flamme, ist das Bedürfnis nach möglichst vollkommener Kontrolle des Heizwertes ein sehr starkes geworden. Die periodische Bestimmung desselben mit Hilfe des Junkersschen Kalorimeters, die doch mindestens stündlich einmal vorgenommen werden muß, wenn man einen regelmäßigen Überblick über die Qualität des Gases gewinnen will, ist eine zeitraubende Arbeit. Man war deshalb seit langem bestrebt, automatisch arbeitende, selbstregistrierende Kalorimeter zu konstruieren. Auch hier ist Junkers vorangegangen und hat sein Kalorimeter selbstregistrierend ausgebildet. Er kuppelt zur Erreichung dieses Zieles den Gasmesser mit einer Vorrichtung, welche das in das Kalorimeter eintretende Wasser entsprechend dem Gaskonsum regelt. Die Temperaturdifferenz des ein- und ausströmenden Wassers wird mit Hilfe eines Le Chatelierschen Thermoelements gemessen und der Ausschlag des Galvanometers registriert. Die Registrierung erfolgt durch zeitweises Niederdrücken des Galvanometerzeigers auf ein Durchdruckpapier derart, daß an der entsprechenden Stelle eines von einem Uhrwerk vorbeigezogenen Papierstreifens ein Punkt entsteht. Das vom Junkersschen Kalorimeter aufgezeichnete Diagramm besteht daher nicht aus einer zusammenhängenden Linie, sondern aus einer Reihe von Punkten.

Das Junkerssche selbstregistrierende Kalorimeter ist ein verhältnismäßig kostspieliges, kompliziertes Instrument. Es ist daher wohl erklärlich, daß man bestrebt ist, dasselbe durch einfachere billige, wenn auch minder genaue Instrumente zu ersetzen. Das Fahrenheimsche Kalorimeter<sup>2)</sup> registriert nur die Temperatur der Abgase einer mit möglichst konstantem Konsum brennenden Flamme. Es macht daher die Voraussetzung, daß die Wärmeabgabe der Abgase nach außen proportional sei oder in einem einfachen Verhältnis zur Temperatur derselben stehe, mindestens aber bei gleicher Temperatur konstant sei. Dies ist jedoch unrichtig, weil die Wärmeabgabe an die Außenluft mit mehr oder weniger starker Bewegung derselben sich

<sup>1)</sup> Journ. Indust. Engl.-Chem. 1910, S. 337; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 558. — <sup>2)</sup> Heizwertkontrolle von Koksofengas, Journ. f. Gasbel. 1907, S. 1019.

stark verändert. Die Konstanthaltung des Gaskonsums der Heizflamme wird durch Regelung des Druckes angestrebt. Der Gaskonsum ist jedoch dabei von wechselndem spezifischen Gewicht des Gases oder vom wechselnden Reibungskoeffizient desselben bedingt, so daß eine große Genauigkeit mit diesem Instrument nicht zu erreichen ist, und speziell bei verschiedenen Gasarten oder Mischungen derselben (z. B. Steinkohlengas und Wassergas) größere Fehler entstehen können. Das Fahrenheimsche Kalorimeter ist daher nur vorläufig zur annähernden Ermittlung der Heizwertänderung von Gasen brauchbar und erfordert die Eichung und häufige Kontrolle durch ein anderes genaueres Kalorimeter.

Die Konstanthaltung des Gaskonsums ist beim registrierenden Gaskalorimeter von Beasley in interessanter Weise gelöst<sup>1)</sup>. Bei diesem wird eine Gasmessertrommel durch eine Bremstrommel mit Ölfüllung auf konstanter Tourenzahl erhalten. Die Heizwirkung der Flamme wird auf eine Ölsäule übertragen, deren Ausdehnung durch einen Schwimmer registriert wird. Auch bei diesem Instrument ist die Annahme gemacht, daß die Wärmeabgabe an die Außenluft, welche hier durch ein geripptes Rohr erfolgt, konstant sei. Auch dieses Instrument kann also keinen großen Grad von Genauigkeit aufweisen.

Später beschrieben Beasley und Bradbury<sup>2)</sup> ein Registrierkalorimeter, bei dem sie die Wärme ebenfalls auf fließendes Wasser übertragen. Die Registrierung erfolgt durch kugelförmige Metallgefäße, die als Thermometerkugeln dienen, welche durch dünne Röhren mit aneroidartigen Registrierinstrumenten verbunden sind.

Ähnliche Schwierigkeiten dürften auch bei dem thermoelektrischen Kalorimeter von Fery<sup>3)</sup> eintreten. Bei diesem sind über den beiden Öffnungen eines U-förmig gebogenen Rohres Thermolemente angebracht, die gegeneinander geschaltet sind. In dem einen der beiden Schenkel brennt eine konstante Gasflamme und saugt durch den anderen Schenkel Luft ein. Die Erwärmung der Luft wird durch ein registrierendes elektrisches Instrument (eine Art Coulombzähler) aufgezeichnet und die Angabe desselben mit der Angabe des Gasmessers nach einer Stunde verglichen. Dieses Instrument setzt außer der konstanten Wärmeausstrahlung des erwärmten U-Rohrschenkels die Konstanz der angesogenen Luftmenge voraus, die kaum zu erreichen sein dürfte.

In der Praxis tritt häufig die Aufgabe an den Gastechner heran, ein Gas von dem Heizwert  $a$  mit einer solchen Menge eines Gases von dem Heizwert  $b$  zu mischen, daß dadurch ein Mischgas vom Heizwert  $c$  entsteht. Die Berechnung der Mengen der einzelnen Gase, die hierbei zur Mischung angewendet werden müssen, erfolgt am einfachsten nach der folgenden Mischungsregel<sup>4)</sup>. Bezeichnet  $x$  die Menge des Gases vom Heizwert  $a$  Kal. und  $y$  die Menge des Gases vom Heizwert  $b$  Kal., so ist zu setzen:

$$y = a - c \quad \text{und} \quad x = c - b.$$

Schematisch läßt sich dies am übersichtlichsten wie folgt schreiben:



<sup>1)</sup> Journ. of Gaslighting Nr. 2307, S. 308. — <sup>2)</sup> Zeitschr. f. Beleuchtungswesen 1910, S. 386; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 606. — <sup>3)</sup> Langlet. Rev. elect. E. u. M., 27. Jahrg., S. 731; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 459. — <sup>4)</sup> Chem.-Ztg. 1910, S. 954.

Danach hat man also den gewünschten Heizwert  $c$  in die Mitte eines schräg stehenden Kreuzes zu schreiben, auf dessen linker Seite oben der Heizwert des einen Gases  $a$  und unten der Heizwert des anderen Gases  $b$  zu setzen ist. Auf der rechten Seite dieses Kreuzes ergibt sich dann die Menge  $x$  des Gases vom Heizwert  $a$  oben, indem die Differenz  $c - b$  gebildet wird, und die Menge  $y$  des Gases vom Heizwert  $b$  ergibt sich rechts unten, indem die Differenz  $a - c$  gesucht wird; ein Beispiel möge dies erläutern:

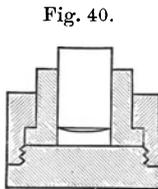
Ein Steinkohlengas von 5800 Kal. oberem Heizwert soll mit einer solchen Menge von uncarburisiertem Wassergas von 2900 Kal. oberem Heizwert gemischt werden, daß dadurch ein Mischgas von 5000 Kal. oberem Heizwert entsteht. Wir haben dann in die Mitte des Schemas zu schreiben: 5000 ( $c$ ), links oben 5800 ( $a$ ) und links unten 2900 ( $b$ ).

$$\begin{array}{ccc} 5800 & & 2100 \\ & \searrow & / \\ & 5000 & \\ & / & \searrow \\ 2900 & & 800 \end{array}$$

Es ergibt sich dann die Menge des Steinkohlengases  $x$  zu  $5000 - 2900 = 2100$  und die Menge des Wassergases  $y$  zu  $5800 - 5000 = 800$ . Somit sind in diesem Falle 2100 m<sup>3</sup> Steinkohlengas mit 800 m<sup>3</sup> Wassergas zu mischen, wobei man 2900 m<sup>3</sup> eines Gases von 5000 Kal. Heizwert erhält. In dem Gemisch sind somit  $\frac{800}{2900} = 0,276$ , das ist 27,6 Proz. Wassergas, enthalten,

oder auf 100 m<sup>3</sup> Steinkohlengas sind  $\frac{800}{2100} \cdot 100 = 38,1$  m<sup>3</sup> Wassergas zuzusetzen.

Diese Mischungsregel ist natürlich nicht nur auf Heizwerte anwendbar, sondern sie kann ganz allgemein dazu dienen, das Mengenverhältnis zweier Stoffe zu finden, wenn irgend eine Eigenschaft der beiden Stoffe quantitativ gegeben ist und eine Mischung der beiden Stoffe gesucht werden soll, deren Eigenschaft zahlenmäßig in der Mitte zwischen jener der beiden Stoffe liegen soll.



Die Bestimmung der Heizwerte fester Substanzen wird in ganz anderer Weise vorgenommen, als die Bestimmung der Heizwerte von Gasen und Flüssigkeiten, wie wir sie oben kennen lernten. Gewöhnlich handelt es sich hierbei um die Bestimmung des Heizwertes von Kohlen oder Koks.

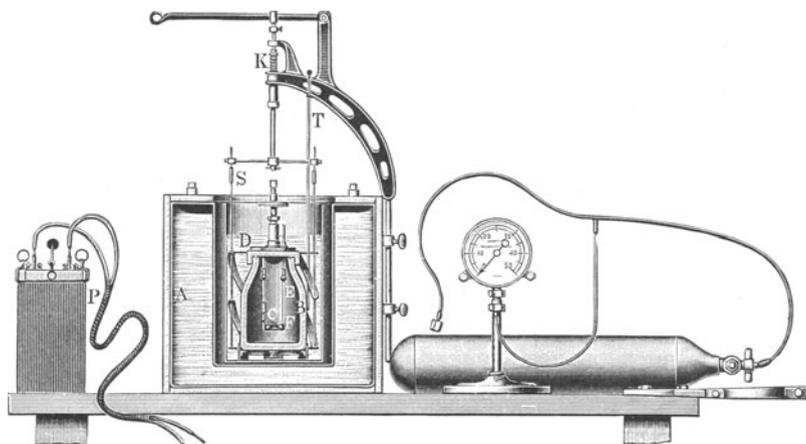
Die Kohle wird am besten in Form kleiner Briketts angewendet. Diese werden im Durchmesser von 12 bis 13 mm und in der Höhe von 4 bis 8 mm durch eine kleine Presse hergestellt, die in Fig. 40 wiedergegeben ist. Man verwendet gewöhnlich Kohlenproben im Gewicht von etwa 1 g.

Berthelot bestimmt die Verbrennungswärme in einem allseitig geschlossenen Gefäß, welches unter hohem Druck mit Sauerstoff gefüllt ist. Es wird dabei allerdings nicht die Verbrennungswärme bei konstantem Druck, sondern die Verbrennungswärme bei konstantem Volumen gemessen. Dagegen hat der mit dem Namen „Berthelotsche Bombe“ bezeichnete Apparat den Vorzug, daß keinerlei Abgase das Kalorimeter verlassen, wodurch eine außerordentlich große Genauigkeit erzielt wird. Bei der Verbrennung der Kohle im Sauerstoff entstehen stets geringe Mengen von Salpetersäure; außerdem entsteht durch die Verbrennung des Schwefelgehaltes der Kohle Schwefel-

säure. Um das Kalorimeter vor Angriff dieser Säuren zu schützen, versah Berthelot dasselbe innen mit einem Platinüberzug. Das Instrument war daher so teuer, daß es nur zu wissenschaftlichen Untersuchungen dienen konnte. Mahler verwandte dagegen eine aus besonderem Stahl hergestellte, innen mit einem Emailüberzug versehene Bombe und machte sie dadurch für die praktische Kohlenuntersuchung verwendbar<sup>1)</sup>.

Die Berthelot-Mahlersche Bombe *B* (Fig. 41) ist mit einem Deckel versehen, der vollständig luftdicht aufgeschraubt wird und sowohl das Sauerstoffzuführungsrohr als auch die zwei Elektroden *E*, *F* zur Zündung der Kohle trägt. An der einen dieser beiden Elektroden ist ferner ein Platin- oder Tonschälchen aufgehängt, welches zur Aufnahme der Kohle bestimmt ist. Die Bombe wird in das Kalorimetergefäß *D* eingesenkt, welches mit Wasser gefüllt

Fig. 41.



und in ein weiteres doppelwandiges Gefäß eingesetzt ist. Das letztere ist zum Schutz gegen die Wärmeausstrahlung bestimmt. Der Zwischenraum zwischen den beiden Wandungen desselben ist mit Wasser gefüllt, welches genau die gleiche Temperatur haben muß wie das Kalorimeterwasser in *D* und wie die Außenluft. Ein Rührwerk *S*, *K* ermöglicht die Durchmischung des Kalorimeterwassers. Sobald die Kohle eingewogen und die Bombe verschlossen ist, wird die letztere mit komprimiertem Sauerstoff gefüllt. Dieser wird einer Stahlflasche entnommen, wie sie im Handel erhältlich sind. Ein an die Leitung angeschlossenes Manometer zeigt den Druck an, unter dem sich der Sauerstoff in der Bombe befindet. Bei der Verbrennung von Kohle wendet man 25 Atm. an.

Nachdem alles im Temperaturgleichgewicht steht, erfolgt die Zündung der Kohle durch die Batterie *P*, die mindestens 10 Volt Spannung besitzen muß. Die beiden Elektroden sind durch einen 0,1 mm starken Eisendraht verbunden, welcher die Kohle berührt. Dieser wird durch den Strom durchgeschmolzen und verbrennt in dem Sauerstoff, indem er gleichzeitig die Kohle entzündet. Die Verbrennungswärme dieses Eisendrahtes muß bei ge-

<sup>1)</sup> Über eine Bombe mit auswechselbarem Einsatzgefäß siehe Langbein, Chem.-Ztg. 1909, S. 1055; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 210.

nauen Bestimmungen vom Resultat in Abzug gebracht werden. Sie beträgt 1,6 Kal. pro 1 g Fe. Die Temperaturerhöhung wird an dem in  $\frac{1}{10}^0$  geteilten Thermometer  $T$  abgelesen und nach Abzug der Strahlungskorrektur, welche sich aus dem Sinken des Thermometers nach dem Versuche ergibt, mit dem Wasserwert des Kalorimeters multipliziert. Die Bestimmung des letzteren erfolgt durch Verbrennung von reinem Naphtalin, welches eine Verbrennungswärme von 0,70 Kal. pro 1 g besitzt. Für die Bildung von 1 g Salpetersäure bringt Mahler 0,230 Kal. in Abzug.

Ein geringer Stickstoffgehalt des Sauerstoffs ist unmaßgeblich, dagegen muß für einen etwaigen Wasserstoffgehalt des Sauerstoffs eine entsprechende Korrektur angebracht werden. Gewöhnlich ist der Sauerstoff wasserstoffhaltig, wenn derselbe auf elektrolytischem Wege gewonnen wurde.

Das bei der Verbrennung entstehende Wasser kondensiert sich an den Wandungen des Kalorimetergefäßes und muß bestimmt werden, wenn man den unteren Heizwert der Kohle ermitteln will. Zu diesem Zwecke erhitzt Kroeker<sup>1)</sup> die Bombe nach durchgeführter Heizwertbestimmung im Ölbad und fängt den entweichenden Wasserdampf in Chlorcalcium auf.

Von besonderer Wichtigkeit beim Arbeiten mit der Bombe ist die Konstanz der Temperatur des Arbeitsraumes, so daß alle Apparatenteile stets die gleiche Temperatur besitzen. Aus diesem Grunde soll auch der durch Öffnen von Türen entstehende Luftzug möglichst vermieden werden.

Die Berthelot-Mahlersche Bombe ist auch zur Bestimmung des Heizwertes von Gasen geeignet. Zu diesem Zweck bestimmt man den Rauminhalt derselben genau, entleert die Luft durch Absaugen mit einer gut wirkenden Wasserstrahlpumpe, läßt Gas einströmen, pumpt wieder aus und so fort, mehrere Male, bis man sicher ist, daß die Bombe reines Gas enthält. Man bestimmt Druck und Temperatur, unter welchem das Gas steht, leitet Sauerstoff unter Druck zu und bewirkt dann die Entzündung in gleicher Weise, wie bei der Verbrennung von Kohle. Bei Leuchtgas ist dabei ein Sauerstoffdruck von 5 Atm. anzuwenden, bei Wassergas 3 Atm. und bei Generatorgas 1 Atm.

Da die Berthelotsche Bombe auch in der billigeren Ausführung nach Mahler noch immer ein sehr kostspieliges Instrument ist, hat Parr<sup>2)</sup> ein wesentlich billigeres Kalorimeter vorgeschlagen. Er bewirkt die Verbrennung nicht mit Sauerstoff, sondern mit Natriumsuperoxyd. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß das gebildete Natriumoxyd mit den Reaktionsprodukten der Verbrennung,  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$ , Verbindungen eingeht, indem es dabei Wärme entwickelt. Diese Wärmemenge beträgt nach umfangreichen Versuchen 27 Proz. der gesamten Verbrennungswärme. Das Resultat ist daher mit 0,73 zu multiplizieren.

Um eine vollkommene Verbrennung der Kohle zu erreichen, werden zu 0,5 g Steinkohle 0,5 g Weinsäure zugesetzt. Bei Verbrennung von Anthrazit ist ferner noch der Zusatz von 1,0 g Kaliumpersulfat erforderlich. Bei der Verbrennung von Braunkohle ist ein Zusatz nicht erforderlich, wenn man 1,0 g anwendet. Eine Fehlerquelle des Parrschen Kalorimeters scheint darin zu liegen,

---

<sup>1)</sup> Die von Kroeker verbesserte Berthelot-Mahlersche Bombe kann bei Julius Peters in Berlin bezogen werden. — <sup>2)</sup> Lunge, Zeitschr. f. angew. Chem. 1901, S. 793.

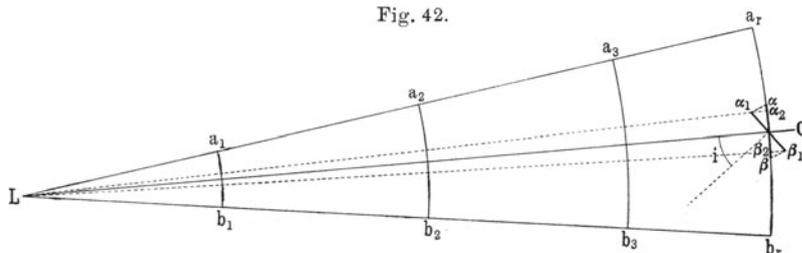
daß bei der Verbrennung nicht immer die gleichen Mengen von  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  gebildet werden, somit die oben genannten 27 Proz., die von der Reaktion der Verbrennungsprodukte mit dem Natriumoxyd herrühren, nicht als vollkommen konstante Größe zu betrachten sind. Außerdem muß darauf geachtet werden, daß sowohl die das Natriumsuperoxyd aufnehmende Patrone als auch das untersuchte Brennmaterial nur in vollständig trockenem Zustande verwendet werden dürfen, da sonst explosionsähnliche Erscheinungen eintreten können. Das Brennmaterial, namentlich Braunkohle, muß daher vorher bei 105 bis 110° getrocknet werden<sup>1)</sup>.

Bei sämtlichen Kohlenuntersuchungen ist es besonders wichtig, eine richtige Durchschnittsprobe zu entnehmen, da ja die einzelnen Stücke der Kohle eine sehr verschiedene Zusammensetzung haben. Die Entnahme einer richtigen Durchschnittsprobe ist in dem Kapitel 17 „Die Untersuchung der Kohle“ beschrieben.

## 10. Photometrische Grundbegriffe und Lichteinheiten.

Ein strahlender Punkt sendet nach allen Richtungen des Raumes eine bestimmte Energiemenge aus. Denken wir uns zur Ableitung der Gesetze,

Fig. 42.



die zuerst von Lambert angegeben worden sind, um den Punkt eine Anzahl von konzentrischen Kugelschalen gelegt, so bleibt die gesamte, jede Kugelschale treffende Energiemenge stets die gleiche und sie ist gleichmäßig auf jeder Kugeloberfläche verteilt, wenn wir voraussetzen, daß das Mittel, in welchem sich das Licht fortbewegt, homogen und vollständig durchlässig ist. Die Energiemenge, welche durch jeden Querschnitt eines Kegels fließt, der durch den Winkel  $\omega$  (Fig. 42) eingeschlossen ist, ist in jedem Querschnitt die gleiche. Durch  $a_1 b_1$  fließt also ebensoviel Energie, wie durch  $a_2 b_2, a_3 b_3$  und  $a_r b_r$ . Die ganze Energie, welche innerhalb dieses räumlichen Winkels fortgeleitet wird, nennt man den Energiestrom.

Der Winkel  $\omega$  ist dabei als ein Teil des ganzen Raumes aufzufassen. Die Oberfläche der Kugelschale, welche sich im Abstände  $r$  von dem strahlenden Punkte befindet, beträgt bekanntlich  $4 r^2 \pi$ . Wählen wir den Abstand

<sup>1)</sup> Einen Vergleich der Kalorimeter von Bryan Donkin, Roland Wild, Darling, Lewis Thomson wurde von Lloyd und Parr (Journ. Soc. Chem. Ind. 1910, S. 337, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 879) durchgeführt. Über die Genauigkeit derartiger Kalorimeter s. ferner Huntly (Chem.-Ztg. 1910, S. 650, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 767). Ein von Hinmann (Progressiv Age 1911, S. 744, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1139) angegebenes Gaskalorimeter unterscheidet sich nur durch ganz geringe Änderungen von dem Junkersschen.

$r = 1$ , so ist die Kugeloberfläche  $4\pi$ . Wenn wir also einen räumlichen Winkel  $4\pi$  nennen, so ist damit gemeint, daß durch diesen Winkel der ganze Raum um den strahlenden Punkt ausgefüllt wird. Ist der räumliche Winkel  $\omega = 2\pi$ , so füllt der Energiestrom, der durch diesen Winkel fließt, eine Halbkugel aus. Der Winkel, welcher von dem Energiestrom eingeschlossen wird, der auf der Kugelschale vom Radius  $r = 1$  die Flächeneinheit abschneidet, ist der Winkel  $\omega = 1$ . Wir wollen nun als Einheit der Entfernung die Länge eines Meters wählen. Beim Raumwinkel  $\omega = 1$  wird somit auf einer Kugeloberfläche, welche in der Entfernung  $r = 1$  m um den strahlenden Punkt  $L$  gelegt wird, die Fläche von  $1 \text{ m}^2$  herausgeschnitten.

Es ist nun klar, daß, wenn wir die Stärke der Strahlung eines Punktes in der Achse des räumlichen Winkels  $\omega$  mit  $J$  bezeichnen und  $\Phi$  der in diesem Winkel ausgestrahlte Energiestrom ist, zu setzen ist:

$$J = \frac{\Phi}{\omega}.$$

Wir können somit auch schreiben:

$$\Phi = J \cdot \omega,$$

oder mit Worten, der Energiestrom, welcher von einem Punkt in den räumlichen Winkel  $\omega$  ausgestrahlt wird, ist gleich  $\omega$ , multipliziert mit der Strahlungsstärke  $J$  in der Richtung der Achse des Winkels. Dementsprechend ist der Energiestrom, welchen ein Punkt einem beliebig gelegenen Flächenelement  $s$  zusendet, gleich dem räumlichen Winkel  $\omega$ , unter welchem  $s$  vom strahlenden Punkt aus erscheint, multipliziert mit der Strahlungsstärke, welche der Punkt in der Richtung der Achse von  $\omega$  besitzt.

Aus diesen Betrachtungen folgt ohne weiteres das sogenannte Entfernungsgesetz. Legen wir um den leuchtenden Punkt  $L$  gemäß Fig. 42 Kugelschalen in der Entfernung 1, 2, 3...  $r$  m, so sind die vom Winkel 1 herausgeschnittenen Flächenstücke

$$\begin{array}{l} a_1 b_1 \text{ gleich } 1 \text{ m}^2 \\ a_2 b_2 \quad \text{ " } \quad 4 \quad \text{ " } \\ a_3 b_3 \quad \text{ " } \quad 9 \quad \text{ " } \\ a_r b_r \quad \text{ " } \quad r^2 \quad \text{ " } \end{array}$$

Mithin verteilt sich der von dem leuchtenden Punkt auf das Flächenelement  $s$  gesandte Energiestrom  $J s$  auf eine Oberfläche, die jeweils dem Quadrat des Abstandes vom leuchtenden Punkt proportional ist. Verschieben wir also ein Flächenelement  $\alpha\beta$  von der Größe  $s$  bis in einen Abstand  $r$  vom leuchtenden Punkt, so wird es von dem Energiestrom

$$\Phi = \frac{J s}{r^2}$$

getroffen. Also ist der Energiestrom, welchen ein Punkt einem im Abstände  $r$  befindlichen Flächenelement zusendet, umgekehrt proportional dem Quadrat des Abstandes  $r$ .

Fällt der Energiestrom  $G$  auf eine Fläche von der Größe  $s$ , so bezeichnen wir als Bestrahlungsstärke  $E$  jenen Energiestrom, der auf die Flächeneinheit fällt, also:

$$E = \frac{\Phi}{s}.$$

Aus den zuletzt genannten beiden Gleichungen ergibt sich ohne weiteres

$$E = \frac{J}{r^2},$$

d. h. die Bestrahlung, welche eine Fläche im Abstände  $r$  von einem leuchtenden Punkt erfährt, ist direkt proportional der Lichtstärke, welche in der Richtung gegen diese Fläche ausgesendet wird, und umgekehrt proportional dem Quadrat des Abstandes  $r$ .

Bisher haben wir nur Flächen betrachtet, welche zu der Richtung des Energiestromes senkrecht stehen. Bringen wir nach Fig. 42 das Flächenelement in schräge Richtung zum Energiestrom nach  $\alpha_1\beta_1$ , so daß die auf dieses Flächenelement errichtete Normale mit der Richtung des Energiestromes den Winkel  $i$  einschließt, so wird der räumliche Winkel, unter dem das Flächenelement vom leuchtenden Punkt aus gesehen wird, kleiner, d. h.  $\alpha_1\beta_1$  wird von einem kleineren Energiestrom getroffen als  $\alpha\beta$ , und zwar von demselben Energiestrome, von dem die Projektion von  $\alpha_1\beta_1$  auf die Kugeloberfläche  $a_r b_r$  getroffen würde. Diese Projektion ist durch  $\alpha_2\beta_2$  gegeben. Diese Fläche ist aber gleich der Fläche  $\alpha_1\beta_1$  multipliziert mit  $\cos i$ . Somit fällt auf  $\alpha_1\beta_1$  der Energiestrom

$$\Phi = \frac{J s \cos i}{r^2},$$

oder in Worten ausgedrückt:

Der Energiestrom, welchen ein leuchtender Punkt einem im Abstände  $r$  befindlichen Flächenelemente  $s$  unter dem Einfallswinkel  $i$  zusendet, ist proportional dem Kosinus des Einfallswinkels  $i$ . Demnach ist die auf  $s$  fallende Bestrahlung

$$E = \frac{J \cos i}{r^2}.$$

Handelt es sich nicht um ausgestrahlte Energie im allgemeinen, sondern speziell um ausgestrahltes Licht, so spricht man vom Lichtstrom anstatt vom Energiestrom. Ebenso gebrauchen wir diesfalls das Wort Beleuchtung an Stelle von Bestrahlung. Die Lichtstärke messen wir durch die Lichteinheiten, in Deutschland und Österreich-Ungarn sowie in der Schweiz durch die Hefnerkerze. Die Einheit des Lichtstromes bezeichnet man mit dem Worte Lumen und die Einheit der Beleuchtungsstärke, oder rundweg Beleuchtung genannt, mit dem Worte Lux. Die Größe der belichteten Fläche mißt man mit Rücksicht auf die hier in Betracht kommenden Größenverhältnisse nach  $m^2$ ; wir werden ihr künftig die Bezeichnung  $S$  zukommen lassen.

Im obigen haben wir uns nur mit den beleuchteten Flächen befaßt und nicht mit selbstleuchtenden Flächen. Die oben erörterten Begriffe sind jedoch ganz sinngemäß auch auf diese anzuwenden. Eine Fläche kann entweder erhellt werden, indem man sie beleuchtet, oder sie kann erhellt werden, indem sie selbst Licht ausstrahlt, z. B. im glühenden Zustande. Eine belichtete, vollkommen weiße Fläche, welche alles Licht diffus reflektiert, wird eine Erhellung erfahren, die mit ihrer Belichtung identisch ist. Der ganze Lichtstrom, welcher auf sie auftritt, wird von ihr wieder ausgestrahlt. Da man es jedoch bei der Erhellung meist mit kleinen, hellglühenden Flächen zu tun

hat, so wählt man nicht das Meter als Einheit, sondern das Zentimeter. Bezeichnen wir z. B. mit  $e$  die Erhellung, welche eine glühende Fläche als Selbstleuchter erfahren hat, und beträgt die Größe dieser Fläche in  $\text{cm}^2$   $s$ , so ist die Erhellung, also die Lichtstärke pro  $\text{cm}^2$  <sup>1)</sup>):

$$e = \frac{J}{s}.$$

Denken wir uns eine Lichtquelle, welche nach allen Richtungen des Raumes die Lichtstärke  $J$  aussendet, in der Mitte einer vollkommen weißen Hohlkugel angebracht, so wird der gesamte Lichtstrom  $\Phi$  von der Fläche der Kugel zurückgeworfen, d. h. in diesem Falle ist die Erhellung  $e$ , welche die Kugel erfährt, gleich der Belichtung. Da wir aber die erstere auf  $\text{cm}^2$  als Einheit, die letztere auf  $\text{m}^2$  als Einheit beziehen, so haben wir zu setzen  $s = 10000 \cdot S$ , und wir erhalten als Erhellung, welche die weiße Kugeloberfläche erfährt:

$$e = \frac{J}{4r^2\pi \cdot 10000}.$$

Wählen wir als Lichtstärke  $J$  die Einheit und als Radius der Kugel ebenfalls die Einheit von einem Meter, so ergibt sich die Erhellung  $e$ , welche eine vollkommen weiße Fläche in der Entfernung eines Meters von der Lichteinheit erfährt:

$$e = \frac{1}{4\pi \cdot 10000} = 0,00000795.$$

Dies in HK ist also die Erhellung, welche  $1 \text{ cm}^2$  einer vollkommen weißen Fläche erfährt, wenn man sie mit der Lichtstärke einer HK im Abstände von einem Meter beleuchtet. Diese Beleuchtungsstärke nennt man eine Meterkerze (MK). Mit Rücksicht auf die verschiedenen Lichteinheiten, welche in den verschiedenen Ländern bestehen, ist es jedoch besser, das Wort Hefner-Meter-Kerze (HMK) zu gebrauchen. Wie schon erwähnt, wird statt dieser Bezeichnung auch das Wort Lux vielfach angewendet, und Monasch<sup>2)</sup> hat sogar beantragt, das Wort Meterkerze vollständig zu streichen und das Wort Lux zu einem internationalen Ausdrucke zu erheben. Er verwies speziell auf die Schwierigkeiten, welche dadurch entstehen, daß in anderen Ländern nicht nur andere Lichteinheiten (in Frankreich ein Carcel, in England ein Candle, ferner die erst kürzlich zwischen den Vereinigten Staaten, England und Frankreich vereinbarte Standard-Candle) verwendet werden, sondern auch andere Längenmaße (in England ein Foot), so daß außer der Meterkerze in Frankreich das Carcelmeter, in England das Candlefoot als Maß für die Beleuchtungsstärke bestehen. Solange jedoch kein allgemeingültiges Maß für die Lichteinheit festgesetzt ist, wird es nicht möglich sein, dem Worte Lux eine einheitliche Bedeutung beizulegen und man muß daher, um korrekt zu sein, eine nähere Bezeichnung beifügen, z. B. „deutsches Lux“ oder „Hefnerlux“, wenn man es auf die in Deutschland übliche Hefnerkerze beziehen will. Den Vergleich der Werte der verschiedenen Einheiten für die Beleuchtungsstärken werden wir bei Besprechung der verschiedenen Lichteinheiten wiedergeben.

<sup>1)</sup> Man bezeichnet dieselbe auch als „Glanz“ einer Lichtquelle. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1907, S. 1143.

Nun haben wir noch zu berücksichtigen, daß die meisten praktisch verwendeten Lichtquellen nicht nach allen Richtungen gleich große Lichtstärke zeigen.

In früheren Zeiten begnügte man sich mit der Messung der horizontalen Lichtstärke oder bei Flammen, die auch in der Horizontalen nicht überall gleich viel Licht gaben, mit der mittleren horizontalen Lichtstärke. Die heute verwendeten Lichtquellen zeigen aber ganz gewaltige Unterschiede der Lichtstärke in den verschiedenen Richtungen, welche von der Horizontalen abweichen. Es ist daher notwendig, die Lichtquellen nach allen Richtungen zu messen, und sämtliche Messungen, die gewöhnlich von  $10$  zu  $10^0$  oder von  $15$  zu  $15^0$  vorgenommen werden, anzugeben. Zeichnet man die auf diese Weise erhaltenen Lichtstärken derart in ein Diagramm ein, daß man vom leuchtenden Punkt aus Strahlen entsprechend den Richtungen, in welchen die Messungen vorgenommen wurden, zieht und darauf die Lichtstärke als Längenmaß aufträgt, so erhält man die sogenannte Polarkurve der Lichtquelle. Aus dieser erhält man die mittlere sphärische Lichtstärke, oder wenn man nur die unterhalb der Horizontalen ausgesendete Lichtmenge berücksichtigen will, die mittlere untere hemisphärische Lichtstärke, oder wenn man die nach oben gehende Strahlung messen will, die mittlere obere hemisphärische Lichtstärke, wie wir im nächsten Kapitel erläutern werden. Gemäß den Beschlüssen der Internationalen Lichtmeßkommission in Zürich 1907 wurden die folgenden Bezeichnungen für diese Größen gewählt:

$J$	für die Lichtstärke im allgemeinen,
$J_{\alpha s}$	„ „ unter dem Winkel $\alpha$ oberhalb der Horizontalen ausgesendete Lichtstärke, und $J_{\alpha i}$ unterhalb der Horizontalen,
$J_h$	„ „ mittlere horizontale Lichtstärke,
$J_{\max}$	„ „ in irgend einer beliebigen Richtung ausgesendete maximale Lichtstärke,
$J_0$	„ „ mittlere sphärische (räumliche) Lichtstärke,
$J_{\Delta}$	„ „ mittlere obere hemisphärische Lichtstärke,
$J_{\cup}$	„ „ mittlere untere hemisphärische Lichtstärke.

Die Art, wie aus den einzelnen Messungen die mittlere sphärische oder hemisphärische Lichtstärke berechnet werden kann, werden wir später kennen lernen. Wichtig ist noch das Verhältnis zwischen der mittleren sphärischen und der mittleren horizontalen Lichtstärke  $\frac{J_0}{J_h}$ , das man als sphärischen Reduktionsfaktor oder als Konversionskoeffizient bezeichnet.

Die sämtlichen Begriffe und die dafür geltenden Zeichen seien in der nachstehenden Übersicht nochmals zusammengestellt (s. Tab. a. f. S.). Hierzu möge noch folgende Erläuterung dienen.

Ein Lumen ist der Lichtstrom, welchen eine HK in den ganzen Raum aussendet<sup>1)</sup> oder welchen zwei HK in den halben Raum (Halbkugel) aussenden oder welchen vier HK in ein Viertel des Raumes (also auf eine Fläche, welche gleich ist einem Kreise vom Kugelradius) aussenden.

Eine Belichtungseinheit ist die Belichtung, welche eine Fläche von  $1 \text{ m}^2$  erfährt, wenn sie von einem Lm Lichtstrom getroffen wird, also z. B. welche eine Kugeloberfläche von  $1 \text{ m}^2$  Oberfläche von 1 HK erfährt. Diese Kugel hat

<sup>1)</sup> Unter der Annahme, daß dieselbe nach allen Richtungen hin dieselbe Lichtstärke hätte, wie in der Horizontalen.

einen Radius, der sich aus der Formel  $4 r^2 \pi = 1$  zu  $r = 0,28$  m berechnet. Dagegen ist ein Lux (eine Hefnermeterkerze) die Belichtung, welche eine Fläche in einem Meter Abstand von einer HK erfährt. Die Belichtungseinheit entspricht daher  $4 \pi$ , das ist 12,566 36 HMK, oder eine HMK ist gleich  $\frac{1}{12,566 36}$ , das ist 0,0795 Belichtungseinheiten.

Größe		Einheit	
Name	Zeichen	Name	Zeichen
Lichtstärke . . . . .	J	Hefnerkerze . . . . .	HK
Lichtstrom . . . . .	$\Phi = J\omega = \frac{J}{r^2} \cdot S$	Lumen . . . . .	Lm
Beleuchtungsstärke . . . . .	$\varepsilon = \frac{\Phi}{S} = \frac{J}{r^2}$	{ Lux . . . . . } { Hefnermeterkerze . . . . . }	{ Lx } { HMK }
Flächenhelle . . . . .	$e = \frac{J}{S}$	Kerze auf 1 cm <sup>2</sup> . . . . .	—
Lichtleistung . . . . .	$Q = \Phi T$	Lumenstunde . . . . .	—

Eine Kerze Erhellung pro cm<sup>2</sup> erfährt ein Körper, der zum Glühen erhitzt oder belichtet ist, wenn er pro 1 cm<sup>2</sup> seiner Oberfläche die Lichtstärke von einer HK aussendet.

Eine Fläche von 1 m<sup>2</sup>, die eine Belichtung von 1 HMK erfährt, wird auf 0,0795 HK, das ist  $\frac{1}{4 r^2 \pi}$  Lichtstärke gebracht, im Falle die Fläche eine vollkommen weiße ist. Eine derart belichtete Kugelfläche vom Radius 1 m, das ist also von der Oberfläche  $4 r^2 \pi$ , hat demgemäß eine gesamte Lichtstärke von  $4 r^2 \pi \cdot \frac{1}{4 r^2 \pi}$ , das ist 1 HK, wie dies ja notwendig zutreffen muß, wenn wir es mit einer vollkommen weißen Fläche zu tun haben. Allerdings trifft dies in der Praxis niemals zu, weil auch der weißeste Stoff noch immer einen Teil des Lichtes absorbiert. Könnten wir die Innenflächen eines Raumes vollkommen weiß machen, so wäre theoretisch die Beleuchtung eines solchen Raumes nur während eines ganz kurzen Momentes erforderlich, um den Raum stets gleichmäßig hell zu erhalten. Denn die Lichtstrahlen, welche die Wände eines solchen träfen, müßten stets vollkommen reflektiert werden und würden so von einer Wand zur anderen geworfen, ohne an Intensität abzunehmen. Es wäre dies etwa so, wie ein gegen die Umgebung vollkommen isolierter Körper nur einmal erwärmt werden müßte, um stets gleich warm zu bleiben. Bei der Wärme können wir einen solchen Zustand, wenn auch nicht vollkommen, so doch annähernd erreichen, weil die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärme durch den Körper hindurch eine sehr geringe ist, und die Wärmeenergie deshalb lange Zeit braucht, ehe sie von der einen Begrenzungsfläche zur anderen gelangt. Dagegen ist in unserem Falle die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtenergie eine so außerordentlich große, daß Millionen von Reflexionen an den Wandungen während einer Sekunde stattfinden, so daß bei der geringsten Unvollkommenheit bei der Reflexion in den kleinsten Bruchteilen einer Sekunde schon die ganze Lichtenergie von den Wandungen absorbiert ist.

Flächen, die nicht rein weiß sind, erfahren natürlich eine geringere Erhellung bei gleicher Belichtung wie rein weiße Flächen. Die Erhellung ist dann von der Absorption abhängig, welche die Fläche auf das Licht ausübt. Sie ist bei manchen Materialien unter verschiedenen Winkeln verschieden. So z. B. fand Gilpin<sup>1)</sup> bei einem matten Papier die größte Erhellung bei einem Einfallswinkel von  $45^\circ$ . Diese Erscheinung erläuterte er durch eine mikrographische Aufnahme der Oberfläche.

In absolutem Maße ausgedrückt sind die Lichtstärke und der Lichtstrom mit einer Arbeitsleistung pro Zeiteinheit (z. B. Pferdekraften oder Watt) vergleichbar und können auch mit einem Wärmeverbrauch in Kalorien pro Stunde, also auch mit einer ausströmenden Gasmenge pro Zeiteinheit (Liter pro Stunde) verglichen werden. Bezeichnet  $M$  eine Masse,  $L$  eine Länge und  $T$  eine Zeit, so ist Lichtstärke und Lichtstrom durch die Dimension gegeben  $ML^2 T^{-3}$ .

Die Lichtleistung  $Q$  ist dagegen mit einer über eine gewisse Zeit ausgedehnten Arbeitsleistung (Pferdekraftstunden, Wattstunden) und mit einer Wärmemenge (z. B. Verbrennungswärme pro  $m^3$ ) vergleichbar. Ihre Dimension nach Maße, Länge und Zeit ist ebenso wie die der mechanischen Arbeitsleistung  $ML^2 T^{-2}$ .

Beleuchtungsstärke und Flächenhelle, also Belichtung und Erhellung resultieren aus der Lichtstärke, indem man die Lichtstärke durch das Quadrat einer Länge dividiert. Sie haben also die Dimension  $MT^{-3}$  und sind daher von jeder Längendimension unabhängig.

Geht von einer Lichtquelle ein Lichtstrom aus, der nicht eine einheitliche Wellenlänge besitzt, sondern verschiedene Spektralfarben gleichzeitig enthält, so kann man sich denselben in eine Anzahl von Lichtströme zerlegt denken, von denen jeder eine einheitliche Wellenlänge besitzt. Es entsteht nun die Frage, ob das Auge die Gesamtwirkung als Summe der Einzelwirkungen empfindet. Gewöhnlich nimmt man dies an, es wird jedoch von einzelnen Autoren bestritten. Nach Brodhun<sup>2)</sup> ist der Satz von der Summe der Einzelwirkungen nur dann richtig, sobald die absolute Helligkeit der anvisierten Fläche einen gewissen Wert überschritten hat. Dies ist für die Photometrie von Wichtigkeit, denn man würde grünes Licht bevorzugen, wenn man bei zu geringer Helligkeit des Photometerschirmes arbeiten würde.

Wir haben im obigen nur den Lichtstrom betrachtet, der von einer punktförmigen Lichtquelle ausgeht. Wesentlich komplizierter wird der Fall, wenn der leuchtende Körper nicht ein Punkt, sondern eine Linie oder eine Fläche ist.

So wie wir bei der Belichtung einer Fläche gesehen haben, daß dieselbe proportional dem Kosinus des Einfallswinkels ist, ebenso läßt sich beweisen, daß bei einem regelmäßig strahlenden Körper (z. B. beim absolut schwarzen Körper) die Energieausstrahlung, also auch die Lichtausstrahlung proportional dem Kosinus des Emissionswinkels  $\varepsilon$  ist. Jene Körper, welche das  $\cos \varepsilon$ -Gesetz befolgen, erscheinen in jeder Lage, die das Auge gegenüber der Fläche einnimmt, gleich hell. Ein beleuchtetes Papier erscheint ebenso hell, wenn man

<sup>1)</sup> Trans. Illum. Eng. Soc. New York 1910, S. 854; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 439. — <sup>2)</sup> Inauguraldiss. Berlin 1887.

es in normaler Richtung betrachtet, wie wenn man es schräg von der Seite aus ansieht. Ebenso erscheint eine glühende Kugel nicht etwa an der Seite dunkel, sondern als gleichmäßig leuchtende Scheibe, wie z. B. die Sonne. Dies rührt daher, daß jedes Flächenelement in einer Richtung, die um den Winkel  $\varepsilon$  von der Normalen abweicht, nur die dem Kosinus proportionale Strahlung aussendet, daß aber  $\frac{1}{\cos \varepsilon}$  mal mehr Flächenelemente in dieser Richtung zur Wirksamkeit gelangen, so daß die Ausstrahlung in geneigter Richtung die gleiche bleibt, wie in der Normalen. Dies bezieht sich ebenso auf belichtete wie auf selbstleuchtende Flächen.

Sehr kompliziert stellt sich der Fall, wenn die Beleuchtung berechnet werden soll, welche eine Fläche durch eine zweite leuchtende Fläche erfährt. Bezüglich dieser Berechnung sei auf Liebenthals vorzügliches Werk „Praktische Photometrie“<sup>1)</sup> verwiesen.

Verhältnismäßig einfach wird die Berechnung, wenn eine Fläche von einer unendlich langen leuchtenden Linie beleuchtet wird. Beim leuchtenden Punkt mußten wir berücksichtigen, daß sich der Lichtstrom nach sämtlichen Richtungen des Raumes gleichmäßig ausbreitet und daß entsprechend der Zunahme der Kugeloberfläche derselbe Lichtstrom eine vierfach so große Fläche trifft, wenn die Entfernung auf das Doppelte gestiegen ist. Bei einer leuchtenden Linie dagegen kann man sich vorstellen, daß, wenn die Linie unendlich lang ist, der Lichtstrom sich nicht auf konzentrische Kugeloberflächen weiter ausbreitet, sondern daß derselbe normal zur Richtung der Linie sich in Form von Zylinderflächen ausbreitet, deren Achse mit der leuchtenden Linie zusammenfällt. Nun wächst aber eine Zylinderfläche nicht proportional dem Quadrate des Durchmessers, sondern nur in einfachem Verhältnis proportional der Größe des Durchmessers, weil ja die Zylinderfläche proportional dem Umfange des Zylinders zunimmt, wenn die Länge dieselbe bleibt. Und diese ist ja als konstant, nämlich unendlich lang angenommen. Das Licht, welches ein Flächenelement von einer leuchtenden Linie empfängt, ist daher nicht umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung, wie dies beim leuchtenden Punkt der Fall ist, sondern es ist nur im einfachen Verhältnis umgekehrt proportional der Entfernung. Wollte man also z. B. eine Straße möglichst rationell von möglichst hochgelegenen Leuchtkörpern aus beleuchten, um eine Blendung des Auges zu vermeiden, so wäre es viel zweckmäßiger, leuchtende Linien, die parallel der Straßenachse laufen, zu verwenden, anstatt der leuchtenden Punkte. Allerdings besitzen wir bisher noch kein Mittel, um derartige leuchtende Linien auf annehmbar billige Weise zu erzeugen.

Noch anders verhält sich der Fall, wenn wir uns anstatt unendlich langer leuchtender Linien unendlich große leuchtende Flächen vorstellen. In diesem Falle wird sich der Lichtstrom gewissermaßen überhaupt nur in einer Richtung fortbewegen, und die einzelnen normal zu der Fortpflanzungsrichtung gelegten Flächen, die hier immer nur wieder Ebenen sind, die parallel zur leuchtenden Fläche stehen, nehmen an Größe nicht zu. Daher wird ein Flächenelement stets die gleiche Lichtmenge empfangen, einerlei ob es sich nahe an einer unendlich großen leuchtenden Fläche befindet, oder weit davon entfernt aufgestellt ist. In diesem Falle wird also eine Abnahme der Be-

<sup>1)</sup> Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1907.

lichtung mit der Entfernung überhaupt nicht stattfinden. Wenn wir aber schon die unendlich lange leuchtende Linie praktisch nicht durchführen können, so ist dies noch weniger betreffs der unendlich großen leuchtenden Flächen der Fall.

Wir wollen nun dazu übergehen, die Einheiten kennen zu lernen, welche als Maß der Lichtstärke verwendet werden können. Die Lichtstärke ist ein der Größe nach unbekannter, von physiologischen Wirkungen auf die Netzhaut abhängiger Bruchteil der Gesamtstrahlung und kann daher nicht mit dem Maß wie andere physikalische Größen, nämlich mit dem Maß von Länge und Gewicht, gemessen werden. Es bleibt daher vorläufig nichts übrig<sup>1)</sup>, als eine beliebige Einheit zu wählen, die keine andere Bedingung erfüllen muß, als daß sie sich in einfacher Weise leicht reproduzieren lassen muß. Sie soll sich dabei sowohl in bezug auf Lichtstärke als in bezug auf die Lichtfarbe den gebräuchlichsten Lichtquellen möglichst nähern. Eine wichtige Bedingung für die praktische Verwendbarkeit einer Lichteinheit ist auch, daß sie durch äußere atmosphärische Verhältnisse möglichst wenig beeinflußt wird und mit vollständiger Gleichmäßigkeit ruhig leuchten muß.

Man unterscheidet nun zweierlei prinzipiell verschiedene Mittel zur Herstellung von Lichteinheiten. Man verwendet entweder feste glühende Körper oder Flammen. Auch verdünnte Gase in Geißlerschen Röhren, durch den elektrischen Strom zum Leuchten angeregt, sind als Lichteinheiten vorgeschlagen worden. Diese haben jedoch keine praktische Verwendung gefunden, so daß wir uns nur mit den ersteren beiden der genannten Lichteinheiten zu befassen haben.

Als feste glühende Substanz kommt wegen seines hohen Schmelzpunktes das Platin in Betracht. Doch stößt die Verwendung desselben auf mancherlei Schwierigkeiten. Ein durch den elektrischen Strom von konstanter Spannung erhitzter Platindraht zeigt keine gleichbleibende Lichtstärke, weil die Oberfläche desselben durch Zerstäubung verändert wird. Violle hat deshalb vorgeschlagen, Platin im Knallgasgebläse zu schmelzen und über den Schmelzpunkt (1775° C) zu erhitzen und dann erstarren zu lassen. Die Lichtstärke geht dann entsprechend der Temperaturabnahme rasch zurück, bleibt in dem Moment, wo das Erstarren beginnt, eine Zeitlang konstant, steigt dann plötzlich und nimmt schließlich, wenn das ganze Platin erstarrt ist, wieder ab. Nach Violles Definition<sup>2)</sup> gilt als Einheit des weißen Lichtes die Lichtstärke, welche 1 cm<sup>2</sup> der Oberfläche geschmolzenen Platins im Moment des Erstarrens in senkrechter Richtung besitzt. Als Einheit des farbigen Lichtes gilt die Lichtstärke des gleichfarbigen Lichtes, welches in dem weißen Platinlicht enthalten ist.

Der zwanzigste Teil der Violleschen Einheit wird Bougie décimale genannt.

Die Reproduktion dieser Violleschen Platineinheit ist außerordentlich schwierig und konnte auch nicht von anderen Forschern mit der nötigen Genauigkeit wieder erhalten werden. Petavel<sup>3)</sup> hat einigermassen befriedigende Resultate erhalten, wenn er vollkommen reines Platin in einem Schmelztiegel aus reinem, von Silikaten freiem Kalk mit Wasserstoff, der frei von Kohlen-

---

<sup>1)</sup> Über einen Vorschlag für eine absolute Lichteinheit siehe Strache, Objektive Photometrie und absolute Lichteinheit, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1912, Heft 8 und 9. — <sup>2)</sup> Ann. Chim. Phys. 1884, S. 373. — <sup>3)</sup> Electrician 1899/1900, S. 710.

wasserstoff sein muß, schmolz, wobei auf vier Volumina Wasserstoff drei Volumina Sauerstoff angewendet wurden. Petavel hat jedoch die Viollesche Platineinheit nicht mit den anderen gebräuchlichen Einheiten verglichen, so daß seine Angaben nicht nachgeprüft werden können. Die Viollesche Platineinheit besteht daher eigentlich nur in der Theorie, denn die von anderen Forschern praktisch reproduzierte Einheit gab so große Abweichungen, daß von einem richtigen Einheitsmaß kaum gesprochen werden kann<sup>1)</sup>.

Siemens schlug vor, nicht das erstarrende Platin, sondern ein bis zum Schmelzen erhitztes Platinblech als Lichteinheit zu verwenden. Die von Lummer und Kurlbaum durchgeführte Kontrolle gab jedoch auch hierbei Abweichungen bis zu 10 Proz.

Lummer und Kurlbaum<sup>2)</sup> machten daher den beachtenswerten Vorschlag, die Temperatur eines glühenden Platinbleches nicht bis zum Schmelzpunkt zu treiben, sondern dieselbe nur so lange zu erhöhen, bis durch ein festgesetztes Absorptionsmittel 10 Proz. der Gesamtstrahlung hindurchgehen. Sie verwenden als Absorptionsmittel eine 2 cm dicke Wasserschicht, welche sich zwischen zwei Quarzglaswänden von 1 mm Stärke befindet. Durch dieses Absorptionsmittel wird ein großer Teil der dunkeln Strahlung zurückgehalten und erst, wenn zufolge der gesteigerten Temperatur größere Mengen leuchtender Strahlen vorhanden sind, wird eine beachtenswerte Menge hindurchgelassen. Und diese soll eben bis auf 10 Proz. der Gesamtstrahlung steigen, wodurch die Temperatur des Platinbleches festgelegt ist. Zur Messung der Strahlung wird ein mit Platinmohr geschwärztes Bolometer verwendet. Die Genauigkeit dieser Lichteinheit soll sich bis auf 1 Proz. steigern lassen, ist also noch immer nicht genügend, um als exaktes Maß für die Lichtstärke zu dienen.

Petavel<sup>3)</sup> hat vorgeschlagen, die vom glühenden Platinblech kommenden Strahlen einerseits durch Wasser und andererseits durch schwarzen Flußspat zu filtrieren. Ersteres läßt hauptsächlich nur die leuchtenden Strahlen, letzterer hingegen nur die dunkeln Wärmestrahlen hindurch. Die beiden Strahlenbündel werden dann auf zwei Thermosäulen geworfen, die gegeneinander geschaltet sind, und die Temperatur wird so lange geändert, bis sich die Wirkung der beiden Thermosäulen vollständig aufhebt, so daß ein zwischen geschaltetes Galvanometer vollständige Stromlosigkeit anzeigt. Diese Lampe besitzt einen ziemlich großen Grad von Genauigkeit, ist aber in ihrer Lichtstärke nicht genau reproduzierbar, weil die Durchlässigkeit von der Qualität des verwendeten Flußspats abhängt. Es ist daher bei verschiedenen Lampen nicht stets die gleiche Temperatur des Platinbleches erreichbar. Petavel schlägt daher selbst vor, diese Lampe nur als Einheitslampe zweiter Klasse zu verwenden, d. h. sie nach einer bekannten Lichteinheit zu eichen und dann zur Messung anderer Lichtquellen zu benutzen. Das Bedürfnis nach solchen Einheitslampen zweiter Klasse ist jedoch heute leichter und sicherer durch geeichte elektrische Glühlampen zu befriedigen.

Thompson<sup>4)</sup> hat erkannt, daß die hellste Stelle des Kraters der positiven Kohle eines elektrischen Lichtbogens stets die gleiche Lichtstärke

<sup>1)</sup> Neuerdings hat Flemming (Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 222) die Viollesche Einheit wieder empfohlen; nach Paterson ist jedoch auch die Farbe des Lichtes störend rötlich. — <sup>2)</sup> Berl. Ber. 1894, S. 229. — <sup>3)</sup> Electrician 1902/03, S. 1012. — <sup>4)</sup> Phil. Mag. 1893, S. 120.

pro mm<sup>2</sup> besitzt, und zwar etwa 158 Bougies. Es ist dies erklärlich, weil die Kohle durch den elektrischen Strom nur bis zu ihrem Siedepunkt erhitzt werden kann und weil deren Temperatur dann konstant bleibt. Auch diese Einheit zeigt jedoch große Schwankungen bis zu 10 Proz., weil die hellste Stelle des Kraters nicht stets am selben Orte bleibt.

Liebenthal<sup>1)</sup> schlägt vor, den absolut schwarzen Körper, welcher im Gegensatz zu den vorerwähnten Glühkörpern eine bestimmt definierte leuchtende Oberfläche besitzt, zur Herstellung einer Lichteinheit zu verwenden. Die Temperatur desselben könnte nach dem oben genannten Vorschlage von Lummer und Kurlbaum mit dem Bolometer bestimmt werden. 1 mm<sup>2</sup> der Oberfläche des absolut schwarzen Körpers soll bei 1800° die Lichtstärke von 1,0 HK liefern. Dieser Vorschlag Liebenthals ist sehr beachtenswert und dürfte wohl der einzige sein, der es ermöglicht, eine genauere reproduzierbare Lichteinheit durch eine glühende Substanz zu erlangen.

Genau geeichte elektrische Glühlampen kommen als Einheitslampen zweiter Klasse immer mehr in Verwendung, als Einheiten erster Klasse, d. h. als direkt reproduzierbare Lichteinheiten, sind sie aber nicht brauchbar. Nimmt man diese Lampen nur sehr wenig in Anspruch, so ändert sich ihre Lichtstärke bei gegebener Stromstärke so gut wie gar nicht. Immerhin ist es aber erforderlich, eine größere Zahl solcher Lampen in Vorrat zu haben, die alle genau gemessen sind, damit man ihre eventuelle Lichtabnahme durch Vergleich untereinander konstatieren kann. Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Berlin liefert solche genau gemessene Lampen, und die Genauigkeit derselben ist so groß, daß sie in den Vereinigten Staaten offiziell als Maß der Lichtstärke angenommen wurden. Der Vorteil gegenüber den vorerwähnten Glüheinheiten liegt in der Genauigkeit, mit der eine bestimmte Lichtstärke erzielt werden kann. Der Vorteil gegenüber den später zu besprechenden Flammeneinheiten liegt in der Ruhe des Lichtes, in der Unabhängigkeit von den atmosphärischen Verhältnissen und in der bequemen Hantierung. Für die genaue Einstellung ist nur eine außerordentlich genaue Regulierung der Stromstärke erforderlich. Solange nicht eine neue Glüheinheit gefunden ist, werden diese elektrischen Vergleichsglühlampen sicher noch eine große Rolle bei allen Lichtmessungen, die Anspruch auf größere Genauigkeit machen, spielen.

Die Flammeneinheiten sind die ersten Einheiten, die in der Lichtmeßkunde überhaupt verwendet wurden. Bei ihnen ist die Lichtstärke durch den Brennstoff, durch die Art der Verbrennung desselben und durch die atmosphärischen Verhältnisse, das ist Temperatur, Feuchtigkeit und Kohlen säuregehalt der Luft, bedingt.

Als Brennstoff wurden früher stets Gemische verschiedener chemischer Substanzen verwendet, wie dieselben eben überhaupt als Brennmaterial gebräuchlich waren. Speziell kamen dabei Brennöl und Kerzen in Betracht. Diese Brennmaterialien sind jedoch keine chemisch einheitlichen Substanzen, sondern Gemische, wie sie aus Naturprodukten gewonnen werden. Die Mengen der einzelnen Bestandteile wechseln mit dem Ausgangsmaterial. Mit der Zusammensetzung wechselt aber auch die Lichtstärke, und daher ist mit solchem Brennmaterial eine vollkommen gleichbleibende Lichtstärke nicht zu erzielen.

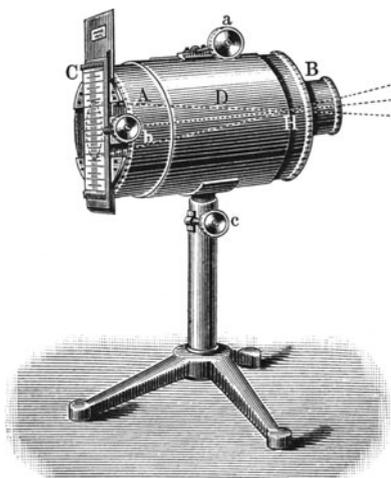
<sup>1)</sup> Prakt. Photometrie, S. 139. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1907.

Man hat sich daher in neuerer Zeit der Anwendung einheitlicher chemischer Substanzen als Brennstoffe für die Flammeneinheiten zugewendet. So z. B. dem Amylacetat für die Hefnerlampe und dem Pentan für die englische Pentanlampe.

Von besonderem Einfluß auf die Lichtstärke einer Flamme sind die Bedingungen, unter denen der Brennstoff zur Verbrennung gelangt. Besonders die Art der Luftzufuhr ist von großer Bedeutung, und daher hat die Brennerkonstruktion einen maßgeblichen Einfluß.

Bei Lampen, die einen Glaszylinder besitzen, muß auch noch darauf gesehen werden, daß die Lichtabsorption durch denselben stets die gleiche bleibt. Da dies sehr schwer zu erreichen ist, ist es vorteilhafter, Einheitslampen ohne Glaszylinder zu verwenden. Betreffs der atmosphärischen Verhältnisse ist zu berücksichtigen, daß Kohlensäure- und Feuchtigkeitsgehalt der Luft die Lichtstärke jeder Flammeneinheit wesentlich herabsetzen. Die

Fig. 43.



Flammeneinheiten müssen daher in reiner Luft brennen, und der betreffende Raum muß auch gleichmäßig temperiert sein. Der Aufenthalt vieler Menschen, sowie dauerndes Brennen großer Gasflammen in dem gleichen Raume ist wegen der entwickelten Kohlensäure von nachteiligem Einfluß. Bei genauen Messungen muß auch der Feuchtigkeitsgehalt und der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Luft sowie der Barometerstand gemessen und deren Einfluß auf die Lichtstärke der Flammeneinheiten berücksichtigt werden, wie wir dies bei Besprechung der Hefnerlampe beispielsweise sehen werden (S. 150).

Flammeneinheiten, bei denen der zum Aufsaugen des Brennmaterials dienende Docht selbst mitbrennt, sind unbedingt schlecht, weil dabei eine genügende Gleichmäßigkeit der Flamme nicht erzielt werden kann.

Die älteste Lichteinheit bildete die Kerze. In den verschiedenen Staaten wurden besondere Vorschriften für die Anfertigung der Normalkerze herausgegeben, und dementsprechend gab es eine englische, eine französische, eine deutsche und außerdem noch eine Münchener Normalkerze. Wegen der beschriebenen Übelstände, die aus der schwankenden Zusammensetzung des Kerzenmaterials und dem mitbrennenden Docht resultieren, ist die Kerze als Lichteinheit beinahe überall verlassen worden. In England hat sie sich noch am längsten gehalten, jetzt geht man aber auch dort von ihr ab. Die wesentlichen Punkte in den Vorschriften der Herstellung der verschiedenen Normkerzen sind folgende.

Murdoch bediente sich bereits im Jahre 1808 der Talgkerze als Lichtmaß<sup>1)</sup>, und 1860 wurde in England durch Parlamentsakte die Walratkerze als Einheit festgesetzt.

<sup>1)</sup> Nichols, Transact. Illum. Eng. Soc. New York 1910, S. 842; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 415.

Die englische Kerze besteht aus Walrat, dem so viel Bienenwachs zugesetzt wird, daß der Schmelzpunkt auf 44 bis 46<sup>o</sup> steigt. Der Durchmesser der Kerze beträgt unten 22,5, oben 20 mm und das Gewicht 72,3 g. Der Docht besteht aus drei Strängen mit 18 Baumwollfäden. Der Verbrauch an Kerzenmaterial soll pro Brennstunde 7,78 g betragen, Schwankungen von 7,39 bis 8,17 g sind zulässig und soll dann die Umrechnung proportional dem Verbrauch auf 7,78 g erfolgen. Genauer als die Verbrauchsbestimmung ist die Einstellung auf die richtige Flammenhöhe, welche 45 mm betragen soll.

Die deutsche Vereins-Paraffinkerze, die 1882 eingeführt wurde, wird aus Paraffin mit einem Zusatz von 10 bis 15 Proz. Stearin derart erzeugt, daß der Schmelzpunkt 55<sup>o</sup> beträgt. Sie ist zylindrisch, mit 20 mm Durchmesser, wiegt 50 g und ihr Docht besitzt 24 Baumwollfäden und soll 0,668 g pro 1 m wiegen. Er enthält einen roten Faden eingeflochten, an welchem die deutsche Vereinsparaffinkerze erkenntlich ist. Die Lichtmessung soll bei einer Flammenhöhe von 50 mm erfolgen. Die Einstellung derselben erfolgt durch Beschneiden des Dochtes und ist nur schwierig genau zu erreichen.

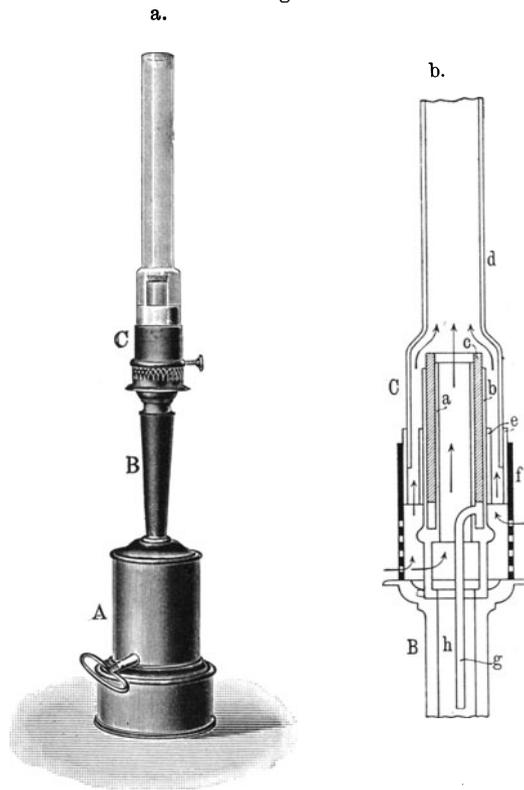
Die Münchener Stearinkerze hat einen unteren Durchmesser von 23 und einen oberen von 20,5 mm, die Flammenhöhe soll 52 mm betragen.

Die französische Bougie de l'Etoile ist durch die Carcellampe gänzlich verdrängt worden und daher nicht mehr im Gebrauch.

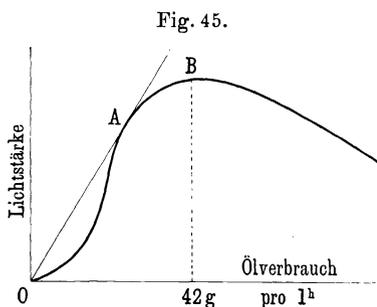
Zur Messung der Flammenhöhe bei den Kerzen hat Krüss einen optischen Flammenmesser konstruiert, der in Fig. 43 dargestellt ist. Bei diesem wird das umgekehrte Bild der Flamme auf eine mit einem Maßstab versehene Milchglasplatte geworfen. Man kann sich jedoch auch einer aus Blech gefertigten Leere bedienen, deren zwei Spitzen das richtige Maß für die Flammenhöhe anzeigen.

Wegen der Schwierigkeiten, welche die Normalkerze bietet, ist man in Frankreich allgemein zur Anwendung der Carcellampe übergegangen, deren man sich dort schon seit dem Jahre 1822 bedient. Dieselbe ist in Fig. 44 a u. b

Fig. 44.



dargestellt. Sie wird mit Colzaöl (Sommerrapsöl) gespeist, das dem Docht durch ein mit Uhrwerksantrieb versehenes Pumpwerk zugeführt wird. Das Brennerrohr *b* hat 23,5 mm lichten Durchmesser, der innere Luftzug 17,0 mm und der äußere 45,5 mm. Die Höhe des Zylinders soll 290 mm betragen, der innere Durchmesser desselben oben 34,0, unten 47,0 mm. Die mittlere Dicke des Glases beträgt 2,0 mm. In der Höhe von 61,0 mm über dem unteren Rande des Glases besitzt der Zylinder eine Einschnürung. Der Docht soll nach neueren Bestimmungen<sup>1)</sup> 7 bis 8 mm über dem Brennerrand herausragen. Der Zylinder soll so gestellt sein, daß die Einschnürung 7 mm über dem Rande des Dochtes liegt. Der Docht ist aus 75 Strängen gewebt und soll 3,6 g pro Dezimeter wiegen. Bei genauen Messungen ist für jede einzelne Messung die Lampe neu mit Öl zu füllen und ein neuer Docht einzuziehen. Der Ölverbrauch soll 42 g pro Stunde betragen. Er darf jedoch zwischen 39 und 45 g schwanken und wird dann proportional auf 42 g Verbrauch umgerechnet. Die Lichtstärke ist jedoch gerade bei 42 g Ölverbrauch nicht proportional der Lichtstärke, sondern sie ändert sich, wie die Kurve Fig. 45



zeigt. In der Nähe von *A* wäre der Verbrauch proportional der Lichtstärke. Der Verbrauch von 42 g entspricht jedoch ungefähr dem Maximum der Lichtstärke bei *B* und ist dort Proportionalität, wie die Kurve zeigt, nicht vorhanden. Deleuil hat eine Wage konstruiert, welche ein Glockenzeichen gibt, sobald die Lampe 10 g Öl verbraucht hat. Die Messungen mit der Carcellampe sollen erst 45 Minuten

nach dem Anzünden ausgeführt werden, weil die Leuchtkraft derselben bis dahin zufolge der Erwärmung der Lampenteile in stetem Steigen begriffen ist. Eine beträchtliche Ungenauigkeit der Carcellampe ist auch durch die Anwendung eines Glaszylinders verursacht. Wenn auch die Dimensionen desselben genau festgelegt sind, so ändert sich doch das Absorptionsvermögen zufolge Anwendung verschiedener Glassorten.

Die Ungenauigkeit und die schwierige Behandlung der Carcellampe ist auch von hervorragenden französischen Beleuchtungstechnikern anerkannt worden. Trotzdem hält man in Frankreich auch heute noch an dieser Lichteinheit fest. Allerdings ist theoretisch die Bougie décimale, welche den zwanzigsten Teil der Violleschen Platineinheit (S. 139) darstellt, als Einheit angenommen worden. Diese ist jedoch zu praktischen Messungen noch weniger geeignet, und man hat sich in Frankreich bisher ebensowenig wie in England entschließen können, die in Deutschland eingeführte Hefnerlampe, welche die anderen Lichteinheiten in bezug auf Genauigkeit und Bequemlichkeit übertrifft, anzunehmen.

Die Hefnerlampe wurde von v. Hefner-Alteneck<sup>2)</sup> im Jahre 1884 als Lichteinheit vorgeschlagen. Diese ist definiert durch die Lichtstärke einer in ruhig stehender reiner atmosphärischer Luft frei brennenden Flamme, welche

<sup>1)</sup> Liebenthal, Prakt. Photometrie, S. 109. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1907. — <sup>2)</sup> Elektrochem. Zeitschr. 1884, S. 20; Journ. f. Gasbel. 1884, S. 73.

aus dem Querschnitt eines massiven mit Amylacetat gesättigten Dochtes aufsteigt, der ein kreisrundes Dochtröhrchen aus Neusilber von 8 mm innerem und 8,3 mm äußerem Durchmesser und 25 mm freistehender Länge vollkommen ausfüllt, bei einer Flammenhöhe von 40 mm vom Rande des Dochtröhrchens aus und frühestens 10 Minuten nach dem Anzünden gemessen.

Die Hefnerlampe ist vom Deutschen Verein von Gas- und Wasserfachmännern und dem Verbands deutscher Elektrotechniker und auch von dem internationalen Elektrikerkongreß, der 1896 in Genf tagte, für praktische Zwecke als Maßeinheit angenommen worden. Allerdings hat man auf letzterem auch die französische Bougie décimale (ein Zwanzigstel der Violleschen Platin-einheit) als theoretische Einheit angenommen. Diese ist jedoch praktisch wertlos, solange sie nicht mit genügender Gleichmäßigkeit hergestellt werden kann. Als Zeichen für die Lichtstärke der Hefnerlampe ist HK und als Name „Hefnerkerze“ festgesetzt worden.

Bei gründlichen Untersuchungen der Hefnerlampe zeigte sich, daß dieselbe allen bisherigen Einheitslampen weit überlegen ist.

Die Hefnerlampe wird von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin einer Beglaubigung unterzogen. Diese bezieht sich auf die Kontrolle der für die Lichtstärke maßgeblichen Abmessungen und auf einen photometrischen Vergleich mit den dort aufbewahrten Normallampen. Die Wandstärke des Dochtrohres darf nicht mehr als 0,02 mm größer und nicht mehr als 0,01 mm kleiner als 0,15 mm sein. Der lichte Durchmesser des Dochtröhrchens darf nicht mehr als 0,1 mm von der vorgeschriebenen Weite von 8 mm abweichen. Das Flammenmaß, welches die Höhe der Flamme angibt, darf ebenfalls um nicht mehr als 0,1 mm von der richtigen Höhe von 40 mm, vom oberen Dochtrohrrende an gemessen, abweichen. Die Lichtstärke darf nicht mehr als 0,02 vom richtigen Werte abweichend gefunden werden.

Zur Beglaubigung der Hefnerlampe werden die wichtigsten Teile der Lampe, nämlich das Gefäß, der Dochthalter, das Dochtrohr, der Flammenmesser und die Leere, welche zur Kontrolle des Flammenmessers dient, durch Aufdrücken eines Adlers gekennzeichnet.

Die Hefnerlampe, welche in Fig. 46 im Schnitt und in Fig. 47 in der äußeren Ansicht dargestellt ist, besteht aus einem Gefäß *A*, das für die Aufnahme des Amylacetats dient und aus innen verzinntem Messing oder Rotguß besteht. In dem Deckel ist der Kopf *B* eingeschraubt, welcher das Dochtröhrchen *C* trägt. In diesem wird der Docht durch ein Triebwerk *e*, *e'*, *b*, *g* hinauf oder hinunter geschoben, die Hülse *D* dient zum Abschluß des Dochtröhrchens, um das Verdunsten des Amylacetats zu verhindern, wenn die Lampe nicht gebraucht wird. Sie verschließt gleichzeitig zwei kleine vertikale Öffnungen von etwa 1 mm Durchmesser, die knapp neben dem Dochtröhrchen in dem Kopf *B* angebracht sind, und die dazu dienen, während des Brennens der Lampe an Stelle der verbrauchten Flüssigkeit Luft eintreten zu lassen. Das Dochtrohr muß aus Neusilber ohne Lötnaht hergestellt sein und wird von oben in das Rohrstück *a* bis an einen an dem letzteren angebrachten Ansatz derart eingeschoben, daß das herausragende Dochtrohrende 25 mm lang ist. Es muß leicht herausnehmbar sein, ohne sich jedoch bei der Bewegung des Dochtes mit diesem zu verschieben. Der Flammenmesser ist auf einem abnehmbaren drehbaren und an jeder Stelle festklemmbaren Ring *h* mittels des Trägers *i* befestigt.

Er besteht aus einem rechteckigen Rähmchen  $q$ , welches in das Rohr  $K$  eingesetzt ist. Eine Leere  $G$  dient zur Kontrolle der richtigen Stellung des oberen Randes des Dochtröhres, sowie derjenigen des Flammenmessers. Diese

Fig. 46.

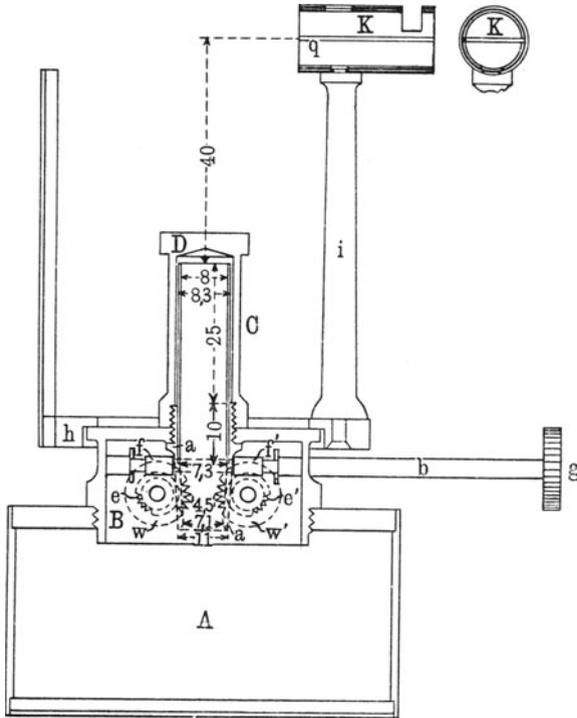
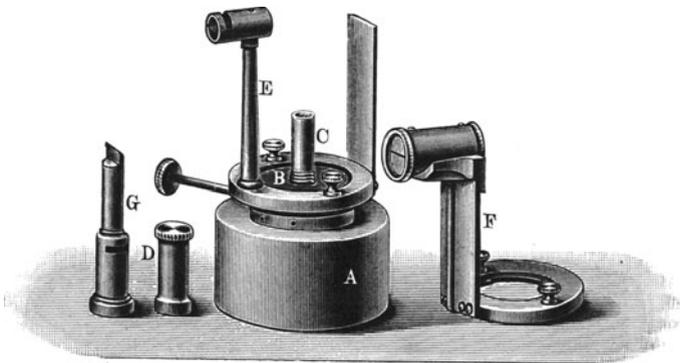


Fig. 47.



Leere besitzt eine auf Fig. 47 durch einen schwarzen Strich gekennzeichnete Ausnehmung, durch welche hindurch man den oberen Rand des Dochtröhrens erblicken kann. Bei richtiger Höhe des Dochtröhrens muß zwischen dem oberen Rande desselben und dem oberen Rande der Ausnehmung in der Leere eine feine, weniger als 0,1 mm breite Lichtlinie sichtbar sein. Außerdem muß

bei aufgesetzter Leere die obere Schneide derselben bei Benutzung des Visiers am Flammenmesser in der Ebene der unteren Fläche des Rähmchens  $q$  liegen.

An Stelle des Flammenmessers  $E$  kann auch das von Krüss angegebene optische Flammenmaß  $F$  verwendet werden. Bei diesem wird ein umgekehrtes Bild der Flammenspitze durch ein kleines Objektiv auf eine Milchglasplatte geworfen. Diese trägt eine Marke, bis zu welcher die Flammenspitze reichen muß. Dieser optische Flammenmesser wird ebenfalls mittels der Leere  $G$  kontrolliert. Die Schneide derselben muß bei durchfallendem Licht im optischen Flammenmesser in der Höhe der oberen Kante der Marke scharf abgebildet werden.

Als Gebrauchsanweisung der Hefnerlampe sei im nachstehenden die von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt amtlich herausgegebene wiedergegeben<sup>1)</sup>.

I. Der Docht: Die Beschaffenheit des Dochtes ist im allgemeinen auf die Lichtstärke ohne Einfluß. Es ist nur darauf zu achten, daß er das Dochtrohr einerseits völlig ausfüllt und andererseits nicht zu fest in dasselbe eingepreßt ist. Man benutzt daher am einfachsten eine genügende Anzahl zusammengelegter dicker Baumwollfäden. Da derartig lose Dochte aber von nicht sorgfältig gearbeiteten Triebwerken bisweilen mangelhaft verschoben werden, außerdem im Inneren des Gefäßes leicht Schlingen bilden und sich dann in den Zahnrädern und den Walzen des Triebwerkes festsetzen, so sind häufig umspinnene Dochte in Gebrauch genommen worden. Gegen die Benutzung derselben ist nichts einzuwenden, solange sie die oben angegebene Bedingung einhalten, das Dochtrohr voll auszufüllen, ohne darin allzusehr eingepreßt zu sein.

II. Das Amylacetat: Bei der Beschaffung des Amylacetats für die Hefnerlampe muß mit Vorsicht zu Werke gegangen werden, da das im Handel befindliche Acetat häufig Beimischungen enthält, welche es für photometrische Zwecke unbrauchbar machen. Es ist daher notwendig, das Amylacetat aus einer zuverlässigen Handlung zu beziehen und bei dem Ankauf anzugeben, daß es für photometrische Zwecke benutzt werden soll.

Um den Bezug brauchbaren Amylacetats zu erleichtern, hat es der Deutsche Verein von Gas- und Wasserfachmännern übernommen, geeignetes Amylacetat in genügender Menge zu beschaffen, es auf seine Brauchbarkeit zu untersuchen und durch seine Geschäftsstelle (Versuchsgasanstalt in Karlsruhe) in plombierten Flaschen von 1 Liter Inhalt abzugeben. In Österreich-Ungarn wird das Amylacetat in gleicher Weise von der Versuchsanstalt für Gasbeleuchtung, Brennstoffe und Feuerungsanlagen an der k. k. Technischen Hochschule in Wien geprüft und mit Beglaubigungsschreiben abgegeben.

Will man von dieser Gelegenheit, geprüftes Amylacetat zu beziehen, keinen Gebrauch machen, so ist es anzuraten, den anderweitig bezogenen Brennstoff zunächst auf seine Brauchbarkeit zu untersuchen. Am besten bedient man sich dazu der folgenden, größtenteils von Bannow angegebenen Proben. Amylacetat ist danach für Lichtmessungen verwendbar, wenn folgende Bedingungen erfolgt sind:

1. Das spezifische Gewicht muß 0,872 bis 0,876 bei 15° betragen.
2. Bei der Destillation (im Glaskolben) müssen zwischen 137 und 143° wenigstens  $\frac{9}{10}$  der Menge des Amylacetats übergehen.

<sup>1)</sup> Liebenthal, Prakt. Photometrie, S. 416.

3. Das Amylacetat darf blaues Lackmuspapier nicht stark rot färben.

4. Wird zu dem Amylacetat ein gleiches Volumen Benzin oder Schwefelkohlenstoff gegeben, so sollen sich beide Stoffe ohne Trübung mischen

5. Schüttelt man in einem graduierten Zylinder 1 cm<sup>3</sup> Amylacetat mit 10 cm<sup>3</sup> Alkohol von 90 Proz. (Tralles) und 10 cm<sup>3</sup> Wasser, so soll eine klare Lösung erfolgen.

6. Ein Tropfen Amylacetat soll auf weißem Filtrierpapier verdunsten, ohne einen bleibenden Fettfleck zu hinterlassen.

Das Amylacetat ist gut verkorkt am besten im Dunkeln aufzubewahren.

III. Behandlung der Lampe. a) Vor der Messung: Nachdem die Lampe mit Amylacetat gefüllt und der Docht eingezogen ist, wartet man, bis der letztere vollständig durchfeuchtet ist. Man überzeugt sich, daß das Triebwerk den Docht gut auf und nieder bewegt, ohne das Dochtrohr mit zu verschieben. Sodann wird der Docht ein wenig aus dem Rohre herausgeschraubt und das den Rand des Dochtrohres überragende Stück mit einer scharfen Schere möglichst glatt abgeschnitten. Hierauf untersucht man mit Hilfe der beigegebenen Leere die richtige Stellung des oberen Dochtrohrandes, sowie des Flammenmessers, wobei die folgenden Bedingungen erfüllt sein müssen:

Wenn man die Leere über das Dochtrohr geschoben hat, so daß sie auf dem das Triebwerk tragenden Kopf fest aufsteht, und wenn man dann durch den in ungefähr halber Höhe befindlichen Schlitz gegen einen gleichmäßig hellen Hintergrund (Himmel, beleuchtetes weißes Papier) hindurch sieht, so soll zwischen dem oberen Rande des Dochtrohres und der Decke des inneren Hohlraumes der Leere eine feine, weniger als 0,1 mm breite Lichtlinie sichtbar sein. Die Schneide der Leere muß bei Benutzung des Visiers in der Ebene der unteren Fläche des Stahlplättchens liegen. Bei Benutzung des optischen Flammenmessers muß die Schneide der Leere in der oberen Kante der Marke des Flammenmessers scharf abgebildet werden.

Die neben dem Dochtrohre befindlichen Löcher dürfen nicht verstopft sein.

Mit der Messung soll frühestens 10 Minuten nach dem Anzünden begonnen werden. Die Temperatur des Beobachtungsraumes soll zwischen 15 und 20° liegen.

b) Während der Messung: Die Lampe soll sich während der Messung auf einem horizontalen Tischchen an einem erschütterungsfreien Platze und in reiner zugfreier Luft befinden. Verunreinigung der Luft namentlich durch Kohlensäure (durch Brennen von offenen Flammen, Atmen mehrerer Personen) verringert die Lichtstärke der Hefnerlampe erheblich<sup>1)</sup>. Der Photometerraum muß daher vor jeder Messung sorgfältig gelüftet werden. In sehr kleinen Räumen, z. B. ringsum geschlossenen photometrischen Apparaten, darf die Hefnerlampe nicht benutzt werden. Zugluft beeinträchtigt in hohem Grade das ruhige Brennen der Flamme und macht ein hinreichend genaues Einstellen der richtigen Flammenhöhe unmöglich.

Als Lichtmaß dient die Lichtstärke der Hefnerlampe in horizontaler Richtung bei einer Flammenhöhe von 40 mm, vom oberen Rande des Dochtrohres aus gemessen. Die Flammenhöhe wird mit Hilfe der beigegebenen Flammenmesser eingestellt, und zwar gilt bei Benutzung des Hefnerschen Visiers folgende von v. Hefner-Alteneck gegebene Vorschrift:

<sup>1)</sup> Vgl. S. 150.

„Der helle Kern der Lampe soll, wenn man durch die Flamme hindurch nach dem Visier blickt, von unten scheinbar an das Visier anspielen. Das schwach leuchtende Ende der Flammenspitze fällt dann nahezu mit der Dicke des Visiers zusammen. Erst beim scharfen Zusehen erscheint noch ein Schimmer von Licht bis ungefähr 0,5 mm über dem Visier. Die von der Flamme beschienenen Kanten des Visiers sind stets blank zu halten.

Bei dem Krüssschen Flammenmesser wird der äußere Saum der Flamme durch die matte Scheibe absorbiert. Demgemäß hat man bei Benutzung desselben die Flammenhöhe so zu regulieren, daß die sichtbare äußerste Spitze des Flammenbildes die Marke auf der matten Scheibe berührt. Dabei hat der Beobachter auf die matte Scheibe in möglichst senkrechter Richtung zu blicken.

Die Einstellung der richtigen Flammenhöhe muß mit großer Sorgfalt ausgeführt werden. Man beachte, daß hier ein Fehler von 1 mm eine Abweichung von 2,7 Proz. in der Lichtstärke hervorbringt.

Es ist darauf zu achten, daß die von der Flamme beschienenen Teile der Lampe (außer dem Dochtrohr), insbesondere der Flammenmesser, gut matt geschwärzt sind. Scheint dies nicht in genügendem Maße der Fall zu sein, so tut man gut, zwischen der Flamme und dem Photometerschirm nahe der Lampe einen mit einem Ausschnitt versehenen schwarzen Schirm anzubringen, der die Reflexe abblendet. Man hat indessen dabei Sorge zu tragen, daß nicht gleichzeitig Teile der Flamme abgeblendet werden.

c) Nach der Messung: Während des Brennens bildet sich am Rande des Dochtrohres ein brauner dickflüssiger Rückstand. Derselbe ist möglichst oft, jedenfalls stets nach Benutzung der Lampe, solange dieselbe noch heiß ist, durch Abwischen zu entfernen. Soll die Lampe für längere Zeit nicht wieder benutzt werden, so ist das Amylacetat sowie der Docht daraus zu entfernen und die Lampe gründlich zu säubern. Ist es dabei nötig, das Dochtrohr herauszunehmen, so soll dies unter Zuhilfenahme des oberen Teiles der Leere geschehen.“

Beträchtliche Schwierigkeiten bietet die Unruhe der Flamme bei einer exakten Einstellung. Selbst wenn die Flamme in ruhiger Luft brennt, sind geringe Schwankungen, welche die Flamme von der Vertikalen ablenken, nicht zu vermeiden. Bei genauen Messungen ist es deshalb erforderlich, daß ein Beobachter beständig die Höhe und Stellung der Flamme am Flammenmaß kontrolliert und dem Photometrierenden ein Signal gibt, wenn die Flamme senkrecht steht und die richtige Höhe besitzt. Seitliche Schwankungen sind dabei sehr leicht zu erkennen. Schwankungen in der Richtung zum und vom Beobachter können jedoch von diesem nicht wahrgenommen werden, und das Signal würde bei einer zu langen Flamme gegeben werden, wenn dieselbe nicht vertikal steht. Es müssen daher stets mehrere Signale abgewartet werden, und jene Messung ist dann die richtige, welche die geringste Lichtstärke des von der Hefnerlampe beleuchteten Feldes ergibt.

Der Verfasser hat eine Methode angegeben<sup>1)</sup>, welche eine genaue Einstellung der Flammenhöhe der Hefnerlampe auf einfachere Weise ermöglicht. Es werden 5 mm oberhalb der Flammenspitze zwei sich kreuzende Thermo-elemente angebracht, welche mit einem Galvanometer in Verbindung stehen.

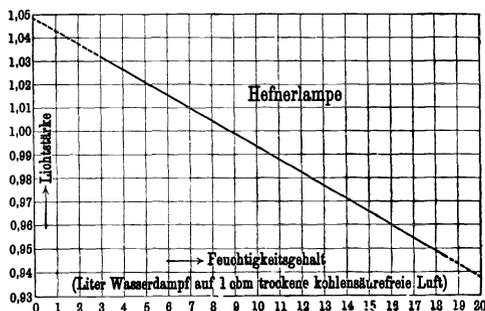
---

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1912, Heft 6.

Brennt die Flamme gerade und hat sie die richtige Höhe, so ergibt sich ein bestimmter Maximalausschlag, aus dessen Höhe auf die richtige Einstellung der Hefnerlampe geschlossen werden kann.

Von Einfluß auf die Leuchtkraft der Hefnerlampe ist auch die Feuchtigkeit und der Kohlensäuregehalt der Luft. Die Messungen müssen daher stets in einem gut ventilerten Raum ausgeführt werden, der nicht zu klein sein darf und in dem nicht zu viele Beobachter, oder Kohlensäure entwickelnde Flammen vorhanden sein dürfen. Auf diese Weise läßt sich der Kohlensäuregehalt so gering halten, daß sein Einfluß außer Betracht bleiben kann. Nimmt der Kohlensäuregehalt um 0,1 Vol.-Prozent zu, so nimmt die Lichtstärke der Hefnerlampe um je 0,7 Proz. ab. Eine Verminderung des Sauerstoffgehaltes der Luft hat einen größeren Einfluß, indem eine Verringerung desselben um 0,1 Vol.-Proz. die Lichtstärke schon um 2 Proz. verringert.

Fig. 48.



Indessen ist der Sauerstoffgehalt der Luft bei Beobachtung obiger Vorsichtsmaßregeln so konstant, daß er ebenfalls außer Betracht bleiben kann. Wichtig ist dagegen die Beobachtung des Feuchtigkeitsgehaltes. Man berechnet ihn als Liter Wasserdampfgehalt pro 1 m<sup>3</sup> trockene Luft aus der Formel:

$$x = 1000 \cdot \frac{e}{b - e - e_1},$$

worin  $b$  den Barometerstand,  $e$  die Spannung des Wasserdampfes der Luft und  $e_1$  die Spannung der Kohlensäure der Luft bedeutet.

$e_1$  kann hierbei in normaler Luft vernachlässigt werden.  $e$  mißt man am besten mit dem Assmannschen Aspirationspsychrometer, indem man die von Sprung aufgestellte Formel benutzt:

$$e = e' - \frac{1}{2} \cdot (t - t') \cdot \frac{b}{755},$$

worin  $t$  und  $t'$  die Temperaturen des trockenen und des feuchten Thermometers und  $e'$  die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes bei der Temperatur  $t'$  (siehe Tabelle im Anhang) bedeutet.

Innerhalb des Feuchtigkeitsgebietes von 3 bis 18 Liter Wasserdampf auf 1 m<sup>3</sup> trockene Luft gilt dann die Gleichung<sup>1)</sup>

$$y = 1,049 - 0,0055 x,$$

worin  $y$  die Lichtstärke und  $x$  den Feuchtigkeitsgehalt in Litern darstellt. Fig. 48 zeigt die Abhängigkeit der Lichtstärke vom Feuchtigkeitsgehalt graphisch dargestellt. Auf diese Weise läßt sich die Lichtstärke auf  $\pm 0,4$  Proz. genau berechnen. Die nachstehende Tabelle läßt die entsprechenden Werte ohne weiteres ablesen.

<sup>1)</sup> Liebenthal, Prakt. Photometrie, S. 118. Braunschweig 1907.

Eine Tabelle, aus welcher die Lichtstärke aus dem Hygrometerstand und der Temperatur abzulesen ist, befindet sich im Anhange.

Mit für die Praxis genügender Genauigkeit kann man auch die Lichtstärke  $y$  mittels der Annäherungsformel

$$y = 1,050 - 0,0075 e$$

berechnen.

Feuchtigkeitsgehalt i. Litern auf 1 m <sup>3</sup> trockene Luft	Lichtstärke der Hefnerlampe	Feuchtigkeitsgehalt i. Litern auf 1 m <sup>3</sup> trockene Luft	Lichtstärke der Hefnerlampe
0	1,049	11	0,988
1	1,043	12	0,983
2	1,038	13	0,977
3	1,032	14	0,972
4	1,027	15	0,966
5	1,022	16	0,960
6	1,016	17	0,954
7	1,010	18	0,949
8	1,005	19	0,944
9	0,999	20	0,938
10	0,994		

Bei Luftdruckschwankungen zwischen 735 und 775 mm tritt für je 1 mm Druckänderung eine Änderung der Leuchtkraft um 0,00011 HK ein. Bei 40 mm Barometerstandsänderung ändert sich somit die Lichtstärke nur um 0,4 Proz.<sup>1)</sup>

Die vollständige Formel für die Berechnung der Lichtstärke und der Berücksichtigung der Feuchtigkeit, Kohlensäuregehalt und Luftdruck ist somit

$$y = 1,049 - 0,0055 x - 0,0072 (x' - 0,75) + 0,00011 (b - 760),$$

worin  $x$  den Feuchtigkeitsgehalt in Litern und  $x'$  den Kohlensäuregehalt in Litern, auf 1 m<sup>3</sup> trockene, kohlensäurefreie Luft berechnet, bedeutet.

Wenn man die atmosphärischen Einflüsse auf die Lichtstärke der Hefnerlampe in Betracht zieht, so muß man berücksichtigen, daß Gasflammen ebenfalls von dem CO<sub>2</sub>-Gehalt und von der Feuchtigkeit sowie vom Luftdruck beeinflusst werden. Bei der Messung offener Flammen dürfte also der Einfluß auf beiden Seiten gleich groß sein, so daß eine Korrektur entfallen kann. Bei Gasglühlicht ist dieser Einfluß noch nicht sichergestellt. Bei der Messung elektrischer Lampen ist er jedoch nicht vorhanden, daher die Korrektur der Hefnerlampe hier stets voll zu berücksichtigen.

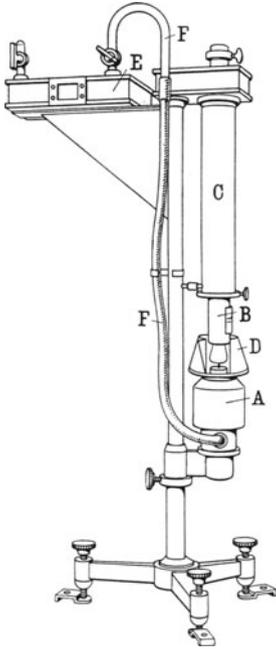
Die Hefnerlampe zeigte außer den durch den Luftzug herbeigeführten seitlichen Schwankungen oft ein Zucken der Flammenspitze, welches die Einstellung der Höhe sehr erschwert. Es kommt dies namentlich dann vor, wenn der Docht zu fest in das Dochtrohr eingepreßt ist. Man kann es beseitigen, wenn man über das Dochtrohr ein 15 mm langes Messingrohr, welches zweckmäßig federnd aufgeschlitzt ist, derart schiebt, daß es ganz auf

<sup>1)</sup> Butterfield hat der Sitzung der Internat. Lichtmeßkommission in Zürich 1911 eine Arbeit vorgelegt, nach welcher sich ein viel größerer Einfluß des Luftdruckes ergeben würde. Die betreffenden Messungen werden fortgesetzt (Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 468).

der Oberkante des Dochtrohres aufsteht. Hierdurch wird jedoch eine Verringerung der Lichtstärke bedingt, die von Fall zu Fall bestimmt werden muß.

In England hat man sich viel Mühe damit gegeben, das Pentan als Brennstoff für eine Normallichteinheit zu benutzen. Es entstand so die dochtlose Einkerzen-Pentan-Luftgaslampe<sup>1)</sup>, die Einkerzen-Pentan-Dochtlampe<sup>2)</sup> und schließlich die dochtlose Zehnkerzen-Pentan-Luftgaslampe von Vernon-Harcourt<sup>3)</sup>. Die letztere ist in England als Normallichteinheit angenommen worden und sei daher im folgenden kurz beschrieben. (Siehe Fig. 49.) Eine einfache Definition, wie sie für die Hefnerlampe aufgestellt wurde, läßt sich bei der Pentanlampe nicht geben. Sie besteht im wesentlichen aus einem Argandbrenner mit ringförmigem Specksteinkopf von 24 mm äußerem und

Fig. 49.



14 mm innerem Durchmesser mit 30 Löchern von 1,25 bis 1,50 mm Durchmesser. Über dem Brenner befindet sich ein zylindrischer Metallschornstein, der mit einem unten offenen Metallmantel umgeben ist. In dem Zwischenraum wird die Verbrennungsluft vorgewärmt. Die Höhe der Flamme ist durch ein im Schornstein angebrachtes Glimmerfenster ablesbar. Das Licht tritt durch einen im Schornstein befindlichen Ausschnitt aus. Die Zufuhr des Pentanluftgemisches erfolgt durch die heberartige Wirkung eines von einem hochstehenden Gefäß herabführenden Schlauches.

Wie ersichtlich, ist bei der Pentanlampe eine große Anzahl von Dimensionen einzuhalten und besteht auch die Möglichkeit, daß sich die Öffnungen verstopfen; ferner ist das Pentan ein Gemisch verschiedener Isomerer, welche durch fraktionierte Destillation zwischen 25 und 40° aus Petroleum gewonnen werden. Es enthält auch noch Homologe des Pentans und hat das spez. Gew. 0,6235 bis 0,626. Die leichtflüchtigen Verbindungen verdunsten natürlich leichter, so daß sich das spezifische Gewicht beim Transport oder bei längerer Aufbewahrung oft derart erhöht, daß es nicht mehr der Vorschrift entspricht.

Der untere Rand des Schornsteines der Pentanlampe muß genau in der Höhe des Photometerschirmes aufgestellt werden, da sonst eine teilweise Abblendung des Lichtes durch den Schornstein stattfindet.

Die Abhängigkeit der Pentanlampe vom Barometerstande ist siebenmal so groß als bei der Hefnerlampe. Nach Brodhun<sup>4)</sup> ergeben sich beim Dauerbetriebe der Pentanlampe im Laufe von Stunden oft Abweichungen bis zu 1 Proz. Paterson hat gefunden, daß neue Pentanlampen eine geringere Lichtstärke haben als alte, und daß diese Abweichungen bis 0,7 Proz. betragen können.

<sup>1)</sup> Chem. News 1877, S. 103. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1888, S. 1133. — <sup>3)</sup> Ebend. 1898, S. 653; 1909, S. 671. — <sup>4)</sup> Elektrotechn. Zeitschr. 25, 1909; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 671.

Aus dem oben Gesagten geht hervor, daß auch die Zehnkerzen-Pentanlampe nicht die gleiche Bequemlichkeit und Genauigkeit bietet, wie die Hefnerlampe. Das Hauptfordernis einer Normallichteinheit: jederzeit bequem und genau herstellbar zu sein, ist bei der Hefnerlampe sicher in höherem Grade vorhanden, als bei der Pentanlampe. Dagegen sind die Vorteile derselben vor der Hefnerlampe: die weißere Färbung des Lichtes, die höhere Lichtstärke, die geringere Empfindlichkeit gegen Luftzug und der Wegfall der Notwendigkeit, die Flammenhöhe außerordentlich genau einzustellen.

Mit Rücksicht auf die Ungenauigkeit der einen und auf die Empfindlichkeit der Einstellung der anderen Normallichtquellen ist es für die praktische Photometrie am bequemsten, elektrische Glühlampen als Vergleichslichtquellen zu benutzen. Diese werden bei einer ganz genau gemessenen Stromstärke mit einer der oben beschriebenen Normallichteinheiten — am besten mit der Hefnerlampe — ausgemessen und können dann, wenn sie nicht zu sehr beansprucht werden, durch lange Zeit als Vergleichslichtquelle benutzt werden, wenn man stets genau dieselbe Stromstärke beibehält. Gebraucht man noch die Vorsicht, daß man einen Satz von mehreren Glühlampen, die nach der Hefnerlampe ausgemessen sind, aufbewahrt und nur sehr selten benutzt, während man eine Anzahl anderer elektrischer Glühlampen zur häufigen Benutzung bereit hält und zeitweise mit einer der Lampen des erstgenannten Satzes vergleicht, so gelangt man zu einem Verfahren, welches neben der größten Genauigkeit auch für den Praktiker die größte Bequemlichkeit bietet. Denn die umständliche genaue Ausmessung mittels der Hefnerlampe ist dann nur außerordentlich selten erforderlich. Außerdem liefert aber die Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Berlin bereits genau mittels der Hefnerlampe ausgemessene elektrische Glühlampen, so daß bei Bezug derselben noch eine größere Bequemlichkeit erreicht ist. Diese Vorteile haben die Vereinigten Staaten bewogen, überhaupt nur elektrische Glühlampen als Normallichteinheit anzuwenden, und im Bureau of Standards in Washington befinden sich derartige Normallampen als Etalons — etwa wie das Normalmeter in Paris — aufbewahrt, nach welchen alle anderen in den Verkehr zu bringenden Normalglühlampen gemessen werden.

Es muß jedoch bemerkt werden, daß eine elektrische Glühlampe nicht die gleiche Konstanz besitzt wie ein Längenmaß, und daß es daher doch stets notwendig bleiben wird, eine Normallichteinheit zu besitzen, welche zu jeder Zeit nach einer bestimmten Vorschrift genau herstellbar sein muß.

Schon seit vielen Jahrzehnten ist man bestrebt, zwischen den einzelnen Nationen eine Einigung zu erzielen, um eine internationale Lichteinheit zu schaffen. Die erste der diesbezüglichen Besprechungen fand im Jahre 1881 in Paris statt. Es wurde dort beschlossen, die Lichtmessungen mittels der Carcellampe vorzunehmen. Im Jahre 1884 nahm eine internationale Konferenz zur Bestimmung der elektrischen Einheiten die Viollesche Platineinheit an. 1889 wurde dann beschlossen,  $\frac{1}{20}$  der Violleschen Einheit als „Bougie décimale“ zu bezeichnen. 1893 berichtete Lummer auf dem internationalen Elekrikerkongreß in Chicago, daß die Viollesche Einheit praktisch nicht gleichmäßig herstellbar sei; dagegen kam 1896 der internationale Elekrikerkongreß in Genf neuerlich auf diese Einheit zurück und beschloß, theoretisch die „Bougie décimale“ als Einheit anzunehmen, aber die praktischen Messungen mit Hilfe der Hefnerlampe, die damals als gleichwertig mit der Bougie décimale

betrachtet wurde, vorzunehmen. Die in Genf anwesenden Vertreter Deutschlands protestierten vergeblich gegen die Einführung einer praktisch nicht herstellbaren theoretischen Lichteinheit. Die maßgeblichen Vereine Deutschlands beschloßen dann auch die Einführung der Hefnerkerze als Normallichteinheit.

Gelegentlich der Pariser Weltausstellung im Jahre 1900 wurde eine Internationale Lichtmeßkommission gewählt, deren erste Sitzung 1903 in Zürich stattfand. Eine Einigung über eine internationale Lichteinheit wurde dort nicht erzielt. Dagegen erhielten die Vertreter der einzelnen Staaten den Auftrag, das Wertverhältnis der verschiedenen Lichteinheiten genau zu bestimmen. Bei der zweiten Sitzung dieser Kommission im Jahre 1907 kam man zu einer Einigung über diese Wertverhältnisse, indem das Verhältnis

Hefnerlampe	Zehnkerzenpentanlampe	Carcellampe
1	10,95	10,75

festgesetzt wurde.

Am 20. Mai 1909 veröffentlichte das Bureau of Standards in Washington eine Vereinbarung mit dem englischen National physical Laboratory und dem französischen Laboratoire Centrale d'électricité, wonach eine internationale Lichteinheit dadurch geschaffen werden sollte, daß die amerikanische elektrische Glühlampeneinheit (S. 153), welche bisher 1,14 HK betrug, auf 1,12 HK reduziert wurde, wodurch eine Übereinstimmung mit der in Frankreich geltenden Bougie décimale erzielt wurde. Gleichzeitig wurde der normale Feuchtigkeitsgehalt, bei dem die Zehnkerzenpentanlampe in England galt (S. 152), von 10 L auf 8 L herabgesetzt. Dadurch stieg die Leuchtkraft derselben auf 11,11 HK, und somit war die englische Kerze mit 1,111 HK praktisch gleichwertig der Bougie décimale mit 1,12 HK und der amerikanischen neuen Einheit. Diese neue rechnerisch erzielte Einheit beträgt somit  $\frac{10}{9}$  der HK, und eine Umrechnung ist leicht durchzuführen, indem man 10 Proz. von der in HK ausgedrückten Lichtstärke abzieht.

Die drei genannten Staaten hatten vorgeschlagen, diese neue Einheit als „internationale Kerze“ zu bezeichnen. Da jedoch diese Einheit in Deutschland und Österreich-Ungarn mit Rücksicht auf die hier bestehende Hefnerkerze keine Aussicht auf Annahme hatte, wurde gelegentlich der Sitzung der Internationalen Lichtmeßkommission in Zürich 1911 die Bezeichnung „standard candle“ angenommen, und es ist jedenfalls zu begrüßen, daß durch diese Vereinbarung an Stelle der vier Einheiten, die früher angewendet wurden, jetzt nur mehr zwei bestehen, nämlich die „standard candle“ in den Vereinigten Staaten, England und Frankreich, und die Hefnerkerze in Deutschland, Österreich-Ungarn und der Schweiz, ferner, daß das Verhältnis zwischen beiden ein so einfaches ist, nämlich  $1 \text{ HK} = 0,9 \text{ standard candle}$ .

## 11. Photometrie.

Wir wollen nun dazu übergehen, die Methoden zu betrachten, nach welchen Lichtstärken miteinander verglichen werden können. Das Auge besitzt nur die Fähigkeit, zu beurteilen, ob eine Fläche heller ist als eine andere, das Auge hat jedoch gar kein Urteilsvermögen darüber, wie oftmal heller die eine Fläche ist. Dementsprechend müssen in der Photometrie Methoden

verwendet werden, welche die Helligkeit einer Fläche so weit abschwächen, bis sie gleich hell geworden ist mit einer Vergleichsfläche, deren Helligkeit wir kennen. Der Vergleich kann entweder erfolgen, indem wir die beiden Flächen gleichzeitig nebeneinander betrachten, oder indem wir die beiden Flächen zeitlich nacheinander an dieselbe Stelle des Gesichtsfeldes bringen. Das letztere Prinzip wird bei der Flimmerphotometrie verwendet. Im allgemeinen ist also bei der Photometrie auf die gleiche Helligkeit zweier Flächen einzustellen. Eine etwas abgeänderte Methode, die sich besonders beim Vergleich verschiedenfarbig beleuchteter Flächen bewährt, ist die Beurteilung des gleichen Kontrastes, den eine dunkle Figur auf hellem Grunde, sowohl auf der einen Seite, als auf der anderen Seite, erkennen läßt.

Die beiden Vergleichsfelder sollen stets horizontal nebeneinander und nicht senkrecht übereinander angeordnet sein, weil Stigler<sup>1)</sup> gefunden hat, daß die obere und untere Hälfte der Netzhaut des Auges verschieden empfindlich sind. Ferner soll die scheinbare Größe der beiden Vergleichsfelder mindestens 4 cm<sup>2</sup> betragen. Zwischen denselben darf keine dunkle Trennungslinie liegen.

Sehr vorteilhaft für die Genauigkeit der Einstellung ist die Anordnung zweier Beobachtungsrohre, so daß man mit beiden Augen beobachten kann. Diese „binokulare Beobachtung“, die ebenfalls von Stigler vorgeschlagen wurde, ist jedoch derzeit noch nicht in praktischer Anwendung.

Als Mittel zur Schwächung der Belichtung einer Fläche dürfen in der Photometrie nur solche Methoden gewählt werden, die eine genaue Bestimmung der Größe der Schwächung ermöglichen. Am besten sind solche Mittel zu verwenden, bei denen die Schwächung in einer gesetzmäßigen Weise erfolgt. Es stehen uns hier die folgenden Mittel zur Verfügung:

I. Das Entfernungsgesetz. Wir haben bereits auf S. 132 erörtert, daß ein Lichtstrom, der einen bestimmten körperlichen Winkel einnimmt, eine viermal so große Fläche beleuchten muß, wenn dieselbe nur doppelt so weit entfernt ist. Die Belichtung, welche jedes Flächenelement erfährt, beträgt daher in doppelter Entfernung nur  $\frac{1}{4}$ , und wenn die Entfernung  $r$ mal so groß ist, so nimmt die Belichtung umgekehrt proportional dem Quadrate von  $r$  ab. Wir haben somit in dem Entfernungsgesetze ein Mittel, um die Belichtung einer Fläche in genau berechenbarer Weise zu schwächen. Das Entfernungsgesetz wurde bei allen älteren Photometern beinahe ausschließlich zur Schwächung angewendet, indem man die nebeneinander befindlichen Flächen durch die Normallichtquelle und durch die zu messende Lichtquelle belichtete, und die Entfernung einer der beiden Lichtquellen von der betreffenden Fläche oder die Entfernung beider so lange änderte, bis die beiden Flächen gleich hell erschienen.

II. Die Neigung der Flächen gegen das einfallende Licht. Gemäß S. 137 müßte bei einer vollkommen gleichmäßig diffus reflektierenden Fläche das Licht, welches von dieser ausgesendet wird, proportional dem Kosinus des Ausstrahlungswinkels ( $\epsilon$ ) sein. Das sogenannte *cos  $\epsilon$ -Gesetz* trifft jedoch bei den meisten Substanzen nicht genau zu, und daher sind alle Methoden, bei welchen zwei Flächen unter verschiedenem Winkel belichtet und betrachtet werden, ungenau.

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Sinnesphys. 1909, S. 62; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 67.

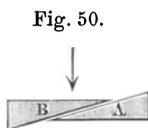
III. Die Schwächung durch Polarisisation des Lichtes. Das Licht, welches durch ein Nicholsches Prisma hindurchgeht, wird polarisiert, d. h. es geht nur Licht von einer bestimmten Schwingungsrichtung hindurch. Wird dieser polarisierte Lichtstrahl durch ein zweites Nicholsches Prisma geleitet, so findet eine weitere Schwächung desselben nicht statt, wenn die Hauptschnitte der beiden Nichols parallel stehen. Dreht man jedoch das zweite Nicholsche Prisma, so findet eine gesetzmäßige Abschwächung des Lichtes statt, derart, daß, wenn man eine Drehung von  $90^\circ$  ausgeführt hat, gar kein Licht mehr hindurchgeht. Die Schwächung erfolgt proportional dem Quadrate des Kosinus des Winkels, den die beiden Hauptschnitte miteinander bilden.

IV. Zerstreungslinsen. Läßt man das von einer diffus leuchtenden Fläche ausgehende Licht durch eine bikonkave Linse fallen, so werden die ohnedies schon von der leuchtenden Fläche divergent ausgehenden Strahlen noch stärker divergieren. Daher wird eine Fläche geringer beleuchtet, wenn man zwischen sie und die Lichtquelle eine bikonkave Linse bringt. Nach bekannten optischen Gesetzen läßt sich der Schwächungsgrad berechnen. Auch bikonvexe Linsen lassen sich in gleicher Weise verwenden. Diese konzentrieren zwar das Licht zunächst, aber nachdem sich die Strahlen nahe dem Brennpunkt gekreuzt haben, divergieren sie wieder, so daß auch hier eine Lichtschwächung stattfindet, wenn man wesentlich über den Brennpunkt hinausgeht. Zerstreungslinsen werden jedoch nur selten zu photometrischen Zwecken verwendet.

V. Blenden vor diffus leuchtenden Flächen. Diese verringern proportional der Größe der Blendenöffnung das von der betreffenden Fläche ausgehende Licht und gestatten daher ebenfalls eine meßbare Schwächung desselben.

VI. Periodische Unterbrechungen der Beleuchtung einer Fläche. Diese bringen nach Talbots Gesetz, wenn sie rasch genug hintereinander erfolgen, den Eindruck einer gleichmäßigen Belichtung hervor. Der Lichteindruck, welcher hervorgerufen wird, ist gleich dem, welcher entstehen würde, wenn das während einer jeden Periode eintreffende Licht gleichmäßig über die ganze Dauer der Periode verteilt würde. Wenn man somit eine Scheibe, welche in ihrer Größe verstellbare sektorenförmige Ausschnitte trägt, genügend rasch rotieren läßt und dadurch einen Lichtstrom, der eine Fläche belichtet, periodisch unterbricht, so kann man die Belichtung der Fläche meßbar schwächen.

VII. Durch absorbierende Mittel, wie z. B. Milchglasplatten oder Rauchglasplatten, kann ebenfalls eine beliebige Schwächung eines Lichtstromes hervorgerufen werden. Die Größe der Lichtabsorption muß jedoch durch den Versuch ermittelt werden. Die Schwächung ist hier also keine gesetzmäßige. Um die Dicke der absorbierenden Schicht beliebig ändern zu können, verwendet Spitta<sup>1)</sup> gemäß Fig. 50 zwei längs ihrer Hypotenusenfläche verschiebbare Keile. Die Veränderung der Dicke wird an einer Mikrometerschraube abgelesen. Auch diese Vorrichtung muß jedoch für verschiedene Dicken geeicht werden.



Im vorhergehenden haben wir die verschiedenen Methoden kennen gelernt, nach welchen die Schwächung der Belichtung einer Fläche vorgenommen

<sup>1)</sup> Proc. Roy. Soc. 1889, S. 15.

werden kann, um die Erhellung derselben gleich zu machen der Erhellung, welche eine andere Fläche durch eine bekannte Belichtung erfährt. Wir wollen nun die Prinzipien der Apparate kennen lernen, welche zum Vergleich der Helligkeit der beiden Flächen dienen.

Das einfachste diesbezügliche Verfahren ist von Bouguer und Foucault<sup>1)</sup> angegeben worden. Diese stellten vor eine Fläche normal zu dieser eine Scheidewand, durch welche die Fläche in zwei Teile geteilt wurde. Beide Teile wurden von je einer Lichtquelle beleuchtet, deren Entfernung von der Fläche gemessen werden konnte. Brachte man das Auge in die Verlängerung der Scheidewand, so erschien die Fläche durch diese in zwei Hälften geteilt. Und man konnte somit die Erhellung derselben vergleichen<sup>2)</sup>.

Diese Anordnung ist später durch die keilförmige Anordnung zweier Flächen nach Ritchie<sup>3)</sup> gemäß Fig. 51 und nach Conroy<sup>4)</sup> gemäß Fig. 52

Fig. 51.

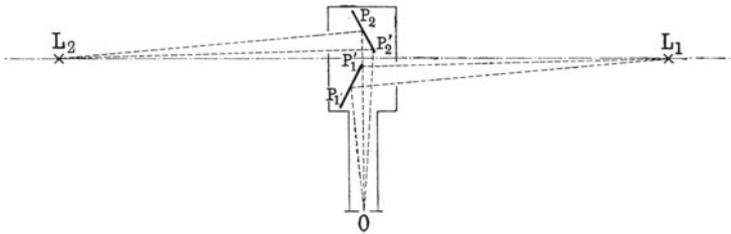


Fig. 52.

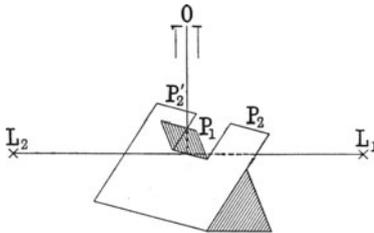
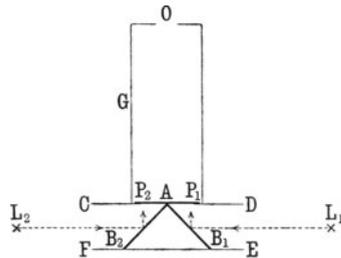


Fig. 53.



verdrängt worden. Eine andere Anordnung traf Ritchie<sup>5)</sup> gemäß Fig. 53. Bei dieser wurden die von  $L_1$  und  $L_2$  kommenden Lichtstrahlen durch zwei keilförmig aufgestellte Spiegel  $A$ ,  $B_1$  und  $AB_2$  auf die Mattglasplatte  $P_1$ ,  $P_2$  geworfen, welche durch die Öffnung  $O$  beobachtet werden konnten.

In noch einfacherer Weise läßt sich nach Lambert der Vergleich zweier von den verschiedenen Lichtquellen beleuchteten Felder durchführen, wenn man einen Stab vor eine weiße Wand bringt und die beiden Lichtquellen nebeneinander derart vor den Stab stellt, daß sich die beiden Schatten, welche letzterer auf die Wand wirft, berühren.

<sup>1)</sup> Essai d'optique, Paris, 1729. — <sup>2)</sup> Ein auf diesem Prinzip basierendes Betriebsphotometer für elektrische Glühlampen wurde von Hermann (Paulus, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 166) in die Praxis eingeführt. — <sup>3)</sup> Krüss (Fortschr. d. Beleuchtungswesens 1911, S. 19) hat die Ritchiesche Anordnung durch Hinzufügen des Kontrastprinzips vervollkommenet und dadurch die Empfindlichkeit dieses einfachen Apparates wesentlich erhöht. — <sup>4)</sup> Proc. Roy. Soc. 1883, S. 28. — <sup>5)</sup> Ann. of Philosophy 1, 174.

Der Schatten, welcher von der einen Lichtquelle geworfen wird, ist nicht von dieser, wohl aber von der zweiten beleuchtet. Ebenso ist der Schatten der zweiten Lichtquelle nur von der ersten beleuchtet. Der Schatten der stärkeren Lichtquelle ist somit der dunklere. Nun kann man die Entfernung der Lichtquellen von der Wand so lange ändern, bis die beiden Schatten gleich stark sind, und dann nach dem Entfernungsgesetz das Verhältnis der beiden Lichtstärken bestimmen. Dieses Photometer wird fälschlich oft das Rumfordsche genannt. Ein ähnliches Prinzip verwendet das Photometer der Gas Referees in London<sup>1)</sup>. Bei diesem werden die Lichtstrahlen der beiden Lichtquellen durch ein Loch in einem Diaphragma auf einen durchscheinenden Schirm hindurchgelassen, und die beiden Lichtquellen sind seitlich so weit voneinander entfernt, daß die Bilder der Öffnung in dem Diaphragma auf dem durchscheinenden Schirm knapp nebeneinander erscheinen. Durch Veränderung in der Entfernung der Lichtquellen wird dann wieder gleiche Helligkeit erzielt. Dieses Photometer, welches auch jetzt noch von den englischen Gasprüfungsämtern angewendet wird, ist genauer als das Lambertsche, weil das Auge nicht durch die von beiden Lichtquellen belichtete helle Fläche geblendet wird.

Einen sehr einfachen Vergleichskörper haben auch Joly<sup>2)</sup> und Elster<sup>3)</sup> angegeben. Derselbe besteht aus zwei dicken Alabasterglasplatten, die durch ein Stanniolblatt voneinander getrennt, mit ihren beiden Flächen aneinandergekittet sind. Man betrachtet sie derart, daß das Stanniolblatt als Trennungslinie erscheint, und läßt die beiden Glasplatten von den beiden Lichtquellen beleuchten. Man sieht dann zwei verschieden erhellte rechteckige Felder nebeneinander und ändert die Entfernung der Lichtquellen vom Vergleichskörper, bis Gleichheit erreicht ist.

Wenn mit einem dieser Vergleichsapparate Messungen angestellt werden sollen, so kann dies entweder durch direkten Vergleich der zu messenden Lichtquelle mit der Normallichtquelle geschehen oder durch Substitution, indem man an der einen Seite durch eine beliebige, aber konstant bleibende Lichtquelle das eine Vergleichsfeld in konstanter Helligkeit hält und das andere Feld das eine Mal mit der Lichteinheit und das andere Mal mit der zu untersuchenden Lichtquelle belichtet. Das Substitutionsverfahren ist genauer als das erstgenannte, da es von etwaigen Verschiedenheiten der beiden Seiten des Vergleichskörpers unabhängig macht. Es ist überdies auch nicht komplizierter, wenn man die konstant bleibende Vergleichslichtquelle dauernd vollständig gleichbleibend erhalten kann, so daß Einstellungen mit der Normallichtquelle nicht häufig vorgenommen werden müssen. Als Vergleichslichtquellen dienen deshalb hauptsächlich elektrische Glühlampen, deren Spannung oder besser noch deren Stromstärke mit empfindlichen Instrumenten genau konstant erhalten werden können.

Bei verschiedenfarbigen Lichtquellen ist es oft schwer, die gleiche Helligkeit der beiden Gesichtsfelder abzuschätzen. Denn auf völlige Gleichheit sind ja verschiedenfarbig beleuchtete Flächen nicht zu bringen. Es ist deshalb manchmal vorteilhaft, die Anordnung so zu treffen, daß ein bestimmter Kontrast in der Helligkeit der belichteten Flächenelemente eingestellt wird und

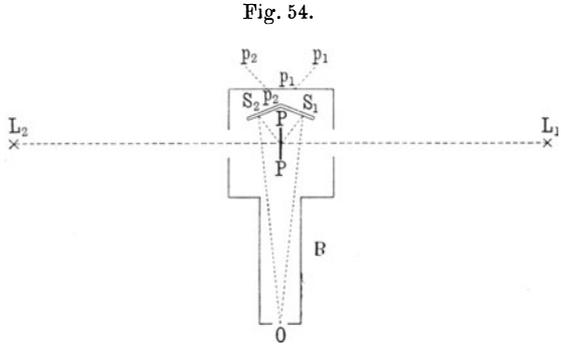
---

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1898, S. 654. — <sup>2)</sup> Phil. Mag. 1888, S. 26. — <sup>3)</sup> Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1888, S. 299.

dieser Kontrast sowohl durch die Normallichtquelle als durch die zu messende Lichtquelle in gleicher Intensität hervorgerufen wird. Das Verfahren der Substitution wird bei den meisten der modernen Photometer angewendet, ebenso das Kontrastprinzip.

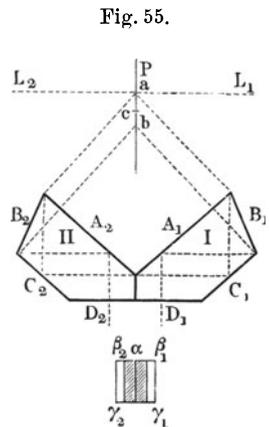
Alle oben beschriebenen Vergleichskörper geben nur einen ungenügenden Grad der Genauigkeit bei den Einstellungen. Daher ist man heute von diesen ziemlich abgekommen und verwendet beinahe ausschließlich das von Bunsen angegebene Prinzip der Vergleichung. Dieses von Bunsen angegebene Photometer beruht darauf, daß ungefettetes Papier mehr Licht reflektiert, aber weniger hindurchläßt als gefettetes. Erzeugen wir auf einem Blatt Papier einen Fettfleck und betrachten es im auffallenden Lichte vor einem dunkeln Hintergrunde, so sehen wir den Fettfleck als dunkeln Fleck auf dem hellen Papier,

weil der Fettfleck weniger Licht reflektiert als das Papier. Sehen wir dagegen das Blatt bei durchfallendem Lichte an, so erscheint uns der Fettfleck hell auf dunkeln Grunde, weil derselbe mehr Licht hindurchläßt als das Papier. Stellen wir nun zwei Lichtquellen zu beiden Seiten des Schirmes auf und verändern wir die Belichtung desselben von der einen Seite durch irgend eines der oben (S. 155 bis 156) angegebenen Mittel, z. B. durch Veränderung der Entfernung, so können wir es dahin bringen, daß der Fettfleck dem Auge nicht mehr sichtbar wird. Es ist dies der Fall, wenn die Belichtung des Schirmes auf beiden Seiten gleich stark ist. Das Verschwinden des Fettflekes hängt jedoch stark von dem Winkel ab, unter welchem man den Schirm betrachtet. Es ist deshalb zweckmäßig, diesen Winkel konstant zu halten. Auch ist es notwendig, die beiden Seiten des Schirmes gleichzeitig zu betrachten, um das Verschwinden des Fleckes sowohl auf der einen, wie auf der anderen Seite beobachten zu können. Rüdorff schlug daher die Anwendung zweier Spiegel  $S_1$  und  $S_2$  (Fig. 54) vor, die von einem Okularloch  $O$  her betrachtet werden,



und die einen Winkel von etwa  $70^\circ$  mit der Ebene des Papierschirmes  $PP$  bilden. An Stelle der Spiegel verwendet Krüss<sup>1)</sup> zwei Reflexionsprismen  $I$  und  $II$  (Fig 55), deren Wirkungsweise aus der Figur ohne weiteres erkenntlich ist.

Da der Fettfleck nicht alles Licht durchläßt oder reflektiert, sondern einen beträchtlichen Teil auch absorbiert, so tritt das Verschwinden des Fett-



<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1884, S. 587.

fleckes nicht dann ein, wenn die Belichtung auf der einen Seite des Schirmes genau ebenso stark ist wie auf der anderen Seite; in diesem Falle wird vielmehr der Fettfleck stets dunkel auf hellem Grunde erscheinen. Man müßte also den Schirm von der dem Beschauer entgegengesetzten Seite stärker belichten, um Gleichheit zu erzielen. Belichtet man dagegen von beiden Seiten gleich stark, so muß der Fleck auf beiden Seiten dunkel auf hellem Grunde erscheinen, und zwar gleich dunkel auf gleich hellem Grunde, d. h. er muß auf beiden Seiten gegen den hellen Grund gleich stark kontrastieren. Somit ergibt sich bei dem Bunsenschen Fettfleckphotometer die Anwendung des oben erörterten Kontrastprinzips.

Wendet man beim Bunsenphotometer nicht die Methode der Substitution an, so muß man sich davon überzeugen, ob die beiden Seiten des Schirmes das Licht gleich stark reflektieren, was z. B. nicht der Fall ist, wenn die eine Seite desselben stärker bestaubt ist als die andere. Diese Kontrolle wird in der Weise ausgeführt, daß man den Schirm umdreht, d. h. die beiden Flächen desselben gegenüber den Lichtquellen vertauscht. Erhält man dabei verschiedene Ablesungen, so ist das Mittel aus beiden zu nehmen. Dient zur Schwächung des Lichtes das Entfernungsgesetz (S. 155), so ist es genauer, an Stelle des Verhältnisses der Quadrate der mittleren Entfernungen die Formel anzuwenden:

$$J_2 = J_1 \cdot \frac{r_2 r_2'}{r_1 r_1'}$$

Hierin bedeutet  $J_2$  die Lichtstärke der zu messenden Lichtquelle,  $J_1$  die Lichtstärke der Lichteinheit,  $r_2$  und  $r_2'$  die bei den Beobachtungen abgelesenen Entfernungen des Schirmes von der Lichtquelle  $J_2$ , und  $r_1 r_1'$  die Entfernungen des Schirmes von der Lichtquelle  $J_1$ .

Verwendet man bei diesen Ablesungen nicht die Einstellung auf gleichen Kontrast, sondern die Einstellung auf das Verschwinden des Fleckes und wechselt außerdem die beiden Seiten des Schirmes, wie oben beschrieben, so erhält man zwei Paare von Ablesungen, da ja, von der einen Seite betrachtet, der Fettfleck bei einer anderen Einstellung verschwindet als bei Betrachtung der anderen Seite des Schirmes. Sind diese vier Ablesungen durch die Zahlen  $r_1', r_1'', r_1''', r_1''''$  als Entfernungen von der Lichtquelle  $J_1$  und durch die Zahlen  $r_2', r_2'', r_2''', r_2''''$  als Entfernungen von der Lichtquelle  $J_2$  gekennzeichnet, so ist die Formel zu benutzen:

$$J_2 = \sqrt[4]{\frac{r_2'^2 r_2''^2 r_2'''^2 r_2''''^2}{r_1'^2 r_1''^2 r_1'''^2 r_1''''^2}} \cdot J_1$$

Als Ersatz des Fettfleckes verwendet man jetzt gewöhnlich stärkere Kartons mit dem Fettfleck entsprechenden Ausschnitten, die mit einem dünnen durchscheinenden Papier überzogen sind. Man gibt ferner den Ausschnitten zweckmäßig nicht kreisrunde Form, sondern wählt Figuren, die mehrere Berührungslinien der beiden Vergleichsfelder ergeben, so z. B. mehrere Ovale nebeneinander oder einen Stern, wie dies in England Sitte ist.

Der Bunsensche Vergleichsschirm hat vor den früher erwähnten Vergleichsapparaten den Vorzug, daß die beiden Felder ohne Trennungslinie scharf ineinander übergehen. Er hat jedoch den Nachteil, daß jedes der zu vergleichenden Felder nicht von einer, sondern gleichzeitig von beiden Lichtquellen beleuchtet wird, wodurch die Empfindlichkeit beschränkt wird.

Lummer und Brodhun<sup>1)</sup> haben daher einen Vergleichskörper konstruiert, der folgende Bedingungen erfüllt:

1. Jedes der zu vergleichenden Felder ist nur von einer Lichtquelle beleuchtet.
2. Die Grenze der Felder ist scharf und verschwindet bei Gleichheit vollständig.
3. Die Vorrichtung ist unveränderlich.
4. Die Vertauschung der beiden Seiten der Vorrichtung ändert die Einstellung nicht.

Dieser Lummer - Brodhunsche sogenannte Photometerwürfel ist in Fig. 56 dargestellt. Derselbe besteht aus dem total reflektierenden Prisma  $abc$  und dem Prisma  $dpq$ , dessen Hypotenusenfläche kugelförmig geschliffen, jedoch bei  $rs$  abgeflacht ist. An dieser Fläche  $rs$  ist nun die Hypotenusenfläche  $ab$  des anderen Prismas derart dicht aufgepreßt, daß sich keine Luft dazwischen befindet. Zuzufolge der innigen Berührung wird ein von der Fläche  $l$  herkommender Strahl an  $rs$  nicht reflektiert, sondern er geht unverändert hindurch, so daß er zum Auge  $O$  gelangen kann. Die von dem zweiten Schirm  $\lambda$  kommenden Strahlen gehen durch die Berührungsfläche  $rs$  ebenfalls hindurch und können also wegen ihrer anderen Richtung nicht zum Auge gelangen. Dagegen werden die von  $\lambda$  kommenden Strahlen, welche den übrigen Teil der Hypotenusenfläche  $ab$  treffen, an dieser total reflektiert und gelangen zum Auge. Das Auge sieht daher ein Bild, welches in Fig. 57 dargestellt ist. In diesem erscheint die Kreisfläche  $rs$  von dem Schirm  $l$  und die Umgebung derselben  $ab$  von dem Schirm  $\lambda$  beleuchtet. Die Fläche  $rs$  erscheint daher als ein gleichmäßig heller oder dunkler Fleck in einem gleichförmig leuchtenden Felde, das man zweckmäßig kreisförmig begrenzt, indem man den Rand der Hypotenusenfläche mit Asphaltlack bestreicht.

Bei der praktischen Ausführung dieses Vergleichskörpers von Lummer und Brodhun werden die beiden Flächen  $l$  und  $\lambda$  zu einem undurchsichtigen Schirm  $ik$  in Fig. 58 vereinigt. Dieser wird in ein Gehäuse eingesetzt, dessen Wandungen bei  $gg$  und  $hh$  durchbrochen sind, so daß der Schirm einesteils von  $L_1$ , anderenteils von  $L_2$  belichtet werden kann. Die beiden Spiegel  $e$  und  $f$  reflektieren dann die von  $\lambda$  und  $l$  ausgehenden Strahlen durch den Photometerwürfel  $AB$  zu dem Okularrohr  $O$  und erzeugen dort ein Bild, welches der Fig. 57 entspricht. Da sich das Auge auf die Fläche  $rs$  akkomodieren soll, ist im Okularrohr die Linse  $w$  behufs scharfer Einstellung angebracht. Rechts und links von dem Schirm befinden sich die beiden Klappen  $D$  und  $D'$ ,

Fig. 56.

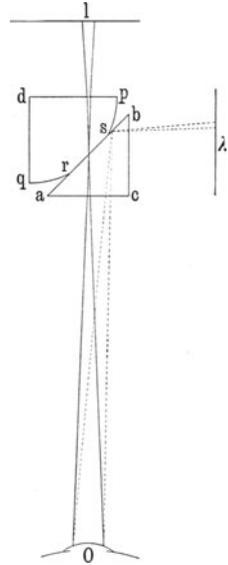
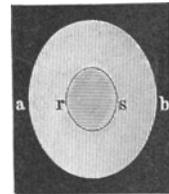


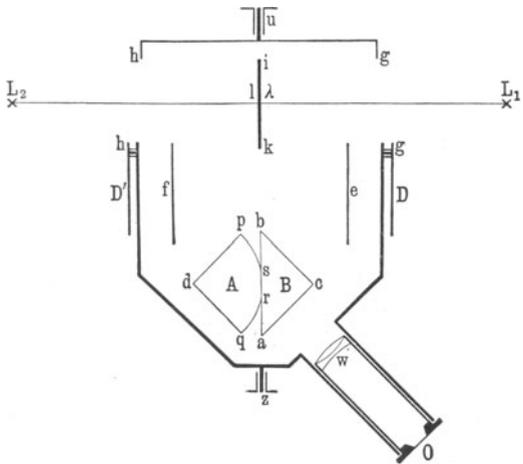
Fig. 57.



<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1899, S. 23.

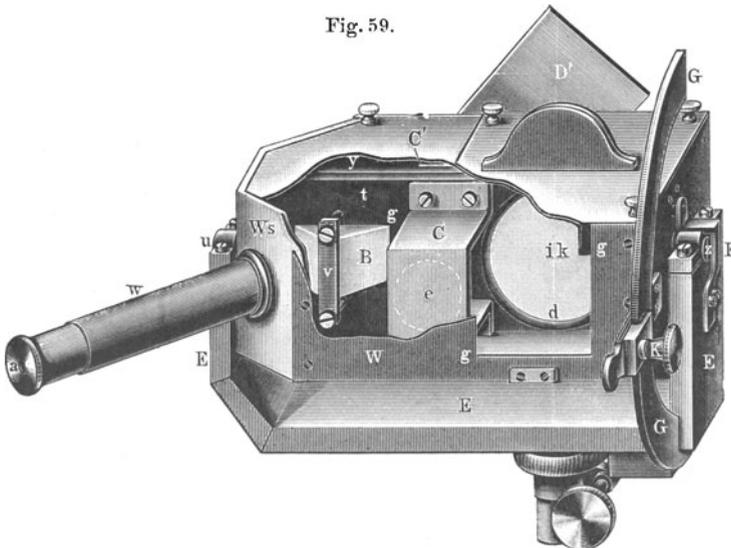
welche bei Nichtgebrauch des Apparates geschlossen werden, um das Verstauben des Schirmes *ik* zu verhindern. Fig. 59 zeigt die ganze Vorrichtung in perspektivischer Darstellung. Das Okularrohr ist bei dieser Vorrichtung schräg seitlich angebracht, und das ganze Gehäuse des Photometerkopfes ist um 180° drehbar, so daß mit diesem auch der Schirm *ik* ohne weitere Veränderung am Photometerkopf einmal von der einen und das andere Mal von der anderen Seite von der einen der Lichtquellen belichtet wird. Beim Umdrehen beschreibt das Okularrohr eine Kegelfläche, und das Auge muß daher einen ziemlich großen Kreis beschreiben, um diesen Wechsel bei jeder Beobachtung durch-

Fig. 58.



zuführen. Krüss<sup>1)</sup> hat daher ein Reflexionsprisma gemäß Fig. 60 vorgeschaltet, welches den austretenden Lichtstrahl senkrecht zur Achse der Photometerbank

Fig. 59.



leitet, so daß das Okularrohr in die Drehungsachse des Photometerkopfes fällt und das Auge somit bei der Drehung am selben Platze bleiben kann.

Der Ersatz des Fettflecks durch den Lummer-Brodhunschen Photometerwürfel hat zur Folge, daß bei der richtigen Einstellung und bei gleich-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1894, S. 61.

farbigen Lichtquellen die Grenzen der beiden Vergleichsfelder bei  $rs$  vollständig verschwinden. Bei kleinen Abweichungen von der richtigen Stellung sind diese Grenzen nur sehr undeutlich sichtbar, und die richtige Einstellung erfordert daher eine starke Anstrengung des Auges. Lummer und Brodhun<sup>1)</sup> haben daher zwei rechtwinkelige Prismen  $A'B$ , wie Fig. 61 zeigt, mit ihrer Hypotenusenfläche  $ab$  zusammengelegt und die eine Fläche an den Stellen  $r_1 r_2$  mit einem Sandstrahlgebläse etwas ausgehöhlt, so daß dort nicht

Fig. 60.

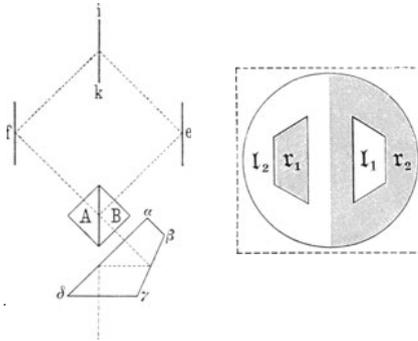
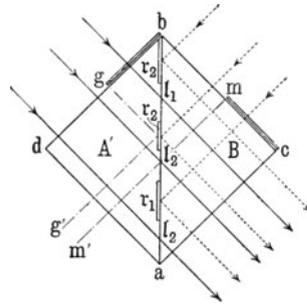
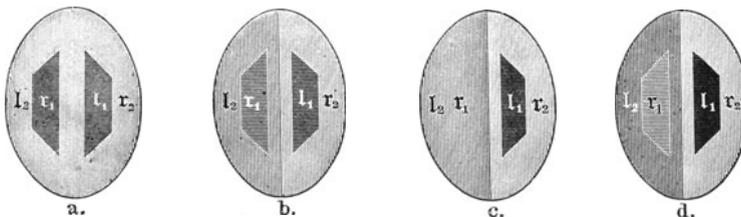


Fig. 61.



Glas an Glas zusammenliegt, sondern eine dünne Luftschicht vorhanden ist. Die von rechts kommenden Strahlen, die als punktierte Linie gezeichnet sind, werden an diesen Stellen  $r_1 r_2$  zufolge der Luftschicht total reflektiert und gelangen ins Auge. Jene von rechts kommenden Strahlen hingegen, welche die Felder  $l_1 l_2$  passieren, gehen unverändert nach links weiter und gelangen nicht ins Auge.

Fig. 62.



Dagegen sieht das Auge durch die nicht reflektierenden Felder  $l_1 l_2$  die von links kommenden Strahlen, die in Fig. 61 als volle Linien gezeichnet sind. Das Auge sieht das Gesichtsfeld in vier Bilder geteilt, wie dies Fig. 62 für verschiedene Einstellungen angibt. Auch hier würde die Grenze zwischen den Feldern  $r$  und  $l$  bei Gleichheit verschwinden. Um dies zu vermeiden, sind bei  $gb$  und  $mc$  (Fig. 61) zwei Glasplatten angebracht, welche einen Teil des Lichtes absorbieren und somit die mittleren trapezförmigen Felder  $r_1 l_1$  dunkler machen als den Hintergrund. Bei der Betrachtung der Felder ist es erforderlich, daß sich das Auge auf die trapezförmige Figur akkommodiert. Zu diesem Zwecke befindet sich in dem Okularrohr eine Lupe, die sich durch Herausziehen einstellen läßt. Bei vollständig gleicher Helligkeit und Farbe der beiden Felder verschwindet

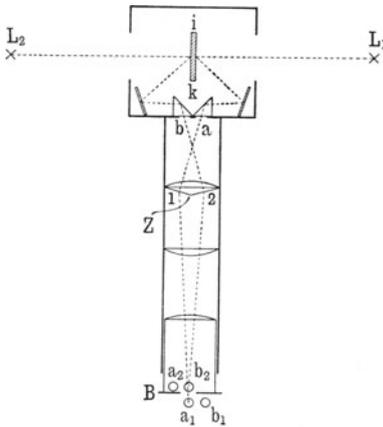
<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1889, S. 461, und 1892, S. 41.

die Trennungslinie zwischen  $r_2$  und  $l_2$ , so daß auch auf Gleichheit eingestellt werden kann. Ein Photometer, bei dem diese Trennungslinie trotz vollständig gleichfarbiger Beleuchtung nicht verschwindet, ist als nicht sorgfältig gearbeitet zu bezeichnen.

Die Glasplatten  $gb$  und  $mc$ , welche die Verdunkelung der Felder zum Zwecke der Kontrastwirkung hervorrufen, werden für praktische Zwecke derart gewählt, daß sie 8 Proz. des Lichtes absorbieren. Der Kontrast ist dann ohne besondere Anstrengung des Auges sichtbar. Die größte Genauigkeit der Einstellung ist zwar bei nur 3,5 Proz. Absorption gegeben. Aber bei so kleinem Kontrast ermüdet das Auge rasch, so daß ein solcher nur bei besonders genauen Arbeiten angewendet wird. Die Genauigkeit der Einstellung beträgt dann bei gleichfarbigem Licht 0,22 Proz.

Einen praktischen Vergleichskörper als Photometeraufsatz hat auch Martens<sup>1)</sup> konstruiert. Bei diesem, der in Fig. 63 dargestellt ist, werden die beiden Seiten des Lichtschirmes  $ik$  durch zwei Spiegel und zwei Prismen  $a, b$ ,

Fig. 63.



welche das Licht total reflektieren, betrachtet, und die beiden Bilder werden durch das Zwillingssprisma  $Z$  nebeneinander ins Auge geworfen. Dieser Photometerkopf läßt sich durch Einschaltung von kleinen Glasstreifen auch als Kontrastphotometer ausbilden.

Eine eigenartige Methode zur Einstellung auf Gleichheit verwendete Lummer in seinem Interferenzphotometer<sup>2)</sup>. Bei diesem sind zwei an der Hypotenusenfläche aufeinandergelegte rechtwinkelige Prismen durch eine dünne Luftschicht getrennt. Diese läßt die von vorn kommenden Lichtstrahlen zum Teil durch, während sie die von der Seite kommenden Lichtstrahlen zum Teil

reflektiert. Beide treten miteinander in Interferenz derart, daß die hellen Streifen des einen Systems mit den dunkeln Interferenzstreifen des anderen Systems übereinanderfallen. Bei gleicher Helligkeit verschwinden diese Streifen.

Die Anwendung der zuerst erwähnten photometrischen Schwächungsmethoden in Kombination mit den oben erörterten verschiedenen Vergleichsapparaten ergibt die verschiedenen Arten der in der Praxis angewendeten Photometer. Wir können hier nur die wichtigsten derselben besprechen.

Das Entfernungsgesetz (S. 155) ist das am längsten und am meisten in der Photometrie angewendete. Erst die neueren Photometer, welche zur Messung starker Lichtquellen benutzt werden, gehen von der Anwendung desselben ab. Man darf nämlich die Helligkeit der zu vergleichenden Felder nicht zu sehr steigern, wenn man die Messung nicht ungenau machen will. Es sind also um so größere Entfernungen erforderlich, je stärker die zu messende Lichtquelle wird und die heutigen Starklichtquellen, deren Lichtstärke 1000

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1900, S. 250. — <sup>2)</sup> Verhandl. d. Deutschen Physik. Gesellschaft 1901, S. 139.

Kerzen überschreitet, würden außerordentlich lange Photometerbänke erfordern, wenn man auch hier das Entfernungsgesetz allein zur Schwächung benutzen würde.

Die Photometerbank ist, wenn man von den vorerwähnten Vergleichskörpern, Photometerköpfe genannt, absieht, ein außerordentlich einfaches Instrument. Sie muß ja nur ermöglichen, den Photometerkopf genau in die Verbindungslinie der zwei zu vergleichenden Lichtquellen zu bringen und den Abstand von denselben beliebig verändern und genau ablesen zu können. Fig. 64 zeigt eine normale Photometerbank, wie sie vom Deutschen Verein der Gas- und Wasserfachmänner empfohlen wird. Auf drei Schlitten, die sich auf Rollen längs der Photometerbank verschieben lassen und in der Höhe verstellbar sind, befinden sich die zu messende Lampe  $L_1$ , der Photometerkopf  $P$  und die Lichteinheit  $L_2$ . Die Entfernung derselben voneinander wird an einer Millimeterskala abgelesen. Als Photometerkopf empfiehlt der Deutsche Verein der Gas- und Wasserfachmänner den Lummer-Brodhunschen mit dem Krüssschen Reflexionsprisma. Zweckmäßig ist es, neben der Millimeterskala auch noch eine Skala zu besitzen, welche direkt die Lichtstärke in Kerzen angibt, wenn sich die zu messende Lichtquelle und die Normallichtquelle an bestimmten Punkten befinden. Es sind dabei zweierlei verschiedene Anordnungen üblich. Entweder es befinden sich die beiden Lichtquellen an den beiden Enden der Photometerbank  $x$  aufgestellt, und der Schlitten, welcher den Photometerkopf trägt, wird zwischen denselben verschoben. Beträgt dann die Entfernung der beiden Lichtquellen voneinander  $l$ , so ergibt sich die Teilung der Skala nach der Formel:

$$J = \frac{r^2}{(l - r)^2},$$

worin  $r$  den Abstand des Photometerkopfes von der zu messenden Lichtquelle bedeutet. Bei dieser Anordnung wechselt die Helligkeit beider Vergleichsfelder beim Verschieben des Photometerkopfes und kann bei großen Lichtstärken so groß werden, daß eine genaue Einstellung nicht mehr möglich ist. Man wählt daher häufig die Anordnung, daß die Normallichtquelle in feste Verbindung mit dem Schlitten des Photometers gebracht wird, welcher auch den Photometerkopf trägt. Bei Anwendung einer

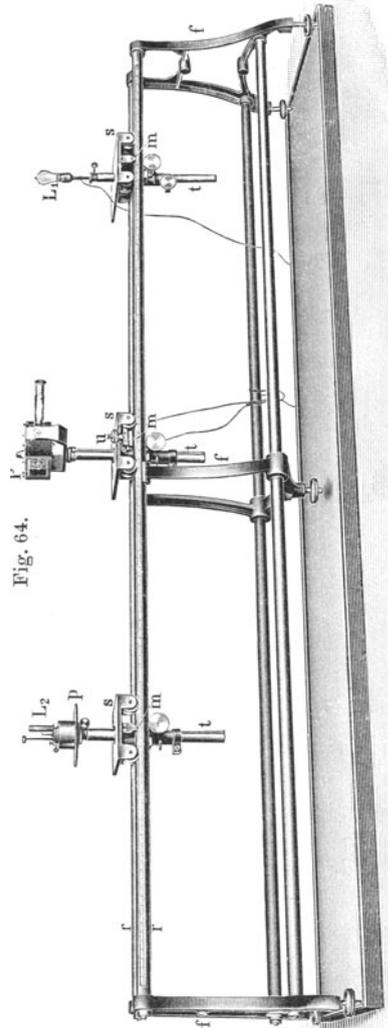


Fig. 64.

Hefnerlampe wählt man dabei zweckmäßig eine Entfernung von 316 mm zwischen Photometerschirm und Normallichtquelle, so daß der Schirm die Beleuchtungsstärke von  $\left(\frac{1}{0,316}\right)^2 = 10$  Meterkerzen beträgt. Die Teilung der Skala ergibt sich dann aus der Formel:

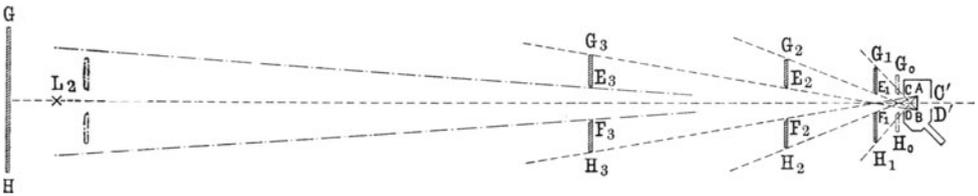
$$J = \frac{r^2}{r_1^2},$$

worin  $r_1$  den festen Abstand zwischen Normalkerze und Schirm, in obigem Beispiel also 0,316 m bedeutet. Für diesen Fall wird dann  $J = 10 r^2$  oder wenn die Entfernung der Teilstriche  $r$  für bestimmte Lichtstärken  $J$  zu berechnen ist, aus:

$$r = \sqrt{\frac{J}{10}}.$$

Der Nachteil dieser Anordnung liegt bei der Photometrierung mit Hilfe der Hefnerlampe darin, daß die Hefnerlampe beständig bewegt wird und deren Flammenhöhe daher nicht sicher eingestellt werden kann. Diese Anordnung

Fig. 65.



ist daher nur dann zweckmäßig, wenn man eine elektrische Glühlampe als Zwischenlichtquelle fest mit dem Photometerkopfschlitten verbindet<sup>1)</sup>. Hält man dann die obige Entfernung von 0,316 m ein, so soll die Vergleichslampe 3 Hefnerkerzen Lichtstärke besitzen, um am Schirm 30 Meterkerzen Helligkeit zu erzielen.

Zur Ablendung falschen Lichtes sind auf der Photometerbank eine Anzahl von schwarzen, nicht glänzenden Schirmen anzubringen, wie dies Fig. 65 zeigt. Hinter der Lichtquelle muß ein schwarzer Schirm  $G H$ , am besten aus nicht glänzendem schwarzen Samt, aufgestellt werden. Die Länge des vom Deutschen Verein von Gas- und Wasserfachmännern empfohlenen Normalphotometers<sup>2)</sup> wurde im Jahre 1895 mit 2,5 m angegeben. Für die heute üblichen größeren Lichtstärken ist diese Länge zu gering, bei genaueren Messungen soll man etwa 5 m lange Bänke verwenden, oder es werden Einrichtungen verwendet, bei denen die ganze Photometerbank in meßbare Entfernung von der Lichtquelle gebracht werden kann, wenn man es nicht vorzieht, eventuell neben dem Entfernungsgesetz noch andere Schwächungsmethoden anzuwenden. Dies ist auf alle Fälle erforderlich, wenn die Lichtstärke einen Betrag überschreitet, der bei der vorhandenen Länge der Photometerbank mit der gegebenen Vergleichslichtquelle nicht mehr gemessen werden kann. Zur Schwächung verwendet man dann am besten rotierende

<sup>1)</sup> Vgl. Diskussion zu dem Vortrage Eitners auf der Sitzung der Internationalen Lichtmeßkommission Zürich 1911; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1049. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1895, S. 691.

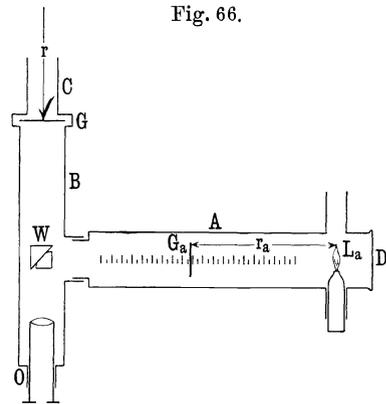
Sektorenscheiben (vgl. S. 156), welche knapp vor dem Photometerkopf fix aufgestellt werden und durch eine Handkurbel mit Riemenübertragung in Rotation versetzt werden.

Es muß auch berücksichtigt werden, daß die Empfindlichkeit des Auges für geringe Helligkeitsdifferenzen bei einer Helligkeit von 30 Meterkerzen am größten ist<sup>1)</sup> und sowohl bei größerer als auch bei geringerer Helligkeit nicht so genau eingestellt werden kann. Die Entfernung der Lichtquellen von dem Photometerkopf sollte daher immer so gewählt werden, daß die Helligkeit auf letzterem 20 bis 40 Meterkerzen beträgt. Brodhun<sup>2)</sup> gab jedoch ein einfaches Mittel an, auch bei größerer Helligkeit genau einstellen zu können. Er setzt an die Stelle des Okulars vor das Auge eine Blende mit einer kleinen Öffnung, so daß weniger Lichtstrahlen in das Auge gelangen und dadurch die scheinbare Helligkeit herabgesetzt wird.

Eine allzu geringe Beleuchtungsstärke auf dem Photometerschirm hat das Auftreten des Purkinjeschen Phänomens zur Folge. Die Stäbchen auf der Netzhaut des Auges, welche die Empfindlichkeit des Auges bei geringer Lichtstärke bedingen, sind für grünes Licht viel empfindlicher als die Zapfen, welche nur bei größerer Lichtstärke in Wirksamkeit treten und die Farbenwirkung übermitteln. Daraus folgt, daß bei sehr geringer Beleuchtung ein Licht mit vielen grünen Strahlen viel stärker auf das Auge wirkt als ein Licht, welches wenige grüne Strahlen enthält. Bei geringer Beleuchtungsstärke wird also das grüne Licht wesentlich bevorzugt, und man erhält daher bei verschiedenfarbigem Licht verschiedene photometrische Einstellungen, wenn man verschiedene Beleuchtungsstärken am Photometerschirm verwendet. Bei einer Beleuchtungsstärke von 20 Meterkerzen ist jedoch der Einfluß des Purkinjeschen Phänomens vollständig beseitigt.

Die anderen Methoden der Schwächung, welche wir außer dem Entfernungsgesetz kennen gelernt haben, werden meist bei Photometern angewendet, welche eigentlich nicht die Lichtstärke, sondern die Beleuchtungsstärke einer Fläche bestimmen. Sie sind jedoch auch für Lichtstärkemessungen verwendbar, denn im Grunde genommen wird ja auch auf der Photometerbank, auf der das Entfernungsgesetz angewendet wird, nicht die Lichtstärke, sondern nur die Beleuchtungsstärke einer Fläche, nämlich des Photometerschirmes, bestimmt.

Das erste Photometer für Beleuchtungsmessungen, welches ausgedehnte praktische Verwendung fand, wurde von Weber<sup>3)</sup> angegeben. Es besteht, wie Fig. 66 zeigt, aus dem Rohre *A*, in welchem sich bei *D* eine als Ver-



<sup>1)</sup> Stigler, Zeitschr. f. Sinnesphysiologie 1909, S. 62; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 67. — <sup>2)</sup> Sitzung der Internationalen Lichtmeßkommission Zürich 1911; Zeitschr. d. österr. Gasvereins 1911, S. 468. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1885, S. 267, und 1898, S. 193.

gleichslichtquelle dienende Benzinlampe  $L_a$  von 20 mm Flammenhöhe befindet. Die Höhe der Flamme ist durch ein Glimmerfenster an einer hinter der Flamme auf einem Spiegel angebrachten Teilung ablesbar. Durch diese Vergleichslichtquelle wird eine Milchglasplatte  $G_a$  beleuchtet, die mittels eines Zahngetriebes längs einer Skala in dem Rohre  $A$  beweglich ist. Die Erhellung dieser Milchglasplatte verändert sich umgekehrt proportional dem Quadrate des Abstandes  $r_a$  derselben von der Milchglasplatte.

Das Prinzip des Weberschen Photometers stützt sich darauf, daß der Helligkeitseindruck, welchen eine leuchtende Fläche auf das Auge ausübt, von der Entfernung derselben unabhängig ist. Betrachtet man somit durch das Okular  $O$  den Lummer-Brodhunschen Würfel  $W$ , der die Lichtstrahlen einerseits von der beweglichen Milchglasplatte  $G_a$ , andererseits von einer Milchglasplatte  $G$  empfängt, welche sich in dem Rohre  $B$  befindet, so kann man die Helligkeit dieser beiden Platten durch Verschieben von  $G_a$  gleich groß einstellen, und die Beleuchtungsstärke von  $G$  an der Entfernung  $r_a$  ablesen. Diese Entfernung muß aber stets größer als 10 cm bleiben, weil sonst wegen der Größe der Lichtquelle  $L_a$  das Entfernungsgesetz nicht gilt.

Die Lichtstärke der zu messenden Lichtquelle berechnet sich aus deren Entfernung  $r$  von der Milchglasplatte  $B$ , welche von Fall zu Fall besonders gemessen werden muß, aus der Formel:

$$J = C \cdot \frac{r^2}{r_a^2},$$

in der  $C$  eine Konstante bedeutet, welche für jede Milchglasplatte besonders bestimmt werden muß. Die Größe dieser Konstanten wird zwar von dem Verfertiger dieses Instrumentes stets angegeben, muß jedoch von Zeit zu Zeit neu bestimmt werden. Um auch starke Lichtquellen messen zu können, sind dem Instrumente stets eine Anzahl verschiedener Milchglasplatten beigegeben.

Will man die Beleuchtungsstärke einer Fläche bestimmen, so entfernt man die Milchglasplatte  $N$  und visiert durch das Okular  $O$  und den Photometerwürfel  $W$  direkt auf die zu messende Fläche, und stellt ein wie vorher beschrieben. In diesem Falle spielt die Entfernung des Photometers von der zu messenden Fläche keine Rolle. Dagegen ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß der Winkel, unter dem die zu messende Fläche betrachtet wird, nicht kleiner als  $30^\circ$  sein darf, weil sonst das Gesetz der Lichtemission beleuchteter Flächen (das sogenannte Cosinus- $\varepsilon$ -Gesetz, vgl. S. 137) nicht stimmt. Die Beleuchtung der gemessenen Fläche ergibt sich aus der Formel:

$$E = \frac{C}{r_a^2},$$

worin  $C$  wieder eine für das Instrument zu bestimmende Konstante bedeutet. Hat man stark beleuchtete Flächen zu messen, für welche die Skala wegen zu großer Annäherung an die Normallichtquelle nicht mehr brauchbar ist, so schiebt man bei  $G$  Rauchgläser ein, welche die scheinbare Helligkeit der zu messenden Fläche verringern. Die Rauchgläser haben die Eigenschaft, einen Teil der durchgehenden Lichtstrahlen zu absorbieren, ohne dabei das Licht diffus zu zerstreuen, deshalb ist auch bei dieser Art der Messung der Abstand des Photometers von der gemessenen Fläche belanglos. Ist dieser Abstand sehr groß, so füllt das Bild der Fläche die Felder des Photometerwürfels nicht mehr ganz aus, doch kann auch dann noch eine Einstellung

vorgenommen werden. Anders verhält sich dies dagegen, wenn man an Stelle von Rauchgläsern Milchglasplatten bei  $G$  einschiebt und die Erhellung einer entfernter stehenden Fläche messen will. Weil die Milchglasplatte das Licht diffus zerstreut, so muß man einesteils dafür sorgen, daß durch Aufsetzen eines Tubus  $C$  vor die Milchglasplatte  $G$  nur jene Strahlen auf dieselbe treffen, die dem Gesichtswinkel vom Okular  $O$  zur Milchglasplatte  $G$  entsprechen, und andererseits muß man dafür sorgen, daß die betrachtete Fläche vollständig innerhalb dieses Gesichtswinkels zu liegen kommt, da man bei der Milchglasplatte dies an dem Bilde, welches das Auge empfängt, nicht erkennen kann. Rauchgläser sind daher für den Fall der Beleuchtungsmessung vorzuziehen.

Will man mit dem Weberschen Photometer die Helligkeit eines bestimmten Platzes messen, so kann man entweder einen weißen Karton an diesen Platz bringen, und die Erhellung des letzteren messen, wie vorher beschrieben. Man kann jedoch auch die Milchglasplatte  $G$  selbst an diese Stelle bringen, muß aber dann den Tubus  $C$  vollständig entfernen, damit die Milchglasplatte  $G$  das Licht von allen Seiten her empfängt. Da es sich bei der Messung von Platzhelligkeiten gewöhnlich darum handelt, die Erhellung einer horizontal liegenden Fläche zu ermitteln, ist das Rohr  $B$  des Weberschen Photometers um die Achse des Rohres  $A$  nach allen Richtungen drehbar und kann zur Ermittlung der horizontalen Platzhelligkeit vertikal nach aufwärts gerichtet werden. Um trotzdem die Beobachtungen bequem durchführen zu können, kann man ein rechtwinkelig gebogenes Okularrohr benutzen, das ein die Strahlen rechtwinklig reflektierendes Prisma enthält.

Im Okularrohr des Weberschen Photometers ist ferner eine Blende verschiebbar angeordnet, welche drei Öffnungen enthält. Die eine läßt das Licht ungehindert hindurch, die zweite enthält ein rotes und die dritte ein grünes Glas. Auf diese Weise kann man für verschiedenfarbige Lichtquellen die Helligkeit gesondert für Rot und für Grün bestimmen. Weber hat eine Tabelle entworfen, aus der sich die Gesamthelligkeit der gebräuchlichen Lichtquellen ermitteln läßt, indem man das Verhältnis der Lichtstärke in Rot und Grün kennt. Es ist jedoch zu beachten, daß Milchglasplatten die roten Strahlen besser durchlassen als die blauen. Auf diesen Umstand muß auch bei der Bestimmung der Konstanten  $C$  Rücksicht genommen werden.

Ein Nachteil des Weberschen Photometers ist die Verwendung der Benzinkerze, deren Lichtstärke um 2 Proz. schwankt, wenn sich die Flammhöhe nur um 0,2 mm ändert. Eine genauere Einstellung ist aber nicht möglich. Außerdem ist das Benzin kein genau definierter Stoff, und die im Lampengehäuse befindliche Verbrennungsluft kann durch Kohlensäure verunreinigt sein. Es ist deshalb vorteilhafter, an Stelle der Benzinlampe eine kleine elektrische Glühlampe zu verwenden und das Instrument bei einer genau bestimmten Stromstärke zu eichen.

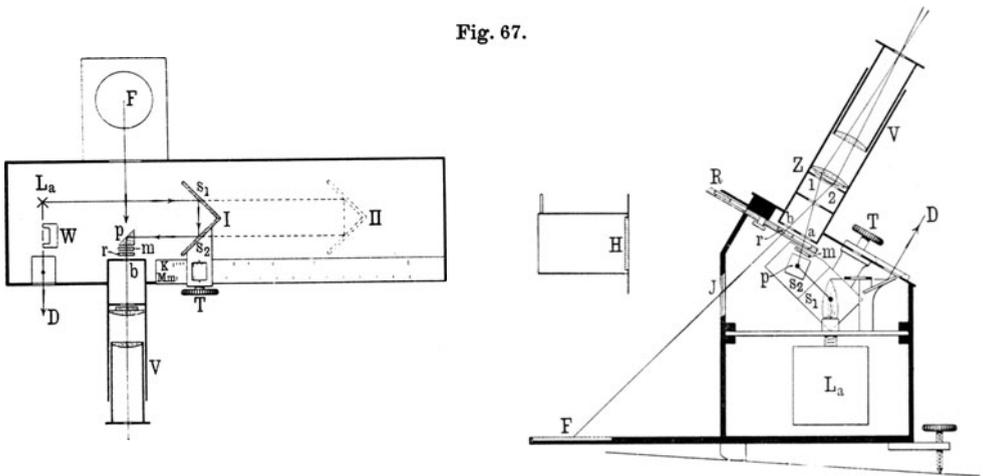
Das Webersche Photometer hat den Vorzug kompensiöser Gestalt, die es tragbar macht, ferner braucht es kein geschwärztes Dunkelzimmer, und es ermöglicht die Lichtmessung unter beliebigen Winkeln, zu welchem Zwecke die Stellung des Rohres  $B$  an einem Teilkreise ablesbar ist.

Der Beleuchtungsmesser von Martens, Fig. 67, nimmt noch weniger Raum ein als das Webersche Photometer, ist jedoch nur zur Messung der Beleuchtungsstärke in geschlossenen Räumen, sowie auf der Straße geeignet.

$F$  ist eine Gipsplatte, welche an den Ort gebracht wird, dessen Beleuchtungsstärke bestimmt werden soll. Diese Fläche wird durch ein Okular  $V$  betrachtet, das ein Zwillingsprisma  $Z$  enthält, derart, daß nur die eine Hälfte des Gesichtsfeldes von  $F$  aus erhellt ist. Die zweite Hälfte des Gesichtsfeldes wird von der Vergleichslichtquelle  $L_a$  beleuchtet, die ihre Strahlen auf einen Winkelspiegel  $S_1 S_2$ , dann durch ein total reflektierendes Prisma  $p$  und schließlich in das Okular  $V$  wirft. Das Eigentümliche dieses Instrumentes besteht darin, daß nicht die Lichtquellen verschoben werden, sondern der Winkelspiegel  $S_1 S_2$ . Dadurch wird der Weg, den die Lichtstrahlen von der Vergleichslichtquelle bis zu der Milchglasplatte  $M$  zurücklegen, vergrößert oder verkleinert und dadurch die Erhellung dieser Milchglasplatte beliebig eingestellt. Es sind ferner noch Rauchgläser  $r$  vorgesehen, welche das von  $F$  kommende Licht zu schwächen gestatten, im Falle dies erforderlich ist.

Eines der vollkommensten Instrumente, das sowohl zur Bestimmung der Lichtstärke beliebig starker Lichtquellen, als auch zur Messung von Be-

Fig. 67.



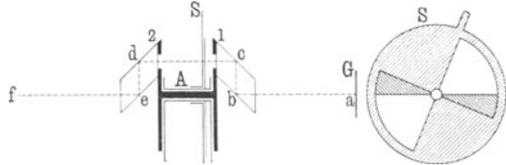
leuchtungsstärken verwendbar ist, und ebenso wie das Webersche Messungen unter jedem beliebigen Winkel gestattet, dabei aber vor diesem den Vorzug der größeren Genauigkeit besitzt, ist das Brodhunsche sogenannte Straßenphotometer. Dasselbe benutzt das Prinzip der rotierenden Sektoren zur Lichtschwächung. Läßt man die Sektoren selbst rotieren, so besteht ein Übelstand darin, daß die Ablesung und Verstellung des Sektors nur im Ruhezustande vorgenommen werden können. Eine kontinuierliche Veränderung der Helligkeit der Vergleichsfelder wäre dabei nicht möglich. Es sind deshalb Sektorenvorrichtungen ausgeführt worden, die während des Rotierens verstellt und abgelesen werden können. Solche Vorrichtungen sind jedoch kompliziert. Brodhun hat deshalb eine Anordnung getroffen, nach welcher die Sektoren stillstehen bleiben, und der von der Vergleichsquelle kommende Lichtstrahl zum Rotieren um eine seiner Fortpflanzungsrichtung parallele Achse gebracht wird.

Das Prinzip dieser Vorrichtung zeigt Fig. 68. Der von  $f$  in der Richtung der Rotationsachse eintretende Lichtstrahl wird durch ein Prisma bei  $e$  und  $d$  total reflektiert, so daß er in der Richtung  $dc$  parallel zur Rotationsachse  $fa$

durch die Sektorenvorrichtung  $A$  hindurchtritt. Diese besteht aus einer stillstehenden und einer um die Achse verstellbaren Sektorenscheibe  $S$ . Bei  $c$  und  $b$  wird der Lichtstrahl durch ein zweites Prisma wieder total reflektiert, so daß er schließlich wieder in der Richtung der Achse  $ba$  austritt. Die beiden Prismen sind an den beiden, an einer gemeinsamen Achse sitzenden Scheibe 1 und 2 befestigt und werden mit diesen zur Rotation um die Achse  $fa$  gebracht. Der Lichtstrahl passiert daher die Sektorenscheiben derart, daß er durch meßbare Zeit von der Sektorenvorrichtung unterbrochen wird, und also in gleicher Weise geschwächt wird, wie wenn der Lichtstrahl selbst stillstehen und die Sektorenvorrichtung rotieren würde.

In letzter Zeit ist dieses Photometer noch verbessert worden, indem an Stelle der beiden Prismen eine keilförmige Linse  $K$ , wie dies Fig. 69 zeigt, den Lichtstrahl von der Achse ablenkt, bzw. nur jene Lichtstrahlen ins Auge gelangen läßt, die aus seitlicher Richtung aus dem Linsenpaar  $L_1 L_2$  kommen. Vor dieses Linsenpaar ist die Sektorenvorrichtung  $C_1 C_2$  geschaltet, deren

Fig. 68.



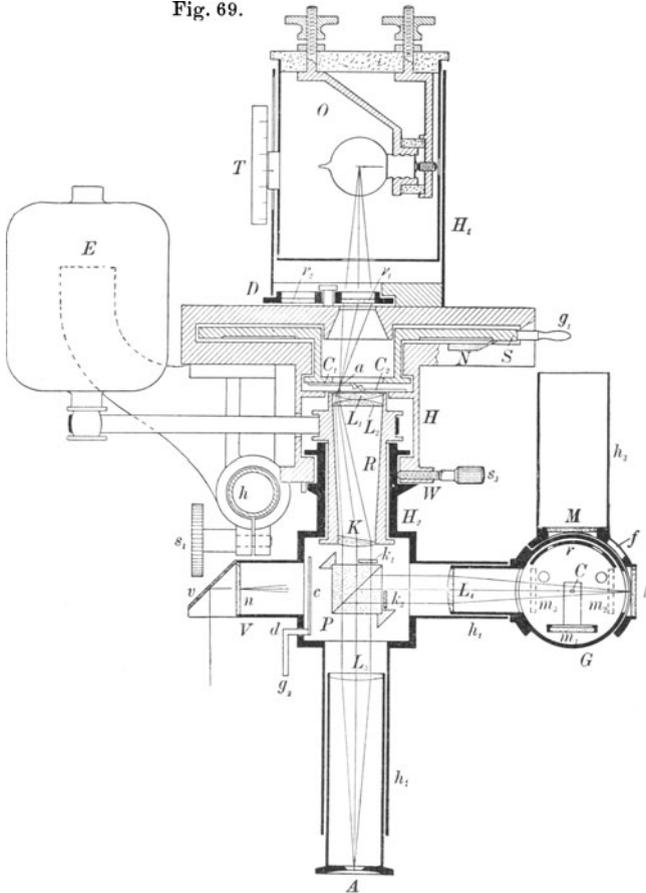
Backen  $C_1$  durch die geteilte Scheibe  $S$ , welche vom Handgriff  $g$  verstellt werden kann, in beliebige Stellung zum Backen  $C_2$  gebracht werden

kann. Den Öffnungswinkel der beiden Sektorenbacken  $C_1 C_2$  liest man mit Hilfe eines Index  $N$  an dem bei  $S$  angebrachten Teilkreis ab. Zwischen der äußersten Stellung, bei der die Sektoren den größten Winkel offen lassen, ist die Zahl 100 angegeben, bei vollständigem Abschluß der Nullpunkt. Die Teilung gibt somit Prozente des größten Wertes, der mit dieser Sektorenvorrichtung erreichbar ist. Die Rotation der keilförmigen Linse wird durch einen kleinen Elektromotor  $E$  mittels Riemenantrieb hervorgerufen.

Die Lichtstrahlen, welche diese Sektorenvorrichtung passieren, kommen von einer kleinen Glühlampe, deren Stromstärke durch ein Amperemeter mit Widerstand genau konstant gehalten werden kann. Sie ist in ihrer Entfernung von der Sektorenvorrichtung verschiebbar, und zwischen sie und die Sektorenvorrichtung ist eine Milchglasplatte  $r_1$  eingeschaltet, welche das Licht diffus zerstreut. Als Vergleichskörper ist ein Lummer-Brodhunscher Photometerwürfel für Gleichheit und Kontrast (vgl. S. 163)  $P$  angewendet. Derselbe befindet sich in einem Gehäuse  $H_2$ , das um die Achse des Instrumentes drehbar ist und mittels der Schraube  $s_3$  in jeder beliebigen Stellung festgehalten werden kann, die an einem Teilkreis  $W$  abzulesen ist. Durch diese Drehung kann der Ansatz  $h_1$  am Gehäuse  $H_2$  in jedem beliebigen Winkel nach aufwärts oder abwärts gebracht werden. Dieser Ansatz trägt ein zweites Gehäuse  $G$ , vor dessen Öffnung entweder die Milchglasplatte  $\mu$ , oder die Milchglasplatte  $M$ , welche den zylindrischen Fortsatz  $h_3$  trägt, oder aber schließlich eine freie Öffnung  $f$  vorgeschlagen werden kann. Bei der Stellung, wie dies die Zeichnung andeutet, würde sich die zu messende Lichtquelle rechts von dem Instrumente befinden. Um nun das Rohr  $h_1$  mit dem Gehäuse  $H_2$  genau in die Richtung auf die Lichtquelle zu bringen, schlägt man die freie Öffnung  $f$  am Gehäuse  $G$  vor. Die Lichtstrahlen gehen dann durch die Linse  $L_4$  und den Photometerwürfel  $P$  hindurch und werden durch den kleinen Spiegel  $v$

auf der anderen Seite in die Richtung des Beobachters reflektiert. Die Linse  $L_4$  erzeugt dabei ein Bild auf der Mattscheibe  $n$ , welche einen Kreis zur Erkennung der Zentrums- lage besitzt. Mittels dieser Vorrichtung ist die Zentrierung des Instrumentes auf die zu messende Lichtquelle leicht durchführbar. Um das Eindringen von Licht während der Messung von dieser Seite her zu verhindern, ist im normalen Zustande der Schirm  $c$  vorgeklappt, der mittels des kleinen Hebels  $g_2$  um die Achse  $d$  drehbar in die Höhe gehoben werden

Fig. 69.



kann, während die Zentrierung erfolgt. Das Okularrohr  $A$  trägt eine Lupe  $L_3$ , welche zur Beobachtung des im Photometerwürfel  $P$  erscheinenden Bildes der Vergleichsfelder eingestellt wird. Die Glasstreifen  $k_1$  und  $k_2$  des Photometerwürfels  $P$ , welche zur Messung nach dem Kontrastprinzip dienen, können weggeschlagen werden, indem man zwei kleine Hebelchen dreht, die sich an der Decke des Gehäuses  $H_2$  befinden. Man kann also dann auch Messungen nach Gleichheit ausführen.

Will man die Beleuchtungsstärke messen, so schlägt man die Platte  $\mu$  am Gehäuse  $G$  vor, wie dies die Stellung gemäß Fig. 69<sup>1)</sup> zeigt, und bringt

<sup>1)</sup> Aus Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1907. Julius Springer, Berlin.

durch Drehen des Gehäuses  $H_2$  diese Milchglasplatte  $\mu$  in jene Ebene, deren Beleuchtungsstärke man messen will. Zum Zwecke der Messung von Lichtstärken schlägt man die Platte  $M$  mit dem Rohrstutzen  $h_3$  vor, der das Eindringen von Licht von der Seite her verhindert. Bei der Messung von Lichtstärken erfolgt die Zentrierung mit Hilfe des Spiegels  $v$ , wie bereits beschrieben. Es ist jedoch dann noch notwendig, die Entfernung der Lichtquelle von der Milchglasplatte  $M$  zu messen.

Da man bei diesem Instrument das eine Vergleichsfeld von einer Lampe beleuchtet erhält, deren Lichtstärke unbekannt ist, und die nur mit Hilfe geeigneter Regulierungsvorrichtungen genau konstant gehalten werden kann, ist es notwendig, eine Eichung des Instrumentes vorzunehmen. Dies geschieht mit Hilfe einer Lampe von bekannter Lichtstärke, indem man dieselbe in eine bestimmte Entfernung von der Platte  $M$  bringt. Man reguliert dann entweder die Entfernung der Lampe im Gehäuse  $G$  oder deren Stromstärke so lange, bis Gleichheit oder gleicher Kontrast im Photometerwürfel  $P$  erscheint, wenn die Sektorenscheibe etwa auf dem Teilstrich 50 steht.

Ist die Lampe einreguliert, so nimmt man eine Anzahl von Einstellungen vor und zieht das Mittel aus diesen Ablesungen. Man erfährt dann die durch den Sektor geschwächte Helligkeit der vor die elektrische Vergleichslampe gestellten Milchglasplatte  $v_1$ , wobei die Absorption von Licht in sämtlichen Glasteilen des Apparates schon berücksichtigt ist. Ist diese Eichung vorgenommen, so kann man natürlich unschwer die Lichtstärke einer beliebigen Lichtquelle oder die Beleuchtungsstärke in einer beliebigen Ebene ermitteln.

Überschreitet die Lichtstärke jenes Maß, welches durch Drehung des Sektors eingestellt werden kann, so benutzt man eine im Gehäuse  $G$  um  $C$  drehbar angebrachte Milchglasplatte  $m_1$ . Bringt man dieselbe in die Stellung  $m_2$ , so wird das von der Platte  $\mu$  kommende Licht auf den zehnten Teil seines Betrages geschwächt. Bringt man sie dagegen in die Stellung  $m_3$ , so ist zufolge der größeren Entfernung die Schwächung auf  $1/100$  herbeigeführt. Schließlich kann man noch durch Vordrehen des ebenfalls um  $C$  drehbaren Rohrstückes  $r$  eine kleinere Öffnung zwischen die Milchglasplatten  $\mu$  und  $m_2$  oder  $m_3$  einschieben, wodurch die Schwächung auf  $1/1000$  oder  $1/10000$  erfolgt, und schließlich kann eine noch kleinere Öffnung im Rohrstück  $r$  vorgedreht werden, wodurch eine noch zehnmal größere Schwächung bewirkt wird.

An der Stelle, wo die Milchglasplatte  $v_1$  eingeschaltet ist, befindet sich eine drehbare Revolverscheibe  $D$ , in welcher mehrere verschieden stark absorbierende Milchglasplatten eingesetzt sind, so daß man hierdurch die Intensität des Vergleichslichtes schwächen kann, wenn es sich um die Bestimmung sehr geringer Lichtstärken handelt. Eine dieser Lichtglasplatten ist bläulich gefärbt, so daß bei einer Messung von Lichtquellen, die mehr blaue Strahlen enthalten, nur einmal, bei der Eichung des Instrumentes, der Farbenkontrast störend auftritt, während später bei den einzelnen Messungen beide Felder ungefähr gleiche Farbe besitzen, so daß man sicherere Einstellungen vornehmen kann.

Zur Messung geringerer Beleuchtungsstärken als eine HMK wird zweckmäßig das Gehäuse  $G$  durch einen Körper  $G^1$  ersetzt, welcher in Fig. 70<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Aus Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1907. Julius Springer, Berlin.

dargestellt ist. Dieser trägt eine Gipsplatte  $G_1$ , welche in die zu messende Ebene gebracht wird, und das von dieser Gipsplatte diffus reflektierte Licht gelangt durch einen Spiegel direkt in das Innere des Apparates auf den Photometerwürfel.

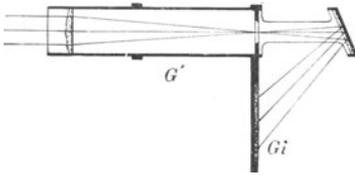
Die Eichung der Glühlampe muß vor jeder Messungsreihe neuerlich vorgenommen werden, da ihre Lichtstärke auch bei gleich bleibender Stromstärke mit der Zeit Änderungen unterworfen ist.

Vielfach und zuerst von W. v. Siemens<sup>1)</sup> sind Vorschläge gemacht worden, an Stelle der Messung der Lichtstärke nach einer Lichteinheit die Sehschärfe zur Beurteilung der Lichtstärke heranzuziehen.

Die Sehschärfe wird durch den reziproken Wert des Sehwinkels gemessen, unter welchem man die sogenannten Sehzeichen sehen muß, um ihre Formen deutlich erkennen zu können. Die Sehschärfe wird gleich 1 gesetzt, wenn dieser Winkel eine Bogenminute beträgt. Das Bild auf der Netzhaut hat dann eine Länge von 0,004 mm, d. i. ungefähr die Dicke der Zapfen.

Bei steigender Beleuchtungsstärke nimmt die Sehschärfe zu, und zwar erst schnell, dann immer langsamer und für ein großes Helligkeitsbereich

Fig. 70.



bleibt sie konstant und nimmt erst bei blendender Helligkeit wieder ab. Um mittels dieser Methode empfindliche Einstellungen zu machen, muß man also bei sehr geringer Helligkeit messen. Dann tritt aber das Purkinjese Phänomen auf (S. 167), wonach gerade bei geringer Helligkeit das grüne Licht das Auge unvergleichlich

stärker reizt, als rotes oder violettes. Außerdem ist nach Brodhun<sup>2)</sup> die Einstellungssicherheit eine sehr geringe.

Auch Weber wendete bei seinem Milchglasphotometer das Sehschärfeprinzip an, indem er ringförmig schraffierte Felder von abnehmender Feinheit auf Milchglasplatten in geeigneter Verkleinerung photographierte und diese in seinem Photometer betrachtete.

Houston und Kennelly<sup>3)</sup> konstruierten ebenfalls einen auf das Sehschärfeprinzip begründeten Beleuchtungsmesser. Die Sehzeichen befinden sich bei diesem auf einer Fläche, die sich in einem allseitig verschlossenen Kasten befindet und durch ein Okular betrachtet werden kann. Der Kasten ist auf einer Seite mit einer Milchglasplatte verschlossen, die durch einen darübergeschobenen Schirm teilweise verdeckt werden kann. Die Beleuchtung der Sehzeichen kann somit meßbar verringert werden. Die Eichung des Instrumentes geschieht im Dunkelzimmer mit Hilfe einer Normallampe.

Bei all den genannten Sehschärfeverfahren erfolgt die Einstellung durch Änderung der Beleuchtungsstärke, bis man mit gut akkommodiertem Auge die Zeichen in gleicher Schärfe sieht.

Eine andere Methode der Photometrie hat sich in England einigen Eingang verschafft. Es ist dies die sogenannte Flimmerphotometrie. Sie wird für den Vergleich verschiedenfarbiger Lichtquellen empfohlen. Beleuchtet man eine Fläche abwechselnd mit zwei verschiedenen Lichtquellen, so ergibt

<sup>1)</sup> Wied. Ann. 1877, S. 547. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1891, S. 594. — <sup>3)</sup> Zeitschr. f. Beleuchtungswesen 1895, S. 164.

sich bei einer bestimmten, nicht zu hohen Wechselzahl eine Unruhe im Gesichtsfelde, die man als Flimmern bezeichnet. Ist die Belichtung durch beide Lichtquellen gleich stark, so hört das Flimmern auf. Untersucht man nach diesem Prinzip verschiedene Farben des Spektrums im Vergleich zu weißem Tageslicht, so erhält man die sogenannten Flimmeräquivalenzen oder Flimmerwerte. Anstatt dieselbe Fläche abwechselnd durch zwei verschiedene Lichtquellen zu beleuchten, kann man auch zwei von verschiedenen Lichtquellen beleuchtete Flächen abwechselnd an dieselbe Stelle des Gesichtsfeldes bringen.

Krüss<sup>1)</sup> hat gefunden, daß bei zu geringer Geschwindigkeit des Wechsels bei verschiedenfarbigen Lichtquellen das Flimmern überhaupt nicht aufhört. Es ergibt sich dann am Photometer nur eine Stelle, wo es am geringsten ist. Dagegen kann man bei zu großer Geschwindigkeit auf langen Strecken der Photometerbank kein Flimmern wahrnehmen. Nur bei einer ganz bestimmten Wechselzahl hört das Flimmern nur an einer ganz bestimmten Stelle der Bank ganz auf. Diese Einstellung ist die genaueste. Die hierzu erforderliche Geschwindigkeit wächst mit der Beleuchtungsstärke. Es muß also für jede Beleuchtungsstärke erst die richtige Geschwindigkeit ermittelt werden.

Außer diesem Übelstande haben die Flimmerphotometer auch den Nachteil, daß man beim Eintreten des Flimmerns nicht unterscheiden kann, nach welcher Seite hin der Photometerkopf zu verschieben ist, um die richtige Einstellung zu finden. Die Flimmerphotometrie hat sich deshalb bisher noch keinen größeren Eingang zu verschaffen vermocht<sup>2)</sup>.

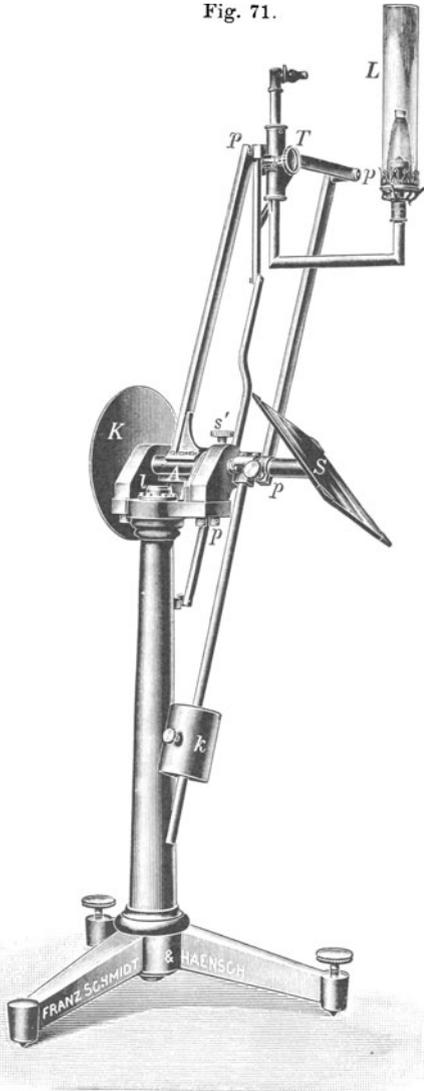
Die mittlere horizontale Lichtstärke wird bestimmt, indem man eine Anzahl (4 bis 10) Messungen im Umkreis einer Ebene ausführt, welche zur Symmetrieachse der betreffenden Lichtquelle senkrecht steht. Um diese Messungen durch eine einzige zu ersetzen, kann man die Lichtquelle in Rotation versetzen oder man kann Spiegel um die Lichtquelle derart rotieren lassen, daß die in dieser Ebene ausgesendeten Lichtstrahlen der Reihe nach auf den Photometerschirm geworfen werden<sup>3)</sup>.

Um dagegen die unter verschiedenen Winkeln von einer Lichtquelle ausgehenden Strahlen zu untersuchen, muß man bei der Anwendung gewöhnlicher Photometerbänke Spiegelvorrichtungen verwenden, welche die betreffenden Lichtstrahlen in die Achse der Photometerbank bringen. Zu diesem Zweck dient z. B. das Drehschmidtsche Gestell (Fig. 71), bei welchem die Lampe im Kreise um die Photometerachse herumgeführt wird, wobei der Spiegel *S* die Strahlen stets in der Richtung der Photometerachse reflektiert. Ein einfacher und billiger Apparat dieser Art ist auch in der Martensschen Spiegelvorrichtung gegeben, welche aus Fig. 72 wohl ohne weiteres verständlich erscheint. Der Winkel, unter welchem der Lichtstrahl auf den Spiegel *B* auffällt, ist hierbei jedoch ein sehr stumpfer. Aus diesem Grunde ist die Krüsssche<sup>4)</sup> Vorrichtung (Fig. 73) vorzuziehen. Bei Anbringung derselben auf der Photometerbank ist darauf zu achten, daß der von der Lichtquelle *L*

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1904, S. 129. — <sup>2)</sup> Neuerdings empfiehlt Rice (El. World 1910, S. 469; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 187) ein von Rood entworfenes, von Tufts verbessertes Flimmerphotometer, das bei einiger Übung 10 Ablesungen in einer Minute bei 1 Proz. Genauigkeit gestatten soll. Siehe ferner Dow, Proc. Phys. Soc. London 1910, S. 58; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 926, und Liberty, Zeitschr. d. Österr. Gasvereines 1910, S. 222. — <sup>3)</sup> Brodhun, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 785. — <sup>4)</sup> Ebend. 1898, S. 253.

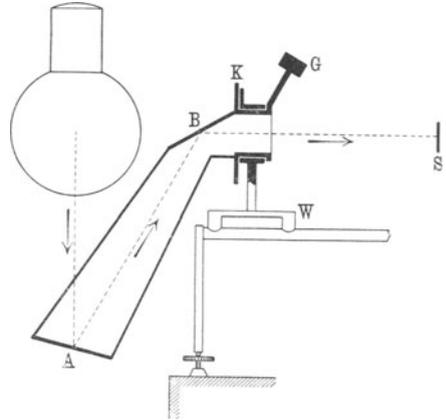
kommende Lichtstrahl einen längeren Weg zurückzulegen hat, als wenn er direkt von der Lichtquelle in der Richtung der Achse der Photometerbank gehen würde. Die Verlängerung dieses Weges ist gleich der Summe der Strecken  $L S_1$  und  $S_2 S_3$ . Will man daher die Skala der Photometerbank unverändert benutzen, so muß die Lichtquelle  $L$  um diese Strecke vom Ende der Photometerbank nach einwärts gerückt werden, wie dies Fig. 73 andeutet.

Fig. 71.



Bei Verwendung von Spiegeln muß stets der Reflexionskoeffizient durch eine besondere Eichung ermittelt werden. Diese erfolgt durch Vergleich zweier Lichtquellen, deren Lichtstärke in horizontaler Richtung

Fig. 72.



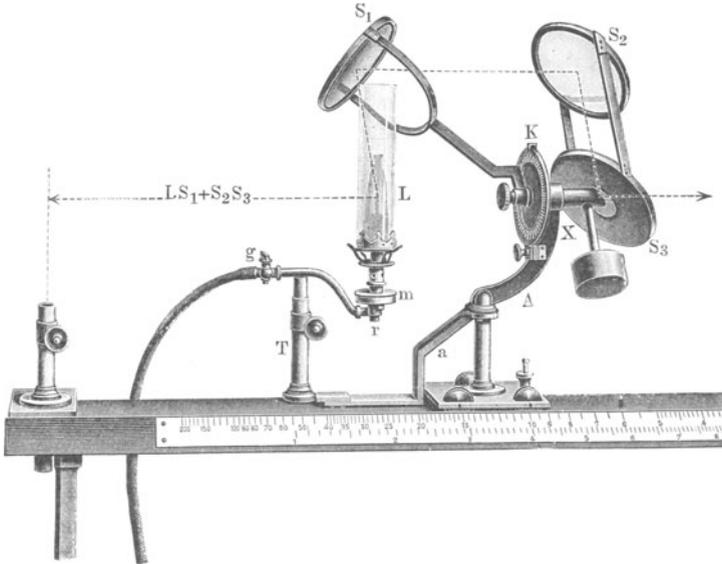
bekannt ist, indem man die Spiegelvorrichtung so dreht, daß sie die horizontalen Strahlen aufnimmt. Am besten sind hierzu zwei elektrische Glühlampen zu verwenden, deren Stromstärke genau konstant gehalten werden muß. In Ermangelung eines geeigneten elektrischen Stromes oder der entsprechenden Reguliervorrichtung kann die Bestimmung mit Hilfe zweier Hefnerlampen vorgenommen werden.

Man macht dann eine Anzahl von Messungen, wechselt die beiden Hefnerlampen, wiederholt die Messungen und nimmt das Mittel.

Trägt man die in verschiedenen Richtungen um die Lichtquelle herum gefundenen Lichtstärken in Form eines Diagramms auf den entsprechenden Radien um einen Punkt herum auf, so erhält man die sogenannte Polarkurve (vgl. S. 127), welche die Verteilung des in den Raum ausgesandten Lichtes

darstellt. Will man die mittlere räumliche (mittlere sphärische) Lichtstärke ( $J_o$ ) oder die mittlere obere oder untere hemisphärische Lichtstärke (vgl. S. 135) (das ist die mittlere Lichtstärke der oberen oder unteren Halbkugel  $J_\Delta$  oder  $J_\ominus$ ) finden, so genügt es nicht, ein Mittel aus allen Messungen zu nehmen, welche etwa von zehn zu zehn Graden in der einen Vertikalebene um die Lichtquelle gemacht worden sind, denn man müßte in einer Hohlkugel das Mittel der Belichtung aller einzelnen Flächenelemente bestimmen, und die Anzahl der Flächenelemente, die in der horizontalen Äquatorialebene liegen, ist viel größer, als die Anzahl der Flächenelemente in der Nähe der beiden Pole oben und unten, d. h. in der Verlängerung der Achse der Lichtquelle. Die horizontale Lichtstärke ist daher auf die mittlere sphärische oder

Fig. 73.



hemisphärische Lichtstärke von größerem Einfluß, als die nach oben oder unten ausgestrahlte Lichtmenge. Berücksichtigen wir die Anzahl der Flächenelemente, welche in der Ebene jedes horizontalen Parallelkreises liegen, und bezeichnen wir mit  $\alpha$  den Winkel, welchen der gemessene Lichtstrahl mit der Symmetrieachse einschließt, und mit  $\beta$  den Winkelabstand der einzelnen Messungen untereinander, so läßt sich die mittlere sphärische Lichtstärke nach der Formel bestimmen:

$$J_o = \frac{\beta}{2} \sum J_u \sin \alpha,$$

worin  $J_u$  den Wert jeder einzelnen Messung darstellt. Um diese etwas umständliche Rechnung zu vermeiden, kann man zweckmäßig ein graphisches Verfahren anwenden.

Entweder man zeichnet nach Liebenthal<sup>1)</sup> die Strecken  $\sin \alpha$  als Abszissen und die zugehörigen Lichtstärken als Ordinaten in ein Diagramm

<sup>1)</sup> Elektrotechn. Zeitschr. 1889, S. 337.

und berechnet den Flächeninhalt der daraus erhaltenen Kurve. Dieser, gebrochen durch die gesamte Abszissenlänge, drückt dann die mittlere räumliche Lichtstärke aus.

Das Verfahren von Rousseau<sup>1)</sup> geht in der graphischen Ermittlung noch weiter, indem auch  $\sin \alpha$  durch eine zeichnerische Konstruktion erhalten wird. In Fig. 74 bedeutet  $L$  die Lichtquelle und die Kurve  $LB_0B_2B_1B_0$  die Polarkurve. Man beschreibt mit  $L$  als Mittelpunkt über der Polarkurve einen beliebig großen Kreis. In diesem zieht man den Radius in einem der

Fig. 74.

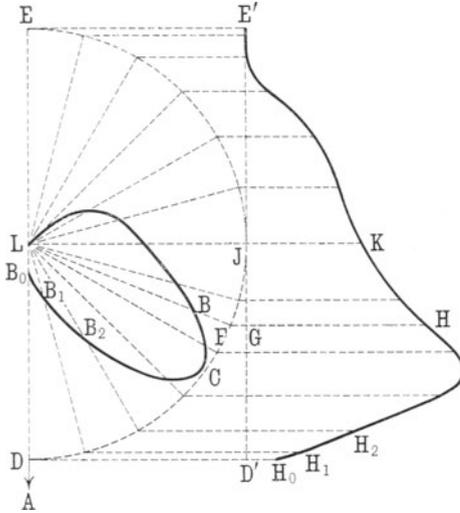
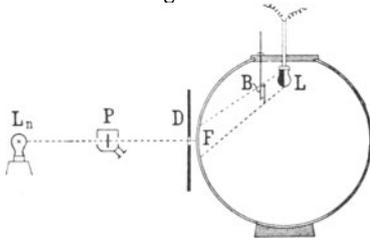


Fig. 75.



jeweiligen Messung entsprechenden Winkel, z. B.  $LF$ . Den Schnittpunkt projiziert man auf eine gerade Linie  $E'JD'$  und verlängert über die Linie hinaus. Nun trägt man die gemessene Lichtstärke, die in der Polarkurve durch die Strecke  $LB$  gekennzeichnet ist, von der geraden Linie aus auf das Lot  $GH$  auf und erhält so im Punkt  $H$  einen Punkt der sogenannten Rousseauschen Kurve. Verfährt man in gleicher Weise mit allen anderen Messungen, die in verschiedenen Winkeln ausgeführt wurden, so erhält man die ganze Rousseausche Kurve  $E'KH_2H_1H_0$ , deren Flächeninhalt zu ermitteln und durch die Strecke  $E'D'$  zu dividieren ist. Ganz analog geht man vor, wenn die mittlere obere oder untere hemisphärische Lichtstärke zu bestimmen ist.

Um die umständliche Methode der graphischen oder rechnerischen Ermittlung der mittleren sphärischen oder hemisphärischen Lichtstärke zu umgehen, kann man nach einem Vorschlage des Verfassers<sup>2)</sup>

die Messungen in nachstehenden Winkeln  $\alpha$  vornehmen und das algebraische Mittel aus den erhaltenen Lichtstärken ziehen. Diese Winkel sind für die hemisphärische Lichtstärke und 10 Messungen folgende :

$$\alpha = 87,2, 81,4, 75,5, 69,5, 63,3, 56,7, 49,5, 41,4, 31,8, 18,2^\circ$$

und für 5 Messungen :

$$\alpha = 84,3, 72,6, 60,0, 45,7, 25,9^\circ$$

Ferner hat man sogenannte integrierende Photometer konstruiert, welche eine solche Ermittlung durch eine einzige Messung gestatten.

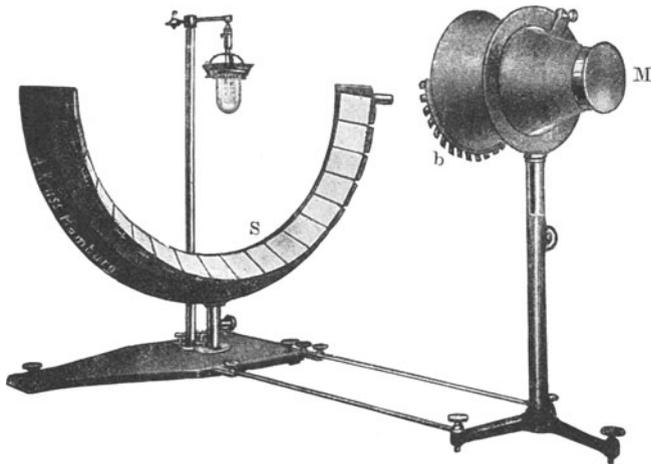
<sup>1)</sup> Compt. rend. des essais photométriques à l'exposition d'Anvers. 1885. —

<sup>2)</sup> Mitteilung an die Internat. Lichtmeßkomm. Zürich 1911; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 489.

Bringt man z. B. eine Lichtquelle in einer innen vollkommen weiß gestrichenen Hohlkugel an, die an einer Stelle ein Milchglasfenster besitzt, so zeigt das letztere eine Erhellung, welche proportional der mittleren sphärischen Lichtstärke ist. Die von der Lichtquelle nach allen Richtungen der Hohlkugel ausgehenden Lichtstrahlen werden diffus auf das Milchglasfenster geworfen, und es läßt sich auch theoretisch beweisen, daß die Erhellung proportional der mittleren sphärischen Lichtstärke ist.

Ulbricht<sup>1)</sup> hat dieses Prinzip in seinem Kugelphotometer ausgenutzt. Für elektrische Glühlampen genügt eine verhältnismäßig kleine Hohlkugel. Fig. 75 zeigt eine solche von 18 englischen Zoll Durchmesser. An das Milchglasfenster  $F$  ist das Photometer mit dem Photometerkopf  $P$  und der Normallichtquelle  $L_n$  angeschlossen. Benutzt man die Ulbrichtschen Kugeln zur Messung von Gaslampen, so ist darauf zu achten, daß die Verunreinigung der

Fig. 76.



Luft innerhalb der Hohlkugel durch die Verbrennungsprodukte und die gestörten Luftzirkulationsverhältnisse von nachteiligem Einfluß auf die Lichtstärke sein können.

Will man in dem Ulbrichtschen Kugelphotometer die untere hemisphärische Lichtstärke erhalten, so ist nach Corsepius die Ablendung der nicht zu berücksichtigenden Kugelhälfte durch einen innen geschwärzten, außen weißen Hohlkörper nötig<sup>2)</sup>.

Nach Sumpner<sup>3)</sup> kann man an Stelle einer Hohlkugel auch einen rechteckigen, innen weiß gestrichenen Kasten mit einem Fenster aus Opalglas oder Pausleinen verwenden, ohne große Fehler zu machen.

Das Krüsssche integrierende Photometer (Fig. 76) ist von diesem Nachteile frei. Es besteht aus dem Spiegelhalbkreis  $S$ , welcher horizontal, wie die Zeichnung zeigt, gestellt ist, wenn man die mittlere untere hemisphärische Lichtstärke ermitteln will, dagegen vertikal gestellt wird, wenn man die

<sup>1)</sup> Elektrotechn. Zeitschr. 1900, S. 595; 1905, S. 512 und 1906, S. 50 und 803. —  
<sup>2)</sup> Illum. Engin. 1908, S. 801; Elektrotechn. Zeitschr. 1909, S. 322; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 169. — <sup>3)</sup> Electrician 22, 410; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 456.

mittlere sphärische Lichtstärke zu bestimmen hat. Wie früher schon erwähnt, müssen die Lichtstrahlen, welche unterhalb der Horizontalen liegen, abgeschwächt werden, um den durch die erwähnte Formel für die Berechnung der mittleren sphärischen Lichtstärke gegebenen Effekt zu erzielen. Aus diesem Grunde befindet sich vor der Milchglasplatte  $M$ , welche die Strahlen aller Spiegel auf sich vereinigt, ein Blendsystem  $b$ , welches von jedem Spiegel nur so viel Licht hindurchtreten läßt, als der Formel entspricht. Innerhalb des

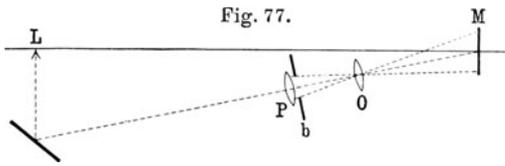


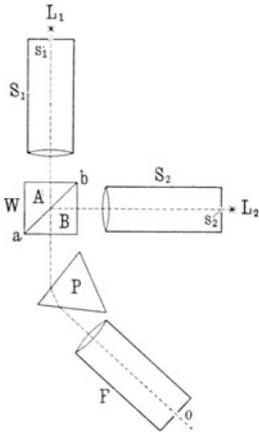
Fig. 77.

trichterförmigen Körpers  $C$  ist dann noch eine entsprechende Zahl von Linsen angebracht, welche das jeder Blende entströmende Licht auf den ganzen Umfang der Milchglasplatte  $M$  verteilen, wie dies Fig. 77

zeigt. Dieses integrierende Photometer ist jedoch nur zur Messung kleinerer Lichtquellen geeignet, weil jeder der einzelnen im Halbkreise verteilten Spiegel die ganze Größe der Lichtquelle einschließlich des Reflektors besitzen muß.

Alle vorerwähnten Mittel zur Lichtmessung geben nur dann einigermaßen genaue Resultate, wenn man vollständig gleich gefärbte Lichtquellen vergleicht. Bei verschiedenfarbigen Lichtquellen stellen verschiedene Personen dasselbe Photometer verschieden ein. Aber auch die gleiche Person macht oft andere Ablesungen, wenn das Auge ausgeruht oder ermüdet ist. Um alle Übelstände

Fig. 78.



der Photometrie verschiedenfarbiger Lichtquellen zu vermeiden, gibt es nur ein radikales Mittel, das ist, die Messung der einzelnen Spektralfarben jeder Lichtquelle gesondert vorzunehmen. Hierzu werden die sogenannten Spektrophotometer benutzt. Man vergleicht die roten, gelben, grünen Strahlen einer Lichtquelle mit den gleichfarbigen einer Normallampe. Kennt man die Verteilung der Helligkeit im Spektrum der letzteren, so kann man dann die Verteilung der Helligkeit im Spektrum der zu untersuchenden Lampe bestimmen. Die Spektrophotometer sind für diese Vergleiche so eingerichtet, daß sie von beiden Lichtquellen Spektren erzeugen, derart, daß die gleichfarbigen Bestandteile beider Spektren in einer für die Vergleichung geeigneten Weise nebeneinander fallen.

Bei dem Spektrophotometer von Lummer und Brodhun, das in Fig. 78 schematisch dargestellt ist, durchlaufen die vom Spalt  $s_1$  des Kollimators  $S_1$  ausgehenden Strahlen den Photometerwürfel  $W$ , das Prisma  $P$  und erzeugen in der Brennebene von  $F$  das Spektrum von  $L_1$ . Die Strahlen, welche von dem Spalt  $s_2$  des zweiten Kollimatorrohres  $S_2$  ausgehen, werden von der gemeinsamen Hypotenusenfläche  $a b$  der beiden Prismen  $A$  und  $B$  total reflektiert und erzeugen ein neben das Spektrum von  $L_1$  fallendes Spektrum von  $L_2$ . Der Beobachter stellt mittels des Objektivs  $F$  als Lupe scharf auf  $a b$  ein und sieht die reflektierten Strahlen von  $s_2$  und die durchgehenden Strahlen von  $s_1$ . Die Einstellung geschieht durch Veränderung der Weite der Kollimatorspalte oder besser durch einen rotierenden Sektor.

Ein Spektrophotometer, welches man in gleicher Weise wie einen gewöhnlichen Photometerkopf auf der Photometerbank verschieben kann, hat kürzlich Thover<sup>1)</sup> angegeben. Es zerlegt die von den beiden Seiten der Photometerbank kommenden Lichtstrahlen nach der Reflexion in eine gemeinsame Achse in zwei Spektren, die nebeneinander erscheinen, jedoch gegeneinander nicht verschiebbar sind, so daß nur gleiche Spektralfarben photometrisch verglichen werden können. Ein im Okularrohr befindlicher Spalt schneidet den zu vergleichenden Farbenton aus den beiden Spektren heraus, und man verändert die Lichtstärke des einen oder beider Spektren durch Verschieben des Kopfes auf der Photometerbank.

Will man verschiedene Spektralfarben miteinander vergleichen, so ist eine andere Anordnung notwendig. Krüss<sup>2)</sup> hat daher auf Anregung des Verfassers ein Spektrophotometer konstruiert, welches ermöglicht, beliebige Teile des Spektrums zweier verschiedener Lichtquellen oder aber auch derselben Lichtquelle miteinander photometrisch zu vergleichen, indem die von den zwei Spaltöffnungen kommenden Lichtstrahlen durch zwei voneinander getrennte Prismen in Spektren zerlegt werden, und wobei durch Einstellung der Prismen mittels eines Teilkreises jede beliebige Wellenlänge des einen Spektrums mit jeder beliebigen Wellenlänge des anderen Spektrums verglichen werden kann. Das Instrument ist dabei so ausgeführt, daß entweder die beiden Felder nebeneinanderliegend teils mit der einen, teils mit der anderen Farbe erhellt sind und daß die Einstellung auf gleiche Helligkeit erfolgen kann, oder aber, daß man durch eine einfache Umschaltung die Bilder des einen und des anderen Spaltes übereinander bringen kann, so daß dann durch eine Flimmervorrichtung, d. h. durch abwechselndes Abdecken des einen und des anderen Bildes es ermöglicht wird, an derselben Stelle des Gesichtsfeldes abwechselnd die eine oder die andere Farbe des Spektrums zu erhalten, um auf ein Verschwinden des Flimmers einstellen zu können, was zu schärferen Beobachtungen führt.

Der Wert künstlicher Lichtquellen ist insofern von der spektralen Zusammensetzung des Lichtes abhängig, als man trachten soll, das Licht von möglichst gleicher Zusammensetzung zu liefern, wie sie im Tageslicht auftritt.

Ives<sup>3)</sup> stellt mittels Spektralanalyse fest, durch welche Absorptionen jedes künstliche Licht die Farbe des Tageslichtes erhält. Durch derartige Absorptionen tritt natürlich eine Schwächung des Lichtes ein, und das Verhältnis der Intensität des erhaltenen weißen Lichtes zur Gesamtlichtstärke bietet einen Maßstab für die Qualität der betreffenden Lichtquellen in bezug auf ihre Farben. Die nachstehende Tabelle zeigt, daß von den gebräuchlichsten Lichtquellen der Auerglühkörper das weißeste, d. h. das dem Tageslicht ähnlichste Licht ergibt (s. Tab. a. f. S.).

In neuerer Zeit wird dem Glanze der Lichtquellen erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. Je höher der Glanz der Lichtquellen (vgl. S. 133), d. h. die Lichtstärke pro Flächeneinheit, desto mehr wird das Auge geblendet. Ives<sup>4)</sup> mißt den Glanz, indem er die Lichtquellen vor einem Hintergrund erscheinen läßt, dessen Helligkeit verändert werden kann, so lange, bis die Lichtquelle

<sup>1)</sup> Journ. de Physique 1909, S. 834. — <sup>2)</sup> Zeitschr. f. Instrumenkunde, Januar 1912. — <sup>3)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, S. 100; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 605; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 353. — <sup>4)</sup> Illum. Eng. 1911, S. 191; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 461.

nicht mehr von dem Hintergrund absticht. Ein ähnliches Instrument haben Dow und Mackinney<sup>1)</sup> angegeben. Die Belichtung des Hintergrundes erfolgt dabei durch eine belichtete Opalglasplatte, die durch einen Sektor teilweise verdunkelt werden kann. Dieses Instrument kann im Taschenformat ausgeführt werden und daher auch zur Beobachtung auf der Straße dienen.

Lichtquelle	Nutzbarer Anteil an weißem Licht
	Proz.
Kohlenfadenglühlampe .	21,2
Metallfadenglühlampe .	38,2
Acetylen . . . . .	42,0
Gasglühlicht . . . . .	50,5

Obwohl die Messung der Lichtstärke frei brennender Gasflammen heute kaum mehr in Betracht kommt (vgl. Kap. 51, Qualität des Steinkohlengases), müssen wir doch kurz erwähnen, daß zur Bestimmung der Leuchtkraft des Gases besondere Normalbrenner angewendet werden müssen, so daß vergleichbare Resultate erhalten werden. Früher verwendete man vielfach den Elster-Normal-Argand-Brenner. Da jedoch in neuerer Zeit Gas mit geringem Luftbedarf (Wassergas) zur Anwendung kommt, hat man dieselben durch Argandbrenner mit regulierbarer Luftzufuhr ersetzt. In London z. B., wo auf die Leuchtkraft des frei brennenden Gases noch viel Wert gelegt wird, verwendet man jetzt den London-Argand-Brenner II<sup>2)</sup>. Auch St. Claire-Deville führte der Internationalen Lichtmeßkommission in Zürich 1911 einen derartig regulierbaren Normal-Argandbrenner vor<sup>3)</sup>. Wir werden bei Besprechung der Qualität des Steinkohlengases noch darauf zurückkommen.

## 12. Manometer.

Eines der am häufigsten in der Gasindustrie angewendeten Meßinstrumente ist das Manometer. Es dient zur Messung des Druckes der Gase und Dämpfe. Handelt es sich um hohe Drucke, so legt man als Einheit die Atmosphäre zugrunde, das ist der Druck, den die Luft von gewöhnlicher, d. h. atmosphärischer Spannung ausübt. Da aber dieser Druck je nach den atmosphärischen Verhältnissen Schwankungen unterworfen ist, so hat man sich auf ein Mittel geeinigt und nimmt dieses zur Grundlage der Messungen höherer Drucke. Der Druck, den die atmosphärische Luft ausübt, wird mit Hilfe des Barometers gemessen. Verwendet man Heberbarometer, so mißt man den Luftdruck nach der Höhe der Quecksilbersäule, welche von diesem getragen wird. Man mißt also den Barometerstand nach Millimeter Quecksilbersäule. Der Luftdruck ist von der Höhe der Luftsäule abhängig, welche sich über dem betreffenden Orte befindet. Je höher also der betreffende Ort gelegen ist, desto geringer ist der Luftdruck, weil die Luftsäule, die über dem betreffenden Orte lagert, dann nicht mehr die gleiche Höhe hat. Wenn man also von einem mittleren, als normal angenommenen Luftdruck sprechen will, so muß man sich auch über die Höhe des Ortes einigen, und man hat zu

<sup>1)</sup> Illum. Eng. Soc. 1910, S. 655; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 258. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 945. — <sup>3)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 468.

diesem Zwecke die Höhe des Meeresspiegels gewählt. Im Durchschnitt beträgt der Luftdruck, das ist der Barometerstand in der Höhe des Meeresspiegels, 760 mm. Man hat sich daher auf diesen Luftdruck als Normalbarometerstand geeinigt. Aber auch am Meeresspiegel ist der Barometerstand großen Schwankungen unterworfen, die etwa 20 bis 30 mm unter oder über den normalen Barometerstand gehen können.

Der Druck, welchen eine Quecksilbersäule von 760 mm Höhe auf 1 cm<sup>2</sup> ausübt, beträgt 1,0333 kg. Man bezeichnet daher auch diesen in Kilogramm pro Quadratcentimeter ausgedrückten Druck als den normalen Luftdruck oder den Druck einer Atmosphäre. Dieser Druck der Quecksilbersäule von 760 mm Höhe ändert sich mit der Temperatur, weil ja das Quecksilber sich beim Erwärmen ausdehnt und daher spezifisch leichter wird. Es ist daher bei der Ablesung von Barometern eine Temperaturkorrektur anzubringen, indem man die Höhe der Quecksilbersäule auf die Temperatur von 0° reduziert. Die Größe dieser Korrektur, die bei gewöhnlicher Zimmertemperatur etwa 2 mm ausmacht, die von dem abgelesenen Barometerstande abzuziehen sind, kann genauer aus einer im Anhang wiedergegebenen Tabelle entnommen werden.

Da der Luftdruck, welchen man als normal annehmen will, keinem Naturgesetz, sondern nur einer Vereinbarung entspringt, kann man der einfacheren Rechnung halber mit genau 1,000 kg anstatt 1,0333 kg pro Quadratcentimeter rechnen. Man nennt diesen Druck zum Unterschiede von der gewöhnlichen Atmosphäre eine metrische Atmosphäre. Auf Millimeter Quecksilbersäule und 0° umgerechnet ergibt dies 735,5 mm. Die metrische Atmosphäre wird jedoch nur bei hohen Drucken, wie sie bei Dampf und hoch komprimierten Gasen in Verwendung stehen, angewendet. Bei Gasen von niederer Spannung verwendet man ausschließlich den gewöhnlichen Atmosphärendruck von 760 mm als Normale.

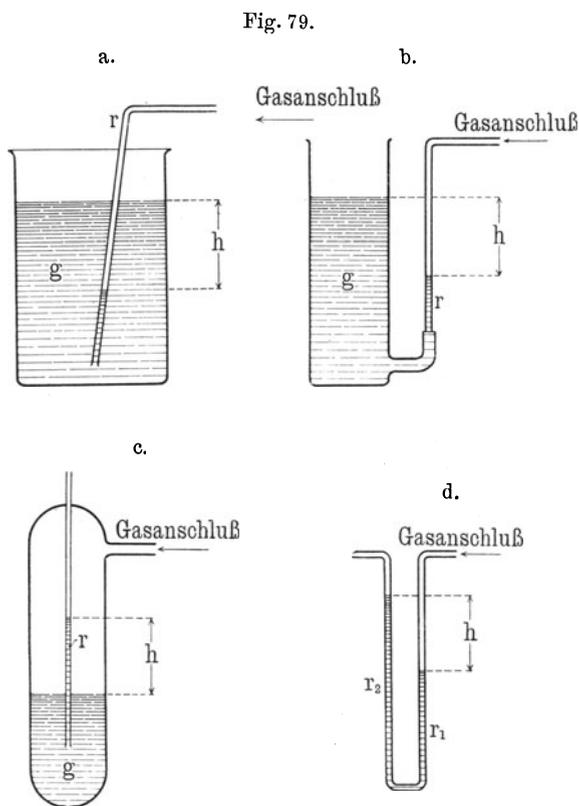
Berechnet man die Höhe einer Wassersäule, welche von dem normalen Atmosphärendruck getragen werden kann, so erhält man entsprechend der 13,6fach geringeren Dichte des Wassers gegenüber Quecksilber eine Höhe von 10,333 m, wenn man Wasser von 4° C (d. i. im Zustande der größten Dichte) annimmt. Von einer metrischen Atmosphäre wird dagegen das Wasser natürlich auf 10,000 m gehoben.

In der Gastechnik hat man gewöhnlich nicht den absoluten Druck zu messen, welchen ein Gas auf eine Fläche ausübt, sondern nur den Überschuß des Druckes gegenüber jenem der Atmosphäre. Dieser Überdruck bewegt sich gewöhnlich in so geringen Größen, daß man es vorzieht, ihn nicht mit Quecksilber, sondern mittels Wasser zu messen und ihn daher auch nach Millimetern Wassersäule auszudrücken. Wir haben uns dann vor Augen zu halten, daß 1 mm Wassersäule rund  $\frac{1}{10000}$  Atm. entspricht. So z. B. hat ein Gas, welches gegen die Atmosphäre einen Überdruck von 100 mm Wassersäule zeigt, einen effektiven Überdruck von  $\frac{1}{100}$  Atm. und somit eine absolute Spannung von 1,01 Atm. Ebenso wie Überdrucke gemessen werden, können natürlich auch Unterdrucke gemessen werden. Wir haben es dann mit einer Saugwirkung zu tun und ein Gefäß, dessen Gasinhalt z. B. 100 mm Saugwirkung in Wassersäule zeigt, hat dann einen absoluten Druck von 0,99 Atm.

Kommen höhere Drucke zur Verwendung, die nicht nach 100steln, sondern nach 10teln Atm. zu rechnen sind, so ist es zweckmäßiger, an Stelle der

Wassersäule die Quecksilbersäule als Maß zu nehmen, wie dies z. B. beim Preßgas geschieht. Handelt es sich um höhere Drucke, die nach ganzen Atmosphären zählen, so legt man als Einheit die Atmosphäre zugrunde und wählt dann als Meßinstrument nicht mehr die Säulenmanometer, wie sie für geringere Drucke verwendet werden, sondern Federmanometer. Mit letzteren werden wir uns hier jedoch, weil sie in der Gasindustrie wenig Anwendung finden, nicht ausführlich befassen und verweisen diesbezüglich auf Beschreibungen von Dampfkesselarmaturen.

Die einfachste Art, den Druck zu messen, unter welchem ein Gas steht, besteht darin, daß man ermittelt, wie weit der Wasserspiegel in einem Glas-



rohre, das mit der betreffenden Gasleitung in Verbindung steht, hinuntergedrückt wird, wenn man es in ein größeres Gefäß mit Wasser eintaucht, wie dies Fig. 79 a zeigt. Steht ein Glasrohr nicht zur Verfügung, so kann man auch ein Metallrohr oder einen Gummischlauch allmählich in Wasser eintauchen, so tief, daß gerade keine Gasblasen mehr durch das Wasser entweichen. Der vertikale Abstand des unteren Endes dieses Rohres bis zum Wasserspiegel gibt dann den Gasdruck an. Ein anderes ähnliches Manometer zeigt Fig. 79 b. Hier ist das mit der Gasleitung verbundene Rohr  $r$  seitlich vom Gefäß  $G$  angebracht.

Es hat dies den Vorteil, daß das Gefäß  $G$  nicht durchsichtig zu sein braucht und daher aus Metall sein kann, während nur das Rohr  $r$  zum Zwecke der Ablesung des Wasserspiegels aus Glas sein muß. Natürlich kann man den Druck des Gases auch auf den Flüssigkeitsspiegel im Gefäß  $G$  anstatt im Rohre  $r$  wirken lassen. Die Flüssigkeit steigt dann im Rohre  $r$  entsprechend über das Niveau im Gefäße  $G$ , und man erhält das sogenannte Flaschenmanometer, wie dies in Fig. 79 c dargestellt ist. Das handlichste Instrument zur Ablesung des Gasdruckes ist ein U-förmig gebogenes Glasrohr, wie Fig. 79 d zeigt, das zur Hälfte mit der Manometerflüssigkeit gefüllt ist. Bei diesem ist zu beachten, daß, wenn beide Schenkel des U-Rohres gleichen lichten Durchmesser haben, das Niveau im Schenkel  $r_2$  ebenso weit steigt, wie es im Schenkel  $r_1$  durch den Gasdruck heruntergedrückt wird. Man hat daher bei

solchen Manometern die Differenz des Standes in den beiden Schenkeln abzulesen und nennt solche Manometer zweischenklig, zum Unterschiede von den einschenkligigen nach Fig. 79 a, b und c.

Als Manometerflüssigkeit wird, wie erwähnt, in der Gasometrie gewöhnlich Wasser verwendet, wenn es sich nicht um höhere Drucke handelt, die zweckmäßiger mit Quecksilber zu messen sind. Zur bequemeren Ablesung des Wasserstandes färbt man das Wasser häufig mit verschiedenen Farbstoffen. Gewöhnlich kommt dabei Rosolsäure, der man einige Tropfen Natronlauge zusetzt, oder in etwas Alkohol gelöstes Fluorescein in Anwendung. Erstere färbt das Wasser intensiv rot, letzteres gibt demselben eine schöne grüne Fluoreszenz, die weithin sichtbar ist. Die meisten Farbstoffe jedoch, welche man dem Wasser zusetzt, bleichen im Laufe der Zeit aus oder setzen sich in Form von Niederschlägen an den Manometergläsern an. Es ist deshalb sehr zweckmäßig, den Stand des Wasserspiegels dadurch weithin sichtbar zu machen, daß man einen genau in das Manometerrohr eingepaßten Schwimmer aus schwarzem Glas verwendet, der mit einem Tropfen Quecksilber an seinem unteren Ende derart beschwert ist, daß seine obere flache Kante gerade die Höhe des Wasserspiegels anzeigt. Diese Anordnung ist zuerst von Ungerhofer angegeben worden.

Bei Messung höherer Drucke ist es oft lästig, allzu große Höhen des Manometerrohres anwenden zu müssen. Es ist daher oft zweckmäßig, an Stelle von Wasser andere Flüssigkeiten anzuwenden, die spezifisch schwerer sind. Als solche können Glycerin (spez. Gew. bei 0°: 1,260), das jedoch in reinem Zustande schwer beweglich ist und daher häufig verdünnt angewandt wird, ferner Tetrachlorkohlenstoff (spez. Gew. bei 0°: 1,595), der leicht beweglich ist, angewendet werden. Unter anderen Umständen kann es wieder vorteilhafter sein, Flüssigkeiten anzuwenden, die leichter sind als Wasser. Man erhält dann größere Ausschläge. Alkohol (spez. Gew. 0,806), Petroleum (spez. Gew. etwa 0,80) und Vaselineöl (spez. Gew. 0,87 bis 0,90) sind die hierfür am meisten angewendeten Flüssigkeiten. Alkohol und Petroleum sind sehr leicht beweglich, Vaselineöl hingegen ist sehr schwer beweglich. Letzteres bietet Vorzüge, wenn man stark schwankende Drucke abzulesen hat und nur den mittleren Druck ohne Berücksichtigung der Schwankungen ablesen will. Das Vaselineöl macht infolge seiner Schwerbeweglichkeit die raschen Schwankungen nicht mit und stellt sich auf eine mittlere Höhe ein.

Bei den genannten Manometerflüssigkeiten spielt oft auch die Flüchtigkeit eine Rolle. Glycerin, Tetrachlorkohlenstoff und Vaselineöl verdunsten bei gewöhnlicher Temperatur so gut wie gar nicht. Petroleum ist ebenfalls schwer flüchtig. Alkohol dagegen ist noch leichter flüchtig wie Wasser.

Unter Umständen kann auch der Gefrierpunkt der Manometerflüssigkeit von Wichtigkeit sein. Befindet sich das Manometer an Orten, wo es zeitweise eine Temperatur unter 0° annehmen kann, so darf es nicht mit Wasser gefüllt werden; man verwendet dann irgend eine andere der genannten Flüssigkeiten, die alle erst weit unter 0° gefrieren. Vaselineöl wird jedoch bei niedrigeren Temperaturen außerordentlich zähflüssig.

Die in der Praxis am meisten verwendeten Manometer sind die sogenannten zweischenkligigen Manometer, die z. B. aus einem Glasrohre gebogen sind, wie dies Fig. 80 zeigt. Weniger gebrechlich sind zweischenkellige Manometer, wenn man zwei gerade Glasrohre gemäß Fig. 81 unten in ein ent-

sprechend gebohrtes Metallstück einsetzt. Dasselbe erhält dann Schrauben zum Entleeren der Flüssigkeit und zum Reinigen der Glasrohre mit Hilfe einer Bürste. Diese Manometer sind an dem Oberteile des einen Schenkels mit der Gasleitung zu verbinden. Oft ist es jedoch zweckmäßig, den Anschluß von unten her zu bewirken. Besonders ist dies der Fall bei Manometern, welche nicht an der Wand aufzuhängen sind, sondern auf einen Tisch gestellt werden müssen, wie dies bei Versuchen häufig der Fall ist. Man stellt dann, wie Fig. 82 zeigt, von dem oberen Ende des einen Manometerschenkels

Fig. 80.

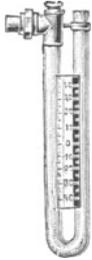


Fig. 81.

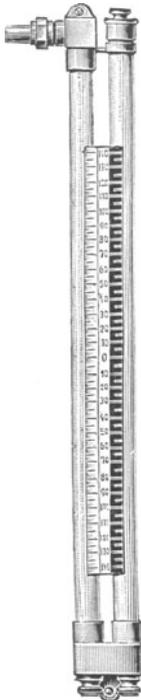
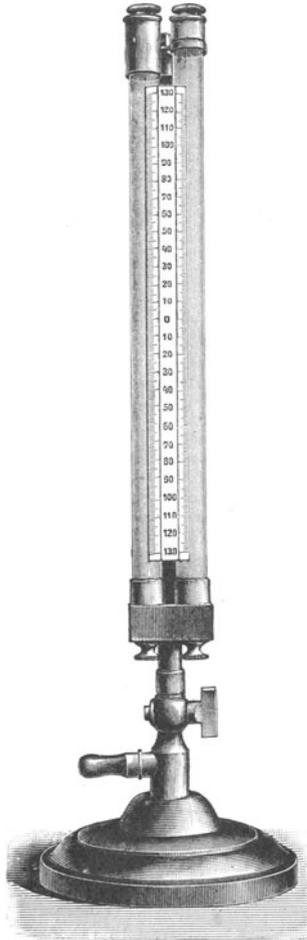
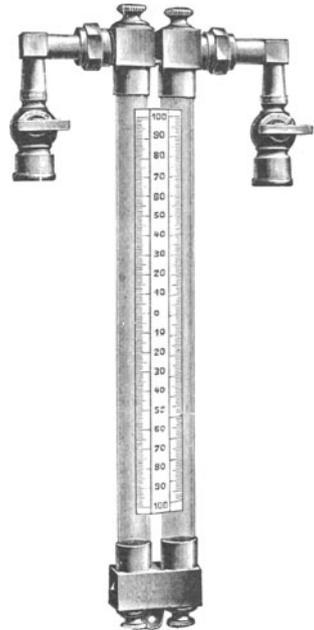


Fig. 82.



von dem oberen Ende des einen Manometerschenkels

Fig. 83.



eine feste Metallrohrverbindung her, die gleichzeitig als Stütze des ganzen Manometers dient.

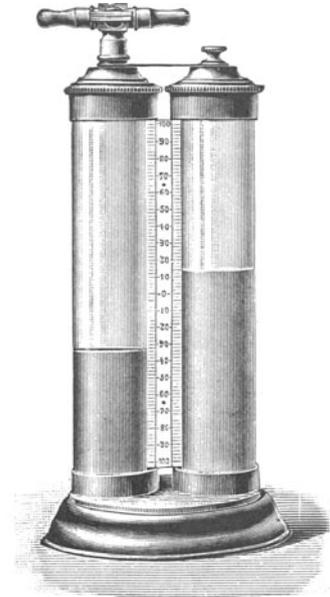
Will man die Druckdifferenz bestimmen, welche zwischen zwei verschiedenen Teilen eines Apparates herrscht, ohne dabei doppelte Ablesungen machen zu müssen, so läßt man die beiden Drücke auf die beiden Schenkel eines einzigen Manometers wirken. Ein solches Differentialmanometer ist in Fig. 83 dargestellt.

Bei allen zweischenkeligen Manometern müssen zwei Ablesungen gemacht werden, um die Differenz der Wasserniveaus zu ermitteln. Zweckmäßig ist es, die Skala mit gelinder Reibung verschiebbar anzuordnen, damit man sie mit dem Nullpunkt auf den Wasserspiegel in dem einen Manometerschenkel einstellen kann, wonach die Ablesung am zweiten Schenkel sofort den Druck angibt. Würde dies eine zu große Verschiebung nötig machen, so stellt man wenigstens eine durch 10 teilbare Zahl der Skala auf den einen Flüssigkeitsspiegel ein, um die Rechnung zu erleichtern. Bei den meisten dieser Manometerskalen befindet sich der Nullpunkt in der Mitte der Skala, so daß man den Ausschlag auf beiden Seiten zu summieren hat, um die Höhendifferenz der Niveaus, d. h. den Gasdruck, zu ermitteln. Füllt man das Manometer im Ruhezustande, d. h. ohne daß einer der Schenkel mit Gasdruck belastet ist, gerade bis zum Nullpunkt, so ist unter der Voraussetzung, daß die beiden Rohre gleich weit sind, der Ausschlag auf beiden Seiten gleich groß und kann daher die Ablesung an einem Schenkel einfach verdoppelt werden.

Hat man ein Manometer mit verhältnismäßig engen Rohren (weniger als 4 mm lichtigem Durchmesser), so kann die Kapillarität eine fehlerhafte Anzeige bewirken, wenn die Krümmung der Oberfläche des Wasserspiegels in den beiden Rohren (der sogenannte Meniskus) nicht vollständig gleich ist. Ist der Meniskus einer Flüssigkeit konkav, so wird die Flüssigkeit in die Höhe gesogen, wie dies bei den sogenannten Haarröhrchen der Fall ist. Ist dagegen der Meniskus konvex, wie z. B. beim Quecksilber, so erfährt die Flüssigkeit durch die Oberflächenspannung umgekehrt einen Druck nach abwärts. Hat man zwei Manometerschenkel, die vollständig gleich weit sind, so hat die Kapillarität auf die Ablesung keinen Einfluß, weil die Kapillarwirkung in beiden Rohren vollständig gleich ist und sich daher gegenseitig aufhebt. Man sieht aber häufig, daß in Rohren, welche nicht ganz rein sind, der Meniskus Änderungen erfährt. Insbesondere ist dies der Fall, wenn das Rohr fettig ist oder mit Teer oder Staub beschmutzt ist. In diesem Falle zeigen die beiden Menisken oft verschiedene Krümmung, worunter die Genauigkeit der Anzeige leidet. Um dies gänzlich zu vermeiden, kann man Manometer mit sehr weiten Glasrohren anwenden, wie ein solches z. B. in Fig. 84 wiedergegeben ist.

Zufolge der Krümmung des Meniskus ist man sich häufig darüber im unklaren, ob die obere Kante oder die untere Wölbung des Meniskus, die oft einige Millimeter tiefer liegt, abzulesen ist. Bei allen Ablesungen, wo die Differenz in der Höhe der Wasserspiegel gemessen wird, ist es einerlei; ob man die obere oder die untere Kante des Meniskus abliest; man muß nur bei beiden Ablesungen in genau gleicher Weise vorgehen. Ebenso muß man bei der Einstellung des Nullpunktes der Skala die gleiche Stellung des

Fig. 84.



Meniskus wählen, wie bei der darauf folgenden Ablesung. Hat man es mit gefärbten Flüssigkeiten zu tun, so läßt sich die obere Kante schärfer ablesen. Bei farblosen Flüssigkeiten hingegen ist die unterste Wölbung des Meniskus vorzuziehen. In diesem Falle ist es zweckmäßiger, wenn die Skala hinter dem Glas angebracht ist, so daß die Teilstriche derselben durch das Glas hindurch gesehen werden können. Es ist dann jener Teilstrich als maßgeblich zu betrachten, der die Tangente an die untere Wölbung des Meniskus bildet. Für ganz genaue Ablesungen kann man die Glasrohre rückwärts mit einem etwa 2 mm breiten farbigen Längsstreifen versehen. Bei Betrachtung des Meniskus erscheint dann dieser Längsstreifen zufolge der Lichtbrechung an einer Stelle scharf eingeschnürt und kann diese Stelle zur scharfen Ablesung dienen.

Um die doppelte Ablesung bei den zweischenkeligen Manometern zu vermeiden, wendet man vielfach die auf S. 184 erwähnten einschenkeligen Manometer an. Wählt man nämlich den einen der beiden Schenkel eines zweischenkeligen Manometers sehr weit (Fig. 79 b) und läßt den Gasdruck auf das Rohr  $r$  wirken, während über dem Gefäß  $G$  der äußere Luftdruck lastet, so senkt sich der Wasserspiegel im Rohre  $r$ , und die dadurch in das Gefäß  $G$  hinübergedrückte Flüssigkeit bewirkt dort ein Steigen der Wasseroberfläche. Dieses ist jedoch bei dem entsprechend weiten Gefäß  $G$  sehr gering, denn die Niveauverschiebungen in  $r$  und  $G$  verhalten sich umgekehrt wie die Querschnitte. Bei Ablesungen, die auf keinen großen Grad von Genauigkeit Anspruch machen, kann somit das Steigen des Wasserniveaus im Manometergefäß  $G$  vernachlässigt werden, wenn das letztere genügend groß ist. Der Querschnitt des Rohres  $r$  darf dabei nicht zu klein gewählt werden und sollte nie weniger als 8 bis 10 mm betragen, da sonst die Kapillarwirkung in diesem die Anzeige einseitig beeinflußt. Man kann sich allerdings auch von diesem Fehler frei machen, wenn man zunächst auch auf  $r$  den äußeren Luftdruck wirken läßt und den Nullpunkt der Skala an die Stelle bringt, die der Wasserspiegel im Rohre  $r$  unter diesen Umständen einnimmt. Er wird zufolge der Kapillarwirkung dort etwas höher stehen, als im Gefäß  $G$ , und da die Kapillarwirkung an allen Stellen die gleiche ist, wenn sich die Form des Meniskus nicht ändert, so wird bei dieser Einstellung der Skala der durch die Kapillarität bedingte Fehler vermieden. Dies ist aber nur dann der Fall, wenn die Rohre vollständig rein erhalten werden können, damit sich der Meniskus nicht ändert. Da dies im praktischen Gaswerksbetriebe nicht leicht zu erreichen ist, wählt man lieber weitere Rohre, bei denen die Kapillarität überhaupt keine Rolle mehr spielt.

Solche einschenkelige Manometer haben also einen konstanten Nullpunkt, und man kann die Skala an einer Stelle befestigen, wenn man dafür sorgt, daß die Oberfläche im Gefäß  $G$  immer auf konstanter Höhe bleibt. Dies ist beispielsweise dadurch zu erreichen, daß man diesem Gefäß eine Überlauföffnung gibt und das Manometergefäß stets bis zu dieser Überlauföffnung gefüllt erhält.

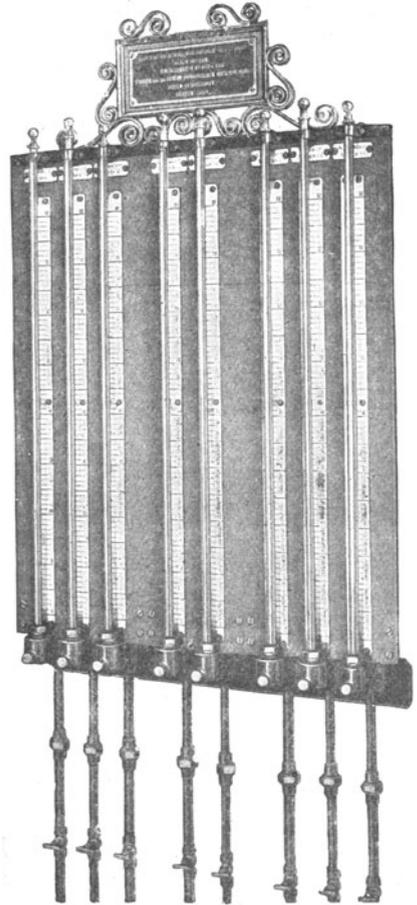
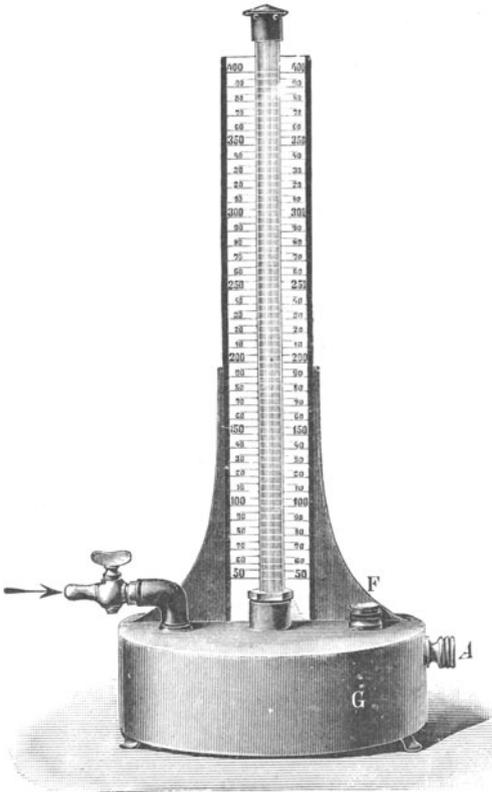
In Fig. 85 ist ein einschenkeliges Manometer von Elster wiedergegeben.  $F$  ist die Füllöffnung für das Gefäß  $G$  und  $A$  die Verschlussschraube der Überlauföffnung.

Fig. 86 zeigt eine Anordnung der Berlin-Anhaltischen Maschinenbau-Aktiengesellschaft, bei welcher eine Anzahl derartiger einschenkeliger

Manometer zu einer Manometertafel vereinigt ist. Die in dieser Art ausgeführten Manometer haben den Nachteil, daß die Teilung der Skala nicht mit dem Nullpunkt beginnen kann, weil derselbe innerhalb des Gefäßes zu liegen kommt. Es ist deshalb zweckmäßiger, auch bei den Manometertafeln die Anordnung so zu treffen, wie dies Fig. 79 b veranschaulicht, indem man den Gasdruck nicht auf das Manometergefäß, sondern auf die Rohre  $r$

Fig. 86.

Fig. 85.



wirken läßt. Der Nullpunkt liegt dann oben, und die Teilung der Skala geht von oben nach unten. Diese Anordnung hat den weiteren Vorteil, daß sämtliche Manometerrohre ein gemeinsames Niveaugefäß  $G$  besitzen, so daß nicht jedes einzelne durch Wassernachfüllen auf den Nullpunkt eingestellt werden muß.

Eine sehr praktische Form eines einschenkeligen Manometers hat Lux angegeben. Wie Fig. 87 zeigt, besteht dasselbe aus einem gläsernen Gefäß, das unten seitlich das Manometerrohr angeschmolzen erhält. Dadurch wird ermöglicht, auch den Nullpunkt der Skala sichtbar zu machen. Ein Röhrchen,

welches innerhalb des Niveaugefäßes in die Röhre geführt ist, läßt den Gasdruck von unten eintreten, so daß die Verlängerung dieses Röhrchens gleich als Fuß des Manometers benutzt werden kann. Das Niveaugefäß dieser einschenkeligen Manometer darf allerdings nicht zu klein sein, da sonst der Vorteil, daß möglichst die ganze Anzeige auf dem einen Schenkel abgelesen werden kann, verloren geht. Indessen braucht man in der Größe des Gefäßes nicht zu weit zu gehen, wie folgende Überlegung zeigt.

Beträgt das Verhältnis der lichten Durchmesser des Gefäßes und des Manometerrohres  $x$ , so ist das Verhältnis der Querschnitte  $x^2$ . Steigt nun die Flüssigkeit im Manometerrohr um die Höhe  $D_b$ , so sinkt die

Fig. 87.



Flüssigkeit im Niveaugefäß um die Höhe  $\frac{D_b}{x^2}$ . Die Differenz in der Höhe der beiden Flüssigkeitsspiegel, die dem wirklichen Gasdruck  $D_w$  entspricht, ist somit:

$$D_w = D_b + \frac{D_b}{x^2}.$$

Daraus berechnet sich  $D_b$ :

$$D_b = D_w \frac{x^2}{1 + x^2}.$$

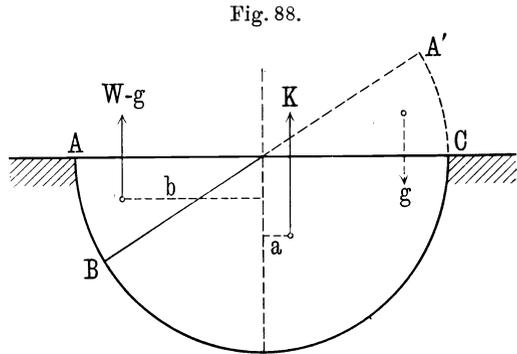
Nach dieser Formel ergibt sich für das Verhältnis der Durchmesser  $x = 1$ ,  $D_b = 0,5 \cdot D_w$ , d. h. die Anzeige beträgt 50 Proz. des wirklichen Druckes. Für das Durchmesser Verhältnis  $x = 2$  erhält man bereits 80 Proz. des wirklichen Druckes als Anzeige, und wenn das Niveaugefäß den dreifachen Durchmesser hat wie das Manometerrohr, so beträgt die Anzeige bereits 90 Proz. Bei einer weiteren Vergrößerung des Manometergefäßes kann somit die Anzeige nicht mehr wesentlich vergrößert werden. Überdies haben wir bereits gesehen, daß man durch Wahl einer Flüssigkeit von geringerem, spezifischem Gewicht die Anzeige vergrößern kann. Wählt man z. B. Petroleum anstatt Wasser, so beträgt zufolge des spezifischen Gewichtes von 0,8 die Anzeige  $\frac{1}{0,8}$  mal mehr als der wirkliche Druck. Wählt man also ein Gefäß vom doppelten Querschnitt des Manometerrohres, das 80 Proz. der Anzeige an der Skala wiedergibt, mit Petroleumfüllung, so erhält man für je 1 mm Wassersäulendruck einen Ausschlag von 1 mm an der Skala.

Auch diese Luxschen Manometer kann man zu ganzen Manometertafeln vereinigen.

Um richtige Ablesungen machen zu können, ist es natürlich erforderlich, die Füllung des Niveaugefäßes auf konstanter Höhe zu erhalten und das dort verdampfende Wasser zu ersetzen. Dies kann entweder kontinuierlich geschehen, indem man etwas Wasser fortdauernd hinzutropfen läßt und den Überschuß aus der Überlauföffnung ableitet, oder aber man verwendet Vorrichtungen zur Konstanthaltung des Nullpunktes, die nur teilweise eine Ergänzung des verdampfenden Wassers erfordern. Eine solche Vorrichtung ist z. B. der Elstersche Halbzylinderschwimmer (Fig. 88). Es ist dies ein niedriger Zylinder, dessen Grundfläche ein Halbkreis ist. Dieser hohle Halbzylinder wird um seine Achse drehbar aufgehängt. An der Luft hängt er dann natürlich im Gleichgewicht, wie dies die Zeichnung andeutet, mit seiner

ganzen Masse nach abwärts. Ist das Gewicht des Materials so gewählt, daß der ganze Körper auf Wasser schwimmt, so wird der Halbzyylinder, wenn man ihn um seine Achse drehbar gänzlich unter Wasser setzt, die umgekehrte Lage einnehmen, indem er sich mit seinem ganzen Volumen oberhalb des Drehpunktes einstellt. Taucht man den Halbzyinderschwimmer nur teilweise in Wasser ein, so wird seine Lage eine schräge sein, indem der Auftrieb des eintauchenden Teiles dann ebenso groß sein muß, wie das Gewicht des herausragenden Teiles. Je tiefer ein solcher Schwimmer unter das Wasser eintaucht, desto mehr Wasser wird von diesem verdrängt. Bringt man also diesen Schwimmer in ein Gefäß, derart, daß er teilweise eintaucht, drehbar an der Achse aufgehängt, und drückt man den herausragenden Teil gewaltsam unter Wasser, so steigt das Wasserniveau in dem Gefäß zufolge des von dem Schwimmer verdrängten Volumens; umgekehrt sinkt das Wasserniveau, wenn man den Schwimmer weiter aus dem Wasser herausdreht. Man kann nun durch Wahl bestimmter Blechstärken das Gewicht des Schwimmers derart einrichten, daß er auf alle Fälle so tief in das Wasser einsinkt, daß das Wasserniveau durch den Drehpunkt geht.

Die folgende Überlegung zeigt, wie groß das Gewicht des Schwimmers sein muß, um diese Bedingung zu erfüllen. Wir denken uns den Schwimmer in zwei Teile zerlegt, nämlich in den Teil  $AOB$  und  $BOC$ . Der Auftrieb des



Teiles  $AOB$  berechnet sich aus dem verdrängten Wasservolumen dieses Teiles, das wir mit  $W$  bezeichnen wollen, vermindert um das Gewicht  $g$  dieses Teiles. Der Auftrieb des Teiles  $AOB$  ist also  $W - g$ . Der Auftrieb des größeren Teiles  $BOC$  sei mit  $K$  bezeichnet. Wir müssen nun die Drehmomente berücksichtigen, welche hier entstehen. Der Einfachheit halber wollen wir annehmen, daß der Angriffspunkt des Auftriebes mit dem Schwerpunkt zusammenfällt. Die Entfernung des Schwerpunktes des Teiles  $AOB$  von der durch den Drehpunkt  $O$  gehenden Vertikalen sei  $b$ . Die Entfernung des Schwerpunktes des großen Teiles  $BOC$  von dieser Vertikalen sei  $a$ . Soll nun der Schwimmer in horizontaler Lage in Ruhe sein, wenn das Wasserniveau ihn gerade bedeckt, d. h. also durch seinen Drehpunkt  $O$  geht, so muß das durch den kleinen Teil hervorgerufene Drehmoment ebenso groß sein, als das durch den großen Teil hervorgerufene entgegengesetzt wirkende Drehmoment. Es muß also sein:

$$(W - g) \cdot b = Ka.$$

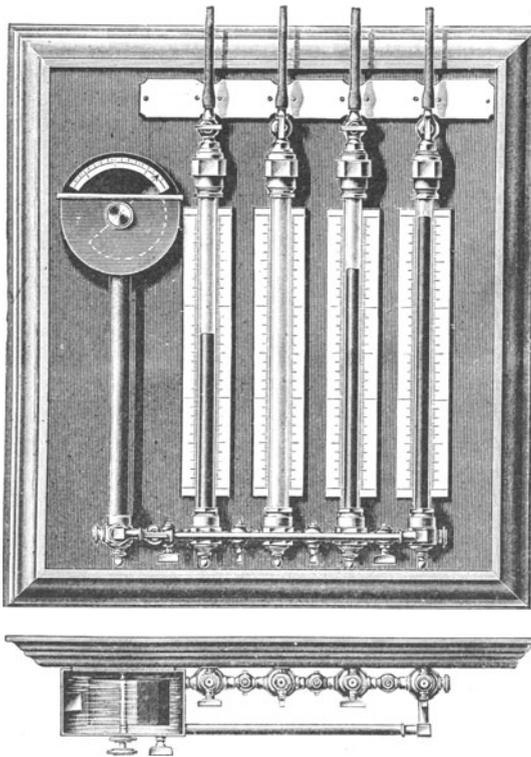
In geneigter Stellung nehme der Schwimmer die Lage  $BCA'O$  ein. Es ist dann der herausragende kleinere Teil  $OCA'$  kongruent mit dem früher genannten kleinen Teil  $AOB$ . Wenn nun die Schwerkraft in demselben Punkt angreift, wie der Auftrieb, und das Gewicht des kleinen Teiles  $g$  ist, so wird Gleichgewicht herrschen, wenn das durch den Auftrieb des großen Teiles

hervorgerufene Drehmoment  $Ka$  ebenso groß ist, wie das durch das Gewicht des herausragenden kleinen Teiles hervorgerufene Drehmoment  $gb$ . Es muß also sein:  $Ka = gb$ . Aus diesen beiden Gleichungen ergibt sich:

$$gb = (W - g) \cdot b \quad \text{und} \quad g = \frac{W}{2},$$

d. h. das Gewicht des herausragenden Teiles muß gleich dem Gewicht des halben verdrängten Wasservolumens sein. Dies ist der Fall, wenn das spezifische Gewicht der ganzen Masse des Schwimmers 0,5 beträgt. Unter diesen Umständen steht der Halbzylinderschwimmer in allen beliebigen Lagen im

Fig. 89.



Gleichgewicht, wenn das Wasserniveau durch seine Drehachse geht. Sinkt nun das Niveau, so wird das Gewicht des herausragenden Teiles größer und der Schwimmer sinkt daher tiefer in das Wasser hinein. Durch das verdrängte Wasser steigt das Niveau und es tritt Gleichgewicht erst dann ein, bis das Niveau wieder durch die Drehungsachse  $O$  geht. Umgekehrt hebt sich der Schwimmer aus dem Wasser heraus, wenn man Wasser nachfüllt. Es darf jedoch nur so viel Wasser nachgefüllt werden, bis der Schwimmer in umgekehrter Lage vollständig nach oben gerichtet steht, denn einen weiteren Wasserüberschuß könnte der Schwimmer durch Drehung nicht mehr ausgleichen.

Eine Manometertafel, welche ein solches Niveaugefäß mit Elsterschem Halbzylinderschwimmer trägt, ist in Fig. 89 wiedergegeben.

Eine andere Methode, die Höhe des Wasserspiegels im Ausgleichsgefäß konstant zu halten, ist von Kurz-Rietschel und Henneberg angegeben worden. Wenn das Wasser im Niveaugefäß verdunstet, so wird das letztere leichter. Hängt man es an einem Wagebalken auf, so wird es in dem Maße, wie das Wasser verdunstet, durch ein am anderen Ende des Wagebalkens angebrachtes Gewicht in die Höhe gehoben. Man kann nun dem Gefäß eine solche Form geben, daß der Hub genau der Höhe des verdunsteten Wassers entspricht. Dieses Gefäß wird, wie Fig. 90 andeutet, mittels eines Schlauches mit der Manometertafel verbunden, so daß die Beweglichkeit gesichert ist.

In vielen Fällen ist es erwünscht, ein Signal zu erhalten, im Falle der Druck eine bestimmte Höhe über- oder unterschreitet. Apparate, die dazu dienen, nennt man Alarndruckmesser. Am leichtesten läßt sich dies mittels eines elektrischen Kontaktes, durch den eine Klingel in Tätigkeit gesetzt wird, erzielen. Wählt man gemäß Fig. 91 ein Manometer mit Quecksilberfüllung, so kann man bei *a* den Strom in das Quecksilber einleiten und durch das andere offene Ende des U-Rohres einen Platindraht einführen, der bis zu der Stelle *b* hinabreicht, die jener Druckhöhe entspricht, bei der das Alarmsignal

Fig. 90.

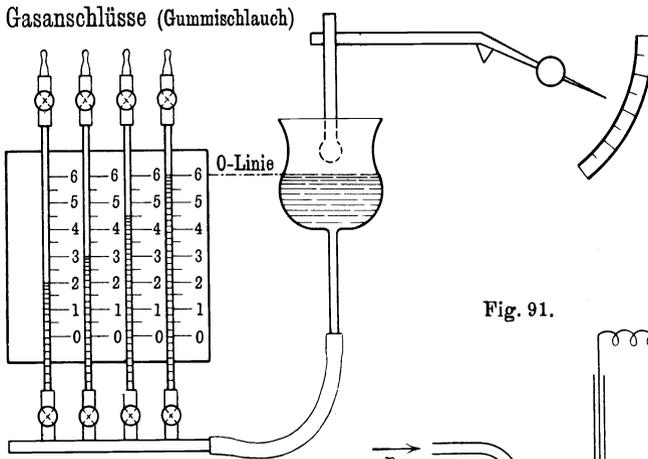
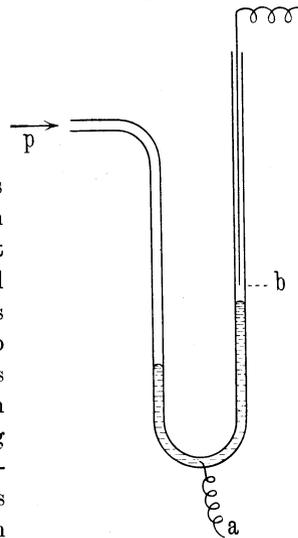


Fig. 91.



in Tätigkeit kommen soll. Sobald das Quecksilber auf diesen Punkt *b* gestiegen ist, schließt sich der elektrische Kontakt und es ertönt das Glockensignal. Will man umgekehrt eine untere Grenze des Druckes alarmierend wirken lassen, so muß der Platindraht in jenen Schenkel des U-Rohres eingeführt werden, in welchem der Gasdruck herrscht. Die Einführung muß dann durch eine Stopfbüchse erfolgen. Kupferdraht ist an Stelle des Platindrahtes nicht verwendbar, weil sich Kupfer mit Quecksilber amalgamiert. Hat man keinen Platindraht verfügbar, so kann man nur Eisen oder Nickel verwenden. Ersteres oxydiert sich leicht und gibt dann mit dem Quecksilber keinen genauen Kontakt.

Fig. 92 zeigt einen Alarndruckmesser, bei welchem der Kontakt auf mechanischem Wege mit Hilfe eines Schwimmers *S*, der an einem Wagebalken *H* hängt, zustande kommt. Die Kontaktscheibe *C* gibt bei einem durch Verschieben der Klemmen *K*<sub>1</sub> und *K*<sub>2</sub> festgesetzten höchsten und niedrigsten Druck den Kontakt.

Wo kein elektrischer Strom angewendet werden kann, kann der ebenfalls von Elster herrührende Alarndruckmesser Fig. 93 angewendet werden. Bei diesem wird mittels eines Schwimmers eine Sperrklinke gehoben, welche

ein durch ein Gewicht angetriebenes Rad freigibt. Letzteres setzt die Alarmglocke in Tätigkeit.

Wie bei allen Meßinstrumenten, so ist es auch bei den Druckmessern von Wichtigkeit, Instrumente zu besitzen, welche die Angaben fortlaufend selbsttätig registrieren. Dazu dienen die sogenannten Druckschreiber oder Druckregistratoren. Es besteht eine größere Anzahl von Systemen. In Fig. 94

Fig. 92.

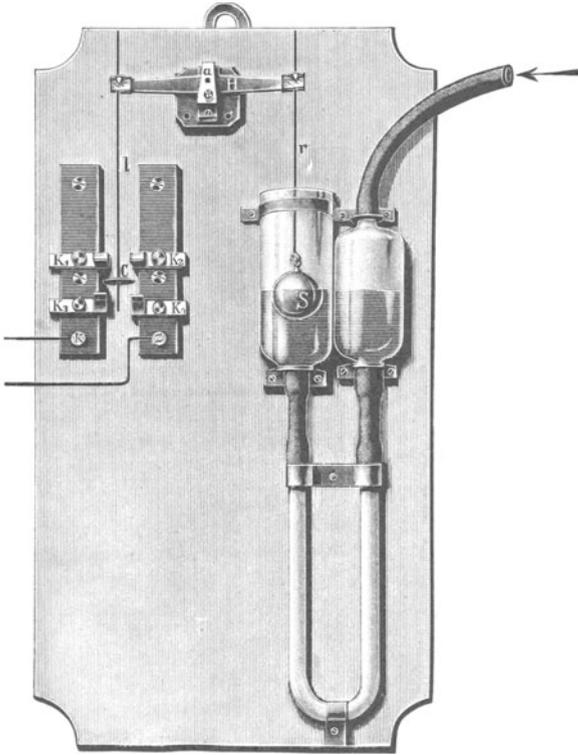
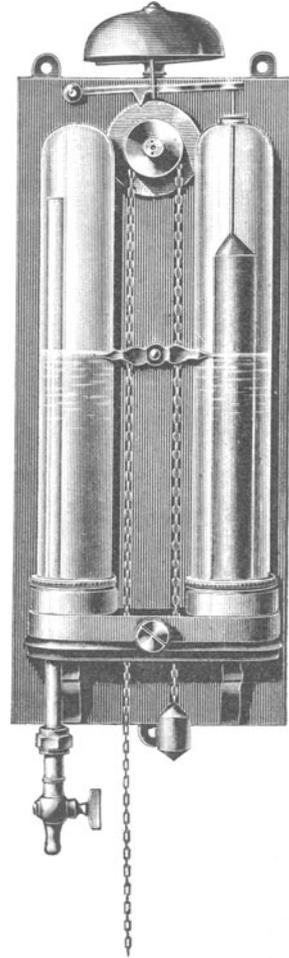


Fig. 93.



ist der Dessauer Druckschreiber, System Tusche, abgebildet. Er besteht aus dem Niveaugefäß *A*, das mit Hilfe der Überlaufschraube *h* auf konstantem Niveau erhalten wird. Dasselbe ist oben abgeschlossen und wird bei *k* an die Rohrleitung angeschlossen, die den zu messenden Druck zuführt. Dieser drückt auf den Wasserspiegel *J* und hebt das Wasser in dem seitlich angeschlossenen Rohre *C* in die Höhe, indem es den Schwimmer *c* mitnimmt. Dieser ist durch das Gegengewicht *g* entlastet und trägt die Schreibfeder *f*. Diese schreibt auf dem von einem Uhrwerk gedrehten Diagrammstreifen *B* den Druck in Millimeter Wassersäule zu jeder Zeit selbsttätig auf.

Largeron <sup>1)</sup> hat einen registrierenden Druckverlustmesser konstruiert, welcher die Aufgabe hat, an irgend welchen Gasproduktionsapparaten den

<sup>1)</sup> Le Gaz., Nov. 1910; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 210.

Druckverlust und somit eventuelle Verstopfungen eines solchen Apparates beständig anzuzeigen bzw. aufzuzeichnen.

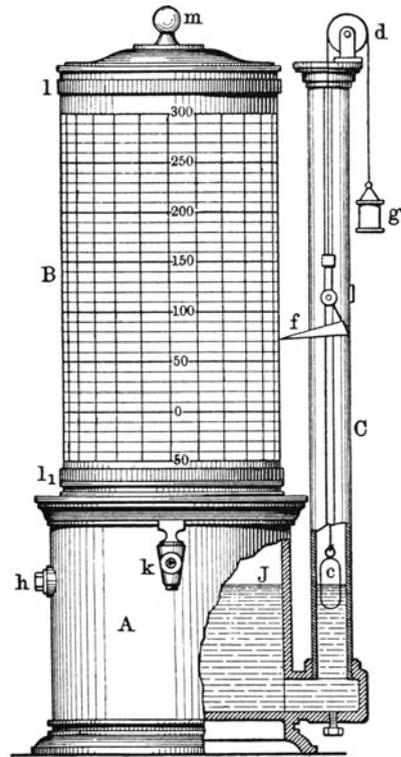
Oft ist es erforderlich, den Druck in genauerem Maße als in Millimeter Wassersäule kennen zu lernen. Dies besonders dann, wenn der gesamte zu messende Druck oder die gesamte Saugwirkung nur wenige Millimeter Wassersäule beträgt, wie dies z. B. beim Schornsteinzug der Fall ist.

Man verwendet dann multiplizierende Manometer. Im nachstehenden seien einige der wichtigsten Prinzipien angegeben, welche hierbei verwendet werden. Es handelt sich darum, eine geringe Steigung des Wasserspiegels

in vergrößertem Maßstabe anzuzeigen. Dies kann z. B. erfolgen, indem man einen Schwimmkörper, der vom Wasserspiegel getragen wird, mittels einer seidenen Schnur, die um eine Welle gewickelt ist, durch ein kleines Gegengewicht entlastet und die Drehung der Welle mit Hilfe eines Zeigers auf ein beliebig großes Zifferblatt überträgt. In dieser Weise wirkt der Kingsche Multiplikator. Die Vergrößerung der Anzeige ist hier durch das Verhältnis des Durchmessers des Zifferblattes zum Durchmesser der Welle gegeben. Beträgt also z. B. der Wellendurchmesser 2 mm, und der Durchmesser des Zifferblattes 200 mm, so erhält man eine hundertfache Vergrößerung des Ausschlages. Um die Welle genügend leicht beweglich zu machen, ist es erforderlich, diese nicht in ein gewöhnliches Lager, sondern in Friktionsrädern zu lagern.

Ein Mittel zur Vergrößerung der Anzeige ist auch durch den Elsterischen Halbzylinderschwimmer, der auf S. 190 erörtert wurde, gegeben. Wir haben gesehen, daß sich derselbe immer derart einstellt, daß das Wasserniveau durch seine Drehungsachse geht. Hat man also zwei kommunizierende Gefäße, von denen eines mit dem Gasdruck in Verbindung steht, während in das zweite der Halbzylinderschwimmer eintaucht, so wird in letzterem das Niveau durch den Schwimmer konstant gehalten. In ersterem senkt sich dagegen das Wasserniveau entsprechend dem darauf lastenden Gasdruck. Dabei wird eine Wassermenge von diesem Gefäß in jenes gedrückt, welches den Halbzylinderschwimmer enthält. Das Wasserniveau steigt jedoch in letzterem nicht, sondern drückt den Schwimmer aus seiner Lage heraus, so daß ein mit diesem verbundener Zeiger an einem Teilkreise den Drehungswinkel des Halbzylinderschwimmers und damit auch die Menge des herübergedrängten Wassers und somit den im anderen Gefäß herrschenden Gasdruck anzeigt. Beträgt das ganze Volumen des Halb-

Fig. 94.



zylinders  $V$  und das herübergedrängte Wasservolumen  $v$ , so ist der dadurch erzielte Drehungswinkel:

$$\alpha = \frac{v}{V} \cdot 180^\circ.$$

Ist der Querschnitt des mit dem Gasdruck in Verbindung stehenden Gefäßes  $Q$  und der Gasdruck in Millimeter  $p$ , so beträgt das verdrängte Wasservolumen:

$$v = Q \cdot p.$$

Daraus ergibt sich dann:

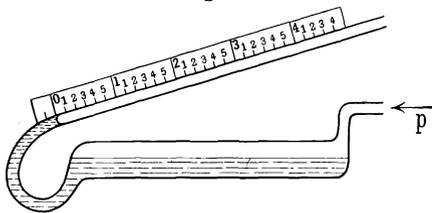
$$p = \frac{\alpha}{180^\circ} \cdot \frac{V}{Q}$$

oder:

$$\alpha = \frac{Q}{V} \cdot p \cdot 180^\circ,$$

d. h. die Vergrößerung des Ausschlages nimmt proportional dem Querschnitt des Gefäßes, welches den Gasdruck aufnimmt, und umgekehrt proportional

Fig. 95.



dem Volumen des Halbzylinderschwimmers zu. Ein Nachteil dieser Konstruktion liegt darin, daß der Schwimmer nur dann eine richtige Lage einnimmt, wenn der herausragende Teil nicht mit Wasser benetzt ist. Benetzung tritt aber ein, wenn zufolge einer Druckerhöhung der Schwimmer aus dem Wasser

heraussteigt. Man muß daher, um genaue Ablesungen machen zu können, so lange warten, bis der Schwimmer wieder getrocknet ist. Anderenfalls wird die Anzeige durch das Gewicht des anhaftenden Wassers zu gering.

Ein anderes Mittel, die Angaben eines einfachen Manometers zu vergrößern, besteht darin, das Manometer schräg zu legen. Die Vergrößerung der Anzeige ist dann umgekehrt proportional dem Sinus des Neigungswinkels gegen die Horizontale. Ein solches schrägliegendes zweischenkeliges Manometer ist zuerst von Scheurer-Kestner angegeben worden. Selbstredend können dabei auch einschenkelige Manometer verwendet werden. Eine praktische Form, die in Fig. 95 dargestellt ist, ist von Schuhmacher angegeben worden. Noch zweckmäßiger für genaue Messungen ist das Krellsche Mikromanometer (Fig. 96 a). Hier ist an eine Dose  $a$  ein schwach geneigtes Glasrohr  $c$  angeschlossen, welches die Skala trägt. Die Neigung und dementsprechend die Vergrößerung des Ausschlages beträgt je nach Wunsch 1:10 bis 1:200. Man kann den Gasdruck entweder auf die Dose oder auf das Manometerrohr oder auch auf beide wirken lassen, so daß sich das Instrument auch zur Messung von Druckdifferenzen verwenden läßt. Will man am selben Instrument sowohl sehr geringe als auch hohe Drucke ablesen können, so verwendet man gebogene Meßrohre gemäß Fig. 96 b, zweckmäßig ist es, beide Schenkel des Manometers mit einem gekuppelten Hahnpaar zu verbinden, wie dies in Fig. 96 a und b angedeutet ist, damit man durch eine Handbewegung den Druck gleichzeitig auf beide Seiten des Manometers zur Wirkung bringt. Natürlich muß das Instrument stets genau horizontal aufgestellt

werden, zu welchem Zwecke dasselbe zwei Wasserwagen und drei Stellschrauben besitzt. Das Krellsche Instrument erfordert also eine feste, unbewegliche Aufstellung, am besten auf einer Konsole an der Wand oder auf einem feststehenden Tisch. Es ist also nicht geeignet, um geringe Drucke an verschiedenen Orten rasch zu messen, wie dies bei den Untersuchungen von Feuerungsanlagen häufig notwendig ist.

Für solche Zwecke eignet sich besser der Segersche Zugmesser (Fig. 97). Die beiden Schenkel eines zweiseitenigen Manometers sind oben erweitert

Fig. 96 a.

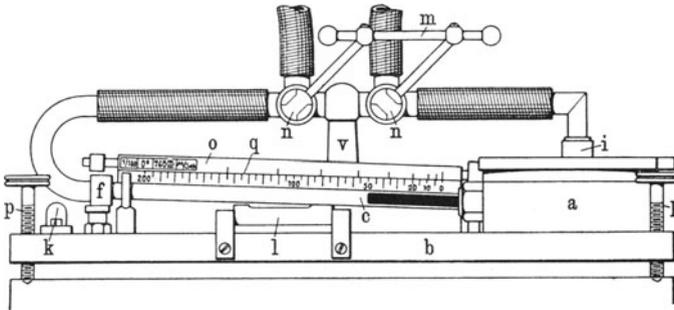
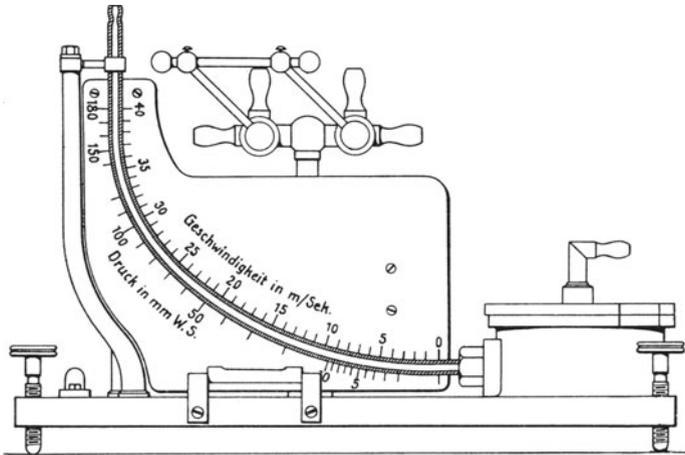


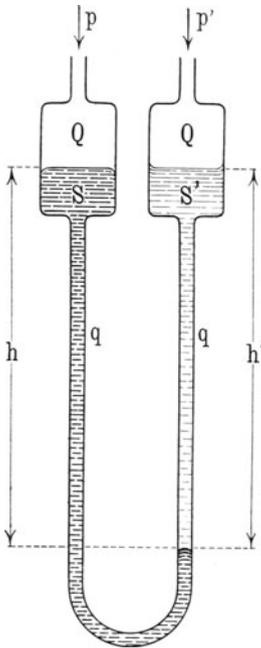
Fig. 96 b.



und mit zweierlei Flüssigkeiten erfüllt, die sich nicht miteinander mischen, und deren spezifisches Gewicht möglichst wenig verschieden ist. Es ist nicht möglich, zwei Flüssigkeiten von genau gleichem spezifischen Gewicht zu wählen, weil sich diese nicht übereinander schichten würden. Setzen wir aber einmal der Einfachheit halber voraus, die spezifischen Gewichte wären gleich und belasten wir die beiden Flüssigkeitsoberflächen mit zwei verschiedenen Drucken  $p$  und  $p_1$ , so werden sich die beiden Oberflächen genau wie bei jedem anderen Manometer auf eine Niveaudifferenz einstellen, die der Druckdifferenz  $p - p_1$  entspricht. Könnten wir in der Flüssigkeitssäule, welche sich in den engen Rohren des Manometers befindet, eine Marke anbringen, so würde diese Marke die Verschiebung anzeigen, welche die Flüssig-

keit in diesem engen Teil durchmacht. Eine solche Marke ist nun durch die Trennungsfläche der beiden Flüssigkeiten gegeben. Die Verschiebung, welche diese Marke durchmacht, ist von dem Verhältnis der Querschnitte im weiten und im engen Teile des Manometers abhängig. Sei der Querschnitt des weiten Teiles  $Q$  und der Querschnitt des engen Teiles  $q$ , so ergibt sich die Vergrößerung des Ausschlages, welcher durch die Verschiebung der Trennungsfläche angezeigt wird, aus dem Querschnittsverhältnis  $Q$ . Wir hätten es also in der Hand, durch Wahl sehr großer Gefäße  $Q$  mit einem sehr engen Verbindungsrohr  $q$  die Anzeige beliebig zu vergrößern, wenn die spezifischen Gewichte der beiden Flüssigkeiten gleich wären. Dies ist jedoch, wie erwähnt, nicht zulässig. Auch schon bei großer Annäherung der spezifischen Gewichte

Fig. 97.



behält der Meniskus der Trennungsfläche nicht stets seine gleiche Form, und dies verursacht zufolge der Oberflächenspannung, welche an der Grenze der beiden Flüssigkeiten herrscht, einen Fehler. Da wir es nun umgekehrt in der Hand haben, das Querschnittsverhältnis beliebig groß zu wählen, so wollen wir den Fall betrachten, wenn dieses Verhältnis unendlich groß wird und die beiden Flüssigkeiten verschiedene spezifische Gewichte  $S$  und  $S'$  besitzen. In dem unteren U-förmigen Teile unterhalb der Trennungsfläche der beiden Flüssigkeiten, d. i. unterhalb der punktierten Linie in Fig. 97, herrscht Gleichgewicht in beiden Schenkeln, somit brauchen wir diesen Teil nicht zu berücksichtigen. Oberhalb der punktierten Linie lastet in der Höhe der Trennungsfläche auf der einen Seite die Flüssigkeitssäule von der Höhe  $h$  und von dem spezifischen Gewicht  $S$ , und außerdem der Gasdruck  $p$ . Auf der anderen Seite lastet eine Flüssigkeitssäule von der Höhe  $h'$  und dem spezifischen Gewicht  $S'$  und der Gasdruck  $p'$ . Wenn das ganze System im Gleichgewicht ist, so ist zu setzen:

$$h \cdot S + p = h' \cdot S' + p'.$$

Bei unendlich großem Querschnittsverhältnis tritt eine Verschiebung der oberen Oberfläche der Flüssigkeiten nicht ein, sondern es verschiebt sich nur die Trennungsfläche. Es ist daher  $h$  gleich  $h'$  zu setzen. Und wir haben somit:

$$hS + p = h'S' + p'$$

oder:

$$p - p' = h \cdot (S' - S).$$

Es ergibt sich somit die Anzeige:

$$h = \frac{p - p'}{S' - S}.$$

Die Größe der Anzeige ist also proportional der Druckdifferenz und umgekehrt proportional der Differenz der spezifischen Gewichte. Haben wir z. B. zwei Flüssigkeiten von dem spezifischen Gewicht 1,0 und 0,9, so ist die

Differenz der spezifischen Gewichte 0,1 und daher die Vergrößerung des Ausschlages eine zehnfache.

Als Flüssigkeiten, welche hier in Betracht kommen, ist am besten Petroleum und mit Crocein rot gefärbter Alkohol zu verwenden; öfter nimmt man konzentrierte Karbolsäure, die mit Wasser überschichtet wird. Es löst sich dann etwas Wasser in der konzentrierten Karbolsäure auf, und umgekehrt, löst sich etwas Karbolsäure in Wasser auf, es bleiben jedoch zwei getrennte Flüssigkeiten vorhanden. Durch Methylorange kann man die konzentrierte Karbolsäure rotgelb färben, so daß die Trennungsfäche deutlich sichtbar wird.

Die für diese Manometer verwendeten Gläser müssen stets vollständig rein gehalten werden, da selbst ein geringer Staubansatz den Meniskus an der Trennungsfäche stark stört und dadurch die Anzeige wegen der geänderten Oberflächenspannung ungenau macht.

Ein anderes Mittel zur Erzielung stark vergrößerter Anzeigen bei geringen Druckdifferenzen haben wir in der Anwendung von Gasglocken (Fig. 98). Würden wir eine Glocke in Wasser eintauchen lassen, welche aus einem verschwindend dünnen Blech besteht, so würde der Druck, welcher im Inneren der Glocke herrscht, wenn die Glocke im Wasser schwimmt, den Druck der Atmosphäre um so viel übersteigen müssen, daß der Überdruck das ganze Gewicht der Glocke zu tragen vermag. Ist dieser Überdruck  $p$

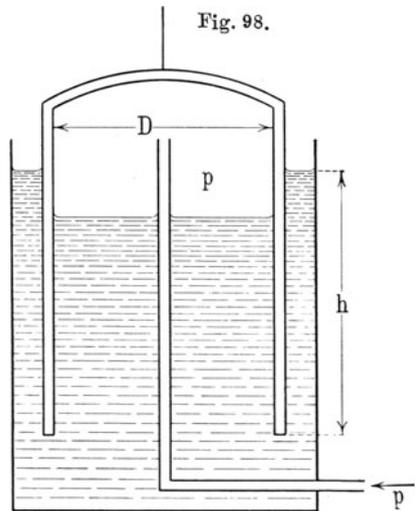
und der Querschnitt der Glocke  $Q = D^2 \frac{\pi}{4}$ , ferner das Gewicht der Glocke  $G$ , so wird

die Glocke dann schwimmen, wenn  $Qp = G$  ist. In diesem Falle wird die Glocke in jeder Höhenlage im Gleichgewicht sein. Wird der Überdruck  $p$  nur um ein Minimum verringert, so würde die Glocke gleich ganz bis in ihre unterste Stellung sinken, das in ihr befindliche Gas verdrängend. Würde umgekehrt der Überdruck  $p$  nur um ein geringes größer sein, als dem Gewicht der Glocke entspricht, so würde die Glocke gleich ganz in die Höhe steigen, indem durch das Gasleitungsrohr das zur Füllung der Glocke erforderliche Gas nachströmen würde. Eine solche Glocke ließe sich also zur Druckmessung nicht verwenden. Anders steht der Fall jedoch, wenn die Glocke eine meßbare Wandstärke, die wir mit  $\delta$  bezeichnen wollen, hat, dann wird das Gewicht der Glocke nach dem Archimedischen Prinzip vermindert um das Gewicht jenes Volumens Wasser, welches von der Glockenwandung verdrängt wird. Sei dieses Gewicht  $g$ , so haben wir zu setzen:

$$Qp = G - g.$$

Wir haben aber ferner zu setzen, wenn wir Wasser als Absperrflüssigkeit wählen und die Glocke bis zur Höhe  $h$  in das Wasser eintaucht, als Gewicht der verdrängten Wassermasse:

$$g = hD\pi\delta.$$



Aus diesen beiden Gleichungen ergibt sich die Höhe, bis zu welcher die Glocke in das Wasser eintaucht:

$$h = \frac{G - Qp}{D\pi\delta}.$$

Haben wir einen anderen Druck  $p_1$  in der Glocke, so wird die Tauchhöhe ebenso

$$h_1 = \frac{G - Qp_1}{D\pi\delta}.$$

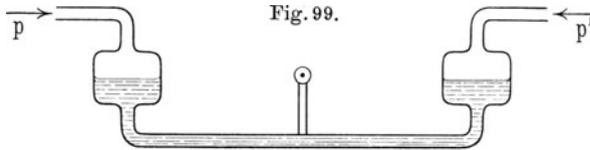
Die Höhendifferenz im Stande der Glocke  $h - h_1$  berechnet sich also, da  $Q = \frac{D^2\pi}{4}$ , aus der Drucksteigerung  $p_1 - p$  nach der Formel:

$$h - h_1 = \frac{D}{4\delta} \cdot (p_1 - p).$$

Dies drückt also den Ausschlag aus, den das Instrument liefert, wenn der Druck um eine bestimmte Größe zunimmt. Nehmen wir z. B. eine kleine Glocke von 100 mm Durchmesser und 1 mm Wandstärke, so erhalten wir bei einer Drucksteigerung um  $p_1 - p = 1$  mm eine Steigung der Glocke

$$h - h_1 = \frac{100}{4} = 25 \text{ mm.}$$

Taucht die Glocke nicht in Wasser, sondern in eine andere Flüssigkeit, so ist zu berücksichtigen, daß der Gewichtsverlust der Glocke  $g$  beim Eintauchen



sich aus der obigen Formel berechnet, indem man noch mit dem spezifischen Gewicht der betreffenden Flüssigkeit zu multiplizieren hat. Daraus ergibt sich dann, daß der Ausschlag umgekehrt proportional dem spezifischen Gewicht der Flüssigkeit zunimmt. So werden wir z. B. bei Quecksilber als Absperrmittel nur den rund 14. Teil des oben berechneten Anstieges erhalten.

Diese Glockenmanometer haben den gleichen Übelstand wie die multiplizierenden Manometer mit Elsterschem Halbzylinderschwimmer, daß nämlich beim Heraussteigen der Glocke das anhängende Wasser die Anzeige fehlerhaft macht, weil es das Gewicht der Glocke vergrößert. Bei der Wahl von Quecksilber als Sperrflüssigkeit würde dieser Übelstand zwar entfallen, aber man erhält hierbei nur eine geringe Vergrößerung des Ausschlages. Ein anderer Übelstand ist noch der, daß die Glocke eine Führung erhalten muß, da sie sich sonst an eine Wand des Gefäßes anlegen würde, und diese Führung ist mit Reibungsverlusten verbunden.

Eine Vergrößerung des Ausschlages kann man auch erhalten, wenn man das Manometer als einen um einen Punkt drehbaren Wagebalken ausgestaltet, wie dies Fig. 99 zeigt. Wirkt auf das eine Gefäß der Druck  $p$  und auf das andere der Druck  $p'$ , so würde dadurch die Flüssigkeit in dem einen Gefäß um  $p - p'$  gehoben und in dem anderen Gefäß um die gleiche Größe gesenkt, wenn der Wagebalken feststehen würde. Ist er jedoch beweglich, so wird das vermehrte Gewicht in dem einen Gefäß den Wagebalken auf dieser Seite zum Sinken bringen, und es würde sich der Flüssigkeitsspiegel dadurch

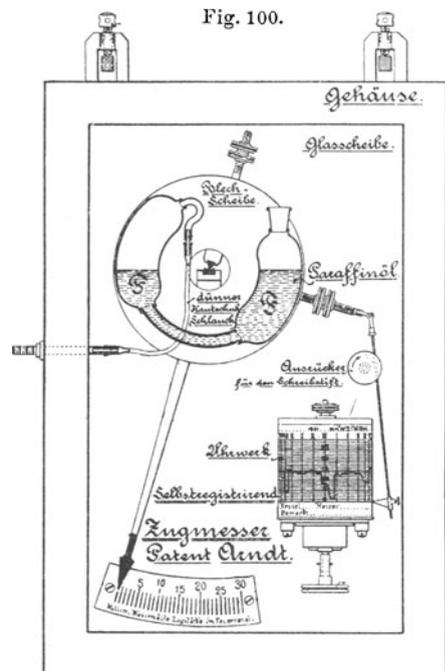
senken. Da jedoch die Druckdifferenz erhalten bleibt, so wird er neuerdings auf die ursprüngliche Höhe gehoben, wodurch eine neue Gewichtsvermehrung stattfindet. Wäre der Wagebalken in indifferentem Gleichgewicht aufgehängt, so könnte hierbei eine Gleichgewichtslage überhaupt nicht erreicht werden, d. h. bei einer ganz geringen Druckdifferenz würde schon ein außerordentlich großer Ausschlag erzielt. Liegt jedoch der Schwerpunkt des ganzen Systems unterhalb des Aufhängepunktes, so entsteht in dem Moment, wo der Wagebalken eine geneigte Stellung einnimmt, ein Drehmoment, welches ihn in die Ruhelage zurückzudrehen sucht. Dagegen bewirkt die Differenz der Gewichte der beiden Gefäße, welche durch den Übertritt der Flüssigkeit hervorgerufen ist, ein nach der entgegengesetzten Seite gerichtetes Drehmoment, und Gleichgewicht tritt dann ein, wenn diese beiden Drehmomente gleich groß sind.

Ein auf dieses Prinzip gegründetes Manometer ist der Arndtsche Zugmesser (Fig. 100). Die Konstruktion desselben ist nach dem oben Gesagten ohne weiteres verständlich. Die Zuführung des Gasdruckes zu dem beweglichen Teile erfolgt mit Hilfe eines Gummischlauches. Dadurch verliert der Wagebalken teilweise seine freie Beweglichkeit. Es ist jedoch eine andere einfache Gaszuführung, die dem Wagebalken seine Beweglichkeit vollständig erhalten würde, bisher nicht ausfindig gemacht worden. Instrumente, welche

auf eine solche Anordnung gegründet sind, leiden ebenfalls an dem Mangel, daß das Gefäß mit Flüssigkeit benetzt bleibt, wenn der Flüssigkeitsspiegel sinkt. Das hierdurch veränderte Gewicht bedingt eine Ungenauigkeit der Anzeige.

Unter die Glockenmanometer gehört auch der Dürrsche Zugmesser. In einem Gehäuse, das durch die Füllöffnung bis zum Überlauf mit Paraffinöl gefüllt ist, schwimmt die Glocke, die an einem drehbaren Hebelarm befestigt ist. Ein Gegengewicht dient zur Entlastung. Das Innere der Glocke kommuniziert durch ein Rohr mit dem Raume, dessen Zugwirkung gemessen werden soll. Dementsprechend steigt die Flüssigkeit im Inneren der Glocke in die Höhe und die Glocke wird herabgezogen. Die Drehung, welche die Achse macht, wird durch ein Zahnradsegment auf eine mit einem Zahnrad versehene Achse in der Mitte des Gehäuses übertragen, so daß ein daran befestigter Zeiger eine stark vergrößerte Anzeige jeder Bewegung der Glocke ergibt.

Die vielfachen Schwierigkeiten, welche bei der Konstruktion von multiplizierenden Manometern, die mit Flüssigkeiten arbeiten, auftreten, legen den Gedanken nahe, metallene Kapseln aus gewelltem Blech, wie sie bei Aneroid-



barometern Verwendung finden, auch auf Manometer für geringe Drucke anzuwenden. Da es sich hier jedoch nur um sehr geringe Druckdifferenzen handelt, müssen die Wellblechkapseln aus dünnerem Blech gefertigt sein oder einen größeren Durchmesser besitzen. Die Zusammenziehung oder Ausdehnung, welche die Kapsel erfährt, wenn ihr Inneres unter Druck oder Saugwirkung steht, muß durch eine entsprechende multiplizierende Vorrichtung auf ein Zeigerwerk übertragen werden. Eine solche Konstruktion ist von Eckardt in Stuttgart ausgeführt worden. Die Wirkungsweise ist aus Fig. 101 ersichtlich. Die Wellblechkapsel *a* steht durch das Rohr *b* mit dem zu messenden Raume in Verbindung. Durch die Ausdehnung derselben wird mittels des Stiftes *c* der Arm *d* eines zweiarmigen Hebels bewegt, welcher um den Punkt *e* drehbar ist. Der zweite Arm *f* dieses Hebels ist an der Kette *g* befestigt, welche um eine Rolle *h* gewickelt ist, die an der Achse *i* mit dem Zeiger *k* befestigt ist. Eine in der Zeichnung nicht angegebene Spiralfeder hält die Kette gespannt. Die Größe der Multiplikation ist durch das Verhältnis

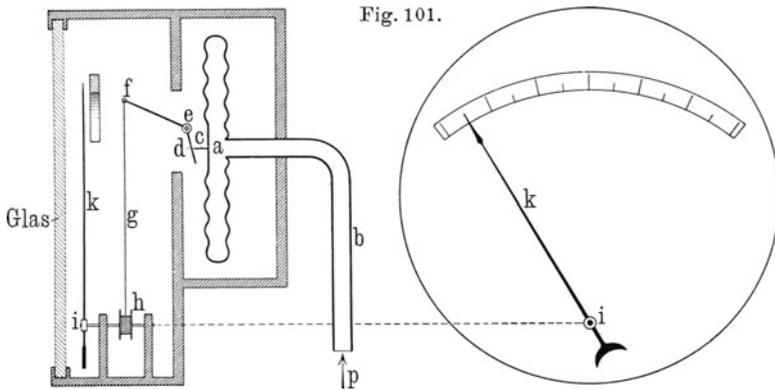


Fig. 101.

der Längen der Hebelarme *f* und *d* und durch das Verhältnis des Durchmessers des Teilkreises, an dem der Zeiger *k* spielt, zum Durchmesser der Rolle *h* gegeben.

Diese Instrumente lassen sich auch zur Messung geringer Druckdifferenzen verwenden und lassen sich auch registrierend ausbilden, wie Fig. 102 zeigt.

Ähnliche Manometer, jedoch in anderer Ausführung, werden von der Firma Jules Richard geliefert (Fig. 103). Eine Ausführung als registrierendes Manometer, wie sie die Firma liefert, ist in Fig. 104 wiedergegeben.

Alle diese Manometer, welche ohne Flüssigkeiten arbeiten, werden als trockene Manometer bezeichnet.

Auf ganz anderem Prinzip beruhen die dynamischen Manometer. Sie messen eigentlich nicht den Druck, sondern die Druckdifferenz, welche entsteht, wenn ein Gas durch eine Öffnung hindurchstreicht. So hat man z. B. Instrumente, bei welchen eine dünne Scheibe in einem konischen Rohre durch den Luftzug schwebend erhalten wird, welcher entsteht, wenn das Manometer an einen Schornstein angeschlossen wird. Die Luft tritt bei der unteren Spitze, zu welcher das Manometer ausgezogen ist, ein und die Menge derselben ist abhängig von der Saugwirkung des Schornsteins. Das Scheibchen wird von der Druckdifferenz schwebend erhalten, welche unter und über demselben herrscht. Da das Gewicht und die Fläche des Scheibchens konstant sind, so

ist auch diese Druckdifferenz in jeder Lage des Scheibchens konstant. Ist nun die Menge der durch die Spitze des Manometers eintretenden Luft eine größere, so wird das Scheibchen höher in die Höhe gehoben, so daß es sich an eine Stelle begibt, wo der Durchmesser des konischen Glasrohres so groß ist, daß bei der konstanten Druckdifferenz, welche das Scheibchen schwebend erhält, eben jene Luftmenge zwischen dem Scheibchen und der Glaswandung hindurchzutreten vermag, welche bei der unteren Öffnung eingesogen wird. Das Scheibchen stellt sich also um so höher ein, je größer die Saugwirkung ist.

Beim Hudlerschen Zugmesser (Fig. 105) bleibt umgekehrt die Größe der Öffnung  $o$  konstant, durch welche die Luft hindurchgesogen wird. Es ändert sich hingegen die Druckdifferenz, da die Platte mit einem Gewicht  $g$  belastet und in den Punkten  $d$  drehbar angeordnet ist. Je mehr sich nämlich die Platte, an

Fig. 102.

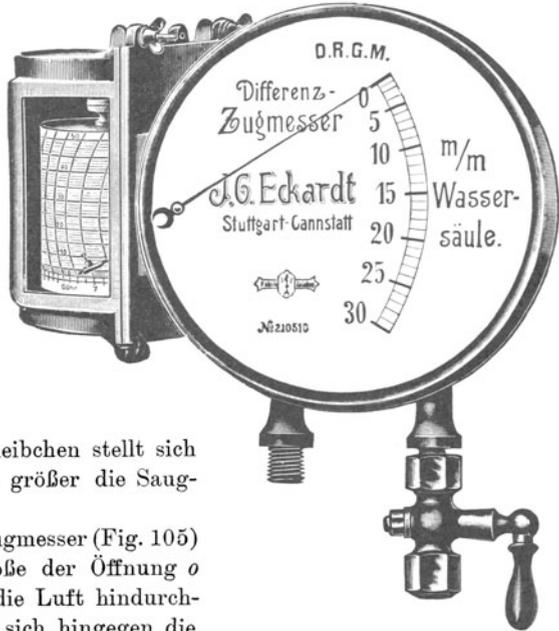


Fig. 103.

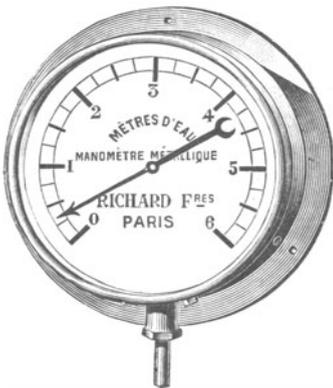
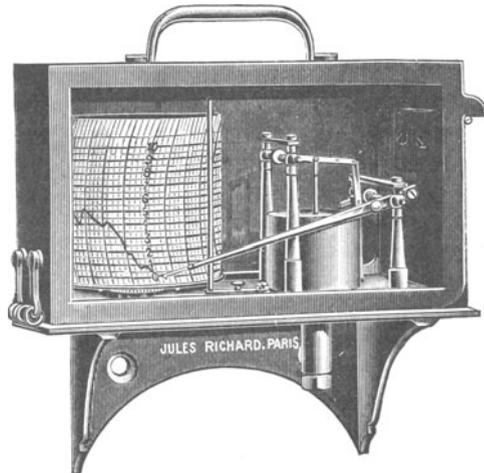


Fig. 104.

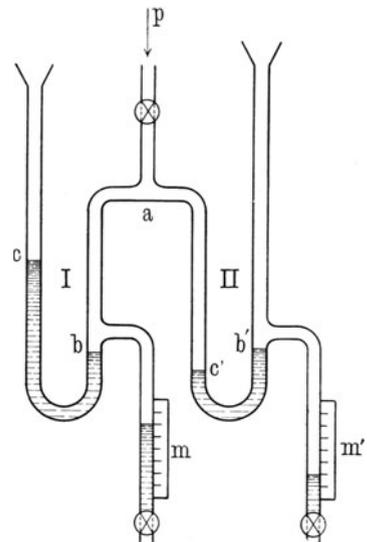
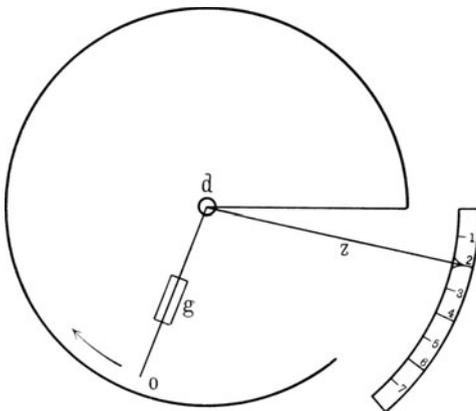


welcher das Gewicht  $g$  sitzt, nach aufwärts bewegt, desto größer wird das Drehmoment, welches sie zurückzieht, d. h. also, je größer die Saugwirkung im Schornsteine ist, desto höher hebt sich diese Platte in die Höhe. Die Größe der Bewegung wird mittels des Zeigers  $z$  an einer Skala abgelesen.

Oft ist es von Wichtigkeit, den höchsten und den niedrigsten Druck kennen zu lernen, der im Laufe einer bestimmten Zeitperiode an einem Apparate geherrscht hat. Ein für diesen Zweck geeignetes, sehr einfaches Maximal- und Minimalmanometer hat ebenfalls Lux angegeben (Fig. 106). Es besteht aus zwei im Punkte *a* zusammengeschmolzenen zweischenkeligen Glasmanometern I und II. Bei *a* ist ferner ein Rohr angesetzt, durch welches der Gasdruck zugeführt wird. Bei *b* und *b'* sind ferner die nach abwärts führenden Rohre *m* und *m'* angefügt. Übersteigt nun der Druck des Gases bei *a* eine gewisse Grenze, so wird im Manometer II bei *b'* so lange Flüssigkeit in das Rohr *m'* abfließen, bis die Niveaudifferenz von *c'* bis *b'* dem herrschenden Gasdruck entspricht. Die abgelaufene Flüssigkeit sammelt sich im Rohre *m'* und deren Menge kann an einer dort angebrachten Skala abgelesen werden. Besitzt das Rohr *m'* den gleichen lichten Durchmesser wie das Rohr *b'*, und

Fig. 106.

Fig. 105.



ist die Füllung des Manometers II so erfolgt, daß im Ruhestande beide Flüssigkeitsspiegel in der Höhe der Marke *b'* stehen, so zeigt der Flüssigkeitsstand in *m'* ohne weiteres den maximalen Druck in Millimeter an, welcher seit der ersten Einstellung des Manometers geherrscht hat. In ganz ähnlicher Weise kann man am Manometer I die maximale Saugwirkung ablesen, wenn man auch dieses bis zur Marke *b* gefüllt hat. Will man jedoch nicht eine Saugwirkung, sondern den geringsten Druck erkennen, der geherrscht hat, so muß man die Flüssigkeit höher auffüllen, und zwar derart, daß die Niveaudifferenz von *c* nach *b* größer ist als das Druckminimum, das überhaupt in Betracht kommt. An den Meßrohren *m* und *m'* sind unten Hähne angebracht, durch welche die übergelaufene Flüssigkeit abgelassen und in die Manometer wieder eingefüllt werden kann, um eine neue Ablesungsperiode beginnen zu können.

Auch Gasdruck-Fernmelder wurden konstruiert, welche gestatten, den Gasdruck auf beliebige Entfernung zur Anzeige zu bringen. Die Beschreibung derselben würde hier jedoch zu weit führen<sup>1)</sup>. Die Zuleitungen zu den Mano-

<sup>1)</sup> Gasdruck-Fernmelder von Baudouin s. Lux, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 103; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1184.

metern sollen niemals zu eng gewählt werden, obwohl theoretisch ja die kleinste Öffnung genügt, um den Druck zu übertragen, da hier keine Strömung des Gases stattfindet, welche einen gewissen Querschnitt benötigt. Die Manometer müssen nämlich häufig an solchen Stellen angeschlossen werden, wo das Gas noch nicht genügend gereinigt ist, und es treten dann Verstopfungen der Manometerleitungen ein. Es sollen daher niemals kleinere Rohre als solche mit  $\frac{1}{2}$  Zoll lichter Weite, an Stellen, wo leicht Verstopfungen eintreten,  $\frac{3}{4}$  Zoll lichter Weite angeordnet werden. Um Verstopfungen leicht beseitigen zu können, sollen an den Stellen, wo die Leitung ihre Richtung ändert, nicht Kniestücke, sondern stets T- oder Kreuzstücke verwendet werden. Ferner ist zu berücksichtigen, daß in den Manometerleitungen Kondensation von Wasser auftreten kann, weshalb die Leitungen ein kontinuierliches Gefälle nach einer Richtung erhalten sollen oder, wo dies nicht möglich ist, an der tiefsten Stelle ein entleerbarer Wassersack anzubringen ist. Bei Leitungen, in denen sich größere Mengen von Wasserdampf kondensieren, kann auch eine kontinuierliche Entleerung vorgesehen werden, indem man ein U-förmig gebogenes Rohr anbringt (Syphon), in welchem sich das Wasser ansammelt und erst bei gewisser Höhe überfließt, ohne Gas austreten zu lassen. Solche Syphons sind jedoch möglichst zu vermeiden, da sie leicht zu Gasausströmungen führen können, wenn das Wasser durch Verdunstung verschwunden oder durch plötzlich auftretenden hohen Druck herausgeworfen wurde. Vorteilhafter ist es daher, solche Entwässerungsleitungen in einen für mehrere Leitungen gemeinsamen, mit Wasser gefüllten Topf zu leiten und dort entsprechend tief eintauchen zu lassen. Der Wasserstand in diesem Topf ist dann täglich zu kontrollieren.

## IV. Technische Gasanalyse.

Es ist hier nicht möglich, die technische Gasanalyse ausführlich zu besprechen, und kann dieselbe nur insoweit erläutert werden, als die betreffenden Methoden im Gaswerksbetriebe häufig zur Anwendung gelangen. Die genaueren Beschreibungen sind den vorhandenen vorzüglichen Werken über Gasanalyse <sup>1)</sup> zu entnehmen.

### 13. Entnahme der Gasproben.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Art, wie die Gasproben entnommen werden. Es muß dafür gesorgt werden, daß wirklich jenes Gasgemisch zur Untersuchung gelangt, welches für den Betrieb maßgeblich ist. Befinden sich z. B. in einer Gasleitung oder in einem Rauchgaskanal Hohlräume, welche nicht ständig vom Gase durchstrichen werden, so sammeln sich dort oft Gasgemische an, deren Zusammensetzung nicht mit jener des Hauptgasstromes übereinstimmt. Es muß also vermieden werden, das Gas aus solchen toten Räumen zu entnehmen. Oft wechseln auch die zu untersuchenden Gasgemische sehr stark, so daß es von Wichtigkeit ist, eine Durchschnittsprobe

---

<sup>1)</sup> Lehrbuch der technischen Gasanalyse von Clemens Winkler, Verlag Felix, Leipzig 1901. Gasanalytische Methoden von Walter Hempel, Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1900.

zur Untersuchung zu bringen. Es ist am besten, von dem zu untersuchenden Gasstrom einen starken Hauptstrom abzuzweigen, und von diesem wieder einen schwachen Nebenstrom abzuleiten, der dann wenigstens einigermaßen genau einen Mittelwert ergibt.

Bei stark wechselnder Zusammensetzung ist es oft erforderlich, eine große Reihe von Analysen nacheinander vorzunehmen, wenn man es nicht vorzieht, einen Teil des Gases während der ganzen Zeitperiode, über die sich die Untersuchung erstrecken soll, in einem kleinen Gasbehälter aufzuspeichern und dann eine einzige Untersuchung auszuführen. Auch hierbei ist jedoch Vorsicht geboten. Oft entstehen die Gase nicht in zeitlich gleichbleibender Menge, und es wird dann durch die gleichbleibende Absaugung kein richtiger Durchschnittswert erzielt. Dies ist z. B. bei allen Feuerungsanlagen der Fall. Dem kann man nur begegnen, wenn man die Geschwindigkeit des Gasstromes in der Hauptleitung kennt (z. B. durch Anwendung eines Pneumometers, Abschn. XII), fortlaufend einzelne Untersuchungen anstellt und dann mit Rücksicht auf die jeweilige Geschwindigkeit das Mittel rechnerisch ausfindig macht.

Zum Zwecke der Entnahme der Gasproben dienen Rohre aus Glas oder Schmiedeeisen oder bei hohen Temperaturen solche aus Porzellan. Dieselben werden in eine Anbohrung des betreffenden Gasrohres oder Gaskanals eingesetzt und ist namentlich bei solchen Gasen, die unter Saugwirkung stehen, wie z. B. bei Rauchgasen, auf vollkommene Dichtheit der Stelle, wo das Rohr eingesetzt ist, zu achten. Dort, wo es sich nur um fallweise Untersuchungen handelt, begnügt man sich mit dem Verkitten der Öffnung; bei ständigen Gasentnahmestellen ist natürlich eine solidere Verdichtungsart zu wählen. Bei der Anwendung von Metallrohren ist deren gutes Wärmeleitungsvermögen zu berücksichtigen. Die Wärmeleitung führt oft zu Übelständen, wenn die Metallrohre mit Kautschukschläuchen in Verbindung gebracht oder mit Korkstopfen in die Öffnung eingesetzt werden. Die Kautschukschläuche werden, wenn sie in dauernder Berührung mit dem warmen Metall sind, weich und schließen dann nicht mehr dicht ab. Bei Gasen von hoher Temperatur verwendet man deshalb oft Metallrohre mit Wasserkühlung; zu diesem Zwecke sind dieselben mit einem weiteren Rohre umgeben, das von Wasser durchflossen ist. Hierbei muß jedoch berücksichtigt werden, daß die durch die Hitze eventuell dissoziierten Gase sich oft zufolge der plötzlichen Abkühlung nicht wieder vereinigen können. Hätte man z. B. reinen Wasserdampf bei einer Temperatur von  $3000^{\circ}\text{C}$  zu entnehmen, so würde man bei der raschen Abkühlung des Gases mit Hilfe einer künstlichen Entnahmevorrichtung nicht reinen Wasserdampf finden, sondern man könnte daneben Wasserstoff und Sauerstoff, welche durch Zerlegung des Wasserdampfes entstanden sind, nachweisen. Anders ist dies bei nicht gekühlten Rohren. Da findet in dem Maße, wie sich die Gase langsam abkühlen, eine allmähliche Wiedervereinigung statt, so daß man nur reinen Wasserdampf finden würde, obwohl derselbe in dem heißen Raume dissoziiert war.

Natürlich ist auch die Stelle eines Apparates, aus welchem das Gas entnommen werden soll, sorgfältig zu wählen, da die Gase oft nicht überall die gleiche Zusammensetzung haben. So z. B. kann bei einer Feuerungsanlage zufolge des undichten Mauerwerks das richtige Resultat durch eindringende Luft stark getrübt werden. Bei Feuerungsanlagen sind daher die Verbrennungsgase stets an der Stelle zu entnehmen, wo die Abgase den zu beheizenden

Körper (Dampfkessel od. dgl.) verlassen. Zweckmäßig ist es auch, die Entnahme an der Stelle des kleinsten Querschnittes des Kanales zu wählen, da dort leichter eine richtige Durchschnittprobe zu erzielen ist. Allgemeine Vorschriften über die Entnahmestelle können jedoch nicht gegeben werden und ist dieselbe eben nach Erwägung aller Umstände festzusetzen.

Bei Gasen, welche unter Druck stehen, ist die Entnahme einfach, da es genügt, das Gas durch den Apparat, in welchem es aufgefangen werden soll, ausströmen zu lassen. Es ist nur zu beachten, daß das Zuleitungsrohr vollständig entlüftet wird. Bei Gasen, die leichter sind als Luft, läßt man das Gas oben in den betreffenden Apparat einströmen und die Luft unten entweichen; bei schweren Gasen hingegen wählt man den umgekehrten Weg. Schwieriger ist die Entnahme, wenn das betreffende Gas unter Saugwirkung steht. Es müssen dann Pumpvorrichtungen angewendet werden, die das Gas herausaugen. Handelt es sich nur um geringe Gasmengen und um nicht giftige Gase, so genügt wohl manchmal das Ansaugen mit dem Munde. Wegen der geringen Gasmengen jedoch, die auf diese Weise angesogen werden können, sind, wo es halbwegs möglich ist, mechanische Saugvorrichtungen anzuwenden. Am besten eignet sich dazu ein kleiner mit Saug- und Druckventil versehener Gummiball, der mit der Hand abwechselnd gedrückt und wieder losgelassen wird. Solche Kautschukpumpen sind im Handel leicht erhältlich. Da jedoch auch in einer solchen Pumpe bei jedem Druck nur einige 100 cm<sup>3</sup> befördert werden können, so kann man, wenn größere Gasmengen angesogen werden sollen, eine von Voigt<sup>1)</sup> angegebene Verbesserung anwenden. Bei diesen wird mit Hilfe eines Gummidoppelgebläses Luft derart in eine Düse eingeblasen, daß durch die Ejektorwirkung eine größere Menge des Gases kontinuierlich angesogen wird. Zum Zwecke ständigen Ansaugens größerer Gasmengen werden auch die bekannten Dampfstrahl- oder Wasserstrahlpumpen angewendet. Sind solche nicht vorhanden oder handelt es sich um die gleichzeitige Aufspeicherung des Gases, so werden zweckmäßig sogenannte Aspiratoren verwendet. Es sind dies Gefäße, welche oben mit einer Gaszuleitung versehen sind und unten eine Wasserableitung besitzen. Es kann also auch jede gewöhnliche Glasflasche dazu dienen, wenn man dieselbe mit einem doppelt durchbohrten Gummipfropfen verschließt, in welchem zwei Rohre eingesetzt sind, von denen eines bis an den Boden reicht, während das andere kurz unterhalb des Pfropfens endigt. Das auf den Boden reichende Rohr wird oben heberförmig abgebogen und mit einem herabhängenden Kautschukschlauch versehen, welchen man durch kurzes Ansaugen mit Wasser füllt. Dieser wirkt dann als Heber und saugt das Gas durch das kurze Rohr an. Zweckmäßiger sind natürlich Flaschen, welche unten einen Hahn besitzen, wodurch die Anwendung eines Hebers unnötig wird. Verbindet man zwei derartige Flaschen so, daß die beiden Wasserabläufe miteinander in Verbindung stehen, so kann man durch abwechselndes Tieferstellen der einen oder der anderen Flasche das eine Mal diese, das andere Mal jene Flasche zum Gasansaugen benutzen, ohne frisches Wasser einfüllen zu müssen. Solche Doppelaspiratoren werden oft auch in ein gemeinsames Drehgestell eingebaut und sind die Leitungen dann so angebracht, daß durch einfaches Umschalten eines Hahnes und Drehung des ganzen Systems der Wechsel rasch bewirkt

<sup>1)</sup> Offerhaus, Probenahme von Gasen. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 806.

wird, wie dies z. B. beim Doppelaspirator von Muencke (Fig. 107) der Fall ist.

Sollen größere Gasmengen angesogen werden, so verwendet man große Aspiratoren, meistens aus Zinkblech, welche zweckmäßig oben und unten zugespitzt sind, um Ansammlungen von Gasblasen unmöglich zu machen. Sie tragen am oberen Ende den Gaszufuhrhahn und am unteren Ende den Wasserablaßhahn und werden zweckmäßig von einem großen Dreifuß gehalten. Sollen Gase unter konstantem Druck aufgespeichert werden, was bei den

Fig. 107.



Aspiratoren nicht möglich ist, so verwendet man Glockengasometer, die ebenso ausgebildet sind, wie die großen Gasbehälter, d. h. aus einem Wasserbassin und einer darin auf und ab gehenden Glocke, die meistens an zwei Stangen geführt wird, bestehen. Will man die Berührung mit Wasser möglichst vermeiden oder muß man eine kostspielige Sperrflüssigkeit anwenden, so verwendet man ein ringförmiges Bassin gemäß Fig. 108; gewöhnlich sind derartige Glockengasometer mit einem besonderen Eingangs- und Ausgangsrohr versehen. Man kann jedoch auch durch ein einziges Rohr das Gas in den Behälter hineinführen und auch entnehmen. Man gabelt jedoch dann dieses Rohr unterhalb des Behälters T-förmig, so daß man dort einerseits die Gaszufuhr, andererseits die Gasabfuhr anbringen kann. An der tiefsten Stelle dieses Rohres ist ein Wasserablaufhahn anzubringen, um das Rohr von Kondenswasser oder sonstigem zufällig hineingelangten Wasser befreien zu können.

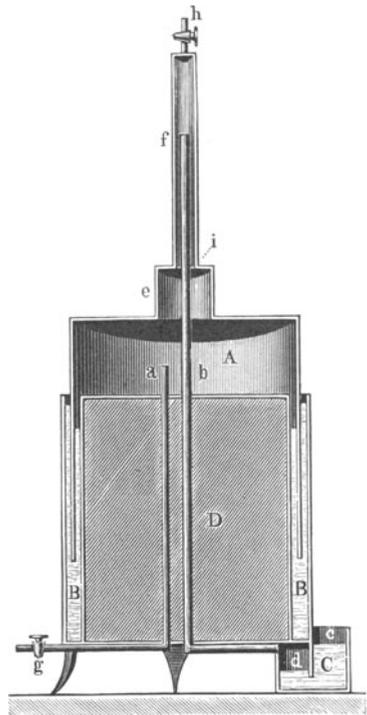
Unter Umständen kann auch die Saugwirkung eines Schornsteines zum Ansaugen von Gasproben verwendet werden; dies jedoch natürlich nur dann, wenn der Schornsteinzug höher ist als die Saugwirkung in dem Raume, aus dem das Gas abgesogen werden soll.

Bei der Aufspeicherung der Gase, ebenso wie beim Ansaugen derselben ist es wichtig, die Löslichkeit der Gase in der betreffenden Flüssigkeit, die im Apparate verwendet wird, zu berücksichtigen. In gewöhnlichem Wasser sind viele Gase mehr oder weniger leicht löslich. So z. B. löst Wasser bei gewöhnlicher Temperatur annähernd sein gleiches Volumen an Kohlensäure auf. Weit größer ist das Lösungsvermögen des Wassers gegen Schwefelwasserstoff, noch größer gegen schweflige Säure und außerordentlich groß gegen Ammoniak. Das Lösungsvermögen der anderen Gase, welche bei der technischen Gasanalyse der Leucht- und Heizgase in Betracht kommen, nämlich Wasserstoff, Kohlenoxyd, Stickstoff, Methan, Äthylen und andere Kohlenwasserstoffe, ist

unbedeutend. Da die Bestimmung der Kohlensäure am häufigsten ausgeführt wird, ist deren Löslichkeit in Wasser besonders hervorzuheben. Sie kann zu großen Fehlern führen und es ist daher die Anwendung von reinem Wasser zu vermeiden. Zum mindesten muß dasselbe mit dem zu untersuchenden Gas gesättigt werden, indem man dasselbe längere Zeit mit dem Gasgemisch schüttelt. Weit besser ist es, dem Wasser Kochsalz oder etwa 10 Proz. Glycerin zuzusetzen. Auch Petroleum kann als Sperrflüssigkeit angewendet werden, doch ist dessen großes Lösungsvermögen für Kohlenwasserstoffe zu berücksichtigen und ferner absorbiert Petroleum auch Sauerstoff. In allen Fällen, wo es sich um genaue Bestimmungen handelt, muß Quecksilber als Sperrflüssigkeit verwendet werden<sup>1)</sup>, in welchem alle Gase vollständig unlöslich sind. Bei der Abmessung der Gase über Quecksilber ist jedoch wieder zu berücksichtigen, daß die Gase einen verschiedenen Feuchtigkeitsgehalt besitzen könnten und dieser auf gleiche Größe gebracht werden muß, was durch Einführung eines Tropfen Wassers auf die Oberfläche des Quecksilbers erreicht wird, derart, daß das Gas der jeweiligen Temperatur entsprechend mit Feuchtigkeit gesättigt ist.

Zur Aufbewahrung der Gase, sowie zum Transport derselben können manchmal die zum Ansaugen benutzten Gefäße ohne weiteres verwendet werden. Es ist dann nur für einen sorgfältigen Verschuß der Ein- und Ausgangsöffnung Sorge zu tragen. Im allgemeinen ist es jedoch zweckmäßiger, besondere Gefäße zur Aufbewahrung zu verwenden. Auf alle Fälle muß dabei eine sorgfältige Entlüftung des Gefäßes stattfinden. Dies kann entweder dadurch geschehen, daß man das Gas längere Zeit hindurchströmen läßt, und zwar leichte Gase von oben nach unten, schwere Gase von unten nach oben, oder man füllt die Gefäße zunächst mit Wasser und verdrängt dasselbe durch das Gas. Das einfachste Gasaufbewahrungsgefäß ist wohl eine gewöhnliche Flasche. Man füllt sie mit Wasser, stülpt sie nach Verschließen der Öffnung mit der Hand in ein Wasserbecken mit dem Hals nach unten und kann nun das Gas durch einen Schlauch eintreten lassen, wobei das Wasser verdrängt wird. Hier ist besonders das Lösungsvermögen der Kohlensäure im Wasser zu berücksichtigen. Diese Art der Aufbewahrung eignet sich daher nicht für Verbrennungsgase oder andere kohlenstoffhaltige Gase, deren Kohlensäuregehalt bestimmt werden soll. Die Flasche wird unter

Fig. 108.



<sup>1)</sup> Nach Winkler, Techn. Gasanalyse, S. 34, ist die Anwendung anderer Sperrmittel als Wasser oder Quecksilber überhaupt illusorisch und müssen die in der Sperrflüssigkeit löslichen Bestandteile stets gesondert bestimmt werden.

Wasser stehend mit einem dicht schließenden Kautschukpfropfen verpfropft. Vor Entnahme des Gases wird dieselbe dann wieder in umgekehrter Stellung mit dem Hals unter Wasser geöffnet und durch ein heberförmig gebogenes Glasrohr das Gas daraus abgesogen. Stehen beliebig große Gasmengen zur Verfügung und besitzt das betreffende Gas Druck, so kann man es auch ohne Wasserverschluß durch ein bis auf den Boden reichendes Rohr längere Zeit durchströmen lassen und dann die Flasche rasch dicht verpfropfen. Bei leichten Gasen, wie z. B. Steinkohlengas, ist dabei der Flaschenhals nach unten zu halten, bei schweren Gasen nach oben.

Luftproben kann man aus einem Raume entnehmen, indem man eine mit Wasser vollständig gefüllte Flasche einfach in dem betreffenden Raume entleert. Es tritt dann Luft an Stelle des Wassers ein, die man durch Verpfropfung abschließt. Die Anwendung von Kautschukgefäßen, Gummibeuteln oder dergleichen zur längeren Aufbewahrung von Gasen ist unstatthaft, da die verschiedenen Gase mit verschiedener Geschwindigkeit durch den Gummi diffundieren. Besonders das große Diffusionsvermögen des Wasserstoffs ist zu berücksichtigen. Gummibeutel dürfen also nur verwendet werden, wenn große Gasmengen rasch von einem Orte zum anderen gebracht werden müssen und wo große Genauigkeit nicht erforderlich ist.

Kleinere Gasproben werden am besten in zylindrischen Glasgefäßen aufbewahrt, die an beiden Enden Rohransätze tragen, welche letztere nach Füllung mit dem Gase mittels einer Glasbläserlampe abgeschmolzen werden. Man zieht sie dabei in eine dünne Spitze aus und steckt diese Spitze zum Schutze in einen Kautschukschlauch. Will man einem solchen Aufbewahrungsgefäß Gas entnehmen, so feilt man zunächst beide Spitzen an, füllt einen mit einem höher stehenden Wassergefäß verbundenen Kautschukschlauch gänzlich mit Wasser, steckt die eine Spitze des Aufbewahrungsgefäßes in das nach oben gehaltene wassergefüllte Schlauchende, schiebt über die zweite nach oben gehaltene Spitze einen dünnen Kautschukschlauch, welcher zu den Untersuchungsapparaten führt, bricht nun innerhalb des Kautschukschlauches erst die untere, dann die obere Spitze an der Stelle des Feilstriches *s* ab, wartet bis die im oberen Schlauch befindliche Luft verdrängt ist und kann dann diesem die Probe entnehmen. Bei Gasen, die mit Wasser nicht in Berührung kommen dürfen, kann man in gleicher Weise statt desselben Quecksilber oder eine andere Sperrflüssigkeit verwenden.

Bequemer ist es natürlich, das Ein- und Ausgangsrohr des betreffenden Glasgefäßes mit eingeschliflenen dicht schließenden Glashähnen zu versehen. Es ist jedoch dabei zu beachten, daß beim Ansetzen des mit Wasser gefüllten Schlauches auch das kleine Stück Glasrohr, welches den Hahn mit dem Schlauch verbindet, Luft enthält, die durch Einspritzen von Wasser mittels einer Spritzflasche zuerst verdrängt werden muß, ehe der Schlauch angesetzt wird. Sind solche Glasgefäße mit Glashähnen auch bequemer als solche mit zugeschmolzenen Spitzen, so bieten sie doch nicht immer die vollkommenste Sicherheit, da es vorkommen kann, daß Glashähne auch bei guter Einfettung nach längerem Gebrauche undicht werden. Um das Lockerwerden der Glashähne zu vermeiden, hat Müller<sup>1)</sup> das Hahnküken mit einem konischen Stift aus Eichenholz versehen.

---

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 583.

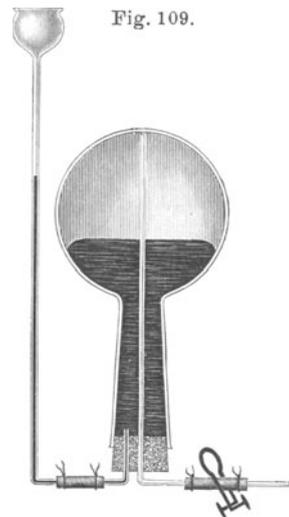
Um die oben beschriebenen Glasgefäße rasch mit dem zu untersuchenden Gas füllen zu können, kann man dieselben auch zunächst vollständig luftleer pumpen, sie einseitig mit dem das Gas zuführenden Schlauch verbinden und dann das betreffende Rohr öffnen. Das Auspumpen erfolgt zweckmäßig mit einer Töppler-Hagenschen Pumpe<sup>1)</sup>.

Zur Aufbewahrung kleinerer Gasmengen kann auch eine Gaspipette, wie sie später bei der Untersuchung der Gase beschrieben werden wird, mit Wasser- oder Quecksilberfüllung angewendet werden. Auch für größere Gasmengen bis zu einigen Litern ist diese Aufbewahrungsart ganz zweckmäßig. Allerdings wird hier gewöhnlich eine einfache mit dem Hals nach unten gerichtete Flasche, die mit Ein- und Ausgangsrohr versehen ist, wie dies Fig. 109 zeigt, vorgezogen. Noch größere Gasmengen, wie sie z. B. bei den Wetteruntersuchungen in Gruben nötig sind, werden in großen Gefäßen aus Zinkblech, die meistens gleichzeitig als Aspiratoren dienen, aufbewahrt. Auch die gewöhnlichen Laboratoriumsgasometer, deren Konstruktion als bekannt vorausgesetzt werden darf, können zur Aufbewahrung von Gasproben dienen. Ganz große Gasmengen sind stets am bequemsten in Gasbehälterglocken aufzusammeln, doch ist bei diesen zu berücksichtigen, daß auch in der tiefsten Stellung der Glocke niemals der ganze Inhalt derselben mit Wasser gefüllt ist, sondern stets die Kalotte mit Luft oder dem Gase, welches früher in dem Behälter war, gefüllt bleibt. Solche Gasbehälter sind daher, wenn sie speziell für analytische Zwecke in Betracht kommen, zweckmäßig etwas anders auszubilden. Zunächst ist das Wasserbassin derart hoch zu konstruieren, daß die Behälterglocke vollständig in das Wasser untertauchen kann. Unter diesen Umständen würde sich jedoch das Ein- und Ausgangsrohr mit Wasser füllen. Um dies zu vermeiden, wird die Decke der Glocke mit einer kleinen Kappe versehen, in welche die etwas höher geführten Ein- und Ausgangsrohre hineinragen. Es ist dann nur der Inhalt dieser Kappe als schädlicher Raum zu betrachten. Derartige Gasbehälterglocken können auch für Quecksilberfüllung eingerichtet werden, wie dies bereits bei der Erläuterung des Ansaugens der Gase S. 208 u. 209, Fig. 108 beschrieben wurde.

Trotz großer Vorsicht ist es manchmal kaum vermeidlich, daß beim Füllen der Gasaufbewahrungsgefäße etwas Luft mit in das Gas gelangt. Um den dadurch entstehenden Fehler zu korrigieren, bestimmt man den Sauerstoffgehalt, berechnet daraus den mit dem Sauerstoff gleichzeitig eingetretenen Stickstoff und zieht beide Werte von dem erhaltenen Resultate ab.

#### 14. Volumetrische Gasanalyse.

Zur Analyse der Gase werden zweierlei prinzipiell verschiedene Methoden verwendet; nämlich die volumetrische und die gewichtsanalytische. Wir wollen hier zunächst die erstere behandeln. Die Bestimmungen nach der



<sup>1)</sup> Wilhelmi, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 720.

volumetrischen Methode beruhen auf der Volumänderung, welche ein Gasgemisch erfährt, wenn man entweder einen seiner Bestandteile durch Absorption entfernt, oder wenn man unter Zusatz von Sauerstoff oder Luft die Verbrennung des Gasgemisches hervorruft.

Zur Absorption einzelner Gasbestandteile werden solche Absorptionsmittel angewendet, welche eben nur den zu bestimmenden Bestandteil aufnehmen, und im übrigen das Gasgemisch unverändert lassen. Da man jedoch nicht für alle Gasbestandteile solche spezielle Absorptionsmittel kennt, ist es nötig, bei der Absorptionsanalyse eine bestimmte Reihenfolge einzuhalten.

Enthält das Gasgemisch kein Ammoniak oder Schwefelwasserstoffgas, so absorbiert man stets zuerst Kohlensäure mittels Kalilauge. Zur Herstellung derselben löst man 1 Tl. käufliches festes Ätzkali in 2 Tln. destilliertem Wasser auf. Diese Lauge vermag ihr vierzigfaches Volumen an Kohlensäure zu absorbieren. Es genügt ein einmaliges Zusammenbringen des Gases mit der Lauge und kurzes Schütteln, um die Absorption vollständig zu machen. Ist Schwefelwasserstoff vorhanden, so wird dieser mit absorbiert. Es muß also dessen Menge nach einer der später zu besprechenden Methode bestimmt und von dem absorbierten Volumen in Abzug gebracht werden. Ferner ist zu beachten, daß Kalilauge auch etwas Benzoldampf absorbiert, daß daher die Lauge, z. B. bei der Untersuchung von Steinkohlengas, vorher durch Einleiten eines Gasstromes mit Benzoldampf gesättigt werden soll.

Die in vielen Leucht- und Heizgasen enthaltenen schweren Kohlenwasserstoffe bestehen der Hauptsache nach aus Kohlenwasserstoffen der ungesättigten Reihe  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ , aus Kohlenwasserstoffen der Acetylenreihe und der Benzolreihe. Natürlich kommen nur solche in Betracht, die bei gewöhnlicher Temperatur gasförmig sind oder in Dampfform vorhanden sein können. Es sind dies also Äthylen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), Propylen ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ), Butylen ( $\text{C}_4\text{H}_8$ ), Acetylen ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ), Benzoldampf ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), Toluoldampf ( $\text{C}_7\text{H}_8$ ). Alle diese ungesättigten Kohlenwasserstoffe haben die Eigenschaft, sich in rauchender Schwefelsäure zu lösen. Man wendet daher zur Absorption dieser sogenannten schweren Kohlenwasserstoffe eine stark rauchende Schwefelsäure an, welche 24 Proz.  $\text{SO}_3$  enthalten soll, was sich dadurch kennzeichnet, daß dieselbe bei niedriger Temperatur (unter  $15^\circ$ ) Kristalle von Pyroschwefelsäure ausscheidet. Die rauchende Schwefelsäure soll ein spez. Gew. von 1,938 besitzen. Sie entwickelt an der Luft starke Nebel. Zur vollständigen Absorption soll die Berührung mit dem Gase mindestens 5 Minuten dauern. Sie soll jedoch 15 Minuten nicht überschreiten, da anderenfalls nach Worstall<sup>1)</sup> auch Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Äthan ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), also Kohlenwasserstoffe der gesättigten Reihe, absorbiert werden. Rauchende Schwefelsäure von den oben genannten Eigenschaften absorbiert ihr achtfaches Volumen an schweren Kohlenwasserstoffen. Es ist jedoch zu beachten, daß geringere Wassermengen, die etwa bei dem Herüberbringen der Gase in die Absorptionspipette mit eintreten, das in der rauchenden Schwefelsäure wirksame Schwefeltrioxyd ( $\text{SO}_3$ ) zu Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) umsetzen, wodurch das Absorptionsmittel rasch unwirksam werden kann. In dem mit der rauchenden Schwefelsäure zusammengebrachten Gasgemisch bilden sich ebenfalls Nebel. Da die Dämpfe von Schwefeltrioxyd eine nicht zu vernach-

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. angew. Chem. 1899, S. 456.

lässigende Tension besitzen, müssen dieselben durch nachträgliche Absorption mit Kalilauge beseitigt werden.

Gase, welche schwere Kohlenwasserstoffe enthalten, dürfen nicht mit Ölen, Petroleum u. dgl. in Berührung gebracht werden, da sich die schweren Kohlenwasserstoffe in diesen lösen.

Zur Absorption der ungesättigten Kohlenwasserstoffe wurde auch die Anwendung von Bromwasser empfohlen. Man stellt es her, indem man mit Brom gesättigtes Wasser mit dem doppelten Volumen Wasser verdünnt. Es enthält dann 1 Proz. Brom. Äthylen wird vom Bromwasser sehr rasch aufgenommen. Benzoldampf schlägt sich zwar teilweise nieder, verbindet sich jedoch nicht vollkommen mit dem Brom, so daß Winkler<sup>1)</sup> das Bromwasser nicht empfiehlt. Die aus dem Bromwasser in das Gas übergehenden Bromdämpfe müssen ebenso wie das Schwefeltrioxyd bei der Anwendung von rauchender Schwefelsäure in Kalilauge aufgenommen werden.

Bei der darauf folgenden Absorption von Sauerstoff kann man pyrogallussaures Kali, Chromchlorür, Phosphor oder Kupfer verwenden.

Zur Herstellung des pyrogallussäuren Kalis nach Hempel<sup>2)</sup>, meist rundweg Pyrogallol genannt, werden 5 g Pyrogallussäure in 15 cm<sup>3</sup> destilliertem Wasser gelöst, andererseits eine Lösung von 120 g Ätzkali in 80 cm<sup>3</sup> Wasser hergestellt. Das sogenannte alkoholische Kali darf dabei nicht verwendet werden. Die beiden Lösungen der Pyrogallussäure und des Kalis werden erst in dem Gefäße gemischt, in welchem die Absorption des Sauerstoffs erfolgen soll, weil anderenfalls die Lösung durch den Sauerstoffgehalt der Luft rasch unbrauchbar wird. Der Wirkungswert der Lösung ist nach Hempel 2 bis  $2\frac{1}{4}$  ihres Volumens. Nach Angaben Winklers<sup>3)</sup> soll eine Kalilauge von 1,166 spez. Gew. verwendet werden und auf 1 Liter derselben 50 g Pyrogallussäure zur Anwendung kommen. 1 cm<sup>3</sup> einer solchen Lösung vermag nach Winklers Angaben 13 cm<sup>3</sup> Sauerstoff aufzunehmen. Die Aufnahme des Sauerstoffs im Pyrogallol geht namentlich dann, wenn die Lösung nicht ganz frisch ist, langsam vor sich und ist von der Temperatur beeinflusst. Letztere soll stets mehr als 15° C betragen. Sie dauert dann bei frischen Lösungen etwa 3 Minuten, bei geringeren Temperaturen ist die Sauerstoffaufnahme eine außerordentlich langsame. Zur Vergrößerung der Berührungsfläche des Gases mit der Flüssigkeit sind hier notwendigerweise, wenn man die Absorption nicht durch heftiges Schütteln vornehmen kann, Absorptionsgefäße mit irgend welchen Einlagen, wie sie S. 229 beschrieben werden, anzuwenden. Hat man vor der Sauerstoffabsorption mit Pyrogallol nicht mit Kali absorbiert, so werden auch Kohlensäure und Schwefelwasserstoff mit aufgenommen.

Bei der Anwendung von Chromchlorür kann man Sauerstoff auch aus  $CO_2$ - und  $H_2S$ -haltigen Gasen heraus absorbieren. Die Chromchlorürlösung, welche von Otto von der Pfordten<sup>4)</sup> empfohlen wurde, wird nach Hempels Angabe<sup>5)</sup> durch Reduktion von Chromsäure mit Zink und Salzsäure, Ausfällen mit Natriumacetat als Chromacetat und späteres Lösen desselben in Salzsäure unter Luftabschluß gewonnen. Das Chromacetat läßt sich in festem Zustande unverändert aufbewahren. Die Wirksamkeit der Chromchlorür-

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. analyt. Chem. 1889, S. 285. — <sup>2)</sup> Hempel, Gasanalyt. Methoden. Braunschweig 1900, 3. Aufl., S. 133. — <sup>3)</sup> Techn. Gasanalyse, Leipzig 1901, 3. Aufl., S. 81. — <sup>4)</sup> Ann. d. Chem. 228, 112. — <sup>5)</sup> Gasanalyt. Methoden, 3. Aufl., S. 137.

lösung soll eine günstige sein und wird dasselbe wohl nur wegen seiner komplizierten Darstellung so wenig in der technischen Gasanalyse verwendet.

Von außerordentlich guter Wirksamkeit bei der Absorption von Sauerstoff ist auch Phosphor. Derselbe wird in Form dünner Stangen in den Absorptionspipetten für feste Stoffe (S. 224) verwendet. Dort bleibt er unter Wasser aufbewahrt und gelangt nur bei der Untersuchung durch Verdrängung des Wassers mit dem betreffenden Gase in Berührung. Er muß vor Licht geschützt werden und ist deshalb zweckmäßig mit einer schwarzen Papierhülle zu umgeben, die man nur im Moment des Bedarfes entfernt. Bei der Absorption, die nicht bei zu niedrigen Temperaturen vorgenommen werden soll, und normal bei etwa 20° C verläuft, zeigt sich das bekannte Leuchten des Phosphors im Dunkeln. Es bilden sich dabei Nebel, die aus Oxyden des Phosphors bestehen, jedoch die Anzeige nicht beeinträchtigen, da sie als feste Teilchen kein in Betracht kommendes Volumen besitzen. Der Phosphor ist ein außerordentlich angenehmes Absorptionsmittel, da sich mit ein und derselben Füllung eine nahezu unbeschränkte Zahl von Analysen ausführen läßt, und nur das Wasser manchmal der Erneuerung bedarf. Leider aber ist der Phosphor durchaus nicht in allen Fällen verwendbar, da eine große Anzahl von Stoffen, welche oft nur spurenweise in den Gasen enthalten sind, die Absorptionsfähigkeit des Phosphors vollständig vernichten. Es sind dies <sup>1)</sup> Phosphorwasserstoff, Schwefelwasserstoff, schweflige Säure, Schwefelkohlenstoff, Jod, Brom, Chlor, Stickstoffdioxyd, Äthylen, Acetylen, Äther, Alkohol, Petroleum, Terpentinöl, Kreosot, Benzol, Teer und viele flüchtige Öle. Nach Hempel wirken auch Spuren von Ammoniak störend. Wie außerordentlich empfindlich der Phosphor ist, geht daraus hervor, daß schon 0,25 Vol.-Proz. Äthylen oder 0,02 Vol.-Proz. Terpentinöldampf genügen, den Phosphor wirkungslos zu machen. Dies vermindert das Anwendungsgebiet des Phosphors außerordentlich, denn alle aus Kohle durch Destillation oder Verbrennung gewonnenen Gase können Spuren von einem oder dem anderen der störenden Stoffe enthalten. Merkwürdigerweise versagt auch der Phosphor, wenn der Sauerstoffgehalt mehr als 50 Proz. beträgt. In diesen Fällen muß man eine Verdünnung mit irgend einem anderen Gase vornehmen.

Ein vorzügliches Absorptionsmittel für Sauerstoff ist auch metallisches Kupfer. Man kann es durch Reduktion von Kupferoxyd gewinnen und in einem zum Glühen erhitzten Rohre zur Sauerstoffabsorption verwenden. Viel vorteilhafter ist jedoch seine Eigenschaft anwendbar, bei Berührung mit Ammoniak auch in der Kälte den Sauerstoff vollständig zu absorbieren. Man verwendet daher zusammengerollte Kupferdrahtnetze, welche man vorteilhaft zuerst mit etwas Salpetersäure anätzt, in einer Absorptionspipette (S. 224), indem man als Sperrflüssigkeit eine gesättigte Lösung des käuflichen anderthalbfach kohlensauren Ammoniaks mit wässrigem Ammoniak von 0,93 spez. Gew. zu gleichen Teilen gemischt, verwendet. Als Absorptionsdauer sind 5 Minuten zu wählen. Als Absorptionswert kann das 24fache Volumen der Ammoniakflüssigkeit angenommen werden. Die Tension des Ammoniaks kann vernachlässigt werden. Leider hat auch diese Absorptionsmethode einen Nachteil, daß nämlich nicht nur Sauerstoff, sondern auch Kohlenoxyd und Acetylen absorbiert werden. Die Absorption erfolgt bei jeder Temperatur. Da aber

---

<sup>1)</sup> Vogel: Gmelin-Kraut, Handb. d. Chem., 6. Aufl., 1, 2. Abt., S. 112.

bei den in der Industrie der Leucht- und Heizgase vorkommenden Gasgemischen beinahe immer Kohlenoxyd vorhanden sein kann, so kommt hier als Absorptionsmittel für Sauerstoff gewöhnlich nur Pyrogallol und das bisher offenbar noch zu wenig beachtete Chromchlorür in Betracht<sup>1)</sup>.

Das Kohlenoxyd absorbiert man ausschließlich in salzsauren oder ammoniakalischen Lösungen von Kupferchlorür. Die ammoniakalische Lösung ist vorzuziehen, weil sie konzentrierter hergestellt werden kann und daher einen höheren Wirkungswert besitzt und weil sie sich nach Aufnahme von Kohlenoxyd allmählich dadurch regeneriert, daß sich kohlen-saures Ammoniak unter Abscheidung von metallischem Kupfer bildet. Es verschwindet also das aufgenommene Kohlenoxyd allmählich und das ausgeschiedene Kupfer schützt die Lösung vor Oxydation.

Man erzeugt die ammoniakalische Kupferchlorürlösung nach Winkler<sup>2)</sup>, indem man 250 g Salmiak in 750 cm<sup>3</sup> Wasser löst und 200 g Kupferchlorür hinzufügt, das sich unter Bildung eines Doppelsalzes in der Salmiaklösung löst. Ein durch Oxydation entstandener geringer Niederschlag von Kupferoxychlorid setzt sich ab und stört weiter nicht. Um jedoch vor weiterer Oxydation zu schützen, stellt man eine von unten bis oben reichende Kupferspirale in die dicht verschlossene Flasche. Diese Kupferchlorürlösung wird erst in dem zur Absorption bestimmten Apparat ammoniakalisch gemacht, indem man ein Drittel ihres Volumens Ammoniakwasser vom spez. Gew. 0,910 zusetzt.

Da nicht nur Kohlenoxyd, sondern auch andere Gase, wenn auch in ganz geringen Mengen, von der Kupferchlorürlösung aufgenommen werden, ohne daß jedoch eine chemische Bindung erfolgt, so ist es für genaue Untersuchungen erforderlich, die Kupferchlorürlösung vorher durch Schütteln mit dem betreffenden Gasgemisch zu sättigen. Ferner ist zu beachten, daß die Lösung des Kohlenoxyds im Kupferchlorür zwar durch chemische Bindung erfolgt, daß diese Verbindung jedoch außerordentlich leicht spaltbar ist, so daß beim Zusammenbringen eines kohlenoxydfreien Gases mit einer Kupferchlorürlösung, welche bereits Kohlenoxyd aufgenommen hat, je nach deren Sättigungsgrad verschiedene Mengen von Kohlenoxyd in das kohlenoxydfreie Gas übergehen. Eine vollständige Absorption kann daher nur mittels einer ganz frischen Lösung erzielt werden. Es empfiehlt sich deshalb das von Drehschmidt<sup>3)</sup> vorgeschlagene Verfahren, durch eine schon gebrauchte Lösung zunächst die Hauptmenge des Kohlenoxyds zu absorbieren und den letzten Rest mittels einer frischen Lösung aufzunehmen. Letztere bleibt dann zufolge der geringen Aufnahme von Kohlenoxyd lange Zeit brauchbar.

Eine frische Lösung vermag ihr 16faches Volumen an Kohlenoxyd aufzunehmen. Die Tension des Ammoniaks ist unbedeutend und kann vernachlässigt werden. Zu beachten bleibt hingegen, daß die ammoniakalische Kupferchlorürlösung auch Kohlensäure, schwere Kohlenwasserstoffe und Sauerstoff aufnimmt, welche Gase daher vorerst zu entfernen sind.

Die salzsaure Lösung von Kupferchlorür wird bereitet indem man 86 g Kupferoxyd und 17 g metallisches Kupfer in 1086 g Salzsäure vom spez. Gew. 1,124 löst und ebenfalls eine Kupferdrahtspirale in die verschlossene Flasche

<sup>1)</sup> Chromchlorür verwendet die Pyri-Gesellschaft in ihren Apparaten: Zeitschr. d. chem. Apparatenkunde 1908, S. 315. — <sup>2)</sup> Techn. Gasanalyse, 3. Aufl., S. 84. — <sup>3)</sup> Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1888, S. 2158.

stellt, um die Lösung vor Oxydation zu schützen. Ist die Lösung vollständig reduziert, so ist sie wasserhell. Sie färbt sich jedoch auch schon durch ganz geringe Sauerstoffmengen, zufolge Bildung eines Doppelsalzes von Kupferchlorid und Kupferchlorür dunkelbraun. Die salzsaure Lösung absorbiert nur ihr vierfaches Volumen an Kohlenoxyd.

Zur Bestimmung des Wasserstoffs, der früher nur durch Verbrennung ermittelt werden konnte, ist nunmehr endlich auch ein Absorptionsmittel auffindig gemacht worden. Es wurde von Paal<sup>1)</sup> und seinen Mitarbeitern empfohlen. Paal und Amberger haben gezeigt, daß kolloidales Palladium im trockenen Zustande sein 300- bis 400 faches Volumen an Wasserstoff absorbiert. Paal und Gerum fanden, daß das Hydrosol des Palladiums sogar sein 1000- bis 3000 faches Volumen an Wasserstoff aufnimmt. Die Regeneration ist zufolge Aufnahme von Sauerstoff durch Stehenlassen an der Luft durchführbar. Paal und Hartmann haben aber gezeigt, daß man die Regeneration sofort vornehmen kann, wenn man der Palladiumlösung pikrinsaures Natron zusetzt, so daß eine mit diesem Salz versetzte kolloidale Palladiumlösung so lange Wasserstoff zu absorbieren vermag, bis die ganze Pikrinsäure reduziert ist. In letzter Zeit ist die Lösung durch Bunck noch dadurch verbessert worden, daß sie durch Zusatz von protalbinsaurem Natron als Schutzkolloid haltbarer gemacht wurde. 100 cm<sup>3</sup> dieser Lösung sollen 7369 cm<sup>3</sup> Wasserstoff absorbieren<sup>2)</sup>.

Die Anwesenheit von Schwefel-, Phosphor- und Arsenverbindungen verhindern jedoch die Absorption, so daß die mit diesen Stoffen verunreinigten Gase am besten erst mit Brom behandelt werden, damit diese verunreinigenden Bestandteile oxydiert werden. Man entfernt daher zweckmäßig erst die Kohlensäure durch Kalilauge, die schweren Kohlenwasserstoffe durch Brom (wobei allerdings die unvollkommene Lösung des Benzoldampfes im Brom zu berücksichtigen ist, vgl. S. 213), dann das Kohlenoxyd durch salzsaure Kupferchlorürlösung und schließlich den Wasserstoff durch die Palladiumlösung<sup>3)</sup>. Sie ist bei Nichtgebrauch im Dunkeln aufzubewahren und besteht aus 2,44 g eines 61,3 proz. Palladiumsols und 2,74 g Natriumpikrat in 130 cm<sup>3</sup> Wasser. Die Absorptionszeit von 24 cm<sup>3</sup> Wasserstoff beträgt 10 Minuten. Da die Palladiumlösung teuer ist, ist es zweckmäßig, die Absorptionspipette mit Glaskugeln zu füllen und deren freien Raum zu verringern und gleichzeitig die Absorption durch die vergrößerte Oberfläche zu beschleunigen.

Der Gang der einzelnen Absorptionen, wie er hier angegeben ist, kann unter Umständen auch kleinen Änderungen unterworfen werden. Burgess und Wheeler<sup>4)</sup> geben folgenden Gang an:

1. Absorption von Ammoniak mit 10 proz. Schwefelsäure.
2. Absorption von Benzoldampf mit Schwefelsäure von 1,9 spez. Gew.
3. Absorption von Schwefelwasser mit saurer Kupfersulfatlösung.
4. Absorption von Kohlensäure durch Kalilauge.
5. Absorption von Sauerstoff mit alkalischer Pyrogallollösung.
6. Absorption von Acetylen mit ammoniakalischer Silberchloridlösung.

<sup>1)</sup> Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1910, S. 243; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 335. —

<sup>2)</sup> Vgl. auch Limborsch von der Meersch, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 915. —

<sup>3)</sup> Zu beziehen von Kalle u. Co., chem. Fabrik Biebrich a. Rh. — <sup>4)</sup> Journ. of Gaslighting 1911, S. 25; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 622.

7. Absorption von Äthylen mit Brom und Kaliumbromidlösung.
8. Absorption von Kohlenoxyd mit ammoniakalischer Kupferchloridlösung.

Die Gase, welche der absorptometrischen Bestimmung einzelner Bestandteile unterworfen werden, müssen natürlich zunächst abgemessen werden, worauf man sie mit der Absorptionslösung in Berührung bringt und durch nachträgliche Messung des verbliebenen Gasvolumens die Menge des absorbierten Gasbestandteiles bestimmt. Es ist also in erster Linie eine möglichst genaue Abmessung der Gasvolumina erforderlich. Bekanntlich ändert sich das Volumen jedes Gases mit der Temperatur, mit dem Druck (Barometerstand) und mit dem Feuchtigkeitsgehalt. Man kann nun entweder alle drei Größen bei jeder Abmessung bestimmen und durch Umrechnung auf die Normaltemperatur von 0°, auf den Normaldruck von 760<sup>0</sup> mm Quecksilbersäule und auf trockenes Gas das Normalvolumen des betreffenden Gases ermitteln, wie wir dies im Kapitel 9 über Kalorimetrie (S. 106) bereits kennen gelernt haben, oder aber man hält alle drei Faktoren oder wenigstens einige derselben konstant. Letzteres wird bei der technischen Gasanalyse wegen des Wegfalles der komplizierten Rechnungen stets vorgezogen. Leicht ist es besonders, die Temperatur und den Feuchtigkeitsgehalt der Gase unverändert zu erhalten. Allerdings muß zum Zwecke der Konstanthaltung der Temperatur der Raum, in welchem genauere Gasanalysen ausgeführt werden, besonders ausgewählt werden. Es ist ja zu berücksichtigen, daß 1<sup>0</sup> Temperaturdifferenz bereits 0,3 Proz. Änderungen im Volumen des Gases hervorrufen. Das Gasanalysezimmer muß daher von möglichst konstanter Temperatur sein. Es soll also zunächst kein direktes Sonnenlicht empfangen. Da aber für genaue Ablesungen auch genügende Helligkeit erforderlich ist, wählt man am zweckmäßigsten ein Zimmer, dessen Fenster nach Norden gerichtet sind. Zur Konstanthaltung der Temperatur des Zimmers im Winter benutzt man am besten die Beheizung durch einen Gasofen, der mit einem automatischen Temperaturregler<sup>1)</sup> verbunden ist. Der letztere darf natürlich nicht in der Nähe des Ofens angebracht sein, wie dies fälschlicherweise mit Rücksicht auf die einfachere Führung der Gasleitung oft der Fall ist, sondern er muß sich an jener Stelle befinden, deren Temperatur konstant gehalten werden soll, das ist also bei dem Tische, wo die Gasanalysen ausgeführt werden, etwa 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> m über dem Fußboden. Der betreffende Tisch aber soll möglichst weit vom Ofen (mindestens 2 m), von den Fenstern und von der Eingangstür entfernt sein.

Auch die Absorptionsflüssigkeiten sollen dieselbe Temperatur haben wie der Raum und sind daher schon längere Zeit vor dem Gebrauch in diesen Raum zu bringen.

Der Feuchtigkeitsgehalt der Gase läßt sich leicht konstant halten, wenn deren Temperatur konstant ist, indem man sie mit Wasserdampf sättigt. Dies ist ohne weiteres der Fall, wenn man Wasser als Sperrflüssigkeit verwendet. Arbeitet man über Quecksilber, so bringt man auf die Oberfläche desselben einen Tropfen Wasser.

Die Konstanthaltung des Druckes erfolgt meistens dadurch, daß man die Sperrflüssigkeit mittels eines Gummischlauches und eines daran angeschlossenen

<sup>1)</sup> Solche liefert in zweckmäßiger Ausführung z. B. die Firma Friedrich Siemens in Wien.

Niveaugefäßes dem Meßapparat zuführt, und durch Heben oder Senken des Niveaugefäßes die beiden Flüssigkeitsspiegel im Inneren der Meßvorrichtung und außerhalb gleich hoch einstellt. Das Gas steht dann unter dem Druck der äußeren Atmosphäre, der durch den Barometerstand gegeben ist. Zur genauen Ablesung desselben dienen Quecksilberbarometer, während Aneroidbarometer wegen ihrer geringeren Zuverlässigkeit seltener angewendet werden. Die Durchführung einer technischen Gasanalyse erfordert auch in komplizierteren Fällen kaum mehr als eine Stunde Zeit, so daß man gewöhnlich den Barometerstand während dieser Zeit als konstant annehmen kann. Immerhin ist es geraten, denselben vor und nach der Analyse abzulesen, denn z. B. bei einem herannahenden Gewitter können ausnahmsweise auch plötzliche Änderungen eintreten, die das Resultat der Analyse stark beeinflussen würden, denn 10 mm Änderung im Barometerstand bringen eine Volumänderung von 1,3 Proz. hervor.

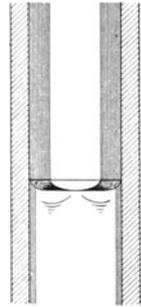
Zur Abmessung der Gase für die nachherige Analyse verwendet man am besten die Hempelsche Gasbürette. Es ist dies ein langes, mehr als 100 cm<sup>3</sup> fassendes Rohr, welches oben in eine Spitze ausgezogen und in Kubikzentimeter geteilt ist. Die Unterteilungen der einzelnen Kubikzentimeter müssen mindestens 0,2 cm<sup>3</sup>, zu genaueren Untersuchungen 0,1 cm<sup>3</sup> abzulesen gestatten. Der Unterteil besitzt ein seitliches Ansatzrohr und ist in einem schweren Metallfuß befestigt. Ein ebenso hohes und ebenso weites zweites Glasrohr, welches jedoch oben offen und trichterförmig erweitert ist und keine Teilung besitzt, dient als Niveaugefäß. Es wird mit der vorhergenannten Gasbürette durch einen langen Gummischlauch verbunden. Man wählt denselben dünnwandig, wenn man mit Wasser als Sperrflüssigkeit arbeitet, um ihn mit den Fingern bequem abquetschen zu können. Dagegen muß er dickwandig sein, falls Quecksilber als Sperrflüssigkeit dient, weil der hohe Druck desselben sonst den Schlauch zum Platzen bringt. Die Ziffern auf der Teilung der Bürette sind zweckmäßig an der einen Seite von oben nach abwärts, an der anderen Seite von unten nach aufwärts fortschreitend angeordnet. In Fällen, wo nur ein bestimmter Meßbereich zur Anwendung kommt, und somit die übrige Teilung der Bürette zwecklos ist, kann man dieselbe an jener Stelle, wo die Teilung nicht erforderlich ist, zu einer Kugel erweitern, wodurch die Bürette wesentlich kürzer und daher wesentlich handlicher wird. Um Ablesungen mit großer Genauigkeit ausführen zu können, kann man auch eine Anzahl von Kugeln von z. B. je 20 cm<sup>3</sup> Inhalt mit Verbindungsrohren versehen, die so eng sind, daß noch 0,01 cm<sup>3</sup> abgeschätzt werden können. Diese Rohre dürfen jedoch nicht so eng sein, daß sich das herunterfließende Wasser zu Tropfen ansammelt. Hat man eine solche Meßbürette von vier Kugeln à 20 cm<sup>3</sup> und daneben eine sehr dünne Meßbürette, welche etwa 400 mm hoch ist und ebenfalls 0,01 cm<sup>3</sup> abzuschätzen gestattet (die Teilung kann je 0,02 cm<sup>3</sup> angeben), so läßt sich jede beliebige Gasmenge durch Verteilung in die beiden Büretten mit großer Genauigkeit und doch rasch ablesen. Um bei der Kugelbürette nicht auf einen ganz bestimmten Teilstrich einstellen zu müssen, wählt man die Verbindungsrohre der einzelnen Kugeln einige Zentimeter lang und bringt auch dort eine Teilung wie in dem dünnen Rohre an.

Oben kann die Gasbürette mit einem Gummischlauch und Quetschhahn oder mit einem dicht schließenden Glashahn abgeschlossen sein. Ersteres ist

billiger und sicherer im Verschuß, letzterer hingegen erfordert wiederholte Kontrolle und gutes Einfetten, um den Glashahn dauernd dichtschließend zu erhalten. Das Arbeiten mit demselben ist jedoch etwas bequemer. Um die Bürette auf stets gleicher Temperatur zu erhalten, kann man dieselbe mit einem weiten Wassermantel umgeben. Sie ist dann wenigstens vor Erwärmungen beim momentanen Berühren mit der Hand geschützt. Bei länger dauernden Untersuchungen und schwankender Außentemperatur darf man sich jedoch auch hierbei nicht auf die Konstanz der Temperatur des Wassermantels verlassen. Derselbe muß daher ein Thermometer enthalten.

Arbeitet man mit Wasser oder irgend einer anderen Flüssigkeit, welche die Glaswandung benetzt, so ist darauf zu achten, daß nach Einführung des Gases die Flüssigkeit eine Zeitlang braucht, um an den Wandungen herabzufließen. Diese Zeit ist um so länger, je höher das Wasser herabzufließen hat, d. h. je größer die abgemessene Gasmenge ist. Sie ist auch länger, wenn man Kugelbüretten verwendet und sind die Erweiterungen aus diesem Grunde unten länglich auszuziehen, damit das Wasser an den überall stets stark geneigten Flächen rasch abfließen kann. Durch zu rasches Ablesen, ohne das Zusammenfließen der Sperrflüssigkeit zu berücksichtigen, können selbst bei Wasser Fehler von 0,5 Proz. entstehen. Größte Genauigkeit erreicht man natürlich nur, wenn man das Wasser vollständig zusammenfließen läßt. Dann muß man aber vor jeder Ablesung 2 bis 3 Minuten warten. Will man rascher arbeiten, und den Fehler soweit wie möglich beseitigen, so läßt man stets dieselbe Zeit bis zur Ablesung verstreichen. Es ist dabei Sorge zu tragen, daß die Innenwandung der Meßbürette nicht fettig ist, da sonst das Abfließen nicht regelmäßig stattfindet. Zur Entfernung des Fettes spült man die Bürette mit Alkohol und Äther aus.

Fig. 110.

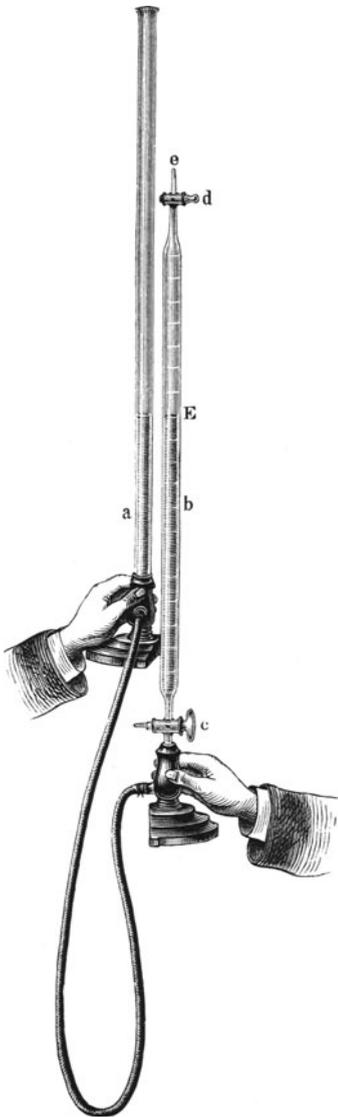


Um das in der Bürette befindliche Gas unter den Druck der äußeren Atmosphäre zu stellen, hebt man das Niveaugefäß in eine solche Höhe, daß die beiden Flüssigkeitsspiegel gleich hoch stehen. Dies ergibt jedoch bei Anwendung von Quecksilber als Sperrflüssigkeit keine absolute Genauigkeit, da eine Höhendifferenz von einem Millimeter einen Fehler von 0,13 Proz. bedingt. Es ist daher bei der Anwendung von Quecksilber notwendig, entweder den Druck mit dem Kathetometer — das ist ein an einer Skala verschiebbares Fernrohr — abzulesen, oder man wählt eine andere Art des Druckausgleiches, auf die wir noch später zu sprechen kommen werden.

Bei der Ablesung der Gasvolumina muß man die Krümmung der Oberfläche der Sperrflüssigkeit (Meniskus) beobachten. Quecksilber wölbt sich nach oben und man liest an dem höchsten Punkte der Wölbung ab. Alle die Glaswand benetzenden Flüssigkeiten wölben sich nach unten und man wählt dann die tiefste Stelle des Meniskus zur Ablesung. Bei Büretten, welche an der Rückwand einen weißen Streifen mit einer vertikalen dunkeln Linie besitzen, zeigen sich durch Lichtreflexion innerhalb des Meniskus der Sperrflüssigkeit zwei feine horizontal verlaufende Spitzen, wie dies Fig. 110 andeutet, die sich in der Mitte zu berühren scheinen. Es kann dann dort die Ablesung mit außerordentlicher Schärfe erfolgen, zu welchem Zwecke man sich noch einer Lupe bedient.

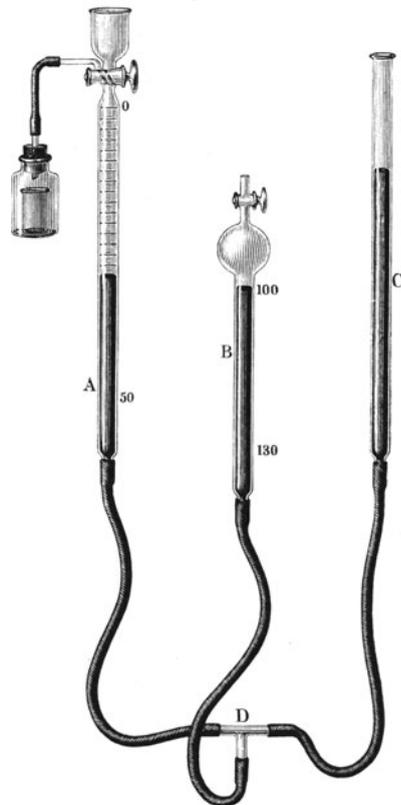
Um in der Hempelschen Gasbürette genau  $100\text{ cm}^3$  eines Gases abzumessen, geht man wie folgt vor. Man saugt zunächst durch Senken des Niveaugefäßes eine Gasmenge von mehr als  $100\text{ cm}^3$  an. Dann verschließt man das obere Ende der Bürette und hebt das Niveaugefäß so weit, daß das Gas auf den Raum von weniger als  $100\text{ cm}^3$  komprimiert wird. In diesem Zustande hält man es durch Abquetschen des unteren Schlauches mit den Fingern. Man kann nun das Niveaugefäß senken und das Auge in eine solche Lage zur Bürette bringen, daß eine genaue Einstellung erfolgen kann. Jetzt läßt man mit den Fingern den Verschuß so weit locker, daß das Sperrwasser allmählich austritt, bis das Volumen von  $100\text{ cm}^3$  genau

Fig. 111.



erreicht ist, das Gas steht jedoch jetzt unter einem höheren Druck als die äußere Atmosphäre. Man muß also, nachdem man den Schlauch wieder mit den Fingern abgequetscht hat, damit sich der Flüssigkeitsstand nicht verändern kann, den oberen Verschluss der Bürette für einen Augenblick öffnen, wodurch das überschüssige Gas austritt und das in der Bürette verbliebene Gas, welches genau  $100\text{ cm}^3$  einnimmt, Atmosphärendruck annimmt.

Fig. 112.



Natürlich kann die Abmessung in der geschilderten Weise mit Wasser als Sperrflüssigkeit nur erfolgen, wenn es sich um keine im Wasser löslichen Gase handelt. Zur raschen und bequemen Abmessung von genau  $100\text{ cm}^3$  Gas hat daher Hempel eine früher von Winkler angegebene Gasbürette, welche auch zur Untersuchung wasserlöslicher Gasbestandteile dienen kann, derart abgeändert, daß sie zur technischen Gasanalyse verwendbar wurde. Sie ist in Fig. 111 dargestellt. Dieselbe besitzt die gleiche Einrichtung wie die früher angegebene einfache Hempelsche Bürette, trägt jedoch auch unten einen Glashahn *c*, welcher außer der gewöhnlichen Bohrung noch eine solche besitzt, durch die man das Innere der Bürette mit der Außenluft oder mit einem Gummischlauch, der an die in der Zeichnung nach links herausragende Spitze des Hahnkükens angesetzt wird, in Verbindung bringen kann. Der Raum zwischen den beiden Glashähnen ist in genau 100 gleiche Teile eingeteilt und mit entsprechender Unterteilung versehen. Senkt man bei geöffnetem Hahn *d* und *c* das Niveaugefäß *a* so weit, daß die Sperrflüssigkeit im Inneren der Bürette sich genau in der Höhe des unteren Hahnes *c* befindet, und dreht dann den letzteren so, daß das Innere der Bürette mit dem an das Hahnküken angesetzten Schlauch verbunden ist, so kann man die Bürette durch Verdrängung der Luft mit Gas füllen, indem man dasselbe durchströmen läßt, oder es mit Hilfe einer Pumpe durchsaugt. Man schließt nun die beiden Hähne *d* und *c*, wobei der untere (*c*) schräg gestellt wird, und hat nun genau 100 Raumteile des Gases. Es muß jedoch auch hier der Druck der Außenluft hergestellt werden. Dies erfolgt, wenn das zugeführte Gas Überdruck besaß, durch kurzes Öffnen des oberen Hahnes *d*. Auch wenn das Gas Unterdruck hatte, kann man es durch Öffnen des Hahnes *d* auf Atmosphärendruck bringen. Es tritt jedoch dann eine kleine Menge Luft durch *e* in die Meßbürette ein, die das Gas etwas verunreinigt. Beim Ansaugen von Verbrennungsgasen spielt jedoch diese geringe Luftmenge gar keine Rolle, weil die Verbrennungsgase gewöhnlich nur einen Unterdruck von höchstens 20 mm Wassersäule, das ist 1,5 mm Quecksilbersäule besitzen, und somit beim Druckausgleich 0,2 Proz. Luft angesogen werden, welche für diese Untersuchung bedeutungslos sind.

Bedingung bei dieser Abmessung von Gasen, welche wasserlösliche Anteile enthalten, ist natürlich, daß die Bürette vor dem Einleiten des Gases vollständig trocken war. Man wäscht sie daher mit Alkohol, spült diesen durch Äther aus und verdunstet den Äther mit Hilfe eines hindurchgeleiteten Luftstromes. Anstatt des letzteren kann man natürlich das Ausblasen der Ätherdämpfe auch gleich mit dem zu untersuchenden Gase besorgen.

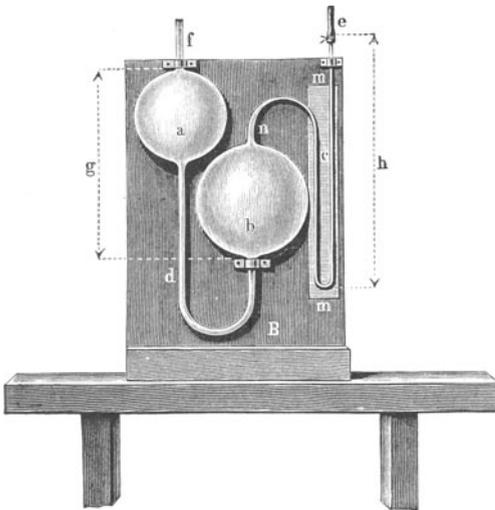
Um bei veränderlicher Temperatur oder bei sich änderndem Barometerstande nicht stets die Umrechnung des Gasvolumens auf den Normalzustand durchführen zu müssen, hat Lunge<sup>1)</sup> das Gasvolumeter (Fig. 112) konstruiert. Es wird nur in den Fällen angewendet, wo es sich um sehr genaue Bestimmungen handelt und kommt daher hier nur Quecksilber als Sperrflüssigkeit in Betracht. *A* ist das eigentliche Meßrohr. Dieses steht mittels einer Schlauchverbindung nicht nur mit dem Niveauröhr *C*, sondern auch mit einem in einer Kugel abgeschlossenen Normalgasvolumen *B* in Verbindung. Das

---

<sup>1)</sup> Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1890, S. 440; 1892, S. 3157; Zeitschr. f. angew. Chem. 1891, S. 410; 1892, S. 677.

letztere ist so bemessen, daß es bei  $0^{\circ}$  und 760 mm absolutem Quecksilberdruck genau  $100\text{ cm}^3$  einnimmt, Herrscht nun irgend eine andere Temperatur und ein anderer Druck, so wird das Niveaurohr so weit verschoben, bis das Normalgasvolumen in dem Rohr *B* wieder  $100\text{ cm}^3$  einnimmt. Durch diesen Vorgang wird der Druck der Quecksilbersäule im Niveaurohr *C* so groß gewählt, daß trotz eines anderen Druckes der äußeren Atmosphäre und trotz einer höheren Temperatur das Normalgasvolumen auf  $100\text{ cm}^3$  zusammengepreßt wird. Das Stativ ist nun so eingerichtet, daß die Rohre *B* und *C* gemeinsam in ihrer Höhe verstellt werden können, ohne ihre Lage gegeneinander zu ändern. Man verstellt sie so lange, bis die Quecksilberspiegel in dem Meßrohr *A* und im Rohre *B* gleich hoch stehen. Unter diesen Umständen steht auch das im Meßrohr *A* abgesperrte Gasvolumen unter gleichen Temperatur- und Druckverhältnissen wie das Normalluftvolumen im Rohre *B*

Fig. 113.



und nimmt daher ebenso wie letzteres den gleichen Raum ein, wie wenn es bei  $0^{\circ}$  unter dem Druck von 760 mm Quecksilbersäule stehen würde.

Will man große Gasmengen abmessen, was dann erforderlich wird, wenn es sich um die Bestimmung von Bestandteilen handelt, die in nur sehr geringer Menge in dem Gasgemisch enthalten sind, so verwendet man Gasuhren. Die Einrichtung derselben wird später im Kapitel 50 über Gasmesser besprochen werden. Man schaltet sie gewöhnlich hinter den Absorptionsapparat, welcher zur Aufnahme irgend eines Gasbestandteiles bestimmt ist, damit dieser nicht in dem Sperrwasser der

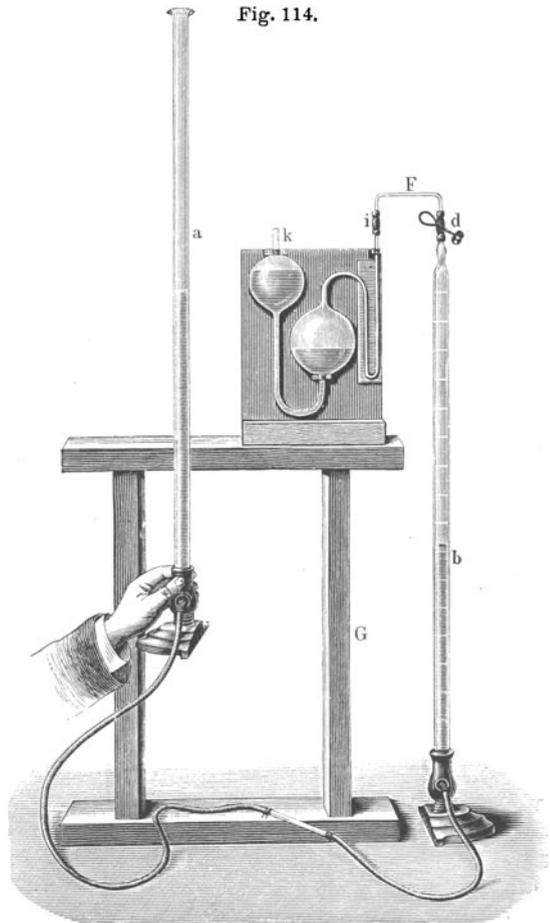
Gasuhr gelöst werde, und bewirkt das Durchsaugen mit Hilfe einer Wasserstrahl- oder Dampfstrahlpumpe. Manchmal ist es auch wichtig, die Geschwindigkeit des Gasstromes kennen zu lernen. In diesem Falle verwendet man sogenannte Experimentiergasmesser, welche den Stundenkonsum bei Beobachtung in einer Minute anzeigen und ebenfalls in dem Kapitel über Gasmesser beschrieben werden. Die in Wasser stark löslichen Gase, wie z. B. Ammoniak oder Chlorwasserstoff usw., kann man durch Schütteln mit Wasser in der Bürette absorbieren.

Auch die Absorption anderer Gasbestandteile kann durch die früher auf S. 212 bis 216 angegebenen Absorptionsmittel in der Bürette erfolgen. Zu diesem Zwecke stellt man nach Abmessung des Gasvolumens das Niveaurohr so tief, daß das Wasserniveau innerhalb der Bürette bis an den untersten Teil derselben gelangt. Dann kneift man mit den Fingern den Schlauch des Niveauröhres zu und gießt den größten Teil des im Niveaurohr enthaltenen Wassers aus. Man ersetzt dasselbe durch das betreffende Absorptionsmittel und läßt dasselbe durch Loslassen des Schlauches in die Meßbürette eintreten. Dann quetscht man den Schlauch neuerdings ab, bewirkt durch

heftiges Umschütteln der Bürette die Absorption, bringt auf gleiches Niveau, indem man das Niveauröhr in entsprechende Höhe hält, und liest ab.

Dieses Absorbieren eines Gasbestandtheiles in der Gasbürette selbst bringt mannigfache Übelstände mit sich, so daß man dasselbe wenigstens in der einfachen Hempelschen oder abgeänderten Winklerschen Bürette nur ausnahmsweise vornimmt, wenn besondere Umstände dies nötig machen. In allen anderen Fällen zieht man es vor, die Absorption außerhalb der Bürette vorzunehmen. Es wird dadurch die Verdünnung des Absorptionsmittels durch das im Schlauch befindliche Wasser und der jedesmalige Verlust der angewendeten Menge des Absorptionsmittels vermieden. Außerdem erspart man sich dadurch das jedesmalige gründliche Auswaschen der Bürette, was erforderlich ist, wenn die nacheinander angewendeten Absorptionsmittel einander ungünstig beeinflussen. Die Absorption in den genannten einfachen Büretten kann in jenen Fällen überhaupt nicht ausgeführt werden, wo das Absorptionsmittel mit dem Gummischlauch oder mit Wasser nicht in Berührung kommen darf, wie dies z. B. bei der Absorption der schweren Kohlenwasserstoffe durch rauchende Schwefelsäure der Fall ist.

Die einfachsten Apparate zur Absorption außerhalb der Bürette, die auch heute noch in ausgebreiteter Anwendung stehen, sind die Hempelschen Gaspipetten. Eine einfache Pipette ist in Fig. 113 dargestellt. Das Absorptionsmittel wird durch das Ansatzrohr *f* in die Pipette eingefüllt, so lange, bis dieses die Kugel *b* vollständig und die Kugel *a* zum Teil füllt. Durch Neigen wird das Absorptionsmittel auch in das manometerartig gebogene kapillare Glasrohr *c* gebracht und stellt sich dann im rechten Schenkel desselben ebenso hoch wie in der Kugel *a*. Diese Pipetten dienen auch zur Aufbewahrung des Absorptionsmittels und werden deshalb durch einen Stopfen bei *f* und einen in den Gummischlauch eingesteckten Glasstab verschlossen. Diese Verschlüsse werden natürlich bei Ingebrauchnahme entfernt. Man bringt dann die mit dem abgemessenen Gasvolumen versehene Gasbürette *b* in Verbindung



mit dieser Absorptionspipette, wie dies Fig. 114 zeigt, indem man ein kapilläres zweimal gebogenes Glasrohr *F* zur Verbindung derselben benutzt. Durch Heben des Niveaurohres *a* und Öffnen des Quetschhahnes *d* wird das Gas in die Absorptionspipette hinübergetrieben und man trägt dafür Sorge, daß das Wasser in der Bürette wohl bis in die Verbindungskapillare *F* steigt, aber sich nicht dem Absorptionsmittel beimischt. Durch gelindes Umschwenken der Pipette befeuchtet man die Glaswandungen, wodurch die Absorption beschleunigt wird. Nach der für jedes Absorptionsmittel vorgeschriebenen Zeit senkt man das Niveaurohr *a*, indem man es bis auf den Fußboden, also tiefer als die Meßbürette *b*, setzt und den Quetschhahn *d* öffnet. Das Gas wird dann wieder in die Bürette eingesogen, das Absorptionsmittel steigt in der rechten Kugel der Pipette und man hat nun dafür zu sorgen, daß sie in der

Fig. 115.

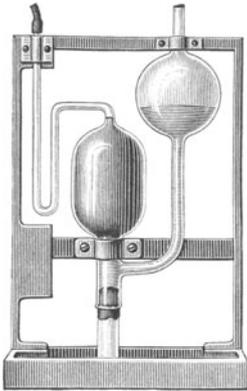
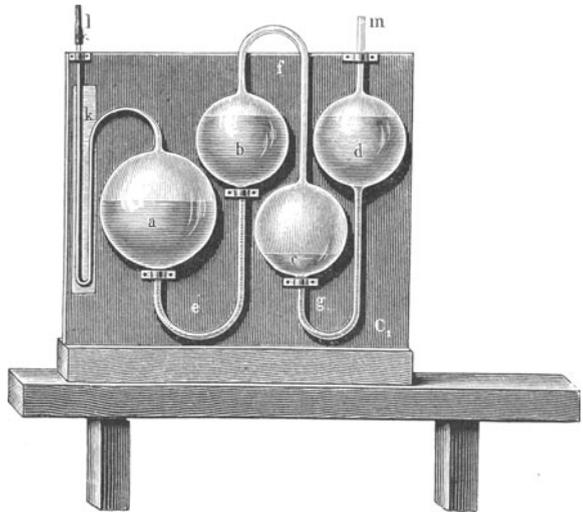


Fig. 116.



Kapillare den gleichen Stand einnimmt, wie vor der Absorption, auf keinen Fall aber bis in die Verbindungskapillare *S* gelangt. Nun kann der Quetschhahn *d* wieder geschlossen, und durch Heben des Niveaurohres *a* derart, daß die Flüssigkeitsspiegel in diesem und im Meßrohr *d* gleich hoch stehen, der Druck ausgeglichen werden. Nach dem Zusammenlaufen der Sperrflüssigkeit (S. 217) liest man den nicht absorbierbaren Rest des Gasvolumens ab und erhält durch Subtraktion von dem angewendeten Volumen den absorbierbaren Bestandteil, der sich ohne weiteres in Prozenten ausdrückt, wenn  $100 \text{ cm}^3$  angewendet wurden.

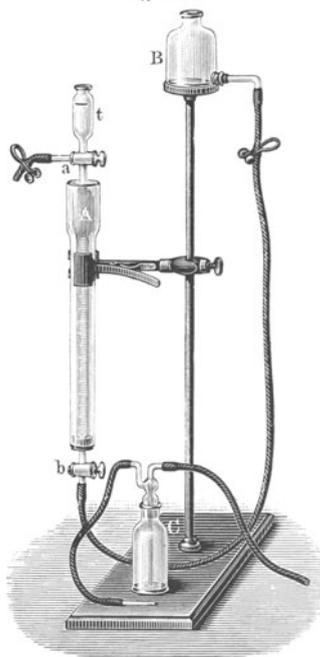
Hat man es mit festen Absorptionsmitteln zu tun, wie z. B. bei der Absorption von Sauerstoff mit Phosphor, wobei diese Absorptionsmittel mit Wasser überschichtet werden, so verwendet man Absorptionspipetten gemäß Fig. 115. Die länglich ausgebildete Absorptionspipette besitzt unten einen Tubus, der mit einem Stopfen verschlossen wird, nachdem das Absorptionsmittel eingefüllt wurde. Da Gummistopfen oft weich werden und herausfallen, ist es zweckmäßig, ein passendes Glasrohr mit einem Gummischlauch zu überziehen und dasselbe an einer Seite zuzuschmelzen, worauf es, wie

Fig. 115 zeigt, als Verschluß angewendet werden kann. In neuerer Zeit<sup>1)</sup> hat man auch Absorptionspipetten verwendet, welche den Tubus oben tragen, was ein bequemerer Füllen der Pipette gewährt. Bei Absorptionsmitteln, welche von der Luft nicht stark angegriffen werden, wie z. B. Kalilauge, genügt oft auch zur Aufbewahrung ein leichter Verschluß der Niveaugugel *a*. Als solcher dient zweckmäßig ein kleines Glasröhrchen, das an einem Ende zugeschmolzen und zu einer kleinen Kugel aufgeblasen ist. Man schiebt dieses Röhrchen, das dünner sein muß als das Ansatzrohr der Kugel *a*, in dieses hinein und erzielt so einen für die Aufbewahrung genügenden Verschluß, der jedoch bei der Inbetriebnahme der Pipette nicht entfernt werden muß, weil er genügend Luft hindurchläßt.

Andere Absorptionsflüssigkeiten hingegen, welche von der Luft stark angegriffen werden, wie z. B. Pyrogalllösung oder Kupferchlorür, müssen auch während der Arbeit vollständig vor Luftzutritt bewahrt werden. Zu diesem Zwecke kann man die sogenannten zusammengesetzten Absorptionspipetten verwenden, wie eine solche durch Fig. 116 wiedergegeben wird. Das Absorptionsmittel wird in die Kugel *a* gebracht, indem man an den Kautschukschlauch *l* ein mindestens 1 m hohes Glasrohr und an dieses einen Trichter ansteckt und dann die Flüssigkeit einfüllt. Das hohe Rohr ist erforderlich um die Lösung rasch durch die enge Kapillare hindurchzudrücken. Die anderen beiden Kugeln *c* und *d* werden vom Ansatzrohr *m* aus mit Wasser gefüllt. Zwischen den Kugeln *b* und *c* befindet sich somit ein gegen die Außenluft abgesperrtes Luftvolumen. Der Sauerstoffgehalt desselben löst sich zwar, wenn die Pipette Pyrogallol enthält, in dem Absorptionsmittel, der verbleibende reine Stickstoff verhindert aber eine weitere Oxydation des Absorptionsmittels. Zweckmäßig ist es, das ganze Kugelsystem vor dem Einfüllen der Flüssigkeiten mit dem zu untersuchenden Gase durchzuspülen, wodurch das zwischen *b* und *c* angesammelte Gasvolumen das Absorptionsmittel stets mit Gas gesättigt erhält.

Es ist ferner vorteilhaft, die Absorptionspipetten mit Notiztafeln zu versehen, auf welchen nicht nur der Name des Absorptionsmittels, sondern auch die Anzahl der Kubikcentimeter des betreffenden Gases notiert werden, welche jeweils absorbiert wurden. Man kann dann rasch erkennen, wie lange eine Lösung noch gebrauchsfähig ist. Natürlich soll auch der gesamte Wirkungswert angegeben sein. Zur Beobachtung der zur Absorption erforderlichen Zeiten wendet man eine Sanduhr oder eine Sekundenuhr an.

Fig. 117.



<sup>1)</sup> Göckel, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 228; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 558.

Ein sehr bequemer Apparat zur Gasuntersuchung, bei welcher Messung und Absorption in der Bürette selbst vorgenommen werden, ist die Bunte Bürette, Fig. 117. Die Meßbürette *A* ist mit einem wassererfüllten Glasmantel umgeben und trägt oben einen Dreiweghahn *a*, der die Bürette einerseits mit dem kleinen Gefäß *t* und andererseits in der Richtung der Spitze des Hahnkükens mit der Außenluft zu verbinden vermag. Charakteristisch für die Bunte Bürette ist, daß die Gasvolumina nicht unter Atmosphärendruck, sondern unter diesem plus dem Druck einer bestimmten Wassersäule, die in dem Trichtergefäß *t* vorhanden ist, gemessen werden. Bei der Abmessung des Gasvolumens geht man daher wie folgt vor: Man läßt zunächst die Bürette vom Gase durchströmen oder saugt das Gas durch das aus der Bürette ausfließende Wasser an. Man nimmt dabei etwas mehr als 100 cm<sup>3</sup> und komprimiert, nach Abschließen des Hahnes *a* durch Schrägstellen, das Gas, indem man die Niveauflasche *B*, welche mit einem durch Quetschhahn verschließbaren Schlauch mit dem unteren Hahn *b* der Bürette verbunden ist, auf den hierfür bestimmten Standort des Statives stellt. Dann wird der Quetschhahn geschlossen, die Niveauflasche *B* heruntergestellt und durch vorsichtiges Öffnen des Quetschhahnes so viel Wasser aus der Bürette ausgelassen, daß der Teilstrich 100 genau erreicht ist. Jetzt befindet sich das Gas in der Bürette unter erhöhtem Druck. Man füllt das Trichtergefäß *t* bis zu der dort angebrachten Marke mit Wasser und stellt den Hahn *a* so, daß das überschüssige Gas durch dieses Sperrwasser nach oben entweichen kann. Es bleibt dann Gas unter dem Druck in der Bürette zurück, welcher dem Atmosphärendruck plus der Flüssigkeitssäule von bestimmter Höhe im Trichtergefäß entspricht. Zwischen dem Hahn *a* und der Bürette darf kein längeres kapillares Verbindungsstück vorhanden sein. Dies würde eine Ungenauigkeit bedingen, da sich das Wasser dann manchmal nur in der Höhe vom Teilstrich im Trichtergefäß bis zum Hahn *a*, ein anderes Mal aber bis zum Übergang des kapillaren Rohres in dem erweiterten Teil der Bürette ansammelt. Um dies zu vermeiden, muß der Hahn *a* möglichst unmittelbar an den weiteren Teil der Bürette angeschmolzen werden.

Nach Abmessung des Gasvolumens werden die Hähne *a* und *b* — ersterer durch Schrägstellung — geschlossen, ebenso der Schlauch durch den Quetschhahn abgeklemmt und das untere Ende desselben von der Bürette abgenommen. Es handelt sich jetzt darum, die in der Bürette befindliche geringe Wassermenge herauszusaugen, um an Stelle derselben die Absorptionsflüssigkeit eintreten zu lassen. Zu diesem Zwecke dient die Saugflasche *C*, die zur Hälfte mit Wasser gefüllt wird. Durch Einblasen von Luft in den in der Zeichnung links liegenden Ansatzschlauch derselben bringt man das Wasser in dem mit einem Schlauch versehenen, bis auf den Boden reichenden Rohr zum Steigen, bis das Wasser eben aus der Mündung des Schlauches austritt. Dadurch wird erreicht, daß die Luft aus demselben vollständig verdrängt wird. Nun setzt man den Schlauch an die Spitze des Hahnes *b* an, der vorerst noch geschlossen bleibt, saugt Luft aus der Saugflasche *C* aus, und schließt den Schlauch durch Zudrücken mit den Fingern ab. Nun kann man den Hahn *b* der Bürette vorsichtig öffnen und so lange Wasser austreten lassen, bis dasselbe nahezu vollständig aus der Bürette verschwunden ist. Natürlich muß man darauf achten, daß kein Gas aus der Bürette entweicht.

Der Hahn *b* wird nun geschlossen und man läßt aus einem vorbereiteten Schälchen, in welches man die Spitze des Hahnes *b* eintaucht, durch Öffnen des letzteren das Absorptionsmittel eintreten, was zufolge der in der Bürette herrschenden Gasverdünnung leicht vonstatten geht. Man schließt *b* wieder ab, nimmt die Bürette aus der Klammer, verschließt das Trichtergefäß *t* mit dem Ballen der Hand und schüttelt ordentlich durch, bis die Absorption vollendet ist. Man taucht dann neuerdings in das Schälchen ein, läßt wieder Absorptionslösung aufsteigen, schüttelt nochmals und dies so lange, bis kein weiteres Eintreten der Lösung stattfindet. Nun muß das Gas unter den richtigen Druck gebracht werden. Zu diesem Zwecke genügt es, das Trichtergefäß *t* mit Wasser zu füllen und den Hahn *a* so zu stellen, daß das Wasser in die Bürette eintreten kann. Gelangt das Niveau des Wassers dabei unter die Marke im Trichtergefäß, so füllt man noch so viel Wasser nach, bis die Marke erreicht ist und zwar bei geöffnetem Hahn *a*. Ist dagegen das Niveau oberhalb der Marke stehen geblieben, so öffnet man vorsichtig den unteren Hahn *b* der Bürette, wodurch einestheils Wasser aus dieser ausfließt, anderenteils jedoch Wasser aus dem Trichtergefäß *t* durch den geöffneten Hahn *a* in die Bürette nachfließt, bis die Marke erreicht ist. Nun schließt man beide Hähne und liest das Volumen nach dem Zusammenlaufen des Wassers ab.

Um nun eine andere Absorptionslösung in die Bürette bringen zu können, muß die erstere zunächst entfernt werden. Man kann die Bürette auswaschen, ohne das Gasvolumen zu verändern, indem man beide Hähne *a* und *b* öffnet und in das Trichtergefäß *t* beständig Wasser nachfließen läßt. Ein solches Verfahren löst jedoch stets geringe Mengen der vom Wasser absorbierbaren Gase zufolge der großen Wassermengen, welche hindurchfließen. Es ist daher richtiger, die Lösung mittels der Saugflasche *C*, wie vorher erörtert, abzusaugen, eine kleine Quantität Wasser nachfließen zu lassen, wieder abzusaugen usw., bis die Bürette vom Absorptionsmittel gereinigt ist.

Die Bunte-Bürette ist außerordentlich handlich und auch genau. Das Arbeiten mit derselben ist jedoch etwas umständlicher als mit dem Hempelschen oder den nachstehend beschriebenen Apparaten.

Charles<sup>1)</sup> hat die Buntasche Bürette in der Weise abgeändert, daß er oberhalb des Hahnes einen kleinen Rezipienten angebracht hat, in welchen das Reagens eingefüllt wird, worauf er mit einem luftdicht schließenden Stöpsel derart abgeschlossen wird, daß kein Luftbläschen darin verbleibt. Nach Öffnen des weit gebohrten Hahnes läßt man das Reagens in die Bürette einfließen und dann nach Absorption wieder in den Rezipienten zurückfließen, wonach man das Niveau einstellt und abliest.

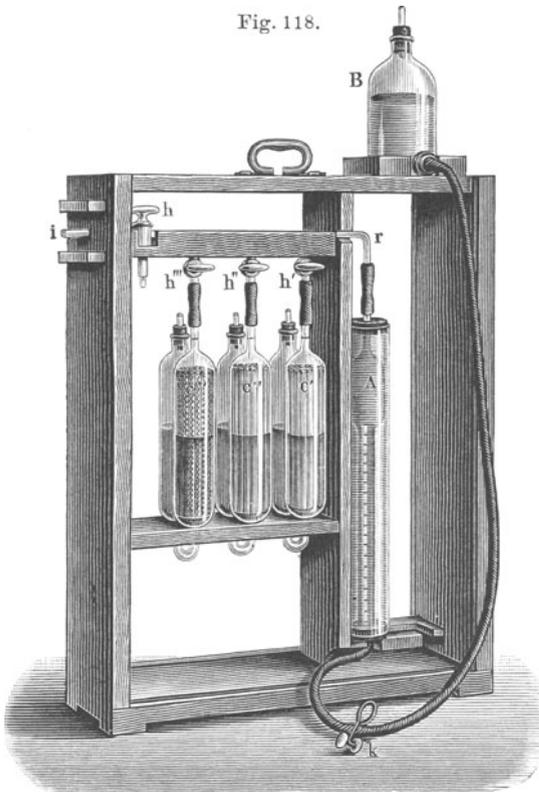
Naturgemäß kann man mit einer einzigen Meßbürette eine Anzahl von Absorptionspipetten durch feste Verbindungen vereinigen und dadurch einen Apparat herstellen, welcher zur Untersuchung von Gasen auf einige wenige Bestandteile sehr geeignet ist und sich zum Transport eignet.

Der Orsatsche Apparat ist in dieser Weise zusammengestellt. Er ist durch Fig. 118 veranschaulicht. Die Meßbürette *A* ist auch hier zur Konstanthaltung der Temperatur mit einem Wassermantel umgeben. Durch Senken

<sup>1)</sup> Chem.-Ztg. 1911, S. 718; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 509; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 799.

der Niveauflasche *B* wird das Gas vom Hahn *h* her durch das Rohr *r* angesogen und, wie bei der Buneschen Bürette erwähnt, 100 cm<sup>3</sup> abgemessen. Da der Apparat hauptsächlich zur Untersuchung von Rauchgasen verwendet wird, sind die drei Absorptionspipetten *C'*, *C''* und *C'''* mit Kalilauge zur Absorption von Kohlensäure, Pyrogallol zur Absorption von Sauerstoff und Kupferchlorürlösung zur Aufnahme von Kohlenoxyd gefüllt. Zweckmäßig ist es, noch eine vierte Pipette anzubringen, welche mit einer ganz frischen Lösung von Kupferchlorür gefüllt wird, um dort noch den schwer absorbierbaren Rest des Kohlenoxyds aufzunehmen. Durch Drehen der Glashähne *h'*, *h''* und *h'''* wird das Gas, wie

Fig. 118.



beim Arbeiten mit den Hempel'schen Apparaten, S. 223, beschrieben, zuerst von Kohlensäure, dann von Sauerstoff, schließlich von Kohlenoxyd befreit. Das Hinüberpressen und Zurücksaugen des Gases erfolgt durch Heben und Senken der Niveauflasche *B*. Beim Zurücksaugen des Gases muß darauf geachtet werden, daß die in der Absorptionspipette befindliche Lösung nicht bis in die Bürette herübergesaugt wird, denn dadurch würde das Sperrwasser verunreinigt und für künftige Analysen unbrauchbar. Es ist sogar zweckmäßig, die Absorptionsflüssigkeit nicht ganz bis zu den Glashähnen *h'*, *h''*, *h'''* aufsteigen zu lassen, da durch die alkalischen Flüssigkeiten oft ein Festsetzen der Glashähne veranlaßt wird, so daß dieselben später nicht mehr betriebsfähig sind. Um dies unter allen Umständen zu vermeiden, ist

es geboten, die Hähne nach jeder Untersuchung zu lüften und mit Vaseline oder einem besonderen, konsistenteren Hahnfett einzufetten. Um die Lösungen nicht mit der Luft in Berührung zu lassen, werden an die in der Zeichnung am rückwärtigen Teil der Pipette herausragenden Röhrechen Gummibeutel angebracht, welche sich beim Hinüberpressen des Gases in die Absorptionspipette, zufolge des Steigens der Lösung in dem hinteren Teil aufblähen und beim Zurücksaugen wieder zusammenfallen. Pyrogallol und Kupferchlorür absorbieren nach der Füllung den Sauerstoff der im rückwärtigen Teil der Pipette enthaltenen Luft, und es kann deshalb manchmal, nachdem der Gummibeutel schon vollständig entleert ist, das Gas nicht mehr in die Bürette zurückgesogen werden, weil in den rückwärtigen Teil der Pipette keine Luft nachdringen kann. Man muß dann den Pfropfen

etwas lüften und während des Zurücksaugens des Gases etwas Luft dort eintreten lassen. Später ist dies nicht mehr erforderlich, weil später der ganze rückwärtige Teil der Pipette mit reinem Stickstoff gefüllt ist, nachdem aller Sauerstoff absorbiert ist.

Zur Verbesserung des Orsatschen Apparates sind sehr viele Vorschläge gemacht worden, die jedoch hier nur zum geringsten Teil wiedergegeben werden können. An Stelle der zerbrechlichen Glashähne hat Naef<sup>1)</sup> Schlauchventile, mit in den Schlauch eingesetzten kugelförmigen Glaskörpern empfohlen. Durch seitliches Drücken des Schlauches an der Stelle dieses Glaskörpers mittels zweier Finger wird der Schlauch so weit vom Glaskörper entfernt, daß ein Kanal entsteht, durch welchen das Gas hindurchtreten kann.

Olschewsky<sup>2)</sup> empfiehlt an Stelle der Glaskörper gewöhnliche Quetschhähne. Auch die Absorptionspipetten sind zur Erzielung einer rascheren Absorption vielfach umgestaltet worden. Schon das Einsetzen einer großen Anzahl von Glasröhrchen, wie sie in der Zeichnung angedeutet sind, beschleunigt die Absorption der mit Flüssigkeit befeuchteten Oberfläche. Bei den Pipetten mit Kupferchlorür schiebt man in jedes Röhrchen noch einen blanken Kupferdraht, um eine Oxydation der Lösung zu vermeiden.

Cornelius Heinz in Aachen hat die Absorptionsfähigkeit der Pipette dadurch vergrößert, daß er das Gas in Blasenform durch die Flüssigkeit hindurchgurgeln läßt. Zu diesem Zwecke findet die Gaszuleitung durch ein zentral von oben nach unten führendes sehr dünnes Glasrohr statt, dem unten ein kleiner Teller entgegengestellt ist, damit die Gasblasen zerteilt werden und nicht in den rückwärtigen Teil der Pipette gelangen können. Natürlich kann man das Gas dann nicht durch dasselbe Rohr in die Bürette zurücksaugen, da dieses ja in die Flüssigkeit eintaucht. Das Zurücksaugen muß vielmehr durch ein zweites, oben seitlich angesetztes Rohr erfolgen. Der Oberteil der Absorptionspipette ist jedoch dann so auszubilden, daß dieses Rohr an der höchsten Stelle abzweigt, so daß beim Zurücksaugen keine Gasblasen in der Pipette verbleiben. Gemäß dieser Anordnung muß eine Umschaltung beim Einleiten des Gases und beim Zurücksaugen stattfinden, die bei der Heinzeschen Pipette durch einen einzigen Hahn mit einer doppelten Bohrung erfolgt.

Bei einer anderen Ausführung leitet Heinz das durch das zentrale Glasrohr unten in die Flüssigkeit austretende Gas noch durch ein schlangenförmig gewundenes Rohr, welches mit Gasblasen und Flüssigkeitstropfen erfüllt wird und durch welches das Gas, infolgedessen in steter Berührung mit der Flüssigkeit, allmählich nach oben steigt. Auch bei dieser Vorrichtung muß natürlich die Umschaltung durch den doppelt gebohrten Glashahn erfolgen. Die letztere Vorrichtung bewirkt eine außerordentlich vollständige Absorption, es muß jedoch darauf geachtet werden, daß die Gasblasen in dem gewundenen Rohre nur langsam emporsteigen und sich bei dunkel gefärbten Flüssigkeiten, also speziell bei Pyrogallol, leicht der Beobachtung entziehen, was dann natürlich zu einer vollständig falschen Ablesung führt. Die Glasrohrschlangen sollten daher immer eine starke Steigung (etwa 25 bis 30 mm pro Windung) besitzen, was nicht immer der Fall ist. Das Durchtreiben der Gasblasen durch die Flüssigkeit bewirkt in beiden von Heinz angegebenen Konstruktionen leicht ein Schäumen der Flüssigkeit, was namentlich bei der Kalilauge

---

<sup>1)</sup> Chem. Ind. 1885, S. 289. — <sup>2)</sup> Post, Chem.-techn. Anal., 2. Aufl., 2. Bd., S. 72.

und beim Pyrogallol nach längerer Benutzung eintritt. Der Schaum kann nur durch häufiges Hinüber- und Herüberführen der letzten Gasmenge beseitigt werden, wobei jedoch niemals die vom Schaum herrührenden Tröpfchen bis in die Meßbürette gelangen dürfen. Dieser Übelstand wiegt einen großen Teil der durch die raschere Absorption gewonnenen Zeitersparnis auf, so daß bei Kalilauge, die ohnedies die Kohlensäure sehr rasch absorbiert, diese verbesserten Pipetten nicht zu empfehlen sind. Besonders gute Dienste leisten sie hingegen beim Kupferchlorür, das keine Schaumbildung zeigt, und wo eine Beschleunigung der Absorptionszeit sehr erwünscht ist.

Weitere Vervollkommnungen des Orsatschen Apparates beziehen sich auf die Anordnung einer größeren Zahl von Absorptionspipetten und auf Hinzufügung von Explosionspipetten<sup>1)</sup> und Verbrennungskapillaren zum Zwecke der vollständigen oder teilweisen Verbrennung der Gase, wie dies später angegeben werden wird. Mit so vervollkommenen Apparaten lassen sich dann auch komplette Gasanalysen von komplizierter zusammengesetzten Gasmischungen (z. B. Steinkohlengas) ausführen. Die große Anzahl von Glashähnen macht jedoch einen solchen Apparat kostspielig und erfordert auch eine sorgsame Wartung, um das Festsetzen der Glashähne zu vermeiden. Zweckmäßig ist die täglich einmalige Bewegung derselben und eine häufige Prüfung auf Dichtheit.

Beim Orsatschen Apparat ist ein Fehler bei der Abmessung des Gases dadurch gegeben, daß das Volumen der kapillaren Glasrohre, welche die Bürette mit den Absorptionsgefäßen verbindet, nicht berücksichtigt wird. Man kann zwar diesen Fehler verringern, wenn man die Kapillaren sehr dünn wählt, dann geht aber viel Zeit beim Herüberpressen des Gases verloren, weil diese engen Kapillaren zu wenig Gas durchlassen. Pfeiffer in Budapest hat daher eine sehr zweckmäßige Änderung des Orsatschen Apparates vorgeschlagen. Er spült die weit gehaltenen Kapillaren vor jeder Messung mit Wasser durch. Zu diesem Zweck ist das Ende der horizontal liegenden Verbindungskapillare mit einem nach oben gerichteten kleinen Trichterchen versehen; dieses wird mit etwas angesäuertem Wasser gefüllt, um die in den Kapillaren oft enthaltenen kleinen Mengen von Kali zu neutralisieren. Vor der Ablesung wird dann in der Meßbürette durch Senken der Niveauflasche ein Unterdruck erzeugt, wonach man durch kurzes Öffnen des zum Trichter führenden Hahnes zur Verdrängung des Gases aus den Kapillaren eine kleine Menge von Wasser in die Bürette eintreten läßt. Durch diese Vervollkommnung ist ermöglicht, das Arbeiten mit dem Orsatapparat so weit genau zu gestalten, daß Kohlenoxyd und Wasserstoff auf indirektem Wege durch Verbrennung in der Explosionspipette (s. S. 247) bestimmt werden können, ohne die zeitraubende oftmalige Absorption im Kupferchlorür ausführen zu müssen.

Derartige indirekte Methoden geben aber vollständig unzuverlässige Resultate, wenn der durch das Volumen der Kapillaren entstehende Fehler unberücksichtigt bleibt.

Bei dem von Pfeiffer verbesserten Orsatschen Apparat bleibt noch der Fehler bestehen, welcher durch die Absorption von Kohlensäure im Sperrwasser bedingt ist. Verwendet man auch in der Explosionspipette Quecksilber als Sperrflüssigkeit, wie dies Pfeiffer vorschlägt, so wird doch beim

<sup>1)</sup> Zum Beispiel Hahn, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 557.

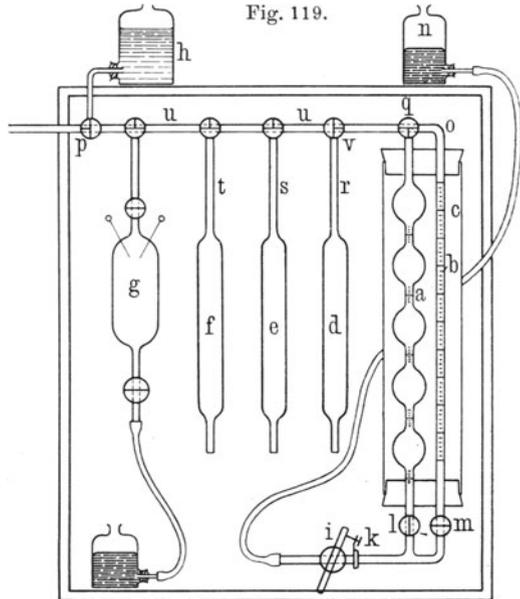
Messen der Kontraktion nach der Verpuffung die Messung in der Meßbürette vorgenommen, wo Quecksilber nicht gut angewendet werden kann, und zwar aus folgendem Grunde:

Zum Zwecke des Einstellens auf gleichen Druck mit der äußeren Atmosphäre wird, wie bereits erwähnt, die Niveauflasche in eine solche Höhe gebracht, daß das Niveau der Flüssigkeit in dieser und in der Meßbürette gleich hoch stehen. Hat man Wasser als Sperrflüssigkeit, so schadet hier eine Ungenauigkeit von 1 mm nicht, weil sie nur  $\frac{1}{10\,000}$  des normalen Druckes ausmacht, also nur einen Fehler von 0,01 Proz. bedingt. Nimmt man jedoch Quecksilber als Sperrflüssigkeit, so verursacht ein Fehler von 1 mm in der Höhe beim Druckausgleich einen Fehler von  $\frac{1}{760}$  des Gesamtvolumens, das ist 0,13 Proz. und dieser Fehler ist für indirekte Methoden zu groß.

Der Verfasser<sup>1)</sup> hat daher vorgeschlagen, die Abmessung unter Atmosphärendruck plus einer bestimmten Wassersäule vorzunehmen, wie dies bei der Buntaschen Bürette geschieht. Man kann dann auch in der Meßbürette Quecksilber als Sperrflüssigkeit anwenden und dadurch Resultate erzielen, die beinahe so genau sind, wie jene der exakten Gasanalyse. Um dann die Abmessung möglichst rasch und doch genau ausführen zu können, werden, wie auf S. 218

beschrieben, zwei Meßbüretten verwendet, deren eine (*a* in Fig. 119) vier kugelförmige Erweiterungen mit dazwischen liegenden, die Ablesung von  $\frac{1}{100}$  cm<sup>3</sup> gestattenden Verengungen besitzt, während die andere (*b*) im ganzen nur 20 cm<sup>3</sup> faßt und zylindrisch und so eng ist, daß ebenfalls  $\frac{1}{100}$  cm<sup>3</sup> abgelesen werden können.

Der vom Verfasser verbesserte Orsat-Pfeiffersche Apparat besteht demnach, wie Fig. 119 zeigt, aus zwei, in einem gemeinsamen Wassermantel *c* sich befindenden Meßbüretten, wie oben erörtert, aus je einem Absorptionsgefäß: *d* für CO<sub>2</sub>, *e* für rauchende Schwefelsäure und *f* für Pyrogallol, ferner einer Explosionspipette *g* und am Ende der Kapillarverbindungsrohre aus dem nach oben gerichteten Trichterchen, gemäß der Pfeifferschen Anordnung oder, wie in der Zeichnung angegeben, einer Niveauflasche *h*. Sowohl in der Explosionspipette, als in der Meßbürette dient Quecksilber als Sperrflüssigkeit. Um rasch arbeiten zu können ist das, die beiden Meßbüretten mit der Niveauflasche verbindende Rohrstück mit einem Drosselhahn *i* versehen, welcher durch die Einstellung einer Stellschraube *k* die Arretierung



<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 203.

der Hahndrehung ermöglicht, so daß dieser bis auf einen ganz geringen Durchgang abgedrosselt werden kann, ohne daß er vollständig geschlossen werden könnte. Dagegen trägt jede der beiden Meßbüretten unten einen Glashahn  $l$  und  $m$ , zum Zwecke des vollständigen Absperrens. Es ist dann möglich, bei hochgestellter Niveauflasche  $n$  das Gas bei ganz geöffneten Hähnen mit großer Geschwindigkeit in die Absorptionsgefäße zu treiben und in dem Momente, wo das Quecksilber nahezu die Kapillare bei  $o$  erreicht hat, den Stellhahn zu drosseln, um den weiteren langsamen Übertritt des Gases in das Absorptionsgefäß zu bewirken, damit dann beim Eintreten der Sperrflüssigkeit in die Kapillare der Zufluß durch Schluß des Bürettenhahnes  $l$  oder  $m$  ganz abgeschlossen werden kann, sobald die Sperrflüssigkeit in das Absorptionsgefäß überzutreten beginnt.

Die Arbeit mit diesem Apparate vollzieht sich folgendermaßen: Nachdem man den Gaszuführungsschlauch an den mit einer  $T$ -Bohrung versehenen Hahn  $p$  angeschlossen hat und die Absorptionsgefäße mit den betreffenden Lösungen gefüllt sind, hebt man das Niveaugefäß  $n$  der Meßbüretten auf den Deckel des Apparatkastens und füllt beide Büretten durch Öffnen der unteren Hähne und ihres oberen Verbindungshahnes  $q$  mit Quecksilber, indem man den Drosselhahn  $i$  erst ganz öffnet und dann drosselt, sobald das Quecksilber zu den Kapillaren gelangt. Die in den Büretten enthaltene Luft läßt man dabei zweckmäßig durch die Wasserflasche  $h$  entweichen. Durch nochmaliges Senken der Niveauflasche saugt man einige Kubikzentimeter des angesäuerten Wassers in eine der Büretten und verdrängt dasselbe durch Heben der Niveauflasche neuerdings in die Wasserflasche. Dadurch entweichen die letzten im Verbindungsrohr zwischen der Wasserflasche und den Kapillaren befindlichen Luftbläschen. Man füllt dabei die horizontale Verbindungskapillare bis zum Hahn, der zur Wasserflasche führt, mit Quecksilber. Die zu den Absorptionsgefäßen führenden kapillaren Abzweigungen  $r$ ,  $s$ ,  $t$  bleiben dagegen mit den Absorptionslösungen gefüllt. Durch Herunterstellen der Niveauflaschen und Öffnen sämtlicher Hähne der Meßbüretten überzeugt man sich von der Dichtheit aller Hähne und Schlauchverbindungen, da hierbei das Quecksilber in der Verbindungskapillare stehen bleiben muß, wenn von außen keine Luft hinzutreten kann. Man öffnet nun den Hahn  $q$ , welcher die Gaszufuhr vermittelt.

Der Gaszufluß erfolgt sehr rasch und wird erst durch den Drosselhahn gedrosselt, sobald die Kugelbürette  $a$  bis unter die unterste Kugel gefüllt ist. Die kleine Bürette bleibt hierbei durch Abdrehen ihres unteren Hahnes geschlossen. Man saugt um einige Zehntel Kubikzentimeter mehr an, als abgemessen werden soll. Dann schließt man die Gaszufuhr, hält die Niveauflasche etwa 1 cm tiefer, als dem inneren Niveau des Quecksilbers entspricht, damit das Gas unter gelinder Saugwirkung steht und läßt nun Wasser durch Öffnen des Wasserflaschenhahnes  $p$  einfließen. Dieses füllt zunächst die Verbindungskapillare  $uu$  und tritt dann in die Meßbürette ein, bis das Gas auf Atmosphärendruck plus dem Druck der Wassersäule vom Beginn der Bürette bis zum Niveau der Wasserflasche zusammengedrückt ist. Das letztere Niveau kann als konstant angenommen werden, wenn die Flasche entsprechend groß ist. Zweckmäßig ist es, an derselben eine Millimeterteilung anzubringen, um die Druckhöhe ablesen zu können. Hat man die Saugwirkung beim Einstellen des Quecksilberspiegels richtig gewählt, so

gelingt es, daß nur wenige Zehntel Kubikzentimeter Wasser in die Bürette eintreten, und diese sind erforderlich, um das Gas stets unter der gleichbleibenden Tension des Wasserdampfes zu halten. Sobald kein Wasser mehr eintritt, schließt man den Wasserflaschenhahn  $p$  und läßt das Wasser in der Meßbürette mindestens zwei Minuten zusammenlaufen. Dann erfolgt die Ablesung. Es ist natürlich nicht notwendig, genau  $100\text{ cm}^3$  Gas abzumessen, da die Resultate ohnedies umgerechnet werden müssen. Nun hebt man die Niveauflasche wieder auf den Apparatkasten, öffnet den Hahn  $v$  zu dem ersten Absorptionsgefäße, läßt dann Quecksilber durch Öffnen des Bürettenhahnes  $l$  eintreten, öffnet den Drosselhahn  $i$  zum Zwecke des raschen Hinübertreibens des Gases und drosselt diesen erst, wenn die geringe unter dem Quecksilber befindliche Wassermenge an die Kapillare herantritt. Dann wartet man ab, bis das Gas vollständig in das Absorptionsgefäß übergetreten ist und eine kleine Wassermenge in dieses eintritt. Man achte jedoch darauf, daß kein Quecksilber mit herüberkommt, was durch rechtzeitiges Absperren des unteren Bürettenhahnes  $l$  verhindert wird. Nach vollzogener Absorption senkt man das Niveaugefäß  $n$ , öffnet den unteren Hahn der Kugelbürette  $l$  und den Drosselhahn  $i$ , wodurch das Gas rasch angesogen wird, drosselt, sobald  $80\text{ cm}^3$  nahezu herübergegangen sind, schließt den unteren Bürettenhahn vollständig, sobald etwas mehr als  $80\text{ cm}^3$  in der Kugelbürette sind, öffnet dann den unteren Hahn  $m$  der kleinen Bürette und saugt so lange an, bis die Absorptionsflüssigkeit bis zum Absperrhahn  $v$  getreten ist, ohne jedoch bis an die Verbindungskapillare zu gelangen. Der obere Verbindungshahn  $q$  der beiden Büretten kann hierbei stets so gestellt bleiben, daß beide Büretten mit der Verbindungskapillare kommunizieren. Man bringt jetzt wieder auf etwa  $1\text{ cm}$  Unterdruck, läßt Wasser aus der Wasserflasche  $h$  nachfließen und liest wieder ab. Auf diese Weise werden nacheinander Kohlensäure in Kalilauge, die schweren Kohlenwasserstoffe in rauchender Schwefelsäure und Sauerstoff in Pyrogallol absorbiert. Die Bestimmung von Wasserstoff, Kohlenoxyd, Methan und Stickstoff erfolgt durch Verbrennung in der Explosionspipette, Messung der Kontraktion, Bestimmung des Kohlensäuregehaltes in den Verbrennungsgasen und Messung des Sauerstoffüberschusses, wie dies auf S. 249 erläutert wird.

Da sich bei längerer Dauer einer Untersuchung Temperatur und Barometerstand etwas ändern können, so ist es erforderlich, beide zu Beginn und am Schluß des Versuches abzulesen und im Falle der Änderung entsprechende über die Zeiträume der Untersuchung zu verteilende Korrekturen anzubringen.

Gase, welche nur einen sehr geringen Prozentsatz eines absorbierenden Bestandteiles enthalten, können im gewöhnlichen Orsatschen Apparate schon deshalb nicht untersucht werden, weil die Genauigkeit der Ablesung höchstens  $0,1\text{ cm}^3$  beträgt. In dem vorhin genannten Apparate ist allerdings auch die Bestimmung von nur  $\frac{1}{100}\text{ cm}^3$  möglich. Aber für viele Fälle ist derselbe zu kompliziert. Winkler<sup>1)</sup> hat dagegen einen Apparat angegeben, der genau so gestaltet ist wie der Orsatsche Apparat und in Fig. 120 dargestellt ist. Die Meßbürette  $A$  besteht hier aus einer sehr dünnen Röhre, welche oben zu einer Kugel aufgeblasen ist. Hierbei ist es jedoch sehr notwendig, diese Kugel und das Meßrohr mit einem Wassermantel zu umgeben, da geringe Temperaturdifferenzen größere Volumenänderungen ergeben, als bei so ge-

<sup>1)</sup> Techn. Gasanalyse, 3. Aufl., S. 105.

nauen Ablesungen zulässig ist. Die Funktion des Apparates ergibt sich nach dem vorher Gesagten und aus der Zeichnung von selbst. Er wird speziell zur Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der Luft verwendet.

Zu diesem Zwecke dient auch der von Rüdorff angegebene, in Fig. 121 dargestellte Apparat<sup>1)</sup>. Er besteht aus einer Woulfischen Flasche von etwa 1 Liter Inhalt, welche genau ausgemessen ist und drei Hälse besitzt. In dem einen befindet sich eine gewöhnliche Bürette für Flüssigkeiten, die mit starker Kalilauge gefüllt wird. Man Sorge dafür, daß auch die in die Flasche hineinragende Spitze in der Bürette mit der Lauge gefüllt ist. Bevor man diese Bürette in die Flasche einsetzt, verdrängt man die in letzterer befindliche Luft durch

Fig. 120.

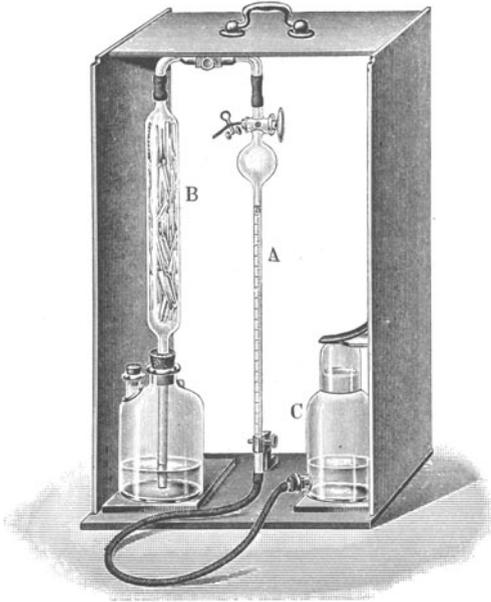
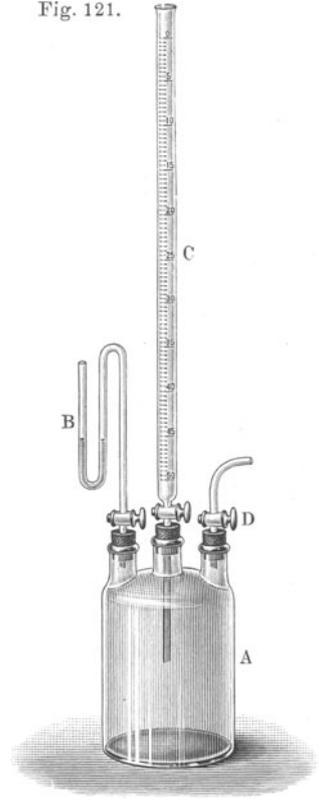


Fig. 121.



das zu untersuchende Gas, welches durch einen der beiden in der Zeichnung angegebenen Glashähne eingeleitet wird. An dem anderen Halse befindet sich ein mit Wasser gefülltes Manometer, das mit einem möglichst weiten, leeren Glasgefäße verbunden ist. Es dient dazu, den Druck des Gases im Inneren der Flasche genau zu bestimmen. Da sich jedoch bei einer Verschiebung der Manometerflüssigkeit auch das Volumen der in dem leeren Glasgefäße befindlichen Luft etwas verändert und daher der Druck in letzterem bei Verschiebung des Manometers nach rechts abnimmt, so muß das Manometerrohr möglichst dünn kapillar und das in der Zeichnung nicht angegebene leere Glasgefäß groß gewählt werden. Sobald der Druck und der Stand der Kalilauge in der Bürette abgelesen ist, setzt man die Bürette ein, schließt die beiden Hähne, welche zur Gaszu- und -abfuhr dienten, und

<sup>1)</sup> Hempel, Gasanalyt. Methoden, 3. Aufl., S. 259.

läßt einen Tropfen der Kalilauge einfließen. In dem Maße, wie die Kohlensäure absorbiert wird, verringert sich der Druck in der Woulfischen Flasche. Man läßt nun so lange Kalilauge zufließen, bis das Manometer wieder den gleichen Druck anzeigt, schüttelt dann zur Vervollkommnung der Absorption um, ohne jedoch die Flasche mit der Hand zu berühren, da diese Erwärmung natürlich die Bestimmung unsicher machen würde. Durch die vervollkommnete Absorption sinkt der Druck in der Flasche wieder und man muß so lange Lauge zusetzen, bis dies nicht mehr eintritt und bis der Druck wieder die ursprüngliche Höhe erreicht hat wie vor Beginn der Untersuchung. Es ist dann so viel Kalilauge eingetreten, als das Volumen der Kohlensäure betragen hat, und wenn die Flasche genau einen Liter Inhalt hatte, so zeigen die verbrauchten Kubikzentimeter den Kohlensäuregehalt in Promillen an.

Ein anderer Apparat, welcher sehr genaue Bestimmungen von ganz geringen Mengen absorbierbarer Gase gestattet, ist jener von Petterson-Palmquist (Fig. 122). Die Meßbürette *A* läuft unten in ein sehr dünnes Meßrohr aus, welches unten unter Vermittelung des Hahnes *d* mit dem Niveaugefäß *E* verbunden ist, das Gas wird durch den Hahn *c* angesogen. Die Ablesung des Volumens erfolgt unter konstantem Druck, unabhängig vom Druck der äußeren Atmosphäre, indem der Hahn *c* geschlossen und der zu einem Differentialmanometer führende Hahn *a* geöffnet wird. Dieses ist auf der anderen Seite mit dem leeren Glasgefäß *C* verbunden, in welchem eben jener Druck herrscht, unter dem die Abmessung erfolgen soll, also zu Anfang der Arbeit zweckmäßig der äußere Atmosphärendruck. In dem Differentialmanometer dient ein Tropfen von Petroleum, welches mit Azobenzol gefärbt ist, als Indikator. Er befindet sich im horizontalen Teil des Differentialmanometers. Steht der Tropfen nicht auf dem Nullpunkte, so wird nach Schließen des Hahnes *b* mittels der Schraube *e* das Volumen unterhalb des Meßrohres so lange geändert, bis durch Steigen des Quecksilbers in dem Meßrohr ein solcher Druck erzeugt ist, daß der Indikatortropfen im Differentialmanometer auf der Nullmarke steht. Es erfolgt dann das Überpressen des Gases in das Absorptionsgefäß *B* in der gleichen Weise wie bei den anderen Apparaten, nur muß natürlich während dieser Operation der zum Manometer führende Hahn *a* geschlossen sein. Nach Zurücksaugen des Gases erfolgt die Ablesung des Volumens wieder in gleicher Weise, wie vorher erörtert. Vor Öffnen des Manometerhahnes *a* muß man stets dafür sorgen, daß der gewünschte Druck annähernd bereits vorhanden ist. Anderenfalls würde der Indikatortropfen aus dem Manometerschenkel herausgeschleudert und die Bestimmung unbrauchbar, weil sich dann das Luftvolumen im Luftgefäß *C* ändert. Während der Zeit, als man das Manometer nicht braucht, sind zur Sicherung des Tropfens die Hähne *f* und *g* zu öffnen, jedoch müssen sie natürlich vor jeder Ablesung geschlossen werden. Die Meßbürette *A*, das Luftgefäß *C* und die Absorptionspipette *B* sind von einem gemeinsamen Wassergefäß umgeben, damit sie stets gleichbleibende Temperatur besitzen.

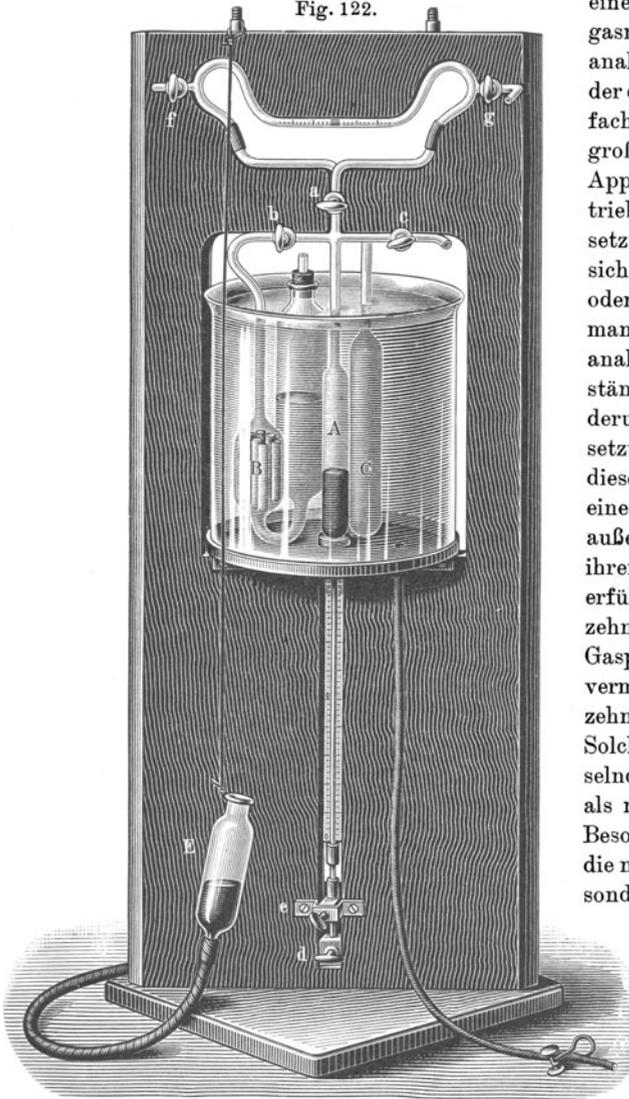
Eine Verbesserung des Petterson-Palmquist-Apparates ist von Drehschmidt<sup>1)</sup> angegeben worden, und Haber und Allner<sup>2)</sup> haben denselben für die exakte Gasanalyse verwendbar gemacht. In dieser Form wird er von Dr. Göckel in Berlin geliefert. Da hier jedoch nur die technische Gasanalyse

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1889, S. 3. — <sup>2)</sup> Ebend. 1905, S. 1035.

erörtert werden kann, muß diesbezüglich auf die Originalabhandlungen verwiesen werden.

Im letzten Jahrzehnt sind die automatisch wirkenden Gasanalysenapparate zu großer Bedeutung gelangt. Der Verfasser wies bereits im Jahre 1901 in

Fig. 122.



einem Vortrage über Schnellgasmessung und Schnellgasanalyse vor der Versammlung der deutschen Gas- und Wasserfachmänner in Wien <sup>1)</sup> auf die große Wichtigkeit derartiger Apparate hin. In einem Betriebe, wo die Zusammensetzung der auftretenden Gase sich durch lange Zeit nicht oder nur wenig ändert, kommt man mit den gewöhnlichen gasanalytischen Apparaten vollständig aus. Bei raschen Änderungen in der Zusammensetzung des Gases erfordern dieselben jedoch die Tätigkeit eines Mannes fortdauernd und außerdem können sie doch ihren Zweck nicht vollkommen erfüllen, weil auch die alle zehn Minuten genommenen Gasproben nicht anzuzeigen vermögen, was während der zehn Minuten vorgegangen ist. Solche Betriebe mit rasch wechselnden Gasen sind zahlreicher als man gewöhnlich annimmt. Besonders bei Rostfeuerungen, die nicht nur bei Dampfkesseln, sondern auch bei anderen Feuerungsanlagen noch eine

weit verbreitete Anwendung genießen, ist die Zusammensetzung der entstehenden Verbrennungsgase eine außerordentlich stark schwan-

kende. Auch bei großer Geschicklichkeit des Heizers gelingt es ohne Anwendung eines kontinuierlich wirkenden Gasanalysenapparates selten, den Rost so gleichmäßig beschickt zu halten, den Kohlensäuregehalt der Verbrennungsgase, der ja bekanntlich für den Nutzeffekt der ganzen Feuerungsanlage maßgeblich ist, auf der günstigst erreichbaren Höhe zu erhalten. So

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1901, S. 646.

zeigt z. B. das Diagramm Fig. 123 den Kohlensäuregehalt der Rauchgase eines von einem geschickten Heizer bedienten und nach den bisherigen Ansichten vollständig befriedigend arbeitenden Dampfkessels guter Konstruktion. Zu diesem Diagramm muß bemerkt werden, daß die Zeiteinteilung irrtümlich ist. Zwischen zwei Vertikallinien liegt hier nicht der Zeitraum einer Stunde, sondern nur eine Zeit von 10 Minuten. In je etwa 10 Minuten vollzog sich ein Abfall des Kohlensäuregehaltes von 10 auf etwa 5 Proz. Es ist dies eine Folge der ungleichmäßigen Verteilung der Kohle auf dem Roste, da an jenen Stellen, wo die Kohle zuerst abbrennt, unverbrauchte Luft durch den Rost streicht.

Bei jedesmaligem Nachlegen steigt der Kohlensäuregehalt auf die normale Höhe, um dann sofort wieder abzufallen. Nach Anschluß eines automatisch registrierenden Kohlensäureprüfers erhielt der Heizer den Auftrag,

Fig. 123.

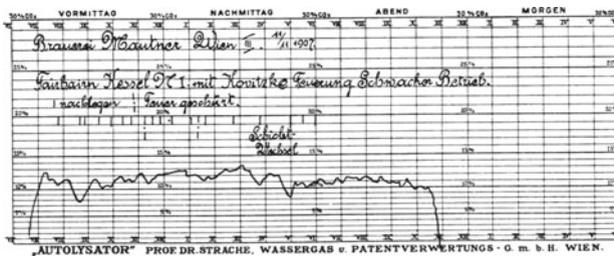
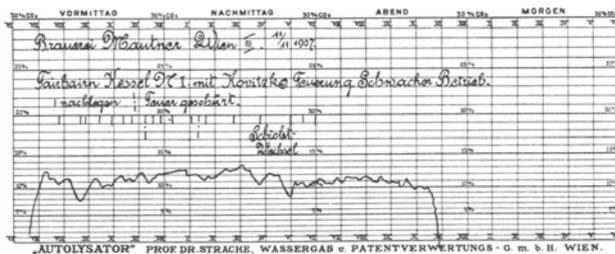


Fig. 124.



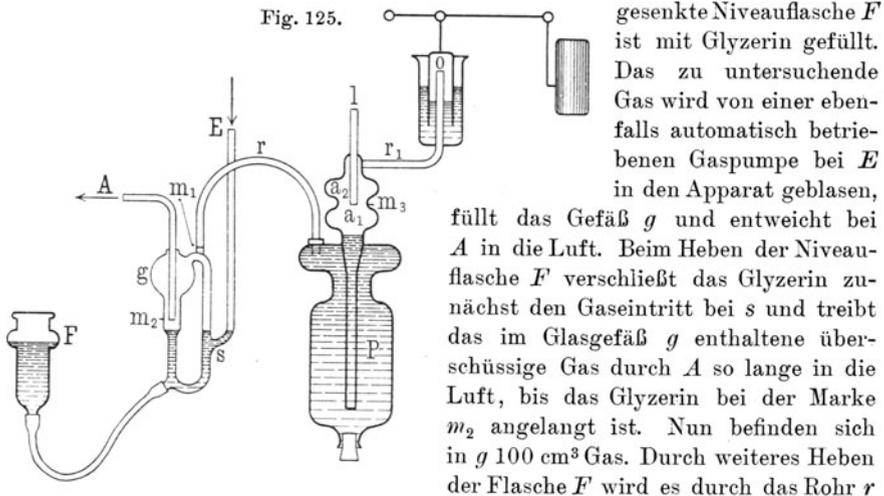
die Anzeige stets zu beobachten und bei beginnendem Herabgehen des Kohlensäuregehaltes sofort den Rost frisch zu beschicken oder die Kohle auf demselben gleichmäßig zu verteilen. Die Menge des erzeugten Dampfes wurde dabei durch Drosselung des Schornsteinschiebers geregelt. Das Ergebnis war das Diagramm Fig. 124. Der  $\text{CO}_2$ -Gehalt wurde bis auf 13 Proz. gebracht, die Ersparnis an Brennmaterial betrug 10 Proz. und die Leistung eines Kessels stieg um ein Drittel. Ebenso große Vorteile erzielt man durch selbstregistrierende Apparate auch bei Generatorfeuerungen, wo der Kohlensäuregehalt bei einiger Aufmerksamkeit bis auf 18 Proz. gebracht werden kann.

Diese Vorteile werden allerdings nur dann voll erreicht, wenn man Apparate mit kontinuierlicher Anzeige verwendet. Denn jene Apparate, welche nur alle 4 bis 8 Minuten eine Anzeige liefern, geben nur ein mittleres Resultat, das zwar zur Kontrolle des Heizers sehr wertvoll ist, das aber dem Heizer selbst während der Bedienung keine Vorteile bietet. Auch ist es notwendig, daß derartige Apparate, welche für Rostfeuerungen dienen sollen, die Anzeige möglichst sofort, längstens innerhalb zwei bis drei Minuten liefern.

Der volle Wert derartiger Apparate kann natürlich nur dann zur Geltung kommen, wenn jeder Kessel bzw. jede einzelne Feuerstelle mit einem besonderen registrierenden Kohlensäureprüfer ausgerüstet ist, denn nur dann ist der Heizer in der Lage, jeden Kessel nach den Angaben des Apparates zu bedienen. Leider ist die Erkenntnis dieses wichtigen Umstandes noch wenig durchgedrungen, denn man beschafft gewöhnlich bestenfalls einen automatischen Apparat für ein ganzes Kesselhaus und macht von Zeit zu Zeit Proben bei diesem oder jenem Kessel. Daß auf diese Weise keine dauernde Verbesserung des Betriebes erreicht werden kann, liegt auf der Hand.

Ein selbstregistrierender Kohlensäuremesser, der sehr umfangreichen Eingang in die Praxis gefunden hat, ist der von Arndt erfundene Heizeffektmesser „Ados“. Er funktioniert, wie in Fig. 125 schematisch dargestellt ist, folgendermaßen:

$g$  ist ein Glasgefäß, welches von der Marke  $m_1$  bis zur Marke  $m_2$  genau  $100\text{ cm}^3$  faßt. Die von einer automatischen Hebevorrichtung gehobene und



gesenkte Niveauflasche  $F$  ist mit Glycerin gefüllt. Das zu untersuchende Gas wird von einer ebenfalls automatisch betriebenen Gaspumpe bei  $E$  in den Apparat geblasen,

füllt das Gefäß  $g$  und entweicht bei  $A$  in die Luft. Beim Heben der Niveauflasche  $F$  verschließt das Glycerin zunächst den Gaseintritt bei  $s$  und treibt das im Glasgefäß  $g$  enthaltene überschüssige Gas durch  $A$  so lange in die Luft, bis das Glycerin bei der Marke  $m_2$  angelangt ist. Nun befinden sich in  $g$   $100\text{ cm}^3$  Gas. Durch weiteres Heben der Flasche  $F$  wird es durch das Rohr  $r$

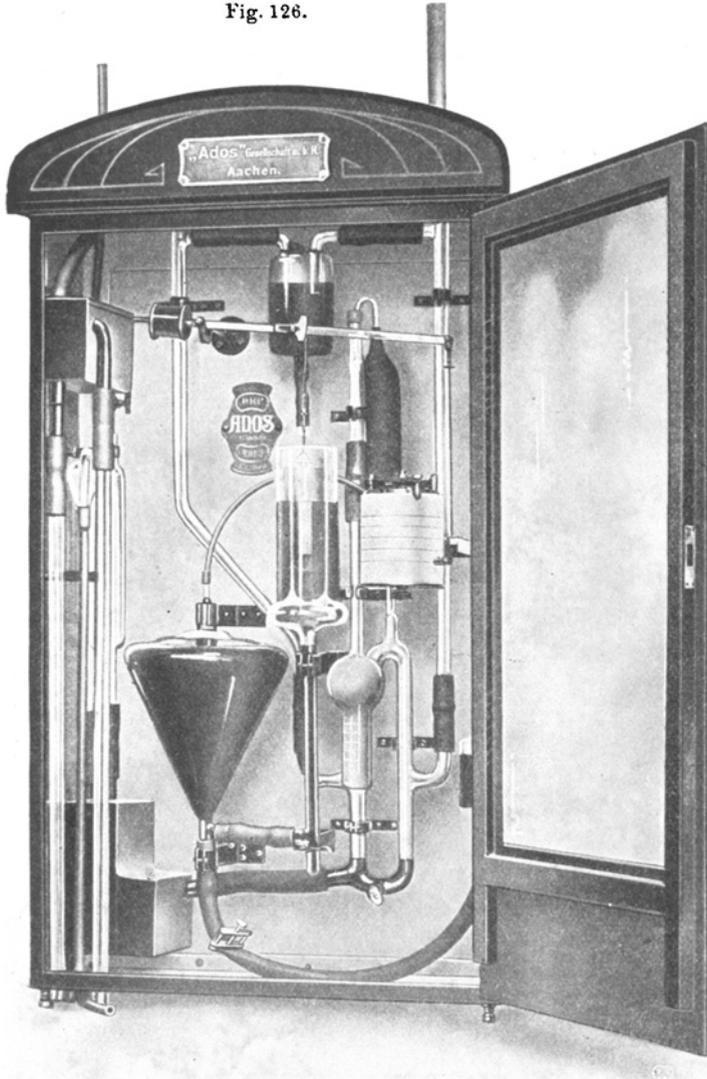
in den Absorptionsapparat  $P$  gedrückt, wobei die Kohlensäure von der dort befindlichen Kalilauge absorbiert wird. Der nicht absorbierbare Rest des Gases sammelt sich über dem Niveau der Kalilauge an, diese zunächst in das darüber befindliche Gefäß  $a_1$  verdrängend. Aus dem Raume  $a_1$  entweicht die dort befindliche Luft aus  $l$  so lange, bis die Kalilauge bei der Marke  $m_3$  angelangt ist. Dann wird das Luftaustrittsrohr durch die Lauge abgeschlossen, und das weitere Steigen des Niveaus der Lauge verdrängt die Luft aus dem Raume  $a_2$  durch das Rohr  $r_1$  in eine kleine Gasglocke  $o$ , welche dadurch gehoben wird.

Sobald das Glycerin die Marke  $m_1$  erreicht hat, wird die automatische Hebevorrichtung des Gefäßes  $F$  derart umgesteuert, daß sich letzteres wieder senkt. In diesem Moment sind aber die  $100\text{ cm}^3$  des zu untersuchenden Gases vollständig in den Absorptionsapparat  $P$  übergetreten und haben dort so viel Kalilauge verdrängt, als dem nicht absorbierbaren Gasreste entspricht. Beträgt dieser z. B.  $85\text{ cm}^3$ , und ist das Volumen des Raumes  $a_1$   $80\text{ cm}^3$ , so werden  $80\text{ cm}^3$  Luft bei dem Rohre  $l$  entweichen und der Rest, das ist  $5\text{ cm}^3$ , werden in die Gasglocke  $o$  gedrängt. Diese wird dadurch um ein ent-

sprechendes Maß gehoben und zeichnet mittels einer Feder auf der von einer Uhr gedrehten Registriertrommel eine senkrechte Linie, aus deren Länge man auf den Kohlensäuregehalt des Gases schließen kann.

Nachdem sich das Niveaugefäß *F* wieder vollständig gesenkt und dadurch den Gaseintritt bei *s* wieder freigegeben hat, strömt eine neue Gas-

Fig. 126.

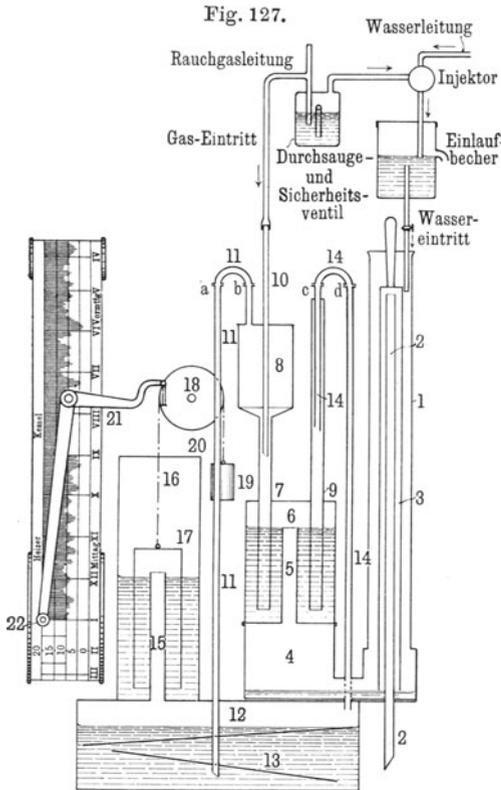


menge durch das Gefäß *g*, dieses zum Zwecke einer neuen Analyse füllend. So oft also das Gefäß *F* einen Hub nach aufwärts macht, zeichnet die Feder am Diagramm eine vertikale Linie und der über diesen Linien freibleibende Teil zeigt den Kohlensäuregehalt des Gases an.

Zur Bewegung des Gefäßes *F* wurde früher ein Kraftwerk verwendet, welches durch den Schornsteinzug betrieben wurde und aus einer großen Gas-

glocke mit entsprechend umgesteuerten Ventilen bestand. Später hat man jedoch diesen Antrieb verlassen und bewirkt nun das abwechselnde Heben und Senken des Flüssigkeitsspiegels durch eine Hebevorrichtung, welche in Fig. 126, die den zusammengestellten Apparat in seiner jetzigen Form zeigt, links dargestellt ist. Dieser Apparat wird also durch einen kontinuierlichen Wasserzufluß in Tätigkeit erhalten.

In ganz ähnlicher Weise wie der „Ados“ wirkt ein Apparat, der in letzter Zeit unter dem Namen „Ökonograph“ in den Handel gekommen ist. Auch dieser wird durch eine Hebevorrichtung betätigt, wie dies beim „Ados“ neuerer Konstruktion der Fall ist. Etwas verschieden von den beiden genannten



Apparaten ist der Eckardtsche Rauchgasprüfer<sup>1)</sup>(Fig. 127). Auch dieser beruht jedoch auf den gleichen Prinzipien wie der „Ados“: Das für die Hebevorrichtung notwendige Wasser wird benutzt, um mittels eines Injektors einen kontinuierlichen Strom von Rauchgasen anzusaugen. Diese treten von der Rauchgasleitung durch das Durchsaug- und Sicherheitsventil zum Injektor und entweichen mit dem Wasser in das obere Gefäß des Einlaufbechers. Verstopft sich die Rauchgasleitung, so tritt Luft durch den hydraulischen Verschluß im Sicherheitsventil ein. Das Wasser fließt vom Einlaufbecher in das hohe Hebergefaß 3 und füllt dieses an, bis es die Oberkante des Ablaufrohres 2 erreicht hat. Dann wirkt das Rohr 2 hebernd und saugt das Wasser rasch ab. Es wird somit ein abwechselndes Steigen und Sinken des Wasser-spiegels im Rohre 3 erreicht. Dadurch wird in der Kammer 4

die Luft durch das Rohr 5 in den darüber liegenden Raum 6 gepreßt, wodurch die hier befindliche Sperrflüssigkeit durch das Rohr 7 in das Gasmessgefäß 8 gehoben wird. Das hier vom vorhergehenden Hub angesogene Gas wird so lange durch das Rohr 10 ausgeblasen, bis die Unterkante desselben von der Sperrflüssigkeit abgeschlossen wird. Dann sind genau 100 cm<sup>3</sup> Gas in dem Meßgefäß 8, und diese werden bei weiterem Steigen der Sperrflüssigkeit durch das absteigende Rohr 11 in das Absorptionsgefäß 13, welches mit Kalilauge gefüllt ist, gedrückt. Der erste Teil der über der Lauge befindlichen Luft entweicht durch das Rohr 14 in die Luft. Erst wenn dieses Rohr,

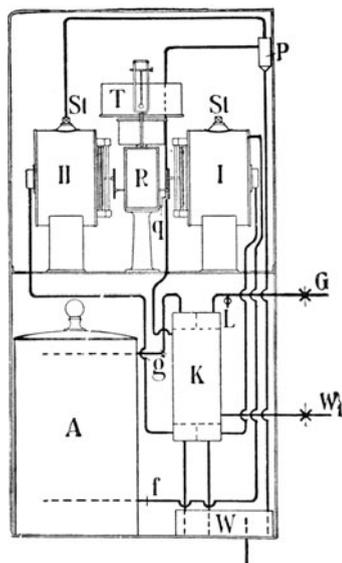
<sup>1)</sup> Chem.-Ztg. 1910, S. 1263.

das in das Steigrohr 9 mündet, durch die steigende Sperrflüssigkeit abgesperrt wird, entweicht der Rest der aus 13 verdrängten Luft durch das Rohr 15 unter die Registrierglocke 17. Diese ist mittels der Rolle 18 durch das Gewicht 19 entlastet, und an der Rolle 18 befindet sich ein Stift 20, der den Registrierhebel 21 mit der Feder 22 in Tätigkeit setzt, sobald er an diesen herantreten ist. Auch beim Eckardtschen Rauchgasprüfer wird somit der Kohlensäuregehalt durch eine Anzahl von Linien angegeben. Die Anzahl der pro Stunde vorzunehmenden Untersuchungen wird durch die Geschwindigkeit des Wasserzulaufes zum Hebergefaß 3 bedingt.

Ein auf anderem Prinzip beruhender registrierender Gasprüfer wird von Julius Pintsch, Aktiengesellschaft in Berlin, geliefert<sup>1)</sup>. Im wesentlichen besteht derselbe gemäß Fig. 128 und 129 aus zwei Gasmessertrommeln I und II, zwischen welche ein Absorptionsapparat *A* eingeschaltet ist. Würden die

Fig. 128.

beiden Gasmessertrommeln vollständig gleichen Inhalt haben und das Gas keine Kohlensäure enthalten, so würden sie sich gleich schnell drehen. Wird dagegen ein Teil des Gases im Absorptionsgefäß *A* zwischen den beiden Gasmessertrommeln absorbiert, so dreht sich der Gasmesser II langsamer als der erste. Die Differenz in der Drehungsgeschwindigkeit wird durch ein Differentialgetriebe *R* dazu ausgenutzt, um auf der Trommel *G* von Zeit zu Zeit eine vertikale Linie nach aufwärts zu zeichnen, deren Länge den Kohlensäuregehalt ausdrückt. Das Gas wird mit der Wasserstrahlpumpe *P* durch den Apparat gesogen. Diese benötigt 10 Liter Wasser pro Stunde und fördert in der gleichen Zeit 40 Liter Gas. Das Pumpenwasser wird vor Eintritt in die Pumpe zur Kühlung des eintretenden Gases im Kühler *K* verwendet. Somit befindet sich der Anschluß an die Wasserleitung bei *W*<sub>1</sub>. Das Gas tritt dagegen bei *G* ein. Es passiert, wie erwähnt, den Kühler *K*, der durch eine Scheidewand in zwei Hälften geteilt ist und



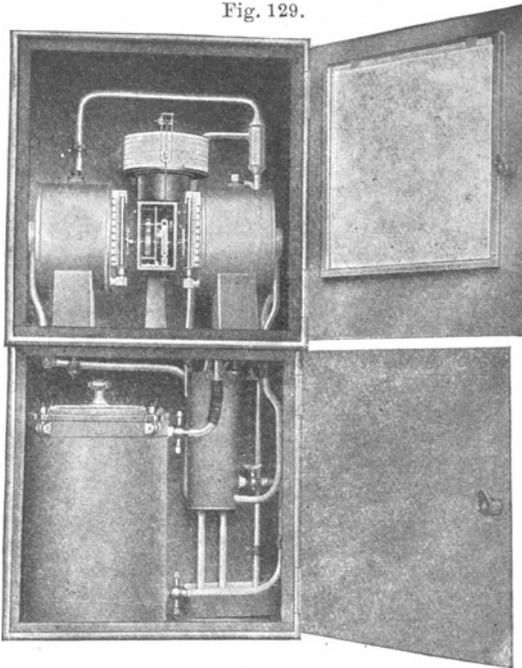
gelangt durch die Leitung rechts unten aus dem Kühler *K* in den Gasmesser I und von diesem durch eine andere Leitung bei *f* in den Absorptionsapparat *A*, den es bei *g* verläßt. Das Gas wird jetzt neuerdings durch die andere Hälfte des Kühlers *K* gekühlt. Es verläßt ihn links unten, um zum Gasmesser II zu gelangen. Von hier aus kommt es zur Pumpe *P*, welche die entsprechende Saugwirkung auf das Gas ausübt. Das aus dem Kühler *K* abfließende Kondenswasser fließt ebenso wie das Pumpenwasser in den Wasserkasten *W*, den es gemeinsam mit dem abgesogenen Gase durch die Ablaufleitung unterhalb des Kastens *W* verläßt. Auch dieser automatische Gasprüfer gibt, wie erwähnt, nur von Zeit zu Zeit eine Anzeige, und wenn es auch möglich ist, diese rasch aufeinander folgen zu lassen, etwa alle 3 bis 5 Minuten, so ist damit doch noch nicht der Vorteil einer kontinuierlichen Anzeige in Form einer zusammenhängenden Linie erreicht.

<sup>1)</sup> Die Erfindung rührt von Alexander Bayer in Brünn her.

Die beiden Gasmesser I und II sind mit Paraffinöl gefüllt, damit sie stets auf konstantem Niveau bleiben. Um auch bei der Einstellung auf Luft eine gewisse Anzeige zu erhalten, welche die richtige Funktion des Apparates zeigt, wird der Inhalt der einen Gasmessertrommel um 2 Proz. größer gemacht, als jener der anderen, damit erstere langsamer läuft und das Differentialgetriebe betätigt wird.

Zur Absorption im Gefaße *A* dient gelöschter Kalk, welcher gemäß eines Gutachtens der technischen Hochschule in Braunschweig dreimal vierundzwanzig Stunden ausreicht. Bei Gasen, welche unter Druck stehen, ist die Anwendung der Wasserstrahlpumpe überflüssig, da dann die Gasmessertrommeln durch eigenen Druck des Gases angetrieben werden. Es ist dann

Fig. 129.



jedoch erforderlich, einen Druckregler vorzuschalten, welcher den Druck des Gases auf 10 bis 15 mm herabsetzt. In dieser Form dient der Pintsch'sche Gasprüfer auch zur Kontrolle des Wassergasbetriebes.

Um den Kohlensäuregehalt eines Gases oder den Gehalt an irgend einem anderen absorbierbaren Bestandteil in Form einer zusammenhängenden Linie auf einem Diagramm sofort angezeigt zu erhalten, hat der Verfasser <sup>1)</sup> einen Apparat konstruiert, der den Namen „Autolysator“ erhalten hat. Bei diesem wird die Druckdifferenz, welche entsteht, wenn ein Gas durch ein kapillares

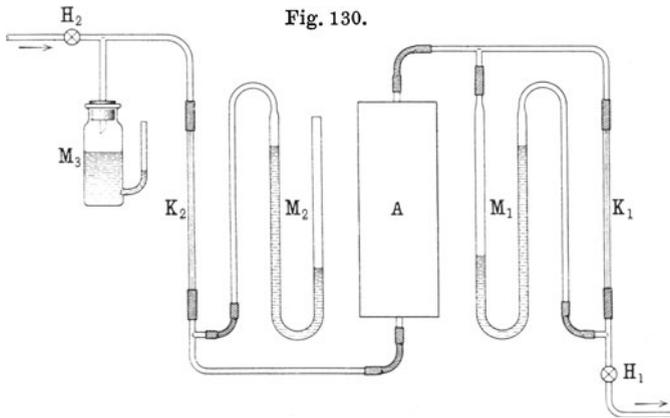
Rohr hindurchgesogen wird, zur Messung der hindurchgehenden Gasmenge benutzt. Bei Öffnungen in dünnen Platten ist diese Druckdifferenz bekanntlich vom spezifischen Gewicht abhängig, bei Kapillaren hingegen verschwindet der Einfluß des spezifischen Gewichtes und ist nur der Reibungskoeffizient maßgeblich. Dieser unterscheidet sich jedoch bei den hier in Betracht kommenden Gasen nur wenig, nur beim Sauerstoff ist der Reibungskoeffizient etwas höher als bei anderen Gasen. Da jedoch der Apparat in der Praxis nur für Gase verwendet wird, welche einen einigermaßen gleichbleibenden Sauerstoffgehalt besitzen (5 proz. Schwankungen sind ganz bedeutungslos), so entsteht hierdurch kein Fehler.

Das Gas passiert nacheinander zwei Kapillaren, zwischen welche das Absorptionsmittel eingeschaltet ist. Die Druckdifferenz an der zweiten Kapillare wird durch einen automatischen Regler konstant gehalten, die Druck-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 548.

differenz an der ersten Kapillare ist dann um so höher, je größer der Kohlen säuregehalt ist. Um diese Druckdifferenz automatisch zu registrieren, müßten Druckdifferenzregulatoren verwendet werden, welche an dem Übelstande leiden, daß das Schreibwerk in einem geschlossenen Raume untergebracht werden muß. Zur Vermeidung dieses Übelstandes wird der Druck (bzw. die Saugwirkung) vor der ersten Kapillare durch einen besonderen Vordruckregler konstant erhalten, und genügt es dann, den Druck hinter der ersten Kapillare oder die Saugwirkung an dieser Stelle durch einen einfach wirkenden Registrator aufzeichnen zu lassen, um jederzeit über die Zusammensetzung des Gases orientiert zu sein.

Fig. 130 zeigt das Schema dieses Apparates. Das Gas wird rechts unten durch irgend eine Pumpvorrichtung abgesogen.  $H_1$  deutet den Druckdifferenzregler an, welcher die durch die Kapillare  $K_1$  hervorgerufene Druckdifferenz dadurch konstant hält, daß er das zur Pumpe führende Ventil drosselt und dadurch die Saugwirkung verringert, im Fall diese Differenz zu groß ge-

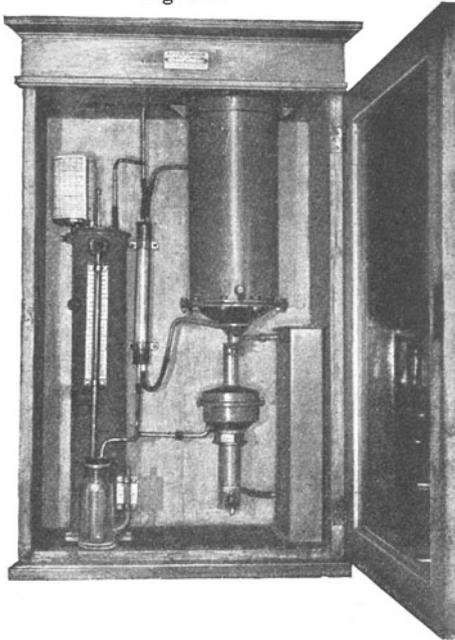


worden ist. Dadurch wird also die Menge des in der Zeiteinheit durch die Kapillare  $K_1$  fließenden kohlen säurefreien Gasrestes konstant erhalten. Die Druckdifferenz wird an dem Manometer  $M_1$  angezeigt. Dasselbe Gas hat vorher die Kapillare  $K_2$  zu passieren. Zwischen beiden befindet sich jedoch das Absorptionsgefäß  $A$  eingeschaltet. In die Kapillare  $K_2$  tritt durch den Vordruckregler  $H_2$  das kohlen säurehaltige Gas ein. Es muß somit durch die Kapillare  $K_2$  um soviel mehr Gas hindurchfließen, als Kohlen säure im Gase enthalten ist. Es stellt sich also hier eine größere Druckdifferenz ein, und da der Vordruck durch den Regler  $H_2$  konstant erhalten und von dem Manometer  $M_3$  kontrolliert wird, so erscheint an dem hinter der Kapillare  $K_2$  angeschlossenen Manometer  $M_2$  direkt der Kohlen säuregehalt angegeben. Ist keine Kohlen säure im Gase, so stellt sich das Manometer  $M_2$  ebenso hoch ein, wie das Manometer  $M_1$ , im Falle der Vordruck auf Null gehalten wurde. Anderenfalls zeigt das Manometer  $M_2$  bei kohlen säurefreien Gasen um so mehr Druck an, je höher der Vordruck ist.

Fig. 131 zeigt eine Ansicht dieses „Autolysators“ und Fig. 132 einen Schnitt durch denselben. Bei  $E$  tritt das Gas zunächst in einen Trockner  $C$ , welcher mit Chlorcalcium gefüllt ist. Derselbe befindet sich in einer Hülse, die nach Abschrauben des Filters  $F$  herausgezogen werden kann. Die ge-

schmolzene Chlorcalciumlauge kann bei  $h_1$  abgelassen werden. Das Filtergefäß  $F$  besteht aus einem zylindrischen Körper aus Drahtgeflecht, der mit einem Lampendocht überzogen ist. Außerhalb desselben ist Glaspulver eingefüllt, welches auch die feinsten staubförmigen Verunreinigungen, wie sie besonders bei Generatorgas und Wassergas vorkommen, zurückhält. Das Filter hält viele Monate lang und bedarf dann höchstens einer Reinigung des Dochtes. Durch das Rohr  $O$  tritt das Gas beim Hahn  $D_1$  in den Apparat ein. Es durchstreicht zunächst den Trockner  $U$ , der nur zur Sicherheit angebracht ist, und dessen Chlorcalciumfüllung nie ausgewechselt werden muß, wenn der Trockner  $C$  in Ordnung gehalten wird. Dann gelangt das Gas in den Vordruckregler  $V$ , der durch Anspannen der Feder  $f$  mittels der Schraube  $s$  auf einen Unterdruck eingestellt wird, der niedriger sein muß

Fig. 131.



als der Schornsteindruck, wenn Rauchgase untersucht werden. Dieser Unterdruck ist an der Skala  $L_3$  des Flaschenmanometers  $S$  ablesbar. Die Füllung des Vordruckreglers mit Quecksilber erfolgt durch die Füllöffnung  $d$ . Das Gas gelangt durch das Rohr  $\check{5}$  in die Kapillare  $K_2$ , welche sich gemeinsam mit der Kapillare  $K_1$  in einem mit Wasser gefüllten Zylinder befindet, um die Temperatur der beiden Kapillaren gleich hoch zu erhalten. Durch das Rohr  $8$  gelangt das Gas in das Absorptionsgefäß. An das Rohr  $8$  ist die Abzweigung  $12$ , welche zum Registrator  $B$  führt, angeschlossen. Dieser besteht aus zwei konzentrischen Zylindern, die im Ruhezustande bis zur Über-

laufschraube  $i$  des Apparates mit Wasser gefüllt werden. Der Schwimmer  $e$  zeigt den Stand des Wassers im Inneren des Zylinders an und registriert mit Hilfe der Schreibfeder die Saugwirkung auf der Registriertrommel  $t$ , deren Diagrammblatt direkt in Prozente  $\text{CO}_2$  geteilt ist. Die Druckdifferenz zwischen Vordruck und dem Druck hinter der Kapillare  $K_2$  wird gleichzeitig an dem Differentialmanometer  $M_2$  mit Hilfe der Skala  $L_2$  abgelesen.

Das Absorptionsgefäß  $A$  ist so groß gewählt, daß pulverförmiger Natronkalk verwendet werden kann, ohne dem Gase einen zu hohen Widerstand entgegenzustellen. Der Natronkalk befindet sich in einem Einsatze, der nach Öffnen des Mortonverschlusses mit einem Henkel bequem herausgezogen werden kann. Der Unterteil desselben ist mit gebranntem Kalk gefüllt, um auch bei Anwendung von feuchtem Natronkalk noch richtige Angaben zu erzielen. Die Größe des Absorptionsgefäßes  $A$  ist so bemessen, daß bei einem  $\text{CO}_2$ -Gehalt von 10 Proz. bei Tag- und Nachtbetrieb erst nach 8 Tagen die Erneuerung erforderlich wird.

Das Gas tritt weiter unten durch das Rohr 10 aus dem Absorptionsgefäß aus und gelangt durch die Kapillare  $K_1$  und das Rohr 14 zu dem Druckdifferenzregler  $R$ . Bei 16 ist ein Differentialmanometer  $M_1$  angeschlossen,

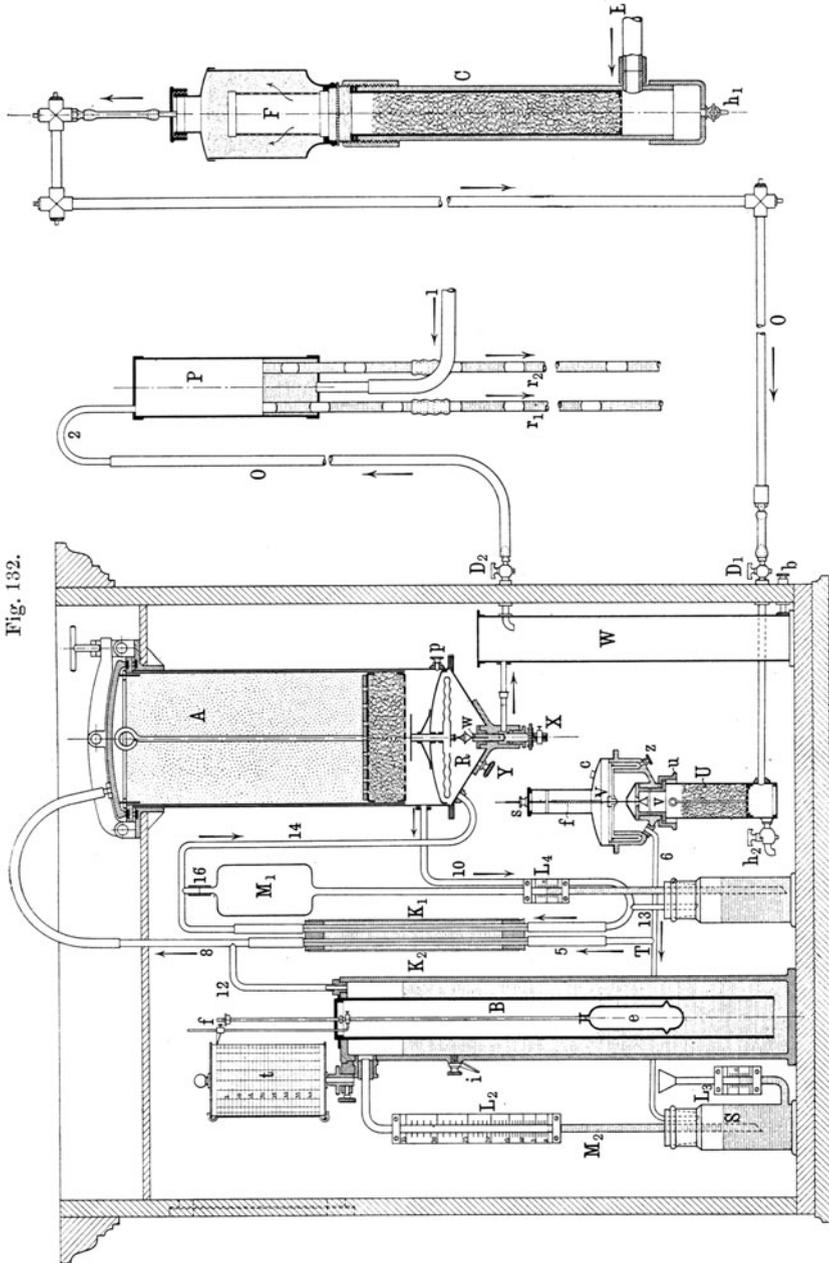


Fig. 132.

das die Druckdifferenz abzulesen gestattet, welche von der Kapillare  $K_1$  hervorgerufen wird. Hierzu dient die Skala  $L_4$ . Diese Druckdifferenz wird auf etwa 200 mm Höhe ein- für allemal eingestellt und mittels des Druckdifferenz-

reglers  $R$  konstant erhalten. Dieser besteht aus einer Wellblechkapsel, die ein Ventil  $w$  trägt. Das Innere der Kapsel kommuniziert mit dem Raume unterhalb des Absorptionsgefäßes  $A$  und außerhalb der Kapsel herrscht der Druck hinter der Kapillare  $K_1$ . Ist die durch  $K_1$  hervorgerufene Druckdifferenz zu groß, so bläht sich die Kapsel auf, schließt dadurch das Ventil 10 teilweise ab und verringert somit den Gasdurchgang, wodurch auch der von der Kapillare  $K_1$  hervorgerufene Druckverlust verringert wird. Der Sitz des Ventiles ist mit der Reglerschraube  $X$  verstellbar, so daß sich hier die Druckdifferenz der Kapillare  $K_1$  einstellen läßt. Schließlich gelangt das Gas durch das leere Gefäß  $W$  und den Hahn  $D_2$  zur Pumpe  $P$ . Das Gefäß  $W$  dient nur dazu, das etwa von der Pumpe zurückkommende Wasser nicht in den Apparat gelangen zu lassen. Die Pumpe  $P$  wird von 1 her mit Wasser versorgt, das durch die Fallrohre  $r_1$  und  $r_2$  das Gas mit sich reißt. Die Pumpe muß mindestens 1,5 m über dem Abfluß aufgehängt werden, damit die erforderliche Länge der Fallrohre erzielt werden kann.

Die Anzeigen des Autolysators sind bei genauer Einstellung auf den Nullpunkt beim Durchsaugen von Luft und nachherigem Anschließen des zu untersuchenden Gases auf 0,2 Proz. genau, doch kann man auf keine größere Genauigkeit als 0,5 Proz. rechnen, wenn der Apparat längere Zeit sich selbst überlassen im Gange bleibt. Dies ist jedoch für die Bedürfnisse der Praxis vollständig genügend, da insbesondere Änderungen des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes durch Krümmungen der Linie am Diagramm auf das schärfste angezeigt werden.

Ein Diagramm des Autolysators, wie es bei einem richtig geleiteten Dampfkesselbetrieb erhalten wurde, ist bereits in Fig. 124 (S. 237) dargestellt. Der Heizer hatte hier den Auftrag erhalten, den Rost stets neu zu beschicken oder das Brennmaterial auf demselben besser zu verteilen, wenn der Autolysator ein Herabgehen des Kohlensäuregehaltes anzuzeigen begann. Auf diese Weise konnte der große Unterschied in dem Kohlensäuregehalt der Verbrennungsgase erreicht werden, welcher sich zwischen diesem Diagramm und dem auf S. 237 (Fig. 123) wiedergegebenen ergab.

Sind die Zuleitungen zum Autolysator entsprechend dünn und kurz gewählt, so erfolgt die Anzeige in etwa drei Minuten. Will man noch raschere Anzeigen haben, so nimmt man entsprechend größere Kapillaren. Diese ergeben jedoch einen größeren Verbrauch an Natronkalk. Je nach Wunsch werden den Apparaten die normalen Kapillaren von 40 Liter Stundendurchgang, für besonders rasche Anzeigen solche von 80 Liter Stundendurchgang beigegeben. Besonders rasche Anzeigen sind dann wertvoll, wenn es sich um Gase von zeitlich stark wechselnder Zusammensetzung handelt, wie dies z. B. beim Wassergasbetriebe der Fall ist.

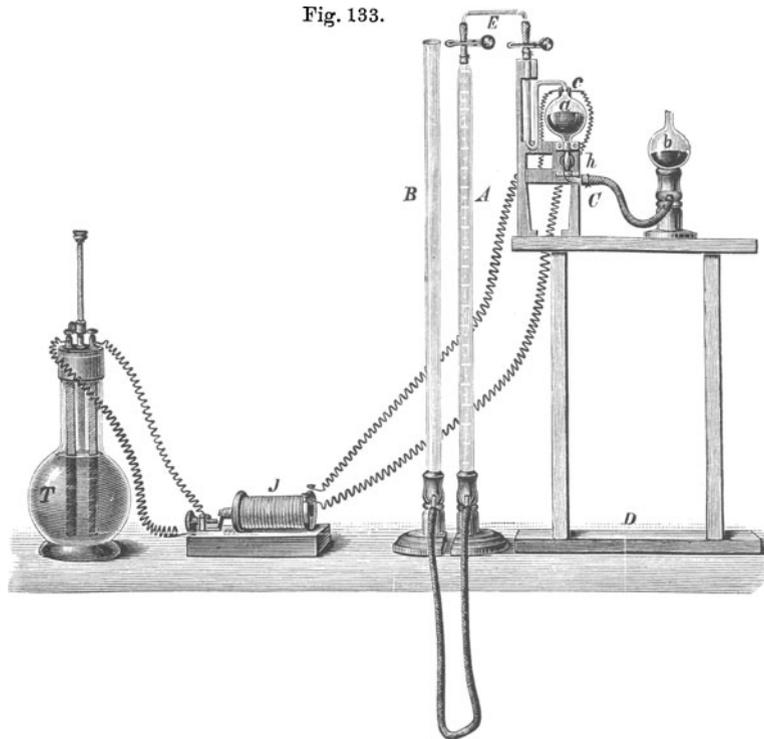
Nachdem wir im obigen die Absorptionsanalyse besprochen haben, wollen wir dazu übergehen, die gasanalytischen Bestimmungen zu erörtern, welche durch die Volumveränderung bei der Verbrennung ermöglicht werden. Die zu diesem Zwecke vorzunehmende Verbrennung des zu untersuchenden Gases erfordert natürlich eine Beimischung von Luft oder Sauerstoff und kann durch eine Zündung mit Hilfe eines elektrischen Funkens oder durch langsame Verbrennung mit Hilfe von stark erwärmtem Palladiumdraht oder glühendem Platindraht erfolgen.

Die explosive Verbrennung mit Hilfe des elektrischen Funkens ist die einfachste, setzt jedoch voraus, daß das Gasgemenge entzündbar ist. Anderen-

falls muß man dem Gasgemenge Wasserstoff oder Knallgas zusetzen. Die explosive Verbrennung, welche auch als „Verpuffung“ bezeichnet wird, führt manchmal zu Ungenauigkeiten, weil der Stickstoff bei hoher Temperatur mit dem Sauerstoff zu Stickoxyden verbrennt; wie Armand Gautier<sup>1)</sup> nachgewiesen hat, wechselt die Menge mit den Verhältnissen.

Die Gasanalyse mit Hilfe von Verpuffung wird vielfach angewendet und ist von Thörner<sup>2)</sup> auch im Orsatapparat untergebracht worden, was Winkler<sup>3)</sup> für zu weitgehend hält, trotzdem aber in neuerer Zeit wieder häufiger angewendet wird, da der Orsatapparat jetzt auch den Bedürfnissen der Untersuchung von wasserstoffhaltigen Generatorgasen entsprechen muß.

Fig. 133.



Zur Verpuffung der Gase dient die mit Quecksilber gefüllte Hempelsche<sup>4)</sup> Explosionspipette. Sie wird in Verbindung mit der Hempelschen Gasbürette gemäß Fig. 133 verwendet.

Bei der Abmessung des Gasvolumens ist der Sauerstoffbedarf des zu untersuchenden Gases zu berücksichtigen (S. 43). Bei Wasserstoff z. B. werden für je 2 Vol. Wasserstoff 5 Volumina Luft zur Verbrennung benötigt. Es dürfen also von zusammen 7 Volumina des Gemisches nur 2 Raumteile Wasserstoff, das ist von 100 cm<sup>3</sup> des Gemisches nur  $\frac{2}{7}$ , das ist 28,6 cm<sup>3</sup>, vorhanden sein. An Methan darf nur  $\frac{1}{11}$ , das ist 9,1 cm<sup>3</sup>, angewendet werden, wenn das Gesamtvolumen der Meßbürette 100 cm<sup>3</sup> beträgt. Hat man ein an sich nicht brennbares Gas, so setzt man eine geeignete Menge von Wasserstoff zu,

<sup>1)</sup> Chem.-Ztg. 1900, S. 586. — <sup>2)</sup> Ebend. 1891, S. 763. — <sup>3)</sup> Techn. Gasanalyse, 3. Aufl., S. 155. — <sup>4)</sup> Gasanal. Methoden, 3. Aufl., S. 115.

zu welchem Zwecke die in Fig. 134 wiedergegebene Pipette dient, in welcher ein Zinkstab *c* mit der in *b* befindlichen Schwefelsäure (10 Proz.) zusammengebracht wird. Soll Knallgas zugesetzt werden, so entwickelt man dasselbe durch elektrolytische Wasserzersetzung. Es ist indessen hier, wie erwähnt, zu berücksichtigen, daß bei der hohen Temperatur, die sich bei der Knallgasverbrennung einstellt, Stickoxyde bilden, und es ist deshalb notwendig, den Knallgaszusatz in bescheidenen Grenzen zu halten. Nach Hempel<sup>1)</sup> soll das Verhältnis zwischen unbrennbaren Gasen und Knallgas stets größer als 10 : 6 sein, wobei die Stickoxydbildung vernachlässigt werden kann.

Um die Verpuffung bei reichen Gasgemengen nicht zu lebhaft zu gestalten und die Explosionspipette nicht zu gefährden, verdünnt man das Gasgemenge vor der Entzündung, indem man das Niveaugefaß der Explosionspipette tief stellt. Vor der Entzündung muß die Explosionspipette nach allen Richtungen abgeschlossen werden, da anderenfalls das Quecksilber aus derselben und das Wasser aus der Meßbürette herausgeschleudert wird. Die Gummiverbindungen der Explosionspipette müssen aus gleichem Grunde mit Draht scharf befestigt sein. Ist ein Gasgemenge nur schwer entzündbar, so komprimiert man es vor der Entzündung durch Heben des Niveaugefaßes.

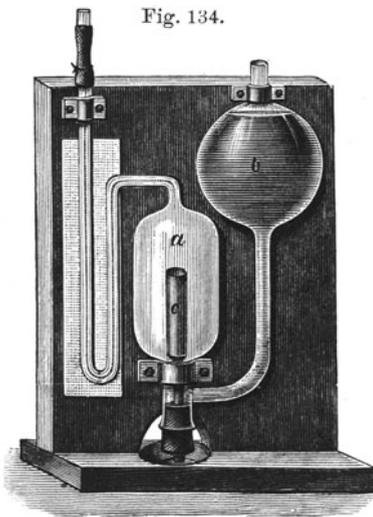


Fig. 134.

Handelt es sich um die Bestimmung von Wasserstoff, so ist zu berücksichtigen, daß 2 Volumina Wasserstoff mit einem Volumen Sauerstoff zu 2 Raumteilen Wasserdampf zusammentreten. Dieser kondensiert sich jedoch sofort nach der Entzündung, und es verschwinden daher für je 2 Raumteile Wasserstoff 3 Raumteile des Gemenges von Wasser-

stoff und Sauerstoff. Aus der Kontraktion, welche bei der Verbrennung stattfindet, berechnet man daher den Wasserstoffgehalt, indem man dieselbe mit  $\frac{2}{3}$  multipliziert. Der Vorgang der Bestimmung ist dabei folgender:

Man mißt  $a \text{ cm}^3$  des zu untersuchenden Gases in der Bürette ab und setzt Luft zu, so daß man als Summe von Gas und Luft  $b \text{ cm}^3$  erhält. Dann führt man das Gemisch in die Explosionspipette, bringt dort zur Verpuffung und leitet den Rest des Gases wieder in die Meßbürette zurück. Jetzt sind nur mehr  $c \text{ cm}^3$  vorhanden. Die Kontraktion  $k$  ist somit  $k = b - c$ , und da  $\frac{2}{3}$  der Kontraktion dem vorhandenen Wasserstoff entsprechen, so beträgt die Anzahl der vorhandenen Kubikzentimeter Wasserstoff  $h = \frac{2}{3}(b - c)$ , auf Prozente umgerechnet ergibt dies:

$$H = 100 \frac{\frac{2}{3}(b - c)}{a}.$$

Die vorstehende Berechnung ist nur dann durchführbar, wenn außer Wasserstoff keine anderen Gase vorhanden sind, welche bei der Verbrennung eine Volumveränderung geben. Sind solche vorhanden, so muß nach der Verbrennung der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Verbrennungsgase ermittelt werden. Auf diese

<sup>1)</sup> Gasanal. Methoden, 3. Aufl., S. 158.

Weise kann der Gehalt an CO oder an CH<sub>4</sub> leicht bestimmt werden, denn beide Gase geben bei der Verbrennung ihr gleiches Volumen an CO<sub>2</sub>. Sind jedoch beide Gase neben Wasserstoff gleichzeitig vorhanden, so genügt es nicht, die Kontraktion und den Kohlensäuregehalt der Verbrennungsgase zu messen, sondern es muß auch noch der Sauerstoffüberschuß, der nach der Verbrennung verblieb, ermittelt werden, was mittels Pyrogallol leicht geschehen kann. Dabei dürfen aber in dem zu untersuchenden Gasgemenge Kohlensäure, schwere Kohlenwasserstoffe und freier Sauerstoff nicht vorhanden gewesen sein. Diese sind daher vor der Verpuffung zu entfernen.

Die Analyse eines kompliziert zusammengesetzten Gasgemisches läßt sich also — worauf Pfeiffer besonders hingewiesen hat — auch ohne die langwierige Absorption von Kohlenoxyd durchführen, wenn man zuerst Kohlensäure, schwere Kohlenwasserstoffe und Sauerstoff durch Absorption bestimmt, vom Gasreste  $G$  cm<sup>3</sup> abmißt und mit  $L$  cm<sup>3</sup> Luft mischt, zur Verpuffung bringt, die Kontraktion  $K$  mißt, dann den Kohlensäuregehalt (CO<sub>2</sub>) der Verbrennungsgase und schließlich den Sauerstoffüberschuß (O<sub>2</sub>) in denselben ermittelt. Sind alle diese Resultate in Kubikzentimetern gegeben, so berechnet sich der Gehalt in Kubikzentimetern der einzelnen Gasen wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{Wasserstoff (H}_2\text{)} &= K + \text{O}_2 - 0,21 L, \\ \text{Stickstoff (N}_2\text{)} &= G - \text{CO}_2 - \text{H}_2, \\ \text{Kohlenoxyd (CO)} &= \text{H}_2 - \frac{2}{3} K + \frac{4}{3} \text{CO}_2, \\ \text{Methan (CH}_4\text{)} &= \text{CO}_2 - \text{CO}. \end{aligned}$$

Diese in Kubikzentimetern ausgedrückten Resultate sind dann noch auf das angewendete Gasvolumen umzurechnen.

Wie erwähnt, kann die Verpuffungsmethode nur bei Gasen angewendet werden, welche verhältnismäßig reich an brennbaren Anteilen sind. Wenn man auch anderenfalls durch Zusatz von Wasserstoff abhelfen kann, so wird dadurch jedoch die Genauigkeit eine geringere. In diesem Falle ist also die Verbrennung mit Palladium oder Platin vorzuziehen. Die erstere eignet sich sogar für eine fraktionierte Verbrennung, weil bei einer Temperatur von weniger als 200° der Wasserstoff vollständig verbrennt, während Methan bei dieser Temperatur überhaupt nicht zur Verbrennung gelangt. Kohlenoxyd verbrennt hierbei auch, jedoch langsamer, und die schweren Kohlenwasserstoffe verbrennen bei höherer Temperatur.

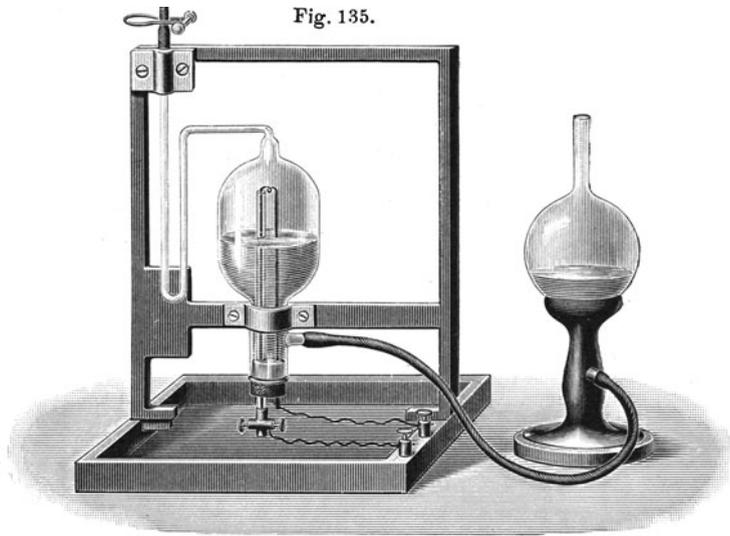
Bunte<sup>1)</sup> hat zur Verbrennung über Palladium die Anwendung von schwach erhitztem Palladiumdraht empfohlen. Vorteilhafter ist jedoch die Verwendung des von Winkler angegebenen Palladiumasbestes<sup>2)</sup>. Einige lose Fasern desselben werden mit dem Finger zusammengedreht und in ein gläsernes Kapillarrohr von etwa 1 mm lichtigem Durchmesser hineingeschoben. Diese Kapillare wird zum Zwecke der Verbindung einerseits mit der Meßbürette, andererseits mit einer mit Wasser gefüllten Absorptionspipette von Hempel an beiden Enden nach abwärts gebogen. Man leitet das Gas in langsamem Strome über den Palladiumasbest, indem man denselben gleichzeitig schwach anwärmt. Keinesfalls darf die Erwärmung bis zum Glühen des Glasrohres führen. Der Palladiumasbestfaden beginnt jedoch während des Überleitens bei reicheren Gasmischungen von selbst zu glühen. Das Überleiten muß einige Male hin und zurück stattfinden, um die Verbrennung

<sup>1)</sup> Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1888, S. 1123. — <sup>2)</sup> Die Darstellung desselben: s. Winkler, techn. Gasanal., 3. Aufl., S. 166.

vollständig zu machen. Man achte darauf, daß kein Wasser in die Kapillare gelangen darf, da dieselbe anderenfalls zerspringt. Verwendet man Quarzkapillaren, so ist das Zerspringen ausgeschlossen. Die Berechnung des Wasserstoffgehaltes ergibt sich in gleicher Weise wie bei der Explosionsanalyse aus der Kontraktion durch Multiplikation mit  $\frac{2}{3}$ .

Während man mit dem Palladium nur Wasserstoff oder eventuell auch Kohlenoxyd verbrennen kann, gelingt es mit Hilfe eines glühenden Platindrahtes, auch die anderen brennbaren Gase, namentlich Methan, zur Verbrennung zu bringen, auch wenn dieselben in so geringem Maße vorhanden sind, daß der Gasrest nicht mehr zündbar und daher für die Verpuffungsanalyse ungeeignet ist.

Diese ursprünglich von Coquillion angegebene Methode ist durch Winkler<sup>1)</sup> für die technische Gasanalyse bequem und brauchbar gemacht



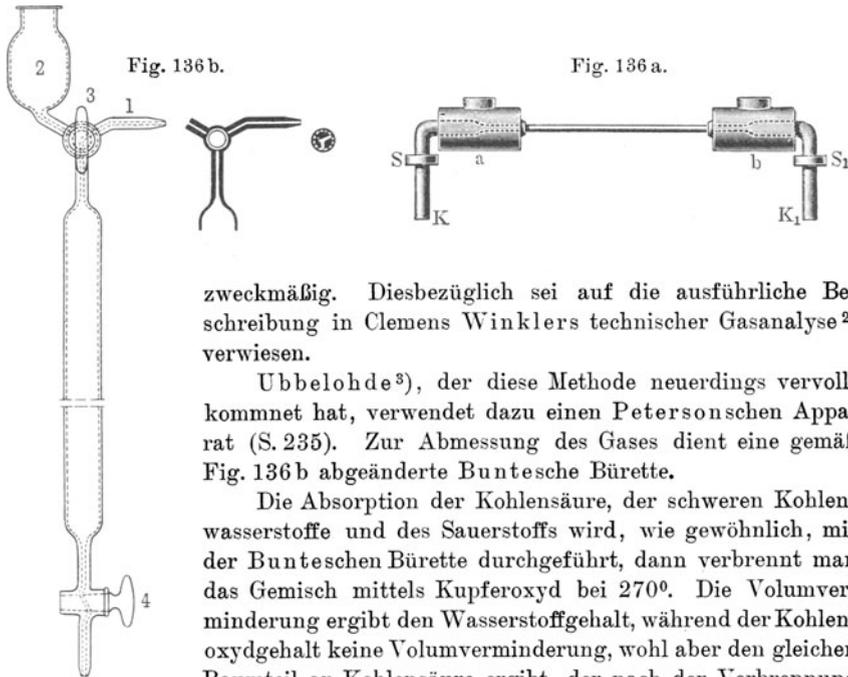
worden. Dieser verwendet ein nach Art der Hempelschen Absorptionspipetten ausgebildetes Gefäß, welches in der Nähe der Gaseinströmung eine durch einen elektrischen Strom zu erhitze Platinspirale enthält, wie dies Fig. 135 zeigt. Das Überleiten muß auch hier langsam stattfinden, in welchem Falle auch bei reichen Gasmischen die Verbrennung langsam ohne explosive Zündung erfolgt. Die Verbrennung mit dem Platindraht erweist sich namentlich dann als zweckmäßig, wenn bei Gasmischen, die zu arm sind, um verpufft werden zu können, nach der fraktionierten Verbrennung über Palladium noch der Methangehalt ermittelt werden soll. Andererseits ist auch die ganze indirekte Analyse, wie sie oben auf S. 249 angegeben wurde, mit der Platindrahtverbrennung möglich, auch dann, wenn erstere wegen mangelnder Zündbarkeit nicht oder nur unter Zusatz von Wasserstoff möglich wäre.

Drehschmidt<sup>2)</sup> hat eine Vorrichtung angegeben, bei welcher die Verbrennung mit Platin auch ohne Anwendung eines elektrischen Stromes er-

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. analyt. Chem. 1889, S. 286. — <sup>2)</sup> Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1888, S. 3242.

möglichst ist. Er verwendet eine vollständig aus Platin hergestellte Kapillare von 2 mm Dicke und 0,7 mm lichtigem Durchmesser. Nach Winklers Vorschlag<sup>1)</sup> wird das Platinrohr, welches dann nur 100 mm Länge besitzen muß, an kupferne Kühlrohre angelötet, die von Hohlgefäßen zum Zwecke der Kühlung der Enden umgeben sind, wie dies Fig. 136 a zeigt. Diese Hohlgefäße werden mit Wasser gefüllt. Wo jedoch elektrischer Strom vorhanden ist, ist die Verbrennung mit Platindraht schon wegen der geringeren Kosten einer Platinkapillare vorzuziehen.

Handelt es sich um die Bestimmung ganz geringer Mengen brennbarer Gase, so ist die Verbrennung durch Überleiten über glühendes Kupferoxyd



zweckmäßig. Diesbezüglich sei auf die ausführliche Beschreibung in Clemens Winklers technischer Gasanalyse<sup>2)</sup> verwiesen.

Ubbelohde<sup>3)</sup>, der diese Methode neuerdings vervollkommen hat, verwendet dazu einen Petersonschen Apparat (S. 235). Zur Abmessung des Gases dient eine gemäß Fig. 136 b abgeänderte Buntorsche Bürette.

Die Absorption der Kohlensäure, der schweren Kohlenwasserstoffe und des Sauerstoffs wird, wie gewöhnlich, mit der Buntaschen Bürette durchgeführt, dann verbrennt man das Gemisch mittels Kupferoxyd bei 270°. Die Volumverminderung ergibt den Wasserstoffgehalt, während der Kohlenoxydgehalt keine Volumverminderung, wohl aber den gleichen Raumteil an Kohlensäure ergibt, der nach der Verbrennung

durch Absorption in Kalilauge ermittelt werden kann. Dann erfolgt die weitere Verbrennung durch rotglühendes Kupferoxyd, wobei Methan und Äthan verbrennen. Ersteres ergibt bei der Verbrennung sein gleiches Volumen an Kohlensäure, während letzteres die doppelte Menge von Kohlensäure liefert. Die Volumvermehrung ergibt daher direkt den Gehalt an Äthan. Die nachträgliche Bestimmung der Kohlensäure dagegen zeigt zu  $\frac{1}{3}$  den Methangehalt und zu  $\frac{2}{3}$  den Äthangehalt an. Benzol verbrennt ebenfalls bei 270°. Man entfernt es daher vorher durch Absorption mittels rauchender Schwefelsäure oder Brom. Bestimmt man hingegen den Benzolgehalt durch Verbrennung, was möglich ist, wenn nur einer der anderen Kohlenwasserstoffe anwesend ist, so fällt die Bestimmung recht genau aus, weil ein Volumen Benzoldampf sechs Volumina Kohlensäure ergibt.

<sup>1)</sup> Techn. Gasanalyse, 3. Aufl., S. 186. — <sup>2)</sup> Winkler, 3. Aufl., S. 191. —

<sup>3)</sup> Der von Ubbelohde angegebene Apparat wird von der Firma Goeckel in Berlin, Luisenstraße 1, geliefert; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 810.

Eine Verbesserung des von Ubbelohde angegebenen Apparates ist von Hohensee durchgeführt worden. Bei diesem befinden sich sämtliche zu dem Apparate gehörigen Teile in einem gemeinsamen Apparate vereinigt<sup>1)</sup>.

### 15. Besondere Methoden der Gasanalyse.

In jenen Fällen, wo es sich um die Bestimmung sehr kleiner Mengen irgend welcher Bestandteile in einem Gase handelt, ist die gewichts- oder maßanalytische Methode der volumetrischen Analyse vorzuziehen, da sie die Gewähr für eine größere Genauigkeit bietet. Allerdings ist sie zeitraubender. Zum Zwecke der Gewichts- und Maßanalyse muß man zunächst ebenfalls dem zu untersuchenden Gase den zu bestimmenden Bestandteil durch Absorption an irgend eine andere Substanz, sei dies ein fester Körper oder eine Flüssigkeit, entziehen. Zur Absorption in festen Körpern verwendet man U-förmig gebogene Rohre, welche zwei Ansätze für den Gaszu- und austritt besitzen und die mit der betreffenden Substanz gefüllt sind. Sie werden gewogen, wonach man das Gas, wenn es unter Druck steht, langsam hindurchströmen läßt und hinter dem U-Rohr in einem gewöhnlichen Gasmesser mißt. Steht das Gas nicht unter Druck, so bringt man hinter dem Gasmesser noch eine Wasserstrahlpumpe an, welche das Gas ansaugt. Nachdem eine bestimmte Gasmenge hindurchgegangen ist, welche sich nach der Menge des zu absorbierenden Bestandteiles richtet, wägt man das U-Rohr wieder und erfährt aus der Gewichtszunahme die Menge des absorbierten Bestandteiles, welche durch die hindurchgegangene Gasmenge zu dividieren ist, um die Menge in Grammen pro Kubikmeter gerechnet zu erhalten.

Auf diese Weise kann man z. B. den Kohlensäuregehalt der Zimmerluft durch Absorption in Natronkalk oder den Wasserdampfgehalt eines Gases durch Absorption in mit konzentrierter Schwefelsäure getränkten Bimssteinstückchen od. dgl. bestimmen. Die hindurchzusaugende Gasmenge bemißt man derart, daß die Gewichtszunahme des U-Rohres mehrere Dezigramme beträgt.

Zur Absorption irgend welcher Bestandteile in Flüssigkeiten bedient man sich der in den Laboratorien üblichen Gaswaschflaschen, in welchen das Gas durch ein in die Flüssigkeit eintauchendes Rohr in Blasenform hindurchgeleitet wird. Da bei einmaligem Hindurchleiten die Berührungsfläche der Gasblasen mit der Flüssigkeit nicht groß genug ist, schaltet man zwei bis drei solcher Waschflaschen hintereinander. Aus gleichem Grunde ist es zweckmäßig, die Blasen, welche in der Flüssigkeit aufsteigen, in möglichst kleine Bläschen zu zerteilen, was leicht geschieht, indem man an das untere Ende des eintauchenden Rohres eine glockenförmige Erweiterung anbringt und diese oben mit kleinen Löchern versieht. Für kleinere Flüssigkeitsmengen wendet man gläserne Apparate an, welche das Gas dauernd und wiederholt mit der Flüssigkeit in Berührung bringen. Dieselben müssen jedoch so eingerichtet sein, daß die Flüssigkeit aus ihnen bequem entleert und durch Nachspülen vollkommen gewonnen werden kann. Eine zweckmäßige Einrichtung hierfür ist die von Lunge<sup>2)</sup> angegebene Zehnkugelhöhre. Diese besteht aus einem geraden Rohre, das an der Seite des Gaseintritts nach

---

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 814. Dieser verbesserte Apparat wird von Geißler in Bonn ausgeführt. — <sup>2)</sup> Zeitschr. f. angew. Chem. 1890, S. 567.

aufwärts gebogen ist und zu zehn eng nebeneinander stehenden kleinen Glaskugeln aufgeblasen ist. Das Rohr wird schräg gestellt und von der einen Seite aus mit Flüssigkeit gefüllt. Beim Hindurchleiten des Gasstromes trägt derselbe die Flüssigkeit nach aufwärts, so daß allmählich alle Kugeln teilweise mit dieser gefüllt sind und der Gasstrom nacheinander in allen zehn Kugeln die Flüssigkeit in Blasenform durchsetzen muß. In dieser Weise kann z. B. der Ammoniakgehalt des Steinkohlengases durch Auffangen in verdünnter Schwefelsäure aufgenommen werden.

Zur Bestimmung der in einer Flüssigkeit aufgenommenen Menge eines Gasbestandteiles bedient man sich zweckmäßig der Maßanalyse.

Auf die Einzelheiten derselben kann hier nicht eingegangen werden und muß diesbezüglich auf die Lehrbücher über Maßanalyse<sup>1)</sup> verwiesen werden. Hier sei nur erwähnt, daß man die zum Titrieren verwendeten Lösungen nicht so einstellt, wie dies sonst bei der Maßanalyse üblich ist, auf ein Grammolekül im Liter, sondern derart, daß 1 cm<sup>3</sup> der zum Titrieren verwendeten Lösung 1 cm<sup>3</sup> des zu bestimmenden Gases oder einem Bruchteile desselben entspricht. Man bezeichnet solche Lösungen als „gasnormal“, „<sup>1</sup>/<sub>10</sub>-gasnormal“ usw.

Als Beispiel sei hier die Bestimmung der Kohlensäure in der Zimmerluft mittels Hindurchleitens durch Bariumhydroxydlösung angegeben. Man stellt sich zu diesem Zwecke eine beiläufig <sup>1</sup>/<sub>10</sub>-gasnormale Barytlösung her, deren Titer man durch genau gasnormale Oxalsäure bestimmt, und verwendet 10 cm<sup>3</sup> dieser Barytlösung, indem man sie mit etwas Phenolphthalein versetzt, wodurch Rotfärbung eintritt. Man leitet dann in irgend einem Absorptionsapparate die zu untersuchende Luft so lange hindurch, bis die Entfärbung der Lösung eintritt und erhält auf diese Weise sofort die Anzahl der Kubikzentimeter Kohlensäure, welche in der hindurchgeleiteten Gasmenge enthalten waren, wenn die Barytlösung genau gasnormal war. Anderenfalls muß eine entsprechende Korrektur angebracht werden. Wurde das Hindurchleiten der Luft in einer größeren Waschflasche vorgenommen, so ist zu berücksichtigen, daß auch der Flascheninhalt vor Eindringen der Barytlösung mit Luft gefüllt war, und ist daher der Flascheninhalt abzüglich des Volumens an Barytlösung der hindurchgesogenen Gasmenge zuzuzählen.

Ein auf dem gleichen Prinzip beruhender handlicher Apparat zur Bestimmung der Kohlensäure in der Zimmerluft ist von Lambrecht angegeben worden. Er besteht aus einem einige Zentimeter weiten Glaszylinder, in dem sich ein Kolben auf und ab bewegen läßt. Man bringt den Kolben nach Einführung einer bestimmten Menge der mit Phenolphthalein versetzten Barytlösung bis an den Boden herab, saugt dann durch gelindes Heben des Kolbens eine bestimmte Luftmenge an und schüttelt ordentlich durch. Entfärbt sich die Lösung nicht, so hebt man den Kolben weiter in die Höhe, indem man auf diese Weise mehr Luft mit der Lösung in Berührung bringt, schüttelt wieder und setzt diese Operation so lange fort, bis Entfärbung eintritt. Die Höhe des Kolbenstandes gibt dann ein Maß für den Kohlensäuregehalt und kann dieser direkt an einer Skala abgelesen werden, welche in dem Glaszylinder eingezätzt ist.

<sup>1)</sup> Kälbe, Grundzüge d. Maßanalyse 1888; Kühling, Lehrbuch d. Maßanalyse 1904; Mohr, Lehrbuch d. Titriermethode 1870; Weinland, Anleitung z. Maßanalyse 1905; Winkler, Die Maßanalyse 1883.

Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes eines Gases kann man zweierlei Wege einschlagen. Entweder man wägt das in einem großen Glasballon befindliche Gas, oder man bestimmt die Zeit, welche erforderlich ist, um das Gas bei einem gegebenen Druck durch eine feine Öffnung in einem dünnen Blech hindurchzuleiten.

Die erstere Methode verwendet Lux bei seiner Gaswage (Fig. 137)<sup>1)</sup>. Sie besteht aus einem etwa einen Liter fassenden Glasballon *A*, der an einem Rohr dicht angesetzt ist. Dieses Rohr, welches gleichzeitig als Wagebalken ausgebildet ist, dient zur Zuführung des Gases. Das Gas wird durch den Gummischlauch *b* zugeführt und gelangt unter Vermittelung eines Quecksilberverschlusses in das in der Achse des Drehungsmittelpunktes liegende Rohr, welches mit dem genannten Zuführungsrohr in Verbindung steht. Die Abfuhr des Gases erfolgt durch eine Öffnung am Boden des Ballons und durch den Rohransatz, der in der Drehungsachse in der Zeichnung nach rückwärts ge-

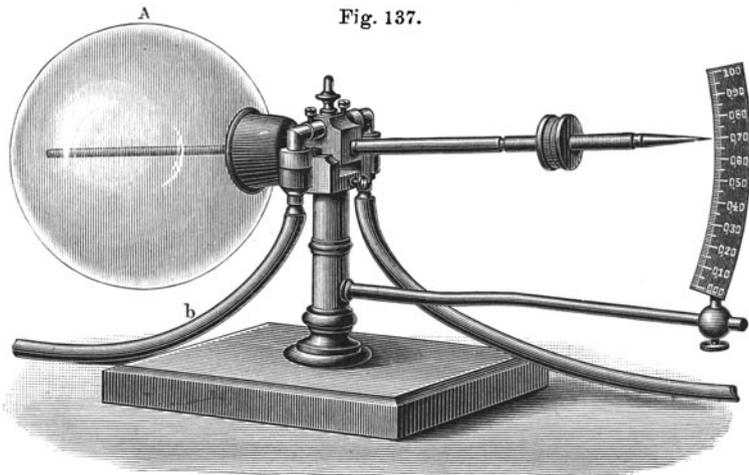


Fig. 137.

wendet liegt und wieder durch einen Quecksilberverschluß zum Gasabfuhrschlauch führt. Auf diese Weise wird der Ballon *A* stets mit frischem Gas versorgt. Die beiden Quecksilberverschlüsse, welche die freie Beweglichkeit des Wagebalkens gewährleisten müssen, bestehen im Unterteile, welcher feststeht, aus zwei konzentrischen Zylindern, deren Zwischenraum mit Quecksilber gefüllt ist. Das Gas tritt durch den inneren Zylinder ein. In den ringförmigen mit Quecksilber gefüllten Raum taucht das freie, nach abwärts gebogene Ende des Rohres, welches in der Drehungsachse liegt, derart, daß es im Quecksilber genügenden Spielraum besitzt um einen großen Ausschlag des Wagebalkens zu ermöglichen.

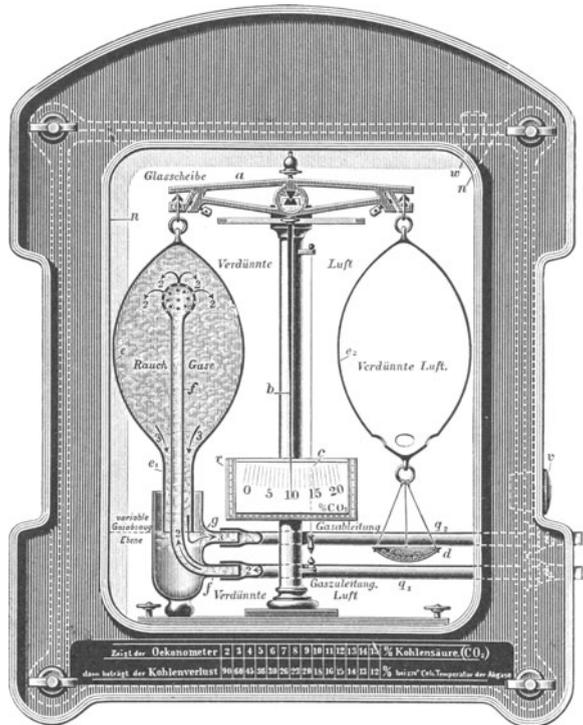
Vor Inangriffnahme der Untersuchung wird Luft hindurchgeleitet und man verstellt das am rechten Ende des Wagebalkens befindliche Laufgewicht so lange, bis der Zeiger auf den Nullpunkt der Skala zeigt. Dann leitet man das Gas hindurch und liest an der Neigung des Wagebalkens direkt das spezifische Gewicht des Gases ab. Zur Ausgleichung größerer Gewichts-

<sup>1)</sup> Erhältlich bei Friedrich Lux, Ludwigshafen a. Rh.

differenzen kann man auf den Wagebalken auch noch einen Reiter an einer dort angebrachten Skala verschieben.

Die Luxsche Gaswage ist wegen ihrer hohen Kosten nur verhältnismäßig wenig in Anwendung. Mehr eingebürgert hat sich das auf dem gleichen Prinzip beruhende Ökonometer von Arndt. Dieses besteht gemäß Fig. 138 aus einem Wagebalken, an welchem zwei Glasballons aufgehängt sind. Da das Ökonometer speziell für die kontinuierliche Rauchgasanalyse bestimmt ist, und somit nur für spezifisch schwere Gase verwendet wird, kann die Gaszufuhr in einfacherer Weise ausgebildet sein als bei der Luxschen Gaswage. Das Gas wird durch das Rohr  $q_2$  von einer Wasserstrahlpumpe abgesogen. Der ganze Apparat steckt in einem annähernd dicht verschlossenen Kasten, so daß sich die Saugwirkung auf den Raum innerhalb des Kastens überträgt, und demgemäß von der Zuleitung  $q_1$  her Gas angesogen wird. Dieses sammelt sich in dem linken Glasballon und strömt durch den unten zylindrisch ausgezogenen Teil desselben in ein Gefäß  $g$ , aus welchem es oben durch die Gasableitung abgesogen wird. Durch Auflegung von Gewichten auf die Wagschale  $d$  an der rechten Seite des Wagebalkens stellt man beim Durchsaugen von Luft den Zeiger des Wagebalkens auf den Nullpunkt der Skala ein. Beim Hindurchsaugen

Fig. 138.



von Rauchgasen sinkt der linke Glasballon zufolge des höheren spezifischen Gewichtes und der Zeiger des Wagebalkens zeigt an der Skala direkt Prozente Kohlensäure an.

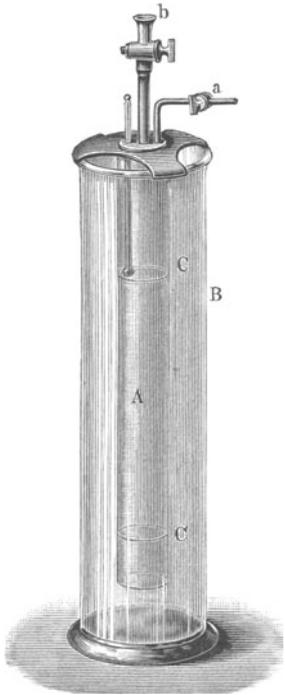
Die fortlaufende Bestimmung des spezifischen Gewichtes könnte auch dazu führen, komplette Gasanalysen auszuführen, indem man einen Bestandteil des Gases nach dem anderen absorbiert und immer wieder das spezifische Gewicht ermittelt. Doch ist dies kompliziert und führt leicht zu Ungenauigkeiten.

Sowohl die Luxsche Gaswage als das Arndtsche Ökonometer leiden an dem Übelstande, daß kleine Verunreinigungen in Form fester Partikelchen, welche im Gase enthalten sein können, sich an dem Glasballon ansetzen und dessen Gewicht allmählich erhöhen, so daß dann die Anzeigen ungenau werden.

Dies dürfte auch die Ursache sein, warum sich das Arndtsche Ökonometrier keinen größeren Eingang in die Praxis verschafft hat.

Das zweite Prinzip der Messung der Ausströmungsgeschwindigkeit, welches ursprünglich von Bunsen<sup>1)</sup> angegeben ist, ist von Schilling<sup>2)</sup> für die technische Gasanalyse brauchbar gemacht worden. Fig. 139 zeigt den Schilling'schen Apparat. Er besteht aus einem weiten zylindrischen Glasgefäß, in das ein engerer Glaszylinder *A* eingesetzt wird. Dieser trägt oben neben der Gaszuleitung *a* und einem Thermometer die mit einem Hahne abschließbare kleine Gasausströmungsöffnung *b*. Es wird nun die Zeit gemessen, welche erforderlich ist, um ein bestimmtes Gasvolumen unter dem Druck der Wassersäule, welcher durch die Wasserfüllung des großen Glaszylinders *B* gegeben

Fig. 139.



ist, ausströmen zu lassen. Zur genauen Ablesung dieses Volumens befinden sich zwei Marken *C* und *C*<sub>1</sub> an dem inneren Zylinder. Man bestimmt zunächst die Ausströmungszeit der Luft. Zu diesem Zwecke muß natürlich der innere Zylinder zunächst von allen Gasresten befreit werden, was nach Öffnen der Hähne *a* und *b* durch wiederholtes Auf- und Abbewegen des inneren Zylinders *A* erfolgt. Dann füllt man denselben durch Hochheben neuerdings mit Luft, schließt die Hähne *a* und *b* und versenkt ihn schließlich unter das Wasser. Man hält nun eine Sekundenuhr bereit, öffnet den Hahn *b* und beobachtet den inneren Wasserspiegel. Sobald derselbe die Marke *C*<sub>1</sub> passiert, löst man die Sekundenuhr aus und arretiert dieselbe wieder, sobald die Marke *C* erreicht ist. Es wird somit die Zeit gemessen, welche zur Ausströmung des zwischen *C*<sub>1</sub> und *C* gelegenen Luftvolumens erforderlich ist. Dann spült man den inneren Zylinder nach Ansetzen des Gaszuführungsschlauches an *a* wiederholt mit dem zu untersuchenden Gase aus, indem man *b* schließt und *a* öffnet, wenn der Zylinder gehoben wird um Gas einzusaugen und ferner *a* schließt und *b* öffnet, wenn der Zylinder gesenkt wird, um das Gas wieder auszutreiben. Sobald man sicher ist, daß alle Luft durch Gas verdrängt ist, erfolgt die Beobachtung der Ausströmungszeit des Gases genau wie bei der Luft. Bezeichnet *t*<sub>*x*</sub> die Ausströmungszeit des Gases in Sekunden und *t*<sub>0</sub> die Ausströmungszeit der Luft, so ergibt sich das spezifische Gewicht *s* im Verhältnis zur Luft aus dem Quorate des Quotienten der beiden Ausströmungszeiten:

$$s = \left( \frac{t_x}{t_0} \right)^2.$$

Auf diese Weise kann man natürlich nur das spezifische Gewicht des mit Feuchtigkeit gesättigten Gases, bezogen auf mit Feuchtigkeit gesättigte Luft, erhalten. Will man dagegen das spezifische Gewicht des trockenen

<sup>1)</sup> Gasometrische Methoden, 2. Aufl., S. 184. — <sup>2)</sup> Handbuch der Steinkohlen-gasbeleuchtung, 3. Aufl., S. 100.

Gases, bezogen auf trockene Luft, kennen lernen, so muß man eine entsprechende Umrechnung auf folgende Weise vornehmen:

1000 Liter feuchte Luft enthalten bei  $t^0$ , wenn sie mit Wasserdampf gesättigt sind, gemäß Tab. II des Anhanges  $w_t g = v_t$  Liter Wasserdampf. Das Gewicht von 1000 Liter der feuchten Luft beträgt

$$(1000 - v_t) \cdot 1,293 + w_t.$$

Hat das trockene Gas das spezifische Gewicht  $s$ , bezogen auf trockene Luft, so ist dessen Gewicht im feuchten Zustande bei  $t^0$

$$(1000 - v_t) \cdot 1,293 \cdot s + w_t.$$

Das im Schillingschen Apparat gefundene spezifische Gewicht des feuchten Gases in bezug auf feuchte Luft  $s_f$  ist also:

$$s_f = \frac{(1000 - v_t) \cdot 1,293 \cdot s + w_t}{(1000 - v_t) \cdot 1,293 + w_t},$$

daraus berechnet sich

$$s = s_f - \frac{w_t(1 - s_f)}{1,293(1000 - v_t)}.$$

Ist die Tension des Wasserdampfes bei der Temperatur  $t^0 \dots \tau$ , so ist der Partialdruck des Wasserdampfes, wenn  $p$  den Gesamtdruck bedeutet,  $\frac{\tau}{p}$  und das Volumen des Wasserdampfes pro 1000 Liter feuchtes Gas (bzw. Luft) und dessen Gewicht in Grammen pro Kubikmeter

$$v_t = 1000 \frac{\tau}{p}; \quad w_t = 810 \frac{\tau}{760}.$$

Da das Volumen des Wasserdampfes pro Kubikmeter Gas bzw. Luft bei dieser Berechnung überhaupt keine große Rolle spielt, kann für alle Fälle, wo  $p$  nicht um mehrere Zehntel Atmosphären vom Normaldruck (760 mm Quecksilber) abweicht,  $p = 760$  angenommen werden, so daß  $v_t$  und  $w_t$  durch  $\tau$  ausgedrückt werden können, woraus sich dann ergibt:

$$s = s_f - 0,626 \frac{\tau(1 - s_f)}{760 - \tau}.$$

Beispielsweise sei erwähnt, daß bei einem Steinkohlengas, dessen spezifisches Gewicht im Schillingschen Apparat zu 0,480 gefunden wurde, bei einer Sättigungstemperatur von 20° C die Korrektur wie folgt ausfällt, da  $\tau = 17,4$  zu setzen ist:

$$s = 0,480 - 0,626 \frac{17,4(1 - 0,480)}{760 - 17,4} = 0,472.$$

Größere Wirkung hat diese Korrektur bei sehr leichten Gasen, z. B. Wasserstoff. Reiner Wasserstoff, dessen spezifisches Gewicht  $s = 0,0696$  beträgt, wird im Schillingschen Apparat als feuchter Wasserstoff bezogen auf feuchte Luft, ermittelt zu  $s_f = 0,0832$ . In diesen Fällen ist also diese Korrektur, die gewöhnlich vernachlässigt wird, unbedingt nötig.

Oft ist es jedoch erforderlich, die Dichte des zu untersuchenden Gases in dem Zustande, wie es sich eben vorfindet, also oft nur partiell mit Feuchtigkeit beladen, in bezug auf die Luft in dem Zustande, wie sie sich eben befindet, kennen zu lernen. Dies ist z. B. erforderlich, wenn man den Auftrieb eines in Stahlflaschen komprimierten Ballongases in der Luft bestimmen will.

In diesem Falle muß das Gas in dem Zustande untersucht werden, wie es eben zur Verwendung gelangt und es darf daher nicht mit Wasser in Berührung gebracht werden. In diesem Falle verwendet man Quecksilber als Sperrflüssigkeit. Der Schillingsche Apparat muß dann etwas verändert werden, da Quecksilber undurchsichtig ist und man daher das Gas enthaltende Gefäß nicht in das Quecksilber eintauchen darf. Die Zufuhr des Quecksilbers erfolgt deshalb durch einen sehr weiten Gummischlauch aus einer Flasche, welche unten einen Tubus besitzt. Diese Flasche muß gegenüber dem Ausströmungsgefäß auf eine bei jedem Versuch gleichbleibende Höhe gebracht werden, damit der Druck, unter dem das Gas bzw. die Luft ausströmt, stets der gleiche bleibt. Im übrigen erfolgt die Beobachtung des Durchganges des Quecksilberniveaus durch die beiden Marken in der gleichen Weise wie beim Wasser. Der Gummischlauch muß sehr weit (mehr als 12 mm lichter Durchmesser) gewählt werden, weil sonst die Reibungsverluste des Quecksilbers in dem Rohre, namentlich bei rasch ausströmenden Gasen, wie z. B. Wasserstoff, die Ausströmungszeiten beeinträchtigen.

Die Luft, welche zu diesen Bestimmungen verwendet wird, trocknet man mit Chlorcalcium, damit man das spezifische Gewicht des Gases in bezug auf trockene Luft erfährt, da man ja in diesem Falle eine vollständige Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit nicht vornehmen und daher die nachherige Umrechnung auf trockene Luft nicht ausführen kann.

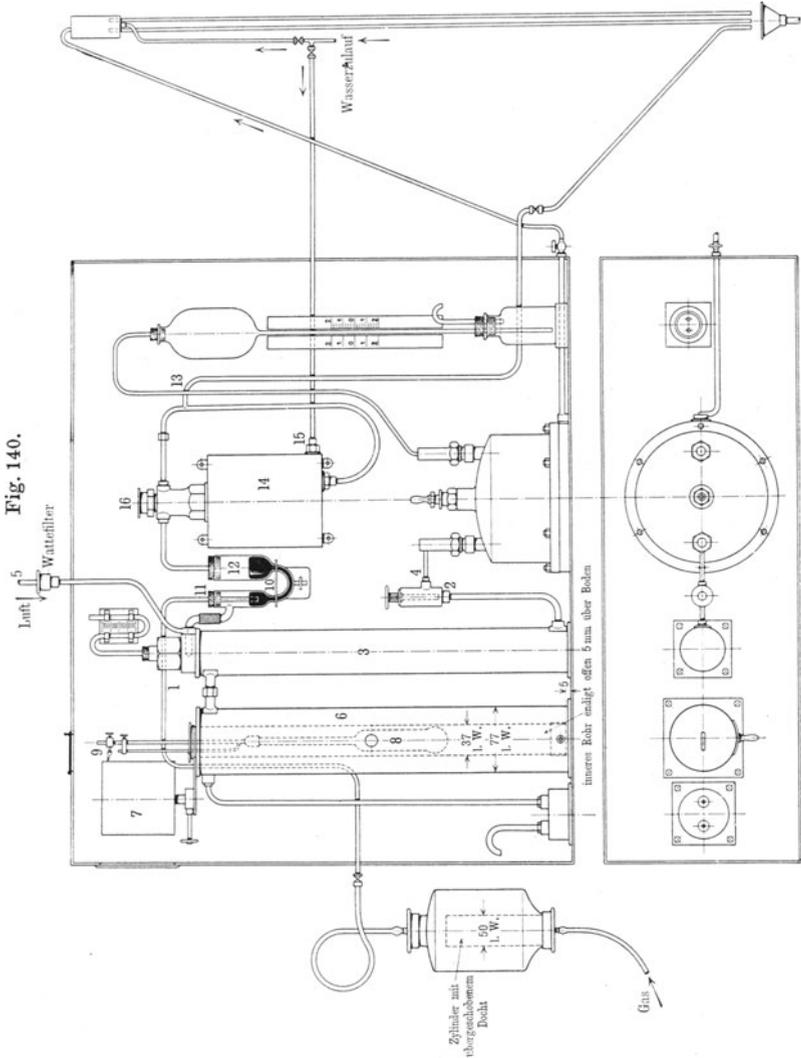
Gülich<sup>1)</sup> schlug vor, das spezifische Gewicht der Gase dadurch zu bestimmen, daß mit Hilfe einer Saugflasche ein Vakuum von bestimmter Höhe hergestellt wird. Man läßt dann Luft durch eine feine Öffnung einströmen und beobachtet das Fallen der Quecksilbersäule am Manometer; ebenso verfährt man mit Gas an Stelle von Luft und erhält aus den Zeiten, die notwendig sind, um das Vakuum auf eine bestimmte Höhe sinken zu lassen, das spezifische Gewicht des Gases.

Zur dauernden Kontrolle des spezifischen Gewichts eines Gases hat der Verfasser<sup>2)</sup> eine Vorrichtung konstruiert, welche ebenfalls auf der Durchlaßfähigkeit von feinen Öffnungen für Gase von verschiedenem spezifischen Gewicht beruht.

Das Wesen des Apparates besteht darin, daß zwei Durchströmungsöffnungen 1 und 2 (Fig. 140) beim Eingang und beim Ausgang eines Gefäßes 3 angeordnet sind. Sind diese Öffnungen gleich groß und saugt man beim Rohr 4 Luft hindurch, welche bei 5 eintritt, so ergibt sich im Gefäß 3 eine Saugwirkung, welche die Hälfte der bei 4 herrschenden beträgt. Läßt man nun bei 1 ein Gas eintreten, welches ein geringes spezifisches Gewicht besitzt, so sinkt der Widerstand, welchen die Öffnung dem durchströmenden Gase bietet. Dementsprechend verringert sich die Saugwirkung in 3. Erst bis das ganze Gefäß mit dem betreffenden Gase gefüllt ist, so daß auch durch die Öffnung 2 dasselbe Gas ausströmt, gleicht sich die Saugwirkung derart aus, daß sie im Gefäß 3 die Hälfte wie hinter der Öffnung 2 beträgt. Läßt man nun durch 1 wieder Luft anstatt Gas eintreten, so wird jetzt der Widerstand, den diese Öffnung bietet, steigen und demzufolge die Saugwirkung in 3 zunehmen und dies so lange, bis das ganze Gas wieder durch Luft verdrängt ist.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 699. — <sup>2)</sup> Zum Patente angemeldet.

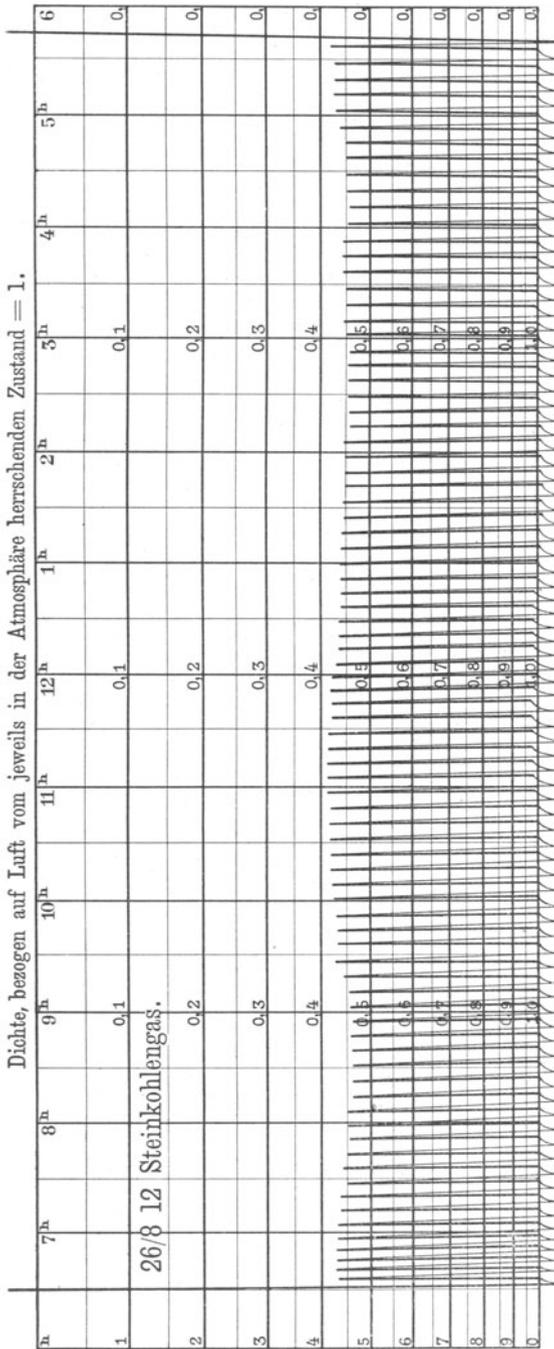
Aus der Größe der Saugwirkung, welche im Gefäß 3 dann eintritt, wenn an Stelle von Luft bei 1 Gas eintritt, kann man also einen Schluß auf das Verhältnis der Dichte des Gases zu jener der Luft schließen. Durch eine Registriervorrichtung 6, welche die Saugwirkung aufzeichnet, werden beim jeweiligen Eintritt von Gas durch die Öffnung 1 auf das Diagramm 7 mit



Hilfe des Schwimmers 8 und der Schreibfeder 9 Linien nach aufwärts gezeichnet, deren Höhe beim jeweiligen Nachlassen der Saugwirkung im Gefäß 3 die Dichte angibt.

Es ist also erforderlich, abwechselnd Luft und Gas durch die Öffnung 1 eintreten zu lassen. Dies geschieht mit Hilfe eines automatischen Wechslers, der durch ein Uhrwerk oder durch eine Hebevorrichtung betrieben werden kann. Fig. 140 zeigt die Anordnung einer Hebevorrichtung in Verbindung

Fig. 141.



mit dem Quecksilberventil 10 als Wechsler. Letzteres besteht aus einem U-förmig gebogenen Rohr, das zur Hälfte mit Quecksilber gefüllt ist. In den einen Schenkel ragt das Gaszuführungsrohr 11 hinein. Befindet sich das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich hoch, so ist die Gaszufuhr abgeschlossen und es wird daher Luft durch das Rohr 5 in den Apparat gesogen. Bewirkt man dagegen beim zweiten Schenkel 12 ein Ansaugen, so wird das Rohr 11 vom Quecksilber freigegeben und es tritt dort das Gas ein und gelangt zur Öffnung 1, während der Überschuss desselben durch das Rohr 5 in die Luft entweicht. Dieses Ausströmenlassen des Überschusses ist erforderlich, um den Raum oberhalb der Öffnung 1 druckfrei zu erhalten.

Das abwechselnde Saugen und Drücken beim Schenkel 12 des U-Rohres wird durch eine Hebevorrichtung 13, die an der Flasche 14 angebracht ist, bewirkt. In diese fließt bei 15 beständig Wasser ein. Die Luft entweicht durch eine enge Öffnung bei 16 aus der Flasche. Sobald dieselbe mit Wasser gefüllt ist, tritt der Heber 13 in Wirksamkeit, welcher eine größere Menge Wasser absaugt als bei 15

zufießt. Dementsprechend ergibt sich in der Flasche 14 die gewünschte Saugwirkung, welche das Quecksilber im Schenkel 12 des U-Rohres hebt. Während des Ansaugens tritt durch die enge Öffnung 16 allmählich Luft in die Flasche 14, so daß sich letztere entleert, worauf das Spiel von neuem beginnt. Durch die Wahl der Stärke des Wasserzufflusses bei 15 und die Weite der Öffnung 16 kann der Zeitraum, innerhalb welchem der Wechsel durchgeführt werden soll, beliebig geändert werden, so daß die vertikalen Linien, welche am Diagramm 7 erscheinen, eng aneinander gerückt oder weiter voneinander entfernt werden können.

Man muß nur mindestens so lange Zeit verstreichen lassen, bis das jedesmalige vollständige Ausspülen des Gases durch Luft erfolgt ist, was man an

Fig. 142.



dem jedesmaligen Zurückgehen der Schreibfeder auf die Nulllinie erkennt.

Dieser Apparat zur selbsttätigen Aufzeichnung des spezifischen Gewichtes von Gasen hat den Namen „Densograph“ erhalten <sup>1)</sup> und dient vornehmlich für die Kontrolle der Gaserzeugung für Luftschifferzwecke und zur Kontrolle der Gaserzeugung in Kammeröfen, wo sich ein zu hoher Stickstoffgehalt durch ein Steigen

des spezifischen Gewichtes zu erkennen gibt. Fig. 141 zeigt ein mit dem Densograph aufgenommenes Dichtediagramm.

Eine andere Methode der Anzeige von Dichtenunterschieden verschiedener Gase, welche jedoch mehr qualitativen Charakter trägt, beruht auf der Diffusion der Gase durch poröse Membranen. Versieht man einen Zylinder aus nicht glasiertem, gebranntem Ton mit einem Abschluß und schließt an einer Öffnung desselben ein Manometer an, so zeigt sich eine Steigerung des Druckes im Inneren des Tonzylinders, wenn man diesen Tonzylinder in eine Atmosphäre bringt, die ein leichteres Gas enthält. Dieses diffundiert nämlich leichter durch die Poren des Tones hinein, als das im Inneren befindliche schwerere Gas herausdiffundiert. Dadurch steigert sich die Menge des im Zylinder enthaltenen Gases, also auch der Druck.

<sup>1)</sup> Geliefert von der Firma Julius Pintsch in Wien.

Auf diesem Prinzip beruht ein Instrument, welches in Fig. 142 dargestellt ist. Es hat den Namen „Gasoskop“ erhalten<sup>1)</sup>. Dieses Instrument besteht aus einer metallenen Dose, welche unten durch eine poröse Tonplatte verschlossen und oben mit einer biegsamen Metallmembrane nach Art der Kapsel eines Aneroidbarometers versehen ist. Bringt man das Instrument in gas-haltige Luft, so bläht sich die Metallmembrane zufolge der Druckerhöhung auf. Sie steht mit einem Zeigerwerk in Verbindung, welches an einem Zifferblatt den beiläufigen Gasgehalt in Prozenten angibt. Die Tonplatte besitzt in ihrer Mitte ein Loch, welches durch ein Kegelveil verschlossen ist. Durch Drehen des Unterteiles wird dieses Ventil geöffnet und die Verbindung des Innenraumes mit der Außenluft hergestellt, so daß der Druck im Inneren gleich dem der Außenluft wird. Vor Benutzung des Instrumentes muß natürlich dieses Ventil geschlossen werden. Das Zifferblatt ist durch Drehen des oberen Ringes verstellbar, so daß man vor Benutzung den Zeiger auf den Nullpunkt einstellen kann. Bringt man dann das Instrument in einen Raum, welcher ein Gas enthält, das leichter ist als Luft, wie z. B. Steinkohlengas, so zeigt der Ausschlag des Zeigers den beiläufigen Gasgehalt an. Die Anzeigen sind nur vorübergehende. Läßt man das Gasoskop längere Zeit in einem gaserfüllten Raume, so geht der Ausschlag auf 0 zurück, weil sich der Druck durch die Tonplatte ausgleicht. Bringt man dann das Instrument aus dem gaserfüllten Raume in reine Luft, so bewegt sich der Zeiger nach der entgegengesetzten Richtung, weil jetzt das im Inneren der Kapsel enthaltene Gas herausdiffundiert, wodurch sich der Druck im Inneren verringert. Hat man also eine Ablesung gemacht, und wünscht man eine zweite vorzunehmen, so muß das Ventil geöffnet werden, so daß sich der Druck ausgleicht und das im Inneren vorhandene Gas in die Luft entweicht. Der Zeiger geht hierbei auf die Nullstellung zurück. Das Instrument ist dann stets bei geöffnetem Ventil aufzubewahren. Während der Probe darf das Instrument durch die Hand nicht wesentlich erwärmt werden, da sich sonst die im Inneren befindliche Luft ausdehnt und eine irrtümliche Anzeige hervorruft.

Eine neue Methode der Gasanalyse durch Messung der Lichtbrechung hat Haber<sup>2)</sup> eingeführt.

Löwe und Hahn konstruierten auf dieser Grundlage ein Gasrefraktometer und Rayleigh<sup>3)</sup> ein Gasinterferometer. Mit dem ersteren lassen sich noch 0,2 Proz. CO<sub>2</sub> oder CH<sub>4</sub> in der Luft erkennen. Mit dem Interferometer, das für genaue Untersuchungen mit 1 m Länge und in einer kleinen Ausführung von 10 cm Länge hergestellt wird, ist man in der Lage, den Methangehalt der Luft mit 0,01 bis 0,10 Proz. Genauigkeit zu bestimmen. Der Apparat dient vornehmlich zur Untersuchung der Grubenwetter.

Eine ganz neue Art der Gasuntersuchung hat Hinmann<sup>4)</sup> angegeben. Sie beruht auf der Erwärmung, welche verschiedene Absorptionsmittel durch die Reaktion erfahren. So z. B. wird CO<sub>2</sub> durch die Erwärmung von Ätzkali und CO durch die Erwärmung bei Absorption in Natriumsuperoxyd bestimmt.

---

<sup>1)</sup> Von der Wassergas- und Patentverwertungsgesellschaft in Wien VIII, Alserstr. 71, zu beziehen. — <sup>2)</sup> Stuckert, Lichtbrechung der Gase und ihre Verwendung zu analytischen Zwecken, Zeitschr. f. Elektrochem. 1910, S. 37; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 294; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 254. — <sup>3)</sup> Löwe, Chem. Zentralbl. 1911, S. 54; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 73. — <sup>4)</sup> Chem.-Ztg. 1910, S. 579; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 115.

Im nachstehenden seien noch einige besondere Methoden erwähnt, welche zur Bestimmung von Substanzen dienen, die nur in geringerer Menge in Leucht- und Heizgasen vorkommen. Natürlich können nur die wichtigsten dieser Methoden erwähnt werden.

Die sogenannten schweren Kohlenwasserstoffe, das sind die ungesättigten Kohlenwasserstoffe der Äthylen-, Acetylen- und Benzolreihe werden bei der Absorption mit rauchender Schwefelsäure oder mit Bromwasser nur gemeinsam ihrem Volumen nach bestimmt. Im Steinkohlengase und in Generatorgasen, die aus Steinkohle gewonnen werden, ist deren Menge so gering, daß eine Trennung der einzelnen schweren Kohlenwasserstoffe gewöhnlich nicht erforderlich ist. In großen Mengen treten dagegen diese Kohlenwasserstoffe im Ölgas und im ölkarburierten Wassergas auf. Hier ist somit die Kenntnis der Mengen der einzelnen Kohlenwasserstoffe von Wichtigkeit.

Man kann die schweren Kohlenwasserstoffe aus dem Gase abscheiden, indem man dasselbe auf sehr niedrige Temperaturen, am besten mit Hilfe von flüssiger Luft, abkühlt. Diese Methode ist von Erdmann und Stolzenberg<sup>1)</sup> ausgebildet worden. Will man diese etwas umständliche Methode nicht anwenden, so kann man nach Schreiber<sup>2)</sup> eine teilweise Trennung der Kohlenwasserstoffe durch Absorption des Benzolgehaltes mittels eisgekühlter Paraffinlösung bewirken. Schreiber verwendet fünf Absorptionsflaschen mit je 50 cm<sup>3</sup> Paraffinöl, dessen Gewichtszunahme die Benzolmenge angibt.

Nach Winkler<sup>3)</sup> kann man den Benzolgehalt ermitteln, indem man einerseits sämtliche schwere Kohlenwasserstoffe mit rauchender Schwefelsäure absorbiert und andererseits den Bromverbrauch, welcher durch die schweren Kohlenwasserstoffe hervorgerufen wird, durch Titrieren mit Jodkalium und thioschwefelsaurem Natrium ermittelt. Haber und Öchelhäuser<sup>4)</sup> haben nämlich gefunden, daß das Benzol mit dem Brom keine innige Verbindung eingeht, welche sich durch einen Bromverbrauch zu erkennen geben würde, sondern nur mehr mechanisch mit niedergerissen wird. Die sicherste Methode der Benzolbestimmung ist jene von Pfeiffer<sup>5)</sup>, bei welcher das Benzol durch Nitrierung in Dinitrobenzol übergeführt wird, worauf man mit Hilfe von Zinnchlorür in Diamidobenzol umsetzt und den Überschuß an Zinnchlorür durch Titration ermittelt.

In neuerer Zeit ist von Dennis und MacCartley die volumetrische Absorption des Benzoldampfes mit Nickelammoniumcyanid empfohlen worden. Harding und Taylor<sup>6)</sup> haben gezeigt, daß diese Methode nur dann gute Resultate gibt, wenn für die Absorption genau zwei Minuten verwendet werden, da anderenfalls auch andere ungesättigte Kohlenstoffe angegriffen werden.

Um die Zusammensetzung eines Gemisches schwerer Kohlenwasserstoffe näher kennen zu lernen<sup>7)</sup>, kann man einen indirekten Weg wählen, obwohl ein solcher zufolge der unvermeidlichen Ungenauigkeiten der Analyse niemals so genaue Resultate geben kann wie eine direkte Bestimmung. Doch bleibt

<sup>1)</sup> Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1910, S.1702; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 902. —

<sup>2)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 108. — <sup>3)</sup> Techn. Gasanalyse, 3. Aufl., S. 77. —

<sup>4)</sup> Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1896, S. 2700. — <sup>5)</sup> Journ. f. Gasbel. 1899, S. 697. —

<sup>6)</sup> Journ. Ind. Ing. Chem. Soc. 1910, S. 315; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 559. —

<sup>7)</sup> Über die Absorption von Kohlenwasserstoffen, speziell CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> und C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> siehe auch Daniel, Journ. of Phys. Chem. 1911, S. 587; Chem. Zentralbl. 1911, 2, 666; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1114.

manchmal kein anderes Mittel übrig. So z. B. enthält das Ölgas eine große Menge schwerer Kohlenwasserstoffe, und wenn es auch nicht möglich ist, die Quantität jedes einzelnen Kohlenwasserstoffs zu bestimmen, so ist es doch vorteilhaft, ein beiläufiges Bild über das vorliegende Gasgemisch zu erhalten, indem man das mittlere Molekulargewicht der schweren Kohlenwasserstoffe ermittelt. Diesen Weg empfiehlt auch Hempel<sup>1)</sup>. Er bestimmt das spezifische Gewicht des zur Untersuchung gelangenden Gases und zieht davon das Gewicht der einzelnen Bestandteile ab mit Ausnahme der schweren Kohlenwasserstoffe. Die Differenz ergibt das Gewicht der letzteren, und wenn man durch das Volumen der letzteren dividiert, so erhält man das spezifische Gewicht für die Raumeinheit. Nun ist aber dieses bei allen Gasen proportional dem Molekulargewicht, und somit ist letzteres ohne weiteres erhältlich. Natürlich müssen dabei die auf trockenes Gas von 0° und 760 mm umgerechneten spezifischen Gewichte in die Rechnung eingesetzt werden. Vgl. S. 257.

Auch der Sauerstoffverbrauch der Gase bei der Verbrennung kann Aufschluß über die Zusammensetzung eines Gemisches von Kohlenwasserstoffen ergeben. Derselbe ist bei den Kohlenwasserstoffen der Äthylenreihe ( $C_nH_{2n}$ ) genau proportional dem Molekulargewicht. Bei den Kohlenwasserstoffen der anderen Reihen ist er nicht genau proportional, doch betragen die Abweichungen nur so wenig, daß man diese Methode auch anwenden kann, weil die schweren Kohlenwasserstoffe doch hauptsächlich aus solchen der Äthylenreihe bestehen. Die nachstehenden Zahlen drücken das Verhältnis des Molekulargewichtes zum Sauerstoffverbrauch für die Raumeinheit des betreffenden Kohlenwasserstoffs aus.

Gesättigte Kohlenwasserstoffe $C_nH_{2n+2}$		Äthylenkohlenwasserstoffe $C_nH_{2n}$		Acetylenkohlenwasserstoffe $C_nH_{2n-2}$		Benzol	
$C_1H_4$	8,0	$C_2H_4$	9,3	$C_2H_2$	10,4	$C_6H_6$	10,4
$C_2H_6$	8,6	$C_3H_6$	9,3	$C_3H_4$	10,0		
$C_3H_8$	8,8	$C_4H_8$	9,3	$C_4H_6$	9,8		

Auch die in den Verbrennungsprodukten enthaltene Kohlensäure kann Aufschluß über die vorhandenen schweren Kohlenwasserstoffe geben. Nimmt man z. B. die schweren Kohlenwasserstoffe des Steinkohlengases als aus Äthylen und Benzoldampf bestehend an, so führt folgende Berechnung zur Kenntniss der Quantitäten beider Bestandteile.

Man bestimmt den Gesamtkohlenstoffgehalt des Gases, indem man eine gemessene Menge Leuchtgas mit Luft verpufft und den  $CO_2$ -Gehalt bestimmt. Zieht man von der erzeugten  $CO_2$ -Menge die Kohlensäure ab, welche aus den kohlenstoffhaltigen Bestandteilen des Leuchtgases mit Ausnahme von Äthylen und Benzol entsteht (diese entspricht der Summe der Volumen von  $CO_2$ ,  $CO$  und  $CH_4$ , da jedes dieser Gase ein gleiches Volumen an  $CO_2$  liefert), so erhält man die  $CO_2$ -Menge, welche die schweren Kohlenwasserstoffe allein gegeben hätten. Bezeichnen wir mit  $x$  die Anzahl der Kubikzentimeter  $C_2H_4$  und mit  $y$  die Anzahl der Kubikzentimeter  $C_6H_6$ , so ist diese  $CO_2$ -Menge

$$K = 2x + 6y.$$

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 101.

Andererseits war die Zahl der Kubikzentimeter der schweren Kohlenwasserstoffe:

$$w = x + y,$$

so daß sich aus diesen beiden Gleichungen berechnen läßt:

$$\begin{aligned} x &= \frac{3}{2}w - \frac{1}{4}K, \\ y &= \frac{1}{4}K - \frac{1}{2}w. \end{aligned}$$

Ein weiteres Mittel, verschiedene Bestandteile eines Gasgemisches durch indirekte Methoden zu bestimmen, liegt in der Bestimmung der Wärmemenge, welche bei der Verpuffung des Gasrestes mit Luft entsteht. Zur Bestimmung dieser Wärmemenge dient das auf S. 122 angegebene Explosionskalorimeter. Da der Heizwert der Gase in roher Annäherung proportional dem Sauerstoffverbrauch ist und dieser wieder annähernd dem Molekulargewicht entspricht, so kann aus dem Heizwert auch ungefähr auf das Molekulargewicht geschlossen werden.

Die Bestimmung des Acetylens im Steinkohlengase erfolgt nach Winkler<sup>1)</sup> zweckmäßig gemeinsam mit der Bestimmung des Schwefelwasserstoffs und des Schwefelkohlenstoffs auf folgende Weise: Das Gas wird zum Zwecke der Absorption von  $H_2S$  und  $C_2H_2$  durch eine konzentrierte ammoniakalische Silberlösung geleitet. Dann führt man es durch ein mit Platinasbest gefülltes dunkelrot glühendes Rohr, wo der Schwefelkohlenstoff und die organischen Schwefelverbindungen in Schwefelwasserstoff übergeführt werden und schließlich wieder durch ammoniakalische Silberlösung. Der in der ersten Lösung entstehende Niederschlag besteht aus einem Gemisch von Acetylsilber und Schwefelsilber. Man löst ihn nach Abfiltrieren und Auswaschen in verdünnter Salzsäure, wobei das Acetylsilber ( $C_2Ag_2$ ) in Chlorsilber übergeht. Man löst dieses in Ammoniak und fällt es mit Salpetersäure. Das Schwefelsilber, welches durch den Schwefelwasserstoffgehalt des Gases in der ersten Absorptionsflasche und durch den Schwefelkohlenstoffgehalt in der zweiten Absorptionsflasche niedergeschlagen wurde, wird nach Reduktion im Wasserstoffstrom als metallisches Silber gewogen.

Die Prüfung des Schwefelwasserstoffs spielt bei der Gasreinigung eine sehr bedeutende Rolle. Da jedoch die Reinigung stets derart vollkommen sein muß, daß auch die letzten Reste von Schwefelwasserstoff entfernt werden, so ist für gewöhnlich die qualitative Probe auf Schwefel genügend. Man führt sie durch, indem man das aus einem geöffneten Hahn ausströmende Gas gegen ein mit Bleizuckerlösung getränktes Filtrierpapier blasen läßt. Ist Schwefelwasserstoff im Gase, so färbt sich das Papier braun bis schwarz. Handelt es sich um die Bestimmung sehr geringer Mengen Schwefelwasserstoff, so muß das Papier mindestens eine Minute lang im Gasstrom verbleiben. Es soll aber stets dafür gesorgt werden, daß das Papier feucht bleibt, weil die Reaktion im trockenen Zustande viel weniger empfindlich ist. Am empfindlichsten wird die Probe, wenn man das Bleipapier mit Ammoniakwasser befeuchtet. Carpenter<sup>2)</sup> bestimmte die Empfindlichkeit des trockenen Bleipapiers auf  $\frac{1}{1000000}$  Schwefelwasserstoffgehalt des Gases. Bei feuchtem, ammoniakhaltigem Papier wird die Empfindlichkeit auf das Zehnfache gesteigert. Die Anwesenheit von schwefliger Säure vermindert die Empfindlichkeit.

<sup>1)</sup> Techn. Gasanalyse, 3. Aufl., S. 146. — <sup>2)</sup> Journ. of Gaslighting 1908, S. 167; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 979.

Zum Zwecke der beständigen Prüfung des Gases auf seinen Schwefelwasserstoffgehalt hat man die Schwefelprober konstruiert, welche aus einem Glasrohr bestehen, in dem ein Streifen eines mit Bleizuckerlösung getränkten Filtrierpapieres aufgehängt ist. Das Papier taucht unten in ein Näpfchen, das täglich frisch mit Wasser gefüllt werden soll, damit das Papier stets feucht bleibt. Oben trägt das Glasrohr in einer Metallfassung einen Einlochbrenner, dessen Flamme auch einen Überblick über die sonstige Qualität des Gases bietet. Solche Schwefelprober erfüllen nur dann vollkommen ihren Zweck, wenn das Bleipapier täglich gewechselt wird. Aber auch dann lassen sie nur den durchschnittlichen Schwefelgehalt des abgelaufenen Tages erkennen. In neuerer Zeit sind jedoch selbstregistrierende Schwefelprüfer in den Handel gekommen, bei welchen ein Streifen Filtrierpapier mit Hilfe eines Uhrwerkes erst durch eine Bleilösung und dann vor einer Gasausströmungsöffnung vorbeigezogen wird, so daß man an der Stundeneinteilung des Papiere erkennen kann, zu welcher Zeit ein Gehalt des Gases an Schwefelwasserstoff auftrat.

In manchen Gaswerken ist die Prüfung mit einem festen Stück von Bleikarbonat üblich. Auch dieses färbt sich zufolge Bildung von Schwefelblei braun oder schwarz, wenn Schwefelwasserstoff im Gase enthalten ist. Durch Abreiben kann dann die gebräunte Schicht leicht wieder entfernt werden, so daß das Bleikarbonatstück jederzeit wieder zur Probe bereit ist, während das Papier jedesmal erneuert werden muß. Dagegen bietet letzteres den Vorteil, daß es für spätere Nachforschungen aufbewahrt werden kann.

Zur quantitativen Bestimmung des Schwefelwasserstoffs bedient man sich der Methode von Dupasquier, nach welcher das Gas in eine Lösung von Jod in Jodkalium eingeleitet wird<sup>1)</sup>. Der Schwefelwasserstoff wird dabei in Jodwasserstoff verwandelt nach der Formel:



Man setzt etwas Stärkekleister zu, welcher mit dem freien Jod die intensiv blau gefärbte Jodstärke bildet und beobachtet die Entfernung, sobald alles Jod durch die eingeleitete Gasmenge verbraucht ist.

Bunte hat diese Methode sehr zweckmäßig ausgestaltet<sup>2)</sup>, indem er  $100 \text{ cm}^3$  des zu untersuchenden Gases in seiner Bürette (S. 225) abmißt und eine Jodlösung von bestimmtem Gehalt, nachdem etwa  $10 \text{ cm}^3$  des Sperrwassers abgesogen wurden, so lange zufließen läßt, bis eben die Entfärbung des zugesetzten Stärkekleisters stattfindet. Die eingeflossene Menge der Jodlösung kann dann an der Teilung der Bürette ohne weiteres abgelesen werden, und wenn die Lösung  $\frac{1}{10}$ -gasnormal war (vgl. S. 253), so erhält man den Schwefelwasserstoffgehalt in Volumprozenten durch Division der Anzahl der Kubikzentimeter Jodlösung durch 10. Eine  $\frac{1}{10}$ -gasnormale Jodlösung, bezogen auf ein Gas von  $15^\circ \text{C}$  und 760 mm Druck feucht, wird durch Auflösen von 1,055 g reinen Jods in 1 Liter Wasser, dem 10 g Jodkalium zugesetzt wurden, erhalten. Will man die Lösung auf Gas von  $0^\circ$  und 760 mm Druck einstellen, wobei dann auf die während des Versuches herrschenden Temperatur- und Druckverhältnisse umgerechnet werden muß, so löst man 1,134 g Jod im Liter.

<sup>1)</sup> Winkler, Anleitung z. chem. Untersuchung der Industriegase; Hempel, Gasanalyt. Methoden, 3. Aufl., S. 210. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1888, S. 898.

Fresenius<sup>1)</sup> bestimmt den Schwefelwasserstoff gewichtsanalytisch, indem er das mit Chlorcalcium getrocknete Gas durch ein mit Kupfervitriol-Bimsstein gefülltes U-Rohr leitet. Um das Verdunsten von Wasser zu verhindern, ist das letzte Drittel des U-Rohres mit Chlorcalcium gefüllt. Die Gewichtszunahme gibt den Schwefelwasserstoffgehalt des Gases an.

Der Schwefelwasserstoffgehalt kann auch durch Einleiten in Bromwasser und Fällen der gebildeten Schwefelsäure mit Chlorbaryum gewichtsanalytisch bestimmt werden. Nach Bunsen<sup>2)</sup> kann man den Schwefelwasserstoff auch durch Absorption in festem Braunstein bestimmen. Die Braunsteinstücke werden nach dem Trocknen mit einer konzentrierten sirupdicken Lösung von Phosphorsäure bestrichen.

Bei der Bestimmung von Schwefelwasserstoff mit Hilfe von Jodlösung findet man nach Angabe von Ross und Race<sup>3)</sup> bei Gegenwart von Äthylen einen zu hohen Jodverbrauch, da dieses bei längerer Berührung mit der Jodlösung Äthylenjodid gibt: Dies kommt speziell bei der Analyse von karburiertem Wassergas und Ölgas in Betracht. Teune<sup>4)</sup> empfiehlt daher in diesem Falle die Bestimmung des Schwefelwasserstoffs mittels Cadmiumacetat.

Zur Bestimmung des Schwefelwasserstoffs im Acetylen gemeinsam mit dem Phosphorwasserstoff leiten Lunge und Cederkreutz<sup>5)</sup> das Gas durch eine 2- bis 3proz. Lösung von unterchlorigsaurem Natrium, wobei der Schwefelwasserstoff in Schwefelsäure und der Phosphorwasserstoff in Phosphorsäure verwandelt wird, welche nach bekannten gewichtsanalytischen Methoden bestimmt werden.

Zur Bestimmung des Schwefelkohlenstoffs im Steinkohlengase kann man nach Vogel<sup>6)</sup> das Gas durch eine alkoholische Lösung von Kaliumhydroxyd leiten, wobei der Schwefelkohlenstoff xanthogensaures Kali bildet. Nach Verdünnen und Zusatz von Essigsäure fällt man durch essigsäures Kupferoxyd gelbes xanthogensaures Kupfer.

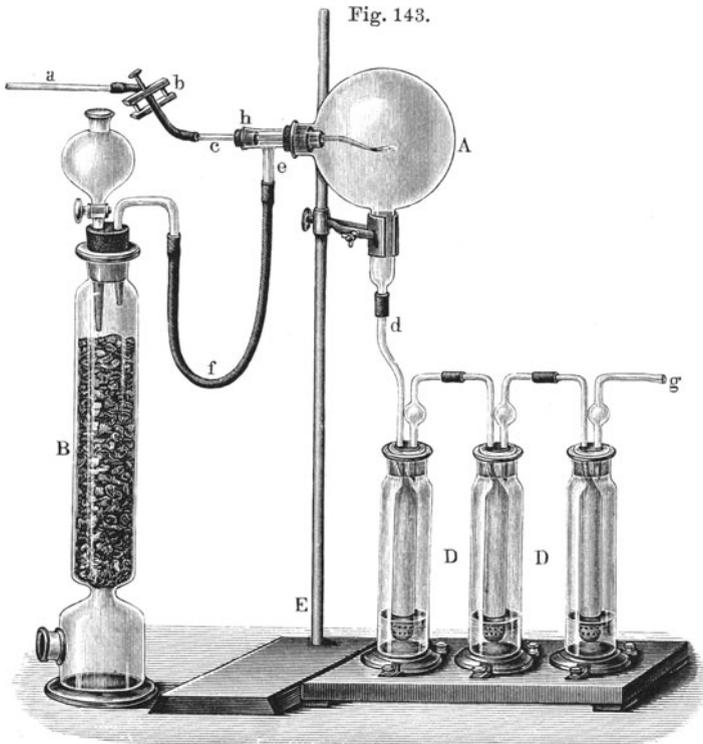
Nach Hofmann<sup>7)</sup> leitet man das Gas durch Triäthylphosphin, welches in Äther gelöst ist; es bildet sich eine intensiv rot gefärbte Doppelverbindung, die nach Verdunsten des Äthers in Form rubinroter Kristalle zurückbleibt.

Wie wir bereits früher (S. 265) besprochen haben, kann der Schwefelkohlenstoff durch Überleiten des Gases über erwärmten Platinasbest in Schwefelwasserstoff überführt und als solcher in Silberlösung aufgenommen werden.

Die vorgenannten Methoden ermöglichen zwar die Bestimmung des Schwefelkohlenstoffs, jedoch sind im Gase außer diesem auch noch andere organische Schwefelverbindungen vorhanden, so daß man, um den Gesamtschwefel im Gase zu bestimmen, die Verbrennung des Gases vornehmen muß, wobei man dann in den Verbrennungsprodukten die schweflige Säure bestimmt. Fig. 143 zeigt den von Hempel verbesserten Drehschmidtschen Apparat. Es ist notwendig, die zugeführte Verbrennungsluft zunächst durch den Turm *D*, welcher mit Kali überrieselten Bimsstein oder Natronkalk enthält,

<sup>1)</sup> Anleitung zur quantitativen Analyse, 6. Aufl., I, S. 505. — <sup>2)</sup> Gasometr. Methoden, 2. Aufl., S. 111. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 878. — <sup>4)</sup> Het Gas 1909, Nr. 2; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 92. — <sup>5)</sup> Zeitschr. f. angew. Chemie 1897, S. 651. — <sup>6)</sup> Ann. d. Chem. u. Pharm. 1853, S. 369; Hempel, Gasanal. Methoden, 3. Aufl., S. 254. — <sup>7)</sup> Ann. d. Chem. u. Pharm. Nr. 115, S. 293; Hempel, Gasanal. Methoden, 3. Aufl., S. 255.

von Schwefelverbindungen vollständig zu befreien. Das Durchsaugen der Luft geschieht mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe, welche bei *g* angeschlossen ist. Das Gas, von dem etwa 50 Liter verbrannt werden sollen, tritt bei *a* ein. Die Flammengröße ist so zu regulieren, daß dieselbe etwa 1 cm beträgt. Die Entzündung erfolgt außerhalb des Apparates. Die Absorptionsflaschen *D* sind mit einer 5 proz. Kaliumkarbonatlösung gefüllt, welcher man etwas Brom zusetzt. Durch dieses wird die schweflige Säure in Schwefelsäure überführt. Man bestimmt die Schwefelsäure gewichtsanalytisch nach An-



säuern mit Salzsäure und Abkochen des Broms durch Fällen mit Baryumchlorid in der Hitze<sup>1)</sup>.

Mayer und Fehlmann<sup>2)</sup> verwenden zur Absorption 3 Proz. Wasserstoffsperoxydlösung an Stelle der Kaliumkarbonatlösung. Diese bewirkt die Oxydation zu Schwefelsäure, die dann durch Titration bestimmt werden kann.

Nach Niermayer<sup>3)</sup> ist es nicht notwendig, die schweflige Säure in Schwefelsäure überzuführen, da das Verhältnis zwischen  $\text{SO}_2$  und  $\text{SO}_3$ , wie diese Stoffe bei der Verbrennung des Gases entstehen, stets ein konstantes ist. Es werden 6 bis 8 Proz. des Gesamtschwefels zu  $\text{SO}_3$  verbrannt. Nimmt man diesen Prozentsatz als konstant an, so genügt es, die  $\text{SO}_2$  jodometrisch zu bestimmen, was auch Sommerville<sup>4)</sup> vorschlug.

<sup>1)</sup> Über die Hardingsche Methode siehe Journ. of Soc. Ind. Eng. Chem. 1910, 2, 385; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 775. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 553. — <sup>3)</sup> Ebend. 1911, S. 1078. — <sup>4)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, p. 28; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 439.

Die Bestimmung des Ammoniakgehaltes des Gases erfolgt nach Tieftrunk<sup>1)</sup>, nachdem man den Schwefelwasserstoff mittels Bleizuckerlösung und den Teer durch Baumwolle entfernt hat, durch Einleiten des Gases in gasnormal eingestellte Säure und Zurücktiteren des Überschusses.

Die Bestimmung des Naphtalins im Gase wird nach Gair<sup>2)</sup> oder nach der Colmann-Smithschen Methode<sup>3)</sup> zufolge einer Verbesserung von Jorissen und Rutten<sup>4)</sup> vorgenommen, indem man das Gas durch eine Auflösung von Pikrinsäure in Essigsäure einleitet. Es muß dabei ein Überschuß von ungelöster Pikrinsäure vorhanden sein. Nach Abfiltrieren des Niederschlages titriert man mittels Normalnatron zurück. Es darf dabei keine zu große Menge von Rohgas verwendet werden, weil überschüssiges  $\text{NH}_3$  das Naphtalinpikrat zersetzt<sup>5)</sup>.

A. Albrecht und Fritz Müller<sup>6)</sup> titrieren die Pikrinsäure mit Lakmoidlösung. Zur Reinigung des Gases zum Zwecke der Naphtalinbestimmung wird das Gas durch Schwefelsäure und Natronlauge geleitet, weil gewöhnliche Reinigungsmasse Naphtalin zurückhält. Auch neue Gummischläuche absorbieren Naphtalin. Schlauchverbindungen sind daher möglichst kurz zu wählen.

Zur Bestimmung von Cyan und Cyanwasserstoff im Leuchtgase läßt man 100 Liter Gas nach Drehschmidt<sup>7)</sup> durch eine mit Kali versetzte Eisenvitriollösung streichen, wobei sowohl Cyan wie Cyanwasserstoff aufgenommen und nach bekannten Methoden bestimmt werden können. Will man dagegen das Cyangas allein bestimmen, so verfährt man nach Kuntz-Krause<sup>8)</sup>. Betreffs der Ausführung dieser Bestimmungen muß auf die unten angeführten Originalabhandlungen hingewiesen werden.

Über die Bestimmung des Phosphorwasserstoffs, der speziell in Acetylen vorkommt, wurde bereits gelegentlich der Schwefelwasserstoffbestimmung im Acetylgas (S. 265) berichtet. Mauricheau<sup>9)</sup> bestimmt denselben nach Entfernung des Schwefelwasserstoffs und des Ammoniaks durch Kali und Schwefelsäure durch Schütteln mit  $\frac{1}{100}$ -Normaljodlösung. Der Überschuß des Jods wird nach Zusatz von Natriumhyposulfit mit Jodlösung und Stärke zurücktitriert.

Der Teergehalt des Gases kann entweder in Baumwolle oder in Glaswolle zurückgehalten werden. Zu diesem Zwecke füllt man ein U-Rohr mit dem betreffenden Filtrationsmaterial und bestimmt die Gewichtszunahme nach Hindurchleiten einer bestimmten Gasmenge.

Die qualitative Probe auf Teer erfolgt am einfachsten, indem man das einem Rohre entströmende Gas auf ein Blatt Papier auftreffen läßt. Durch den Stoß scheiden sich dann die Teertröpfchen auf dem Papiere ab und man kann daraus oft auch die Qualität des Teeres, d. h. ob derselbe dünn- oder dickflüssig ist, erkennen. Will man dabei einen Schluß auf die ungefähre Menge des Teeres ziehen, so müssen natürlich die Umstände, unter denen das

---

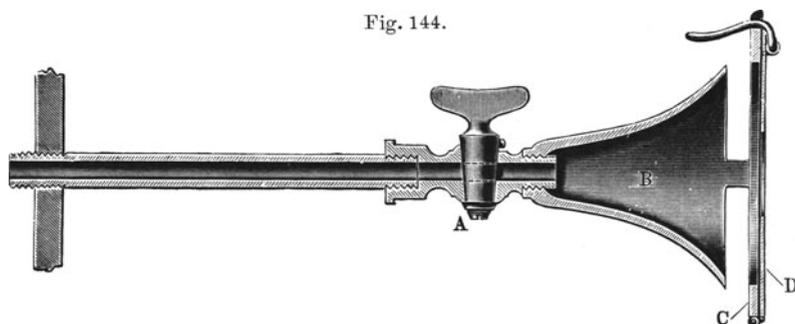
1) Winkler, Anleitung zur chemischen Untersuchung der Industriegase, S. 287; Hempel, Gasanal. Methoden, 3. Aufl., S. 258. — 2) Journ. of Gaslighting 1908, S. 770; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 436. — 3) Journ. f. Gasbel. 1909, S. 694. — 4) Ebend. 1910, S. 269. — 5) Wein, Ebend. 1911, S. 891. — 6) Ebend. 1911, S. 592. — 7) Ebend. 1892, S. 221 u. 268; Winkler, Techn. Gasanal., 3. Aufl., S. 140. — 8) Zeitschr. f. angew. Chem. 1901, S. 652. — 9) Zeitschr. f. Calciumcarbidfabrikation 1907, S. 369; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 257.

Gas auf das Papier trifft, stets gleich gehalten werden. So ist gleicher Druck des Gases, gleiche Größe der Ausströmungsöffnung, gleiche Länge der Leitung und gleicher Abstand des Papieres von der Öffnung, sowie gleiche Dauer des Versuches (etwa eine Minute) erforderlich. Drory hat daher einen eigenen Probierhahn (Fig. 144) konstruiert, welcher die Einhaltung dieser Bedingungen erleichtert. Dieser wurde von Pannertz<sup>1)</sup> verbessert.

Um qualitativ eine geringe Menge von Sauerstoff in Gasen, speziell in Rauchgasen, nachzuweisen, kann man das Gas durch ein Röhrchen saugen, in welchem sich mehrere dünne Stangen von gelbem Phosphor befinden. Es bilden sich dann schon bei einem geringen Sauerstoffgehalt weiße Nebel. Diese Methode eignet sich gut zur Einstellung der Sekundärluft bei Generatoröfen oder anderen Feuerungsanlagen, indem man die Luftzufuhr erst klein stellt, und dann allmählich so lange vergrößert, bis eben die weißen Nebel im Probierrohre auftreten. Zur Aufbewahrung muß das Röhrchen mit Wasser gefüllt werden, damit der Phosphor vor Oxydation geschützt wird; vor Gebrauch entleert man das Wasser.

Über die Untersuchung der Luft sei noch folgendes bemerkt. Zur Bestimmung des Rußgehaltes der Luft saugt man eine mit einem Gasmesser

Fig. 144.



gemessene Luftmenge durch ein getrocknetes, gewogenes Filtrierpapier und trocknet und wägt dasselbe nachher wieder.

Geringe Mengen von schwefliger Säure in der Luft werden nach Ost und Wislicenus<sup>2)</sup> dadurch erkannt, daß man auf Holzrahmen aufgespannten Stoff mit Barythydratlösung befeuchtet und diese längere Zeit der zu untersuchenden Luft aussetzt. Es bildet sich kohlenaurer und schwefelsaurer Baryt und läßt der Gehalt an letzterem einen Schluß auf den Gehalt an schwefliger Säure in der Luft zu.

Die Bestimmung sehr geringer Mengen an Kohlenoxyd in der Luft erfolgt zweckmäßig nach Fischbach und Lecomte, indem man das Gas durch ein mit Jodpentoxyd gefülltes U-Rohr, bei einer zwischen 150 und 180° gelegenen Temperatur leitet<sup>3)</sup>. Dadurch wird Jod frei gemacht, das man in Natronlauge auffängt, aus welcher es durch Kaliumnitrit und Schwefelsäure wieder frei gemacht, in Schwefelkohlenstoff gelöst und kolorimetrisch bestimmt wird<sup>4)</sup>. Bei dieser Methode geben jedoch auch brenzliche Produkte, welche in der Luft enthalten sind, eine Jodabscheidung. Es ist daher ein blinder

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 912. — <sup>2)</sup> Chem.-Ztg. 1896, S. 170; Zeitschr. f. angew. Chem. 1901, S. 689; Winkler, Techn. Gasanal., 3. Aufl., S. 150. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 297: „Über Gasheizung“. — <sup>4)</sup> Vgl. auch Journ. f. Gasbel. 1909, S. 988.

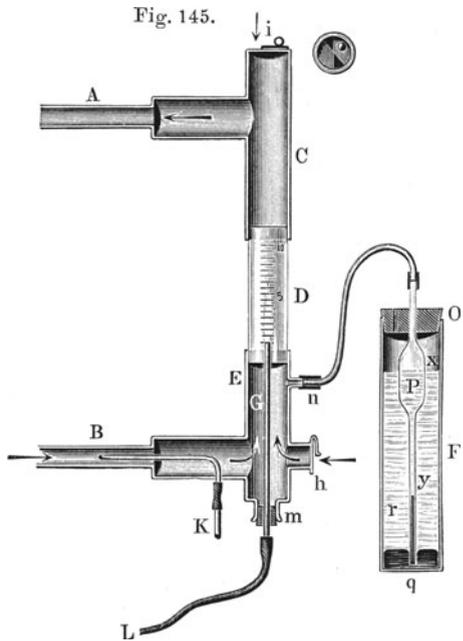
Versuch mit der gleichen Luft, ohne Kohlenoxydgehalt empfehlenswert. Den genannten Fehler besitzt eine von Winkler angegebene Methode nicht <sup>1)</sup>. Derselbe absorbiert das Kohlenoxyd in Kupferchlorürlösung, verdünnt dieselbe mit dem vier- bis fünffachen Volumen an Wasser, unbekümmert um die dadurch entstehende Ausscheidung von weißem Kupferchlorür, und versetzt einen Teil der Lösung mit einem Tropfen von Natrium-Palladiumchlorürlösung; bei Anwesenheit von Kohlenoxyd bildet sich sofort eine schwarze Wolke von Palladium und kann man kolorimetrisch auch quantitativ das Kohlenoxyd bestimmen. Mit dieser Methode ist noch  $\frac{1}{100\,000}$  Gramm Kohlenoxyd nachweisbar.

Auch die von Vogel <sup>2)</sup> ausgearbeitete Methode des spektroskopischen Nachweises von Kohlenoxyd im Blute kann zur Kohlenoxydbestimmung in der Luft verwendet werden. Es sind dabei noch 0,25 Proz. CO nachweisbar.

Zur Bestimmung des Wasserdampfgehaltes in der Luft geht man entweder gewichtsanalytisch vor, indem man eine bestimmte Luftmenge durch ein mit Chlorcalcium gefülltes U-Rohr saugt, oder man bestimmt den relativen Feuchtigkeitsgehalt der Luft mit einem Hygrometer. Zu Bestimmungen, die auf keine große Genauigkeit Anspruch machen, genügt die Anwendung der bekannten Haarhygrometer. Zu genauen Bestimmungen verwendet man das Assmannsche oder das Lambrechtsche Aspirationspsychrometer. Bei diesen wird ein lebhafter Luftstrom vermittelt eines rotierenden Ventilatorflügels an zwei Thermometern vorbeigeblasen. Die Kugel des einen derselben ist in eine dünne Stoffhülle eingewickelt. Die Stoffhülle ist befeuchtet und durch die Verdunstung des Wassers sinkt die Temperatur um so stärker, je geringer der Feuchtigkeitsgehalt der Luft ist. Aus der Temperaturdifferenz, welche als „psychrometrische Differenz“ bezeichnet wird, ergibt sich aus Tabellen der Wasserdampfgehalt der Luft.

Zur Bestimmung des Wasserdampfgehaltes von Gasen kann man gemäß eines Vorschlages des Verfassers das betreffende Gas über Calciumcarbid leiten und das entstandene Acetylgas mit Hilfe des Explosionskalorimeters (S. 122) bestimmen.

Um den Gehalt der Luft an brennbaren Gasen rasch erkennen zu können, kann man auch das Aussehen von Flammen benutzen, welche in dieser Luft brennen. So kann man z. B. mit einer Davyschen Sicherheitslampe an dem



<sup>1)</sup> Zeitschr. f. anal. Chem. 1889, S. 275; Winkler, Techn. Gasanal., 3. Aufl., S. 86. — <sup>2)</sup> Hempel, Gasanal. Methoden, 3. Aufl., S. 190; Ber. d. deutsch. chem. Ges. Nr. 10, S. 794, Nr. 11, S. 235.

Auftreten der sogenannten Aureole die Gegenwart von Grubengas erkennen. Mallard, Le Chatelier und Clowes<sup>1)</sup> haben durch Anwendung einer Wasserstoffflamme die Empfindlichkeit dieser Flammenprobe auf etwa 0,25 Proz. erhöht. Hempel hat auf diesem Prinzip beruhend eine eigene Lampe hierfür konstruiert.

Auch der Sauerstoffgehalt von Verbrennungsgasen läßt sich durch eine Flammenprobe ermitteln. Jede Flamme ändert ihre Form, wenn die sie umgebende Atmosphäre ihre Zusammensetzung wechselt. Sie erlischt, wenn der Sauerstoffgehalt unter 12<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Proz. sinkt, durch hohen Kohlensäuregasgehalt der Verbrennungsluft, so daß aus der Größe derselben auf den Kohlensäuregehalt geschlossen werden kann. Fig. 145 zeigt eine von Hempel angegebene diesbezügliche Vorrichtung. Bei *B* treten die Rauchgase ein. Am Ende des Rohres *G* brennt eine Gasflamme in einem mit Skala versehenen Glaszylinder *D*. *h* und *i* sind Rosettenschieber, welche die Regulierung der Verbrennungsluft gestatten. Bei *n* ist ein Zugmesser angeschlossen. Man stellt bei geöffneten Schiebern durch Regeln des Gashahns die Flamme auf eine bestimmte Höhe ein. Man regelt dann die Feuerung derart, daß ein Maximum der Kohlensäure entsteht, schließt die Rosette *i*, welche Luft zufolge des bei *A* angeschlossenen Schornsteines einsaugt und schließt die Rosette *h* so weit, bis die Flamme eben erlischt. Gleichzeitig bestimmt man den Kohlensäuregehalt der Rauchgase mit einem anderen Apparat. Nach Öffnen der Rosetten *i* und *h* und neuerlichem Entzünden der Flamme reguliert man durch teilweises Öffnen der Rosette *i* den Zug derart, daß er immer auf gleicher Höhe bleibt und stellt die Rosette *h* beinahe bis auf jene Marke, welche das Erlöschen der Flamme hervorrief. Man kann dann aus der Länge der Flamme stets auf den Kohlensäuregehalt der bei *B* angesogenen Rauchgase schließen.

## V. Die Kohlen als Rohmaterial der Gaserzeugung.

### 16. Vorkommen und Einteilung der Kohlsorten.

Die Kohle ist aus einer langsamen und ruhigen Ablagerung der Zersetzungsprodukte von Pflanzen entstanden, die riesige sumpfige Wälder bildeten. Je nachdem ob die Zersetzung der Pflanzenstoffe mehr oder weniger weit vorgeschritten ist, hat man es mit jüngeren oder älteren Kohlsorten zu tun. Man unterscheidet demgemäß Torf, Braunkohle, bituminöse Kohle, halb bituminöse Kohle, Anthrazit. Newberry<sup>2)</sup> fügt noch hinzu: Graphitischer Anthrazit und Graphit. Es ist unmöglich, diese einzelnen Produkte genau voneinander zu unterscheiden und zu definieren, weil diese Bezeichnungen konventioneller Natur sind und diese Gruppen nur Teile einer unbegrenzten Reihe ausmachen.

Für die Gaserzeugung spielen Torf und Braunkohle vorläufig noch eine untergeordnete Rolle, obwohl in neuerer Zeit Verfahren ausfindig gemacht wurden, nach welchen Torf mit Vorteil in Kraftgas und Braunkohle in Wassergas umgesetzt werden können. Ebenso ist der Anthrazit nur zur Wassergaserzeugung verwendbar, so daß wir es bei der eigentlichen Steinkohlengaserzeugung nur mit bituminöser Kohle zu tun haben. Früher konnte man aus der ganzen Gruppe der bituminösen Kohlen wieder nur einen kleinen Teil zur Erzeugung des Steinkohlengases verwenden, weil man beim Gase hohe An-

<sup>1)</sup> Hempel, Gasanal. Methoden, 3. Aufl., S. 403. — <sup>2)</sup> Annal. of the New York Acad. of Science 1882.

forderungen an seine Qualität stellen mußte und die Leuchtkraft der frei brennenden Flamme durch den Gehalt des Gases an schweren Kohlenwasserstoffen bedingt war. Außerdem war es stets erforderlich, daß der nach der Entgasung in der Retorte verbleibende Rückstand als Koks gut verkäuflich sein mußte, so daß man auch nur solche Kohlen als Gaskohlen brauchen konnte, welche einen guten, großstückigen Koks hinterließen. Letzteres muß man auch heute noch von einer Gaskohle verlangen, wenn auch bei Verwendung der Großraumöfen weniger gut backende Kohlen noch einen verhältnismäßig guten Koks geben. Die erstgenannte Anforderung aber, nämlich der Gehalt der Gase an schweren Kohlenwasserstoffen, ist heute nicht mehr maßgeblich, weil durch die allgemeine Einführung des Gasglühlichtes die Leuchtkraft der offenen Flamme bedeutungslos geworden ist. Es sind daher heute auch Kohlen verwendbar, die zwischen den gasarmen Kokskohlen und den schlecht backenden, aber gasreichen Flammkohlen stehen <sup>1)</sup>).

Da wir jedoch hier nicht nur die Steinkohlengaserzeugung, sondern auch die Erzeugung anderer Leucht- und Heizgase, welche sich aus Kohle gewinnen lassen, zu besprechen haben, so wollen wir hier nicht nur die Gaskohlen, sondern sämtliche Kohlen einer allgemeinen Besprechung unterziehen.

Kohlenlager sind über die ganze Erdoberfläche verbreitet; wir wollen jedoch zunächst hier nur jene Reviere kennen lernen, die von hervorragenderer Bedeutung sind.

Im Deutschen Reiche sind es hauptsächlich die Königreiche Preußen und Sachsen, welche Kohle in großen Quantitäten zutage fördern. Nach dem Umfange der Förderung geordnet kommen hauptsächlich die nachstehenden Reviere in Betracht:

A. Steinkohle:

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| 1. Das Ruhrgebiet.             | 5. Das niederschlesische Revier (Waldenburg). |
| 2. Das oberschlesische Revier. | 6. Das Aachener Revier.                       |
| 3. Das Saarbecken.             | 7. Hannover.                                  |
| 4. Sachsen.                    | 8. Ibbenbüren.                                |

B. Braunkohle:

- |                        |                   |
|------------------------|-------------------|
| 1. Sachsen-Altenburg.  | 5. Rheinprovinz.  |
| 2. Königreich Sachsen. | 6. Braunschweig.  |
| 3. Anhalt.             | 7. Schlesien.     |
| 4. Brandenburg.        | 8. Hessen-Nassau. |

In Österreich-Ungarn sind nachfolgende Reviere von Bedeutung:

A. Für Steinkohlen:

- |               |              |
|---------------|--------------|
| 1. Schlesien. | 3. Mähren.   |
| 2. Böhmen.    | 4. Galizien. |

B. Für Braunkohlen:

- |  |                    |
|--|--------------------|
| 1. Böhmen, welches in der gesamten Braunkohlenförderung die erste Stelle einnimmt. | 2. Steiermark.     |
|  | 3. Oberösterreich. |

In England sind die wichtigsten Reviere nach ihrer Kohlenförderung geordnet:

<sup>1)</sup> K. Bunte, Zur Kenntnis der Gaskohlen, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 777.  
Strache, Gasbeleuchtung.

- |                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| 1. Süd-Wales.     | 7. Durbyshire.     |
| 2. Schottland.    | 8. Nord-Durham.    |
| 3. Süd-Durham.    | 9. Northumberland. |
| 4. Lancashire.    | 10. Notts.         |
| 5. Yorkshire.     | 11. Nord-Wales.    |
| 6. Staffordshire. |                    |

Die großen Kohlenbecken Belgiens sind:

- |               |             |
|---------------|-------------|
| 1. Mons.      | 3. Lüttich. |
| 2. Charleroi. | 4. Namur.   |

In Frankreich sind von hervorragender Bedeutung die Steinkohlenbecken in:

- |  |  |
|--|--|
| 1. Valenciennes, Le Boulonnais.  | Decize, Epinac und Aubigny-la-Ronce, Bert, La Chapelle-sous-Dun, Sincey. |
| 2. Saint-Etienne und Rive-de-Gier, Sainte-foy, L'Argentière Communay, Le Roannais. | 5. Aubin, Carmaux, Rodez, Saint-Perdoux.                                 |
| 3. Alais, Aubenas, Le Vigan.   | 6. Commentry und Doyet, Saint-Eloy, L'Aumance.                           |
| 4. Le Creusot und Blanzy,  |  |

In Rußland sind die hauptsächlichlichen Kohlenfelder:

- |                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| 1. Königreich Polen. | 3. Das Moskauer Gebiet. |
| 2. Donezgebiet.      | 4. Im Ural.             |

Die großen Kohlenfelder der Vereinigten Staaten Nordamerikas sind:

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| 1. Pennsylvania. | 3. Ohio.         |
| 2. Illinois.     | 4. Westvirginia. |

Dem reihen sich noch die kleineren an in:

- |              |               |
|--------------|---------------|
| 5. Alabama.  | 8. Jova.      |
| 6. Colorado. | 9. Maryland.  |
| 7. Indiana.  | 10. Kentucky. |

Zufolge der riesigen Menge von Kohle, welche tagtäglich dem Erdinneren entnommen wird, ohne daß ein entsprechender Ersatz durch neugebildete Kohle stattfindet, ist die Frage naheliegend, wie lange die Kohlenvorräte der Erde den Verbrauch decken können. Es ist dabei zu berücksichtigen, daß die Kohlenförderung durchschnittlich jährlich um 3 bis 4 Proz. steigt, daß also eine stets wachsende Vermehrung des Verbrauches stattfindet. Allerdings muß man dann annehmen, daß, wenn einmal die Kohlenvorräte knapper geworden sind, zufolge der vermehrten Schwierigkeiten bei der Förderung die Kohlenpreise derart steigen werden, daß dann sparsamer als jetzt mit der Kohle umgegangen wird. Und wenn einmal die Kohlenvorräte der Neige zugehen, wird man genötigt sein, für jene Zwecke, wo dies möglich ist, einen Ersatz für die Kohle zu schaffen, dann wird also eine Verminderung in der Kohlenförderung eintreten. Alle Berechnungen über die Dauer der Kohlenvorräte können daher nur höchst oberflächliche Schätzungen darstellen.

Runge<sup>1)</sup> berechnete die Kohlenvorräte des Ruhrbeckens auf 33 Milliarden Tonnen. Nach Nasse<sup>2)</sup> betragen die Kohlenvorräte Deutschlands an Steinkohlen:

<sup>1)</sup> Fischer, Chem. Technologie der Brennstoffe, S. 495. — <sup>2)</sup> Die Kohlenvorräte, S. 35.

An der Ruhr . . . . .	50,0	Milliarden	Tonnen
An der Saar . . . . .	10,4	"	"
Bei Aachen . . . . .	1,8	"	"
In Oberschlesien . . . . .	45,0	"	"
Im Königreich Sachsen .	0,4	"	"
In Niederschlesien . . .	1,0	"	"
In kleineren Becken . .	0,4	"	"
Summa . . . . .	109,0	Milliarden	Tonnen

An Braunkohlen werden 5 Milliarden Tonnen Vorräte geschätzt.

Mit Rücksicht auf die gegenwärtige Förderung dürften diese Vorräte im Königreich Sachsen nur etwa 100 Jahre, im niederschlesischen Gebiete etwa 250 Jahre und in den übrigen Kohlengebieten Deutschlands nach Nasses Schätzung noch 700 bis 1000 Jahre reichen.

Die Vorräte Englands wurden von Armstrong auf 146 Milliarden Tonnen berechnet, und Williams meint, daß dieser Vorrat in 100 Jahren erschöpft sein würde<sup>1)</sup>.

Österreich-Ungarns gesamte Kohlenvorräte schätzt Nasse auf 17 Milliarden Tonnen, die für etwa 500 Jahre reichen. Davon enthält das Teplitz-Brix-Komotauer Braunkohlenrevier 3,5 Milliarden Tonnen abbauwürdiger Braunkohle, welche auf 350 Jahre reichen.

Frankreichs Kohlen betragen etwa 17 Milliarden Tonnen, die nach Lap-  
parent<sup>2)</sup> 700 bis 800 Jahre ausreichen sollen. Für die gleiche Dauer sollen Belgiens Kohlenvorräte nach Nasse 16 Milliarden Tonnen erreichen.

Die Kohlenvorräte Nordamerikas werden auf 684 Milliarden Tonnen geschätzt, welche in etwa 650 Jahren erschöpft sein werden.

Die Steinkohlen, welche aus den verschiedenen Revieren, Flözen und Schächten gefördert werden, besitzen durchaus nicht gleiche Qualität. Je nach den Pflanzenresten, aus welchen sie entstanden sind, je nach dem Alter der Kohle und je nach den Umständen, unter denen die Bildung der Kohle erfolgte, zeigen sie gänzlich verschiedenes Verhalten. Ihre Zusammensetzung nach den Elementen C, H, O und N gibt dabei nur sehr dürftige Aufschlüsse über deren Verwendbarkeit; nur der Sauerstoff der Kohle läßt einen beiläufigen Schluß auf das Alter zu. Die Verwendbarkeit der Kohle für bestimmte Zwecke hängt vornehmlich von dem Verhalten der Kohle in der Hitze ab. Die Kohle spaltet dabei, wie wir später ausführlich erörtern werden, Gase, Teer und Ammoniakwasser ab, welche man zusammen als flüchtige Substanzen bezeichnet. Die Menge der flüchtigen Substanzen ist nicht nur für die Gas-  
erzeugung von Wichtigkeit, sondern auch für die Verwendung in Feuerungen aller Art, da die Länge der Flamme, welche sich aus der Kohle entwickelt, von der Menge der flüchtigen Produkte mit Ausnahme des Wassers abhängt. Außerdem ist aber auch das Verhalten des Koksrückstandes für jede Verwendung der Kohle von großer Bedeutung. Bei manchen Kohlen bewirkt die Zersetzung des Bitumens in der Hitze ein Zusammenbacken der zurückbleibenden Koksstücke, wodurch große zusammenhängende Koksklumpen entstehen. Eine solche Kohle nennt man eine backende Kohle. Andere Kohlenarten dagegen zeigen keine Backfähigkeit. Solche sind für die Kokserzeugung unbrauchbar.

Nach der Menge der flüchtigen Produkte, dem Gasgehalt und der Qualität des Gases, sowie nach der Menge und Art des Koksrückstandes, welche Eigen-

<sup>1)</sup> Fischers Jahresber. 1889, S. 169. — <sup>2)</sup> Question du charbon de terre. Paris 1890.

schaften die Verwendungsmöglichkeit der Kohle charakterisieren, unterscheidet man:

Flammkohle, Gaskohle, Schmiedekohle,	Kokskohle, Anthrazit.
--	--------------------------

Die wichtigsten für die Steinkohlengaserzeugung in Betracht kommenden Steinkohlentypen und die wichtigsten, ihre Qualität charakterisierenden Zahlen sind in nachstehender Tabelle wiedergegeben <sup>1)</sup>.

	Magere Kokskohle	Fette Kokskohle	Gasflam- kohle	Gaskohle	Cannel- kohle
Koksausbeute . . .	82—86	77—82	74—81	74—76	75
Teer . . . . .	1,3—2,8	1,2—2,5	1,6—3,4	2,2—2,8	1,9
Ammoniumsulfat .	0,9—1,3	1,2—1,3	1,2—1,6	1,2—1,6	1,5
Gaswasser . . . .	3,0—3,5	3,6—6,2	4,0—6,6	5,3—5,5	4,3
Gas (0°) + H <sub>2</sub> S .	235—253	267—278	287—296	312—321	330
Heizwert des Gases Kal/m <sup>3</sup> . . . . .	4900—5200	5300—5700	5400—5700	5500—5900	6250

Die Zusammensetzung der wichtigsten Kohlsorten zeigt die nachstehende Tabelle <sup>2)</sup>.

	Zeit der Bildung	C			Flüchtige Stoffe			
		H	O	Koks	Wasser	Teer	Gas	
								Gew.-Proz.
Holz . . . . .	} jetzt	50	6	44	15	} 60	6	19
Torf . . . . .	}	60	6	34	20	}		
Braunkohle . . . . .	} tertiär	65	6	29	40	25	15	20
Wälderkohle . . . . .	} Kreide	70	6	24	45	—	—	—
Flammkohle . . . . .	}	75	6	19	50	—	—	—
Gaskohle . . . . .	}	80	6	14	60	}	8	5
Kokskohle . . . . .	} Karbon	85	5	10	70/80	}		17
Magerkohle . . . . .	}	90	4	6	90	—	—	—
Anthrazit . . . . .	}	95	2	3	95	—	—	—

In dem Maße wie die Kohle altert, nimmt der Sauerstoffgehalt ab, und in gleicher Weise steigt der Kohlenstoffgehalt. Auch der Wasserstoffgehalt der Kohle nimmt mit zunehmendem Alter ab, so daß im allgemeinen mit zunehmendem Alter auch die bei der Entgasung der Kohlen entstehenden Kohlenwasserstoffe geringer werden.

Einen Anhalt über das Verhalten der Kohle in der Hitze gibt nur die Verkokungsprobe. Wir werden später sehen, daß dabei nicht nur die Qualität des entstehenden Koks, sondern auch die Menge desselben und die Qualität und Menge der flüchtigen Bestandteile beurteilt werden und für die Beurteilung der Kohle von größter Wichtigkeit sind.

Jedoch schon das Aussehen des Koks gibt wertvolle Anhaltspunkte, und man unterscheidet nach Schondorff <sup>3)</sup> je nach Aussehen des Koksrückstandes folgende Kohlsorten:

<sup>1)</sup> Peters, Vorgänge bei Vergasung und Verkokung der Kohle, Zeitschr. d. Österr. Gasver. 1908, S. 493; ferner Bochumer Kammerofen, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 465. — <sup>2)</sup> Aus „Gaskurs“ S. 4. — <sup>3)</sup> Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen 1875, S. 149; Fischer, Chem. Technologie der Brennstoffe, S. 112.

1. Sandkohle: der Koks ist rau, feinsandig, schwarz, überall oder doch nahe bis zum Rande locker.

2. Sinternde Sandkohle: der Koks ist rau, feinsandig, schwarz, fest gesintert, nur in der Mitte locker.

3. Sinterkohle: der Koks ist rau, feinsandig, schwarz, überall fest gesintert.

4. Backende Sinterkohle: der Koks ist grau und fest, knospenartig aufbrechend.

5. Backkohle: der Koks-kuchen ist glatt, metallglänzend und fest; bei der Backkohle zeigt der Koks-kuchen auch eine beträchtliche Volumenzunahme.

Nach der Menge des verbleibenden Koks'es teilte Hilt die Kohlen in folgende Gruppen ein:

Gruppe	Koksausbeute Proz.	Gruppe	Koksausbeute Proz.
Gasreiche Sandkohlen . .	52,6—55,5	Backkohlen . . . . .	66,6—84,6
Gasreiche Sinterkohlen . .	55,5—60,0	Gasarme Sinterkohlen . .	84,6—90,0
Backende Gaskohlen . . .	60,0—66,6	Magere Anthrazitkohlen .	über 90

Gruner<sup>1)</sup> schlägt dagegen die folgenden konventionellen Gruppen vor:

Gruppe	Koksausbeute Proz.	Beschaffenheit des Koks'es
Trockene Kohle mit langer Flamme . . .	50—60	Pulverig oder gefrittet
Fette Kohle mit langer Flamme (Gaskohle) .	60—68	Geschmolzen, stark zerklüftet
Eigentliche fette Kohle (sog. Schmiedekohle)	68—74	Geschmolzen, mittel-mäßig kompakt
Fette Kohle mit kurzer Flamme (Kokskohle)	74—82	Geschmolzen, sehr kompakt, wenig zerklüftet
Magere Anthrazitkohlen . . . . .	82—90	Gefrittet oder Pulver

Wenn sich auch im großen ganzen die Kohlensorten in solche Gruppen einreihen lassen, so sind dieselben doch durchaus nicht auf alle Fälle anwendbar. So kann es z. B. Gaskohlen geben, welche einen geschmolzenen, stark zerklüfteten Koks zurücklassen und die dabei 70 Proz. Koks und mehr ergeben.

Bei den Braunkohlen unterscheidet man je nach Art der Entstehung bzw. der geologischen Lagerung folgende Typen<sup>2)</sup>:

1. Faserige Braunkohlen, bei denen die Holzstruktur oft vollständig erhalten ist.

2. Erdige Braunkohle, eine leicht zerreibliche Kohle, die oft noch Stücke fossilen Holzes einschließt.

3. Muschelige Braunkohle: dichte dunkelbraune oder schwarze Kohle mit muscheligem Bruch.

4. Fette Braunkohle mit starkem Fettglanz.

Die Braunkohlen besitzen einen Heizwert von 2000 bis 5000 Cal/kg schwankend und haben oft einen hohen Feuchtigkeitsgehalt bis zu 25 Proz. und einen hohen Aschengehalt bis zu 20 Proz. Beim Erhitzen zerfallen sie und geben daher keinen verkäuflichen Koks. Durch Brikkettieren kann ihre Festigkeit erhöht und ihr Wassergehalt vermindert werden.

<sup>1)</sup> Dingler 1874, S. 70; 1876, S. 178; Fischer, Chem. Technologie der Brennstoffe I, S. 113. — <sup>2)</sup> v. Ihering, Die Gasmaschinen I, S. 57.

### 17. Untersuchung der Kohlen.

Die Untersuchung der Kohlen gewinnt immer mehr und mehr an Bedeutung. Zwar ist der Einkauf der Kohle nach dem Heizwert oder nach anderen Resultaten einer Untersuchung im Laboratorium noch lange nicht allgemein durchgeführt, aber es kann wohl keinem Zweifel unterliegen, daß der Widerstand der Kohlenhändler, die natürlich eine solche Kontrolle nicht gerne sehen, in absehbarer Zeit gebrochen werden wird. Die Kohleninteressenten wenden dagegen ein, daß die Probenahme und die Untersuchung der Kohle zu teuer sei und daß es unmöglich sei, zahlenmäßige Garantien zu bieten. Dem entgegen kann eingewendet werden<sup>1)</sup>, daß auch Erze, Koks und ähnliche Rohstoffe nach Probe gehandelt werden, obwohl dort die Kosten der Untersuchung höhere sind und auch dort mit einer mindestens ebenso großen Unregelmäßigkeit des Materials gerechnet werden muß. Es handelt sich eben nicht um Garantien, sondern darum, daß der Preis nach der Qualität bestimmt wird. Tatsächlich sind auch in letzter Zeit viele Abschlüsse auf Grund der Qualitätsbestimmung zustande gekommen, so z. B. in Baden<sup>2)</sup>. Ebenso ist die New York-Interborough-Rapid-Transit-Comp. dazu übergegangen, ihre Brennstoffe nach dem Heizwert einzukaufen<sup>3)</sup>. In Chicago sorgt eine Gesellschaft für eine große Anzahl von Kunden, unter denen sich Fabriken, Geschäftshäuser und öffentliche Institute befinden, für ständige Überwachung der Brennstofflieferung. Einmal wöchentlich läßt sie bei jedem Kunden Proben entnehmen. Die Ergebnisse werden den Verbrauchern sowohl wie den Lieferanten zugestellt. Man hat sich dort auch neuerdings entschlossen, die sämtlichen von der Regierung benötigten Kohlen nach dem Heizwert einzuzukaufen<sup>4)</sup>. Auch der französische Gasfachmännerverein beschloß die Errichtung einer eigenen Kommission für Kohlenanalyse<sup>5)</sup>.

Mit Rücksicht darauf, daß eine Kohlenlieferung aus Stücken von sehr verschiedener Qualität bestehen kann, ja daß sogar ein und dasselbe Stück an verschiedenen Stellen eine ganz verschiedene Zusammensetzung aufweisen kann, ist es natürlich außerordentlich wichtig, eine richtige Durchschnittsprobe aus einer Lieferung zu entnehmen. Man geht dabei in folgender Weise vor<sup>6)</sup>. Zunächst werden beim Abladen der Kohle oder beim Laden eines Waggons von jeder Partie einige Kilogramm mittels der Schaufel entnommen und in ein großes Vorratsgefäß gebracht. Es soll dabei mindestens 1 Proz. der gesamten Kohle als Probe entnommen werden, bei einem Doppelwaggon also mindestens 100 kg. Diese Probe breitet man auf eine mit Brettern belegte Stelle aus und zerschlägt die Kohle bis zu Walnußgröße. Dann wird der ganze Haufen ordentlich durchgeschaufelt, um ein richtiges Gemisch zu

---

<sup>1)</sup> Lürmann, Stahl u. Eisen 1909, S. 1070; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1055. — <sup>2)</sup> Bund österr. Industrieller **II**, Nr. 14; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 583. — <sup>3)</sup> Österr.-ungarisches Eisenbahnblatt **15**, Nr. 14; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 207. — <sup>4)</sup> Weiteres über den Einkauf der Kohle nach der Analyse s. Kershaw, Stahl u. Eisen 1909, S. 9111; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1055; Aufhäuser, Zeitschr. f. Dampfkesselbetrieb **31**, 293; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 584; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 926; Hinrichsen, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 294; Mitteil. des Materialprüfungsamtes in Groß-Lichterfelde; Mohr, Chem.-Ztg. 1910, S. 1143; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 186; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 558; Möllers, Das Wirtschaftsjahr 1909, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 287. — <sup>5)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 287. — <sup>6)</sup> Vgl. auch Vorschrift der Lehr- und Versuchsanstalt in Karlsruhe, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 696.

erhalten. Man breitet dann die zerkleinerte Probe auf einer quadratischen oder rechteckigen Fläche aus und zieht die beiden Diagonalen durch die ganze Fläche. Dadurch entstehen vier dreieckige Flächenteile, von denen man zwei einander gegenüberliegende mit der Schaufel entfernt. Die beiden anderen werden weiter zerkleinert bis auf Haselnußgröße, wieder gemengt und wieder in gleicher Weise ausgebreitet. Nach der neuerlichen Teilung durch zwei Diagonalen zerkleinert man weiter bis auf Erbsengröße und geht nach dem Durchmischen wieder in gleicher Weise vor und setzt dies so lange fort, bis man auf eine feinkörnige Probe im Gesamtgewicht von etwa 2 kg gelangt. Davon werden dann etwa 0,5 kg am besten in einer Kugelmühle feingemahlen, wieder gründlich durchgemischt und eine Probe von etwa 200 g in einem dicht verschlossenen Gefäß aufbewahrt. Bei dieser ganzen Manipulation ist es von Wichtigkeit, auch stets den beim Zerkleinern entstehenden Kohlenstaub mit zur Probe zu nehmen, ebenso etwa in der Probe vorkommende mineralische oder erdige Stücke der Zerkleinerung zuzuführen. Ebenso muß berücksichtigt werden, daß die Kohle besonders in zerkleinertem Zustande sich in ihrer Zusammensetzung ändert, namentlich an Gasgehalt und Backfähigkeit abnimmt, selbst dann, wenn sie unter luftdichtem Verschuß längere Zeit aufbewahrt wird. Die Proben müssen daher bei genauen Untersuchungen längstens 24 Stunden nach der Probenahme der Untersuchung zugeführt werden.

Eine besondere Vorrichtung zur bequemeren Teilung der Proben bei der Probenahme hat Fr. Mayer<sup>1)</sup> beschrieben.

Wie schon erwähnt, ist die wichtigste Probe bei der Kohleinuntersuchung die Verkokungsprobe. Es ist jedoch dabei die Art, wie die Kohle erhitzt wird, die Dauer und die Geschwindigkeit des Erhitzens von großem Einfluß, derart, daß die zurückbleibende Koks menge um mehrere Prozente wechseln kann, wenn man verschiedene Methoden der Verkokung anwendet. Nach den Untersuchungen von Constam<sup>2)</sup> gibt die sogenannte amerikanische Verkokungsprobe die dem Großbetriebe ähnlichsten Resultate. Sie besteht darin, daß 1 g Kohlenpulver in einem etwa 20 g wiegenden, 30 mm hohen Platintiegel gleichmäßig ausgebreitet, mit einer großen Bunsenflamme von etwa 200 mm Flammenhöhe und scharfem Innenkegel rasch erhitzt wird. Der Tiegel ist dabei auf ein dünnes Platindrahtdreieck zu setzen und mit dem Deckel zu bedecken. Das Erhitzen erfolgt so lange, bis die zuerst herausbrennende Flamme erloschen ist und der sich an der äußeren Oberfläche des Platintiegels und des Deckels ansetzende schwarze Beschlag verflüchtigt hat. Der schwarze Beschlag an der Innenseite des Deckels braucht dagegen nicht abzubrennen. Man läßt erkalten ohne den Deckel zu öffnen.

Außer der amerikanischen Verkokungsprobe ist auch noch die Mucksche, sowie die Bochumer Methode vielfach in Anwendung. Letztere erfolgt im Porzellantiegel. Nach Beck<sup>3)</sup> geben diese Methoden um 2 bis 4 Proz. mehr Koks als in Platintiegeln, weil die Geschwindigkeit der Entgasung geringer ist. Aus dem gleichen Grunde gibt das Verfahren von Hinrichsen und Taczak der Verkokung im Wasserstoffstrom<sup>4)</sup> zuviel Koks. Der Wasserstoff ist dabei ohne Einfluß, wenn es sich nicht um Braunkohle handelt, weil bei weniger porösen Kohlen im bedeckten Tiegel ohnedies kein Kohlenstoff ver-

<sup>1)</sup> Chem.-Ztg. 1909, S. 1303; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 686. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 669 und 1909, S. 926. — <sup>3)</sup> Ebend. 1909, S. 960. — <sup>4)</sup> Stahl. u. Eisen 28, 1277.

brennt. Beck schlägt eine neue Methode vor, nach welcher 1 bis 5 g der Kohle im Platin- oder Porzellantiegel mit gelochtem Deckel verkocht wird und die Flamme sofort kleingestellt wird, wenn die Gasentwicklung beginnt. Diese wird nach dem Flämmchen, welches an der Öffnung des Deckels erscheint, derart reguliert, daß die Entgasung mit stets gleichbleibender Geschwindigkeit erfolgt. Der an der Oberseite auftretende Beschlag soll dabei abbrennen, im Inneren jedoch nicht. Die nach dieser Methode erhaltenen Zahlen sollen nach Becks Angaben nur 0,1 bis 0,2 Proz. voneinander abweichen und um 2 bis 4 Proz. mehr Koks geben als nach Muck. Ein besonderer Vorzug soll darin bestehen, daß das Tiegelmateriale und die Kohlenmenge ebenso wie die Dimensionen des Tiegels ohne Einfluß sind. Sollte sich dies bestätigen, so wäre die neue Methode allerdings allen anderen vorzuziehen, trotzdem die Dauer der Verkokung dreimal so lange ist, als nach der Muckschen oder Bochumer Methode. Allerdings gibt auch diese Methode nicht die gleichen Resultate wie die Praxis, doch wird dies eine Laboratoriumsprobe niemals geben können, weil ja die praktischen Ausbeuten in den verschiedenen Werken sehr stark schwanken. Die vorgeschlagene Methode soll auch nur zur Feststellung des Flüchtigkeitsgrades einer Kohle — genannt „Tiegelflüchtigkeit“ — dienen. Als Tiegelflüchtigkeit wird die Menge der flüchtigen Bestandteile bezeichnet, die von 100 Tln. Reinkohlen bei langsamer Vergasung geliefert werden.

Nach den Angaben von Hinrichsen und Taczak werden hingegen bei der Muckschen Probe zu geringe Koksausbeuten erhalten. Dies bestätigen auch die Untersuchungen von Dr. C. Otto in Dahlhausen<sup>1)</sup>. Nach Fielner und Davis geben polierte Platintiegel etwa 1 Proz. mehr flüchtige Substanz als blind gewordene. Es sind daher stets polierte zu verwenden.

Während des Erhitzens beobachtet man die aus dem Tiegel austretende Flamme, um danach beurteilen zu können, ob die Kohle gasreich-langflammig oder gasarm-kurzflammig ist. Ersteres ist bei mehr als 25 Proz. flüchtigen Substanzen der Fall, letzteres bei geringerem Gehalt<sup>2)</sup>. Aus dem zurückbleibenden Koksgewicht zieht man den Schluß auf das Alter der Kohle gemäß der Tabelle auf S. 277. Die Koksausbeute ist gewöhnlich etwa 1 bis 2 Proz. höher als in der Praxis. Ferner schließt man gemäß der gleichen Tabelle aus der Beschaffenheit des Koksrückstandes auf die Backfähigkeit der Kohle.

Zur genaueren Beurteilung der Kohle ist außer der Verkokungsprobe auch der Gehalt an Feuchtigkeit und der Aschengehalt zu bestimmen. Diese drei Bestimmungen zusammengenommen nennt man die „Immediatanalyse“ (Rohanalyse). Die Bestimmung der Feuchtigkeit und der Asche werden wir weiter unten besprechen.

Zieht man von der Koksausbeute den Aschengehalt in Prozenten ab, so erhält man den Prozentsatz an reiner Kokssubstanz, den man als Reinkoks bezeichnet. Zieht man von dem Gewichtsverlust, welchen die rohe Kohle bei

---

<sup>1)</sup> Einen ausführlichen Vergleich der Verkokungsproben nach Hinrichsen, Muck, Mahler, Goutal, Finkener, sowie über die belgische, amerikanische und Bochumer Methode führte Constam (Österr. Chem.-Ztg. 1909, S. 169; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 889 u. 926; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 412) durch. Siehe ferner: Fielner und Davis, Journ. of ind. eng. chem. 2, 304; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, 583. — <sup>2)</sup> Constam und Schläpfer, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1044, haben gezeigt, daß die Menge der flüchtigen Substanzen einen großen Einfluß auf die Ausnutzung des Brennmaterials für den Kesselbetrieb besitzt.

der Entgasung erfährt, den Gehalt an Feuchtigkeit ab, so erhält man die Menge der flüchtigen Bestandteile. Die Summe von Reinkoks und flüchtigen Bestandteilen bildet die reine Kohlensubstanz, d. h. die asche- und wasserfreie Kohle. Ein Beispiel möge dies erläutern.

Gefunden wurden:

Koksausbeute . . . . .	70,94	Proz.
Asche . . . . .	5,53	"
Wasser . . . . .	1,37	"

Es beträgt somit

Der Reinkoks . . . . .	70,94	—	5,83	=	65,41	Proz.
Flüchtige Bestandteile . . . . .	(100 — 70,94)	—	1,37	=	27,69	"
Asche . . . . .					5,53	"
Wasser . . . . .					1,37	"
					Summe . . 100,00 Proz.	

Die Menge der Reinkohle beträgt danach 65,41 + 27,69, d. i. 93,10 Proz. 100 Tle. Reinkohle liefern daher:

$$65,41 \cdot \frac{100}{93,10} \text{ d. i. } 70,26 \text{ Proz. Reinkoks}$$

$$27,69 \cdot \frac{100}{93,10} \text{ d. i. } 29,74 \text{ „ flüchtige Bestandteile.}$$


---

Summe 100,00 Proz.

Um nicht nur die Menge der flüchtigen Bestandteile, sondern auch die Gasmenge und die Teermenge, die bei einer bestimmten Art des Erhitzens entsteht, sowie namentlich den Heizwert des aus der Kohle entstehenden Gases bestimmen zu können, hat der Verfasser das bereits unter dem Kapitel 9 „Kalorimetrie“ auf S. 122 beschriebene Explosionskalorimeter in Anwendung gebracht<sup>1)</sup>.

Die Kohle wird hierbei in einem kleinen Röhrchen aus schwer schmelzbarem Glase von etwa 3 mm innerem und 5 bis 6 mm äußerem Durchmesser und von der Form, wie dies Fig. 146 a. f. S. zeigt, entgast. Es kommen dabei je nach dem Gasgehalt der Kohle 0,1 bis 0,2 g in Anwendung. Natürlich muß man dafür sorgen, eine richtige Durchschnittsprobe der Kohle zu verwenden. Nach dem Einwägen der Kohle setzt man das Röhrchen mit einem dickwandigen Gummischlauch auf das Rohr 9 des auf S. 122 in Fig. 39 abgebildeten Kalorimeters und erhitzt die Kohle mit Hilfe einer scharfen Bunsenflamme zuerst sehr vorsichtig, um das Röhrchen mit Gas zu füllen, noch bevor der Entzündungspunkt des Gases erreicht ist, weil sonst ein Teil des Gases mit der in dem Röhrchen enthaltenen Luft verbrennen würde. Ferner Sorge man dafür, daß das Röhrchen auch in seinem vorderen Teile so weit erwärmt wird, daß sich dort kein Teer kondensiert. Die Kondensation des Teeres findet vielmehr in dem Asbestpfropfen statt, welcher aus dünnem Asbestpapier zusammengerollt und vor dem Einbringen in das Röhrchen ausgeglüht wurde. Das Erhitzen der Kohle wird so lange fortgesetzt, bis dieselbe an allen Stellen zu heller Rotglut gebracht ist, wobei das Glasröhrchen erweicht. Selbstverständlich ist während dieser Operation der Hahn 21 und der Hahn 7 des Kalorimeters so gestellt, daß das Gas in die Explosionspipette eintreten und

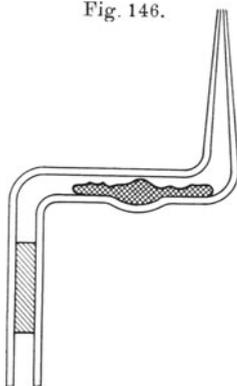
<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Ingen.- u. Architektenver. 1911, S. 369; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 994.

das Wasser aus derselben in die Niveauflasche 8 entweichen kann. Die saugende Wirkung des Wassers ist dabei imstande, das erweichte Glasröhrchen zusammenzusaugen. Es ist daher zweckmäßig, die Niveauflasche 8 in eine mittlere Höhenstellung zu bringen, so daß nur eine geringe Saugwirkung ausgeübt wird. Druck soll jedoch in der Pipette nicht herrschen, weil sonst durch die Undichtheiten der Schlauchverbindung etwas Gas entweichen könnte.

Sobald kein Gas mehr entwickelt wird, was sicher der Fall ist, wenn man die Kohle durch etwa 5 Minuten auf heller Rotglut erhalten hat, läßt man das Röhrchen erkalten, setzt die Niveauflasche herab und bricht das spitze Ende des Röhrchens mit Hilfe eines Feilstriches vorsichtig ab. Das abgebrochene Ende bewahrt man sorgfältig auf, da es zum Zwecke der Bestimmung der Koksausbeute mit gewogen werden muß.

Sobald das Röhrchen abgebrochen ist, wird das im Röhrchen enthaltene Gas durch die eintretende Luft verdrängt und die zur Entzündung des Gases nötige Luft eingesogen. Man verfährt dann genau so, wie dies auf S. 123 bei der Bestimmung des Heizwertes eines Gases beschrieben ist, und beobachtet den den Heizwert anzeigenden Ausschlag des

Fig. 146.



Manometers 14 an jener Skala, welche nicht Kalorien pro Kubikmeter, sondern effektive Kalorien, die im Kalorimeter entwickelt wurden, anzeigt. Ist eine solche Skala nicht vorhanden, so muß die Angabe in Kalorien pro Kubikmeter auf absolute Kalorien umgerechnet werden. Zu diesem Zwecke ermittelt man die Größe des in der Pipette 1 abgeschlossenen Normalluftvolumens, indem man den Hahn 4 so stellt, daß die Pipette 2 mit der Außenluft kommuniziert und das Quecksilberniveaugefäß so weit senkt, daß beide Quecksilberkuppen in den Pipetten 1 und 2 gleich hoch stehen. Man schließt jetzt den Hahn 24, um bequem an der Skala der Pipette 1 die Größe des Normalluft-

volumens ablesen zu können. Dieses steht jetzt unter dem Drucke der äußeren Atmosphäre, man hat also nur Temperatur und Barometerstand abzulesen, um das Volumen auf 0° und 760 mm umrechnen zu können. Dieses Volumen mit dem Heizwert des Wasserstoffs (3090 kleine Kalorien pro 1 Liter, also 3,09 Kal. pro 1 cm<sup>3</sup>) multipliziert, gibt den Heizwert, der an die Stelle des Teilstriches 3090 der Skala zu stehen kommt. Die übrigen Skalenteilstriche ändern sich proportional.

Nachdem die Verkokung und die Heizwertbestimmung des Gases beendet ist, wiegt man das Röhrchen einschließlich des Asbestpfropfens wieder und erfährt aus der Gewichtsabnahme bei der Entgasung die Gasmenge in Gewichtsprozenten. Dann nimmt man mit einer Pinzette den Asbestpfropfen vorsichtig aus dem Röhrchen und legt denselben auf ein Uhrglas in einen Exsikkator. Durch abermaliges Wägen des Röhrchens ohne den Pfropfen erfährt man aus der Gewichts-differenz das Gewicht des Asbestpfropfens, welcher Teer und Ammoniakwasser aufgesogen enthält. Andererseits gibt dieses Gewicht abzüglich des Gewichtes des leeren Röhrchens die Koksausbeute. Den Asbestpfropfen läßt man 2 bis 3 Stunden im Exsikkator über Schwefelsäure liegen und bestimmt dann neuerdings sein Gewicht. Er enthält jetzt nur mehr den Teer und man kann also nach Abzug des zuerst ermittelten

Gewichtes des Asbestpfropfens die erhaltene Teermenge in Gewichtsprozenten der verwendeten Kohle ermitteln.

Den im Röhrchen zurückbleibenden Koks kann man im Sauerstoffstrom verbrennen, um die Menge der Asche zu erhalten. Die Verbrennung erfolgt dabei sehr rasch und glatt und erfordert nur einige Minuten Zeit. Will man auch den Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt des Koks wissen, so verwendet man zur Verbrennung kohlenstofffreien, trockenen Sauerstoff, indem man denselben vorher durch Natronkalk und konzentrierte Schwefelsäure leitet. Man verbindet dann das vordere Ende des Röhrchens mit zwei gewogenen U-Röhren, wovon eine zur Aufnahme des gebildeten Wassers mit Chlorcalcium und die andere zur Aufnahme der gebildeten Kohlensäure mit Natronkalk und zum Schluß mit etwas Chlorcalcium gefüllt ist. Dabei wird allerdings auf den Schwefelgehalt des Koksrückstandes keine Rücksicht genommen, denn dieser verbrennt zu Schwefelsäure und schwefliger Säure, welche teilweise im Chlorcalcium, teilweise im Natronkalk verbleiben.

Das nach der Verpuffung im Kalorimeter verbleibende Verbrennungsgas kann auf seinen Gehalt an Kohlensäure geprüft werden. Kennt man den Inhalt der Explosionspipette, der durch Wägen des daraus abgelassenen Wassers bestimmt wird, so kann man daraus den Gesamtkohlenstoffgehalt des aus der Kohle entstandenen Gases ermitteln. Den Rest der Verbrennungsgase kann man nach Durchschütteln mit Wasser, dem man etwas Brom hinzugefügt hat, von dem Gehalt an schwefliger Säure befreien und die hierbei entstandene Schwefelsäure gewichtsanalytisch oder auch maßanalytisch bestimmen. Man erfährt auf diese Weise den Gesamtschwefelgehalt des Gases.

Um zu ermitteln, welchen Schwefelwasserstoffgehalt das Gas hatte, kann man dasselbe vor der Verpuffung im Kalorimeter mit Jodlösung behandeln, wie dies im Kapitel Gasanalyse S. 266 erörtert ist. Will man dann noch den verbrennlichen Schwefel im Koksrückstande z. B. nach Fischer bestimmen, wie dies auf S. 287 beschrieben wird, so kann man aus der Summe des vergasbaren Schwefels und des im Koks bleibenden Schwefels den Gesamtschwefelgehalt der Kohle erfahren, wobei allerdings der Schwefelgehalt des Teeres vernachlässigt wird.

Durch diese Methode der Kohlenuntersuchung werden also nachstehende Zahlen erhalten:

1. Koksausbeute in Gewichtsprozenten.
2. Gasausbeute in Gewichtsprozenten.
3. Teerausbeute in Gewichtsprozenten.
4. Asche in Gewichtsprozenten.
5. Heizwertzahl des Gases in Kalorien pro 1 kg Kohle.
6. Kohlenstoffgehalt des Gases in Gewichtsprozenten der Kohle.

Diese Untersuchung nimmt im ganzen etwa  $\frac{3}{4}$  Stunden Zeit in Anspruch, außerdem kann aber noch ermittelt werden:

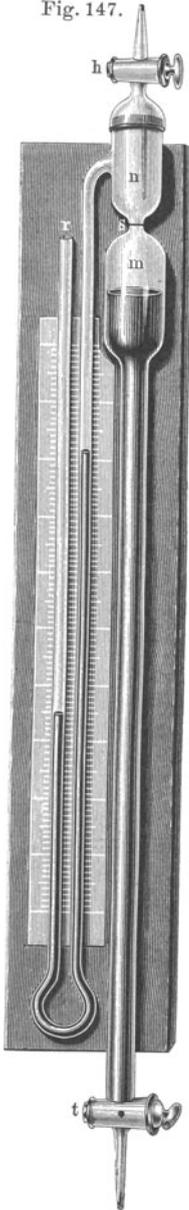
7. Der Kohlenstoffgehalt des Koks.
8. Der Wasserstoffgehalt des Koks.
9. Der vergasbare Gesamtschwefel.
10. Der als Schwefelwasserstoff auftretende Schwefel.

Constam und Kolbe<sup>1)</sup> haben gezeigt, daß der Heizwert des nach der Entgasung zurückbleibenden Koks nur vom Aschengehalt desselben abhängig

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 669.

ist, d. h. daß der Reinkoks stets den gleichen Heizwert besitzt, nämlich im Mittel 8035 Kal. Wenn man also nach obiger Methode die Koksausbeute und den Aschengehalt bestimmt hat, womit man die Menge des Reinkokses kennt,

Fig. 147.



so erfährt man durch Multiplikation dieses Gewichtes mit 8035 den Heizwert des Koksrückstandes. Addiert man dazu den erhaltenen Heizwert des Gases, so fehlt nur noch der Heizwert des Teeres, um den Gesamtheizwert der Kohle kennen zu lernen; der Heizwert des Teeres kann aber ebenfalls, ohne einen großen Fehler zu machen, als konstant angenommen werden, und zwar zu 8500 Kal. pro 1 g. Man kann also mit Hilfe der oben beschriebenen Methode auch den Heizwert der Kohle mit für die meisten Zwecke genügender Genauigkeit ermitteln, ohne eine Heizwertbestimmung in der Bombe ausführen zu müssen.

Die genannte Methode der probeweisen Entgasung der Kohle im kleinsten Maßstabe bei vorsichtiger Austreibung des Teeres ohne Überhitzung desselben gibt Resultate, welche für jede Kohle charakteristisch sind, jedoch mit den Resultaten der Praxis keineswegs übereinstimmen, weil im Großbetriebe stets eine Zersetzung und teilweise Vergasung der Teerdämpfe stattfindet. Man kann jedoch auf die in der Praxis erzielbaren Resultate schließen, wenn man den bei der Probe in Form von Teer erhaltenen Heizwert (durch Multiplikation der Teermenge mit 8500) dem ermittelten Gasheizwert hinzuzählt. Da jedoch in der Praxis nicht aller Teer vergast wird, so rechnet man etwa 5 Proz. des Teerheizwertes ab und bekommt dann Resultate, welche denen der Praxis nahekommen.

Das spezifische Gewicht der Kohle wird nur selten bestimmt, weil es ohne große Bedeutung für die Beurteilung der Kohle ist. Will man das Gewicht der Kohlen substanz kennen lernen, so verwendet man dazu am besten den von Rüdorff<sup>1)</sup> angegebenen Apparat Fig. 147. Man füllt das Glasgefäß *m* bis zur Marke *s* mit Quecksilber, nachdem man die mit dem Glashahn *h* versehene Kappe entfernt hat. Ebenso wird das Manometerrohr *r* mit Quecksilber gefüllt. Dann setzt man bei geöffnetem Hahn *h* die Kappe wieder auf den Oberteil *n* des Apparates dicht auf und schließt den Hahn *h*. Man läßt nun durch den unteren Hahn *t* so viel Quecksilber ausfließen, bis das Manometer genau auf die Hälfte des Atmosphärendruckes gestiegen ist. Das Volumen des ausgeflossenen Quecksilbers, welches durch Wägung bestimmt

wird, gibt dann genau das leere Volumen des Apparates oberhalb der Marke *s* an. Wiederholt man dann dieselbe Operation, nachdem man das Glasgefäß *n*

<sup>1)</sup> Dingler 1879, S. 417.

mit mehreren Kohlenstücken, deren Gewicht bestimmt wurde, gefüllt hat, so ist nun das leere Volumen oberhalb der Marke  $s$  durch das Volumen der Kohlensubstanz verkleinert und es fließt dementsprechend weniger Quecksilber aus, bis das Manometer wieder genau die Hälfte des äußeren Atmosphärendruckes anzeigt. Bezeichnet  $q'$  diese Quecksilbermenge, während  $q$  die beim blinden Versuch ausgeflossene Quecksilbermenge bedeutet, so ist das Kohlenvolumen  $\frac{q - q'}{13,6}$ .

Das Gewicht der angewendeten Kohle, gebrochen durch dieses Volumen, ergibt das spezifische Gewicht. Wegen der Volumveränderung durch das im Manometer aufsteigende Quecksilber braucht keine Korrektur angebracht zu werden, weil dasselbe in beiden Fällen gleich hoch steigt.

Bei dieser Probe wird das spezifische Gewicht der Kohlensubstanz selbst ohne Rücksicht auf die in derselben eingeschlossenen Poren bestimmt, weil die Luft beim Verdünnen aus den Poren austritt. Will man das spezifische Gewicht der Kohle mitsamt ihren Poren bestimmen, so überzieht man die Kohlenstücke vorher mit einem dünnen Paraffinüberzug. Der Unterschied zwischen beiden Bestimmungen ergibt die Porosität der Kohle.

Will man nur das Raumgewicht der Kohle kennen lernen, einschließlich der Hohlräume, welche zwischen den einzelnen Kohlenstücken verbleiben, so füllt man ein großes Gefäß, bei feinkörniger Kohle mindestens 100 Liter, bei großstückiger Kohle mindestens  $1\text{ m}^3$  fassend, mit der Kohle an, bestimmt das Gewicht derselben mit der Dezimalwaage und den eingenommenen Raum durch Anfüllen des Gefäßes mit Wasser und neuerlichem Abwägen desselben. Das Gewicht der Kohle, gebrochen durch den eingenommenen Raum in Kubikmetern, ergibt das Raumgewicht pro Kubikmeter.

Die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Kohle kann entweder im großen vorgenommen werden, indem man eine größere Menge der feuchten Kohle (etwa 50 bis 100 kg) abwägt, dieselbe dann in einem warmen Raume auf Brettern ausbreitet und mehrere Stunden trocknen läßt. Nach neuerlichem Wiegen ergibt die Gewichts-differenz den Feuchtigkeitsgehalt. Diese grobe Feuchtigkeit läßt sich im kleinen gar nicht bestimmen, weil bei der Entnahme einer Durchschnittsprobe gemäß S. 278 der Feuchtigkeitsgehalt sich wesentlich verändern würde. Wohl aber kann die sogenannte hygroskopische Feuchtigkeit, welche in den Poren der Kohle haftet, besser im kleinen als im großen ermittelt werden. Man zerkleinert zu diesem Zwecke die Kohle in etwa erbsengroße Stücke und läßt dieselben in einem  $40$  bis  $50^\circ$  warmen Raume auf einem Uhrglase oder einem Filtrierpapier ausgebreitet einige Stunden liegen. Vielfach wird die Feuchtigkeitsbestimmung derart ausgeführt, daß die Kohle auf einem Uhrglase oder im Tiegel gelegentlich der Immediatanalyse bei  $100$  bis  $110^\circ$  im Trockenschranke getrocknet wird. Für diesen Zweck nimmt man etwa  $1\text{ g}$  der fein gepulverten Kohle und läßt dieselbe bedeckt 2 Stunden lang im Trockenschrank. Bis zur Gewichtskonstanz kann man dabei das Trocknen nicht vornehmen, weil die Kohle bei  $100$  bis  $110^\circ$  bereits beträchtliche Mengen von Kohlensäure und Kohlenwasserstoffen abgibt. Aus diesem Grunde ist auch dieses Verfahren recht ungenau und es wird nur mangels eines besseren technischen Verfahrens angewendet.

Wo es sich um einigermaßen genauere Bestimmungen handelt, muß das von Rochleder<sup>1)</sup> angegebene Verfahren angewendet werden. Bei diesem

<sup>1)</sup> Journ. f. prakt. Chem. **66**, 208.

wird die Kohle in einem Reagierzylinder im Luftbad oder besser im Paraffinbad auf etwas über 100° erwärmt; der Reagierzylinder ist mit einem dicht schließenden Gummipfropfen und einem Glasrohr versehen, an welches ein gewogenes Chlorcalciumrohr angeschlossen ist. Die andere Seite desselben steht mit einer Wasserstrahlpumpe in Verbindung, mit welcher man die Luft vollständig evakuiert. Dann läßt man durch ein vor der Pumpe eingeschaltetes T-Rohr ein getrocknetes, sauerstofffreies Gas, am besten mit Schwefelsäure getrockneten Wasserstoff, eintreten, um den noch im Apparat befindlichen Wasserdampf aufzunehmen, evakuiert wieder und wiederholt dies einigemal, wonach man aus der Gewichtszunahme des Chlorcalciumrohres den Wassergehalt der Kohle erfährt. Anstatt den Raum zu evakuieren, kann man auch einen gleichmäßigen Strom trockenen Wasserstoffgases während der ganzen Dauer des Versuches durch den Apparat leiten. Die Versuchsdauer von 2 Stunden ist für das Trocknen sicher ausreichend.

Die Bestimmung des Aschengehaltes der Kohle erfolgt durch Verbrennen derselben. Die Erhitzung soll jedoch anfänglich nicht zu plötzlich erfolgen, da die plötzlich entweichenden Gase leicht Ascheteilchen mitreißen können. Das Verbrennen erfolgt am besten in einem schräg gestellten Platintiegel gelegentlich der Ausführung der Immediatanalyse. Das Erhitzen muß so lange fortgesetzt werden, bis die Asche rein weiß oder rotbraun ist und zwei aufeinander folgende Wägungen keine Gewichtsdivergenz mehr ergeben. Hat man mehrere Proben gleichzeitig auszuführen, so stellt man die Tiegel in einen Gasmuffelofen.

Bei manchen Kohlen verbrennen die letzten Reste des Kohlenstoffes in der Asche nur sehr langsam. Daher ist die vom Verfasser angegebene Methode der Veraschung im Glasröhrchen im Sauerstoffstrom, welche gelegentlich der Bestimmung des Gasheizwertes der Kohle (S. 283) stattfindet, welche jedoch auch ohne Rücksicht auf die sonstige Untersuchung nur zum Zwecke der Aschebestimmung ausgeführt werden kann, sehr empfehlenswert. In diesem Falle wiegt man die Kohle im Glasröhrchen, entgast dieselbe durch Erwärmen bis zu heller Rotglut und führt dann nach dem Erkalten einen langsamen Sauerstoffstrom ein, indem man den zurückgebliebenen Koks an einer Stelle erwärmt. Der Kohlenstoff verbrennt dann ganz vollkommen unter lebhaftem Erglühen und es bleibt vollständig rein weiße Asche zurück. Die ganze Operation ist in einer Viertelstunde ausführbar. Es muß nur darauf geachtet werden, daß der Sauerstoffstrom nicht so stark ist, daß etwa Ascheteilchen durch die Lebhaftigkeit der Verbrennung mit fortgerissen werden. Dies ist namentlich bei der Veraschung von Braunkohle zu berücksichtigen.

Den wirklichen Gehalt an unorganischen Bestandteilen zeigen alle diese Aschenbestimmungen in der Kohle nicht an, weil sich die in der Asche enthaltenen Substanzen beim Glühen vielfach verändern können. So z. B. verbrennt Schwefelkies zu Eisenoxyd, aus kohlen-saurem Kalk entweicht Kohlensäure, flüchtige Substanzen, wie Chlorammonium oder dgl. entweichen. Aus diesem Grunde wird der Aschengehalt meist etwas geringer gefunden, als dem Gehalt an anorganischen Substanzen entspricht.

Zur Bestimmung des Gesamtschwefels in der Kohle wird gewöhnlich das von Eschka<sup>1)</sup> angegebene Verfahren verwendet. Man erhitzt 1 g der feingepulverten Kohle mit 1 g Magnesiumoxyd und 0,5 g wasserfreiem Natrium-

<sup>1)</sup> Dingler 1874, S. 403; Fischer, Chem. Technologie d. Brennstoffe I, S. 116.

carbonat in einem schief liegenden Platintiegel bei Luftzutritt unter öfterem Umrühren, läßt erkalten, setzt dem Rückstand 1 g salpetersaures Ammonium zu und glüht mit aufgelegtem Deckel 10 Minuten. Das erste Erhitzen der Kohle soll mindestens eine Stunde anhalten. Schließlich löst man in etwa 200 ccm Wasser auf, dampft etwas ein, filtriert, versetzt mit Salzsäure und fällt mit Chlorbaryum. Nach Fresenius<sup>1)</sup> kann man das Erwärmen mit salpetersaurem Ammonium umgehen, wenn man die Masse in Salzsäure unter Zusatz von etwas Brom löst.

Nach dem Verfahren von Dunnington<sup>2)</sup> verbrennt man die Kohle unter Zusatz von 15 Tln. eines geschmolzenen Gemisches von 22 Tln. Salpeter mit 53 Tln. kohlen-saurem Natrium, setzt dann noch die 15fache Menge der angewendeten Kohle an Magnesiumcarbonat zu und schmilzt im bedeckten Platintiegel. Man löst die Schmelze in Wasser, filtriert, säuert mit Salzsäure an und fällt mit Chlorbaryum. Bei stark kieselsäurehaltigen Kohlen ist es zweckmäßig, nach dem Ansäuern mit Salzsäure zur Trockene einzudampfen, wobei die Kieselsäure abgeschieden wird. Man löst dann wieder in Wasser und fällt mit Chlorbaryum.

Nach Kolliger<sup>3)</sup> kann man die Bestimmung der Schwefelsäure auch durch Titration mit Baryumchromat vornehmen.

Nach den vorbeschriebenen Methoden wird der gesamte Schwefelgehalt der Kohle in Schwefelsäure übergeführt. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß nicht nur bei der Entgasung, sondern auch bei der Verbrennung ein Teil des Schwefels in der Asche verbleibt und somit nicht schädlich ist. Es ist daher wichtig, den Gehalt der Kohle an verbrennlichem Schwefel kennen zu lernen. Die Bestimmung desselben erfolgt am besten nach F. Fischer<sup>4)</sup>, indem man die Kohle in einem Schiffchen abwägt und in ein gläsernes Verbrennungsrohr bringt, das mit Platinasbest gefüllt ist. Man verbrennt im Sauerstoffstrom und leitet die Verbrennungsgase in bromhaltige Salzsäure. Hier wird sämtlicher Schwefel als Schwefelsäure zurückgehalten und mit Chlorbaryum gewichtsanalytisch bestimmt.

Zur Bestimmung des Kohlenstoffs, Wasserstoffs und Stickstoffs in der Kohle wird die gewöhnliche Elementaranalyse verwendet. Betreffs der Ausführung derselben, die nur durch geübte Chemiker vorgenommen werden kann, muß auf die Werke über analytische Chemie verwiesen werden.

Die Bestimmung des Heizwertes der Kohle erfolgt am besten in der Berthelot-Mahlerschen Bombe, wie dies auf S. 129 im Kapitel 9 über Kalorimetrie erörtert ist.

Da man bei der Bestimmung des Heizwertes im Laboratorium immer auf die Entnahme einer Durchschnittsprobe angewiesen ist, die oft nicht verläßlich genügend erscheint, zieht man es oft vor, Probeheizungen im Dampfkessel vorzunehmen. Will man jedoch aus solchen einen richtigen Schluß auf den Heizwert der Kohle ziehen, so müssen die Verluste berücksichtigt werden, welche dabei stattfinden. In erster Linie sind es die Verluste durch Strahlung und Ableitung der Wärme durch das Mauerwerk, welche unkontrollierbar sind. Weitere beträchtliche Verluste entstehen durch die Abgase. Die Größe derselben läßt sich aus der Temperatur, der Menge und der spezifischen Wärme

<sup>1)</sup> Ztschr. f. analyt. Chem. 1878, S. 497. — <sup>2)</sup> Amer. Chem. 1876, S. 83. — <sup>3)</sup> Stahl und Eisen 1910, S. 1376; Ztschr. f. österr. Gasver. 1911, S. 129. — <sup>4)</sup> Chem. Technologie d. Brennstoffe I, S. 120.

der Abgase ermitteln. Zur Bestimmung der Menge der Abgase ist die Ermittlung des Kohlenstoffgehaltes derselben erforderlich und die Kenntnis des Kohlenstoffgehaltes der verbrannten Kohle. Man muß sich also auch hier wieder auf die Durchschnittsprobe verlassen, welche zur Untersuchung der Kohle aus einem größeren Quantum entnommen wird. Schließlich treten noch Verluste durch unvollkommene Verbrennung ein, welche außerordentlich schwer kontrollierbar sind, weil sie nur periodisch beim Aufwerfen frischer Kohle eintreten. Häufig wird auch keine Rücksicht darauf genommen, daß die mittlere Zusammensetzung der Abgase nicht einfach dadurch ermittelt werden kann, daß man einen gleichmäßigen Strom derselben während der ganzen Versuchsdauer absaugt, denn das würde voraussetzen, daß die Abgase in stets gleich bleibender Menge entstehen, was durchaus nicht der Fall ist, weil ja die Menge derselben durch den Schornsteinzug, durch die Schichthöhe des Brennmaterials, durch die Verschlackung des Rostes und durch andere Zufälligkeiten bedingt ist.

Aus allen diesen Gründen gibt die Probeheizung unter dem Dampfkessel nur einen Anhalt über die Verwendbarkeit und den Wert der Kohle für die Beheizung eines bestimmten Dampfkessels, es ist aber unmöglich, aus ihr den Heizwert einer Kohle mit einiger Genauigkeit abzuleiten.

Um die Anwendbarkeit einer Kohle zur Steinkohlengaserzeugung zu prüfen, sind Probevergasungen erforderlich. Die Probevergasungen in kleinstem Maßstabe haben wir bereits auf S. 281 besprochen. Die ältere und häufig geübte Methode der Vergasung von wenigen Kilogrammen Kohle in einer mit Gas beheizten gußeisernen Retorte im Laboratorium ist neuerdings von Constam und seinen Mitarbeitern zur vergleichenden Untersuchung einer großen Anzahl von Kohlenarten verwendet worden. Auch bei dieser Methode darf man nicht erwarten, daß die gewonnene Gasmenge mit der in der Praxis erzielbaren übereinstimmt; die Temperatur, bei der die Entgasung im kleinen erfolgt, ist stets eine viel geringere als bei den großen Retorten, wie sie in Gaswerken angewendet werden, schon deshalb, weil bei letzteren ein viel höheres Temperaturgefälle notwendig ist, um die Wärme auf dem weiten Wege bis in das Innere der Retorte gelangen zu lassen. Die Teerdämpfe werden bei der Entgasung im Laboratorium lange nicht so weit zersetzt, wie dies im großen der Fall ist, und daher wird im Laboratorium eine größere Menge eines dünnflüssigen Teeres, dagegen aber weniger Gas erhalten, als im Großbetriebe <sup>1)</sup>.

Die Temperatur, welche Constam und Schläpfer anwendeten <sup>2)</sup>, beträgt 700 bis 820°. Constam und Kolbe <sup>3)</sup> gaben eine graphische Darstellung über die Gasentwicklungskurven sowie Tabellen über die Zusammensetzung und Verbrennungswärme des Koks und Teeres, sowie Wärmebilanzen, auf die wir noch bei Besprechung der Entgasungsvorgänge zu sprechen kommen werden.

Nach Ott <sup>4)</sup> ist es zweckmäßig, bei kleinen Destillationsapparaten die Temperatur so zu regeln, daß stets die gleiche Gasmenge pro Zeiteinheit entsteht. Die Regelung erfolgt am besten mittels eines Manometers. In dieser

---

<sup>1)</sup> Vgl. Börnstein, Journ. f. Gasbel. 1906, S. 667. — <sup>2)</sup> Ebend., S. 741. — <sup>3)</sup> Ebend. 1909, S. 889 u. 926; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 412. — <sup>4)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1139.

Weise durchgeführt, sollen die Resultate der Laboratoriumsdestillation im allgemeinen mit der Praxis gut übereinstimmen.

Um jedoch Werte zu erhalten, welche der Entgasung in den Retortenöfen vollständig entsprechen, ist es erforderlich, die Kohle in eigenen Versuchsgasanstalten unter möglichst genau gleichen Umständen zu entgasen, wie sie dem Großbetriebe entsprechen. Zu diesem Zwecke werden entweder einige Retorten eines vorhandenen Retortenofens oder ein ganzer Retortenofen an eigene Meß- und Reinigungsapparate angeschlossen, oder es werden eigene Retortenöfen meistens mit nur zwei Retorten in der Versuchsgasanstalt selbst errichtet. Mustergültig in dieser Beziehung ist die Lehr- und Versuchsgasanstalt des deutschen Vereins der Gas- und Wasserfachmänner in Karlsruhe, die Versuchsgasanstalt in Zürich-Schlieren, in den Gaswerken Mariendorf bei Berlin und Wien-Simmering und in anderen größeren Gaswerken, die sich zur Errichtung eigener Versuchsgasanstalten entschlossen haben.

Nach Ott<sup>1)</sup> werden in Zürich-Schlieren je 100 kg Kohle geladen. In Karlsruhe<sup>2)</sup> werden nachstehende Bestimmungen bei einer Probevergasung gemacht:

Heizwert des Gases,  
Gasausbeute,  
Leuchtkraft des Gases,  
Spezifisches Gewicht des Gases,  
Gesamtschwefel,  
Schwefelwasserstoff,  
Ammoniak- und Cyangehalt des Gases,  
Ausbeute an Gaswasser,  
Teerausbeute,  
Koksausbeute,  
Verlauf der Entgasung in Viertelstunden,  
Festigkeit des Koks.

Es wurden bisher in Karlsruhe nahezu 80 Proz. der in deutschen Gasanstalten verwendeten Kohlsorten untersucht<sup>3)</sup>.

Geipert<sup>4)</sup> hält bei den Probevergasungen in der Versuchsgasanstalt Mariendorf die untere Grenze der Temperatur auf 1150°, damit die Ausbeute die bestmögliche wird, die obere Grenze hingegen auf 1250°, da sonst Steigerrohrverstopfungen eintreten. Die Temperatur wird mit dem Wannerypometer durch ein Schauloch zwischen den Retorten an der heißesten Stelle gemessen. Die Entgasung dauert stets 288 Minuten. Am Schlusse darf nur eine kurze, nicht leuchtende Flamme aus der Retorte herausschlagen. Gast eine Kohle leichter oder schwerer, so wird ihr Ladegewicht verändert (in Mariendorf bei englischer Kohle 150 kg, bei schlesischer Kohle 165 kg). Der Stickstoffgehalt des Gases wird stets ermittelt (s. S. 249), um etwaige Verunreinigungen durch Luft zu erkennen.

Zur Bestimmung der Koksausbeute wird der glühende Koks in dünner Schicht auf den Boden ausgebreitet, wo er in vier Minuten bereits schwarz ist, so daß also die durch Verbrennung entstehenden Fehler nur unbedeutend

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1139. — <sup>2)</sup> Ebend., S. 730 u. 745. — <sup>3)</sup> Ebend. 1911, S. 949; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 659. — <sup>4)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 253.

sind. In Karlsruhe wird die Härte des Koks geprüft, indem der Koks nach dem Erkalten vom Ladeboden  $3\frac{1}{2}$  m hoch auf den Betonflur des Generatorkellers geworfen und dann in vier Größen gesiebt wird<sup>1)</sup>.

Zur Ermittlung der Verkoksbarkeit bringt Porter<sup>2)</sup> eine Probe von 25 kg in einen schweren gußeisernen Kasten, der Löcher zum Entweichen des Gases besitzt, und bringt dieselbe als Teil einer Charge in eine Koksokammer. Der auf diese Weise erhaltene Koks soll von dem technisch erhaltenen kaum zu unterscheiden sein.

Der Wert der Kohle zur Gaserzeugung ergibt sich natürlich in erster Linie aus der Menge des Gases, die aus der Kohle gewonnen wird, und dem Heizwert desselben. Das Produkt aus Menge und Heizwert ergibt die Gasheizwertzahl (s. S. 281) der Kohle. Bedenkt man, daß im Gas 10000 Kal. mit 25 ₤ bezahlt werden, im Koks aber nur mit 2,5 ₤, so ergibt sich, daß der Wert des in Gasform gewonnenen Heizwertes 10mal so groß ist, als wenn er im Koks bleibt<sup>3)</sup>.

Für die Wertbestimmung einer Kohle sind jedoch noch andere Eigenschaften maßgeblich, so z. B. die Ausstehzeiten. Je mehr Zeit eine Kohle zur Entgasung braucht, desto größer ist auch der Verbrauch an Unterfeuerung. Man kann ihn etwa proportional der Zeit annehmen. Ott<sup>4)</sup> berechnet für je vier Stunden Ausstehzeit 15 Proz. Unterfeuerung, und für andere Ausstehzeiten wird die Unterfeuerung proportional umgerechnet. Geipert<sup>5)</sup> stellte ein Schema für die Bewertung der Gaskohle auf, welches in erster Linie zwar nur den Verhältnissen des Gaswerkes Berlin-Mariendorf angepaßt ist, das jedoch mit entsprechenden Änderungen auch in anderen Betrieben angewendet werden kann. Er bewertet die Gasausbeute mit 5 *M* pro 100 cbm, ferner die Nebenprodukte: Ammoniak und Teer mit den jeweiligen Marktpreisen und den Koks mit 17 *M* pro Tonne. Durch einen höheren Aschengehalt der Kohle wird ein häufigeres Schlacken der Generatoren erforderlich. Geipert bringt deshalb für jedes Prozent Aschengehalt, welches 7 Proz. übersteigt, je 5 ₤ vom Werte der Kohle in Abzug. Der Aschengehalt des Koks vermindert natürlich auch dessen Wert, und werden daher für jedes Prozent, welches 10 Proz. überschreitet, 7 ₤ abgezogen. Die Leistung pro Retorte und Tag beeinflußt den Wert einer Kohle, indem höhere Anlagekosten erforderlich sind, wenn die Tagesleistung einer Retorte kleiner ist. Für Unterschiede über oder unter 240 cbm pro Retortentag setzt Geipert daher 1,60 *M* pro 100 cbm ein. Ferner kommen noch Unterschiede im Heizwert des Gases über oder unter 4900 Kal. (15°) mit 22 ₤ pro 100 Kal. in Anrechnung. Die auf Grund dieser Berechnung ausgeführte Tabelle der untersuchten Kohlen zeigt Werte zwischen 32,79 *M* und 28,48 *M* pro 1000 kg. Diese Werte sind natürlich nur als relative zu betrachten.

Eine für den Großbetrieb wichtige Eigenschaft der Kohle ist auch deren Selbstentzündlichkeit, die bei verschiedenen Kohlen stark verschieden ist. Schon Varrentrapp<sup>6)</sup> hat nachgewiesen, daß sich Steinkohle im Paraffinbade 10 bis 20° über die Temperatur des letzteren erhitzt, was auf eine Sauerstoff-

<sup>1)</sup> K. Bunte, Zur Kenntnis der Gaskohle, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 777. —

<sup>2)</sup> Ebend. 1911, S. 775. — <sup>3)</sup> H. Bunte, ebend. 1909, S. 756. — <sup>4)</sup> Ebend., S. 1139. —

<sup>5)</sup> Ebend., S. 253. — <sup>6)</sup> Haberman: Autoxydation der Steinkohle, Journ. f. Gasbel. 1906, S. 419.

aufnahme hinweist. Dennstedt<sup>1)</sup> pulverisiert die Kohle zur Untersuchung der Selbstentzündlichkeit und trocknet sie im Kohlensäurestrom, worauf er sie unter Beobachtung der Temperatur im Sauerstoffstrom weiter erwärmt. Er unterscheidet je nach dem Verhalten vier Sorten:

1. Kohlen, die weder bei 135<sup>o</sup> noch bei 150<sup>o</sup> eine Temperaturerhöhung erfahren. Solche Kohlen sind bei der Lagerung vollkommen sicher.

2. Kohlen, die nach zwei Stunden eine Temperaturerhöhung erfahren.

3. Kohlen, die zunächst nur eine geringe Temperaturerhöhung zeigen, sich aber dann entzünden. Solche Kohlen sind immerhin gefährlich.

4. Kohlen, die eine schnelle Temperaturerhöhung zeigen und sich meist schon in der ersten, sicher aber in der zweiten Stunde entzünden. Diese sind von der Lagerung gänzlich auszuschließen.

Nach Boudouard<sup>2)</sup> kann auch die Backfähigkeit einer Kohle im Laboratorium ermittelt werden. Pyridin löst mehr als 10 Proz. der Kohle und vermindert die backende Eigenschaft derselben. Auch ammoniakalische Kupferlösung vermindert die Backfähigkeit.

Zur Untersuchung der Kohle auf ihren Schlammgehalt schütteln Fielner und Davis<sup>3)</sup> die Kohle und zwar 50 g derselben mit einem Liter Wasser eine Minute lang. Dann lassen sie eine halbe Minute, eine Minute und so weiter bis drei Minuten absetzen, ziehen die Kohlenröbe ab und bestimmen den Schlammgehalt auf einem tarierten Filter.

## 18. Lagerung und Transport der Kohle.

Will man unter den heutigen Verhältnissen größere Quantitäten von Kohle zu annehmbaren Bedingungen von den Kohlenwerken beziehen, so ist man genötigt, während des ganzen Jahres gleich bleibende Quantitäten, wie sie von den Werken geliefert werden, anzunehmen. Da nun aber der Bedarf im Winter ein wesentlich größerer ist, als im Sommer, so müssen die im Sommer verbleibenden Überschüsse für den Winter aufgestapelt werden. Dies würde einen Lagerbestand von 18 bis 20 Proz. des Jahresbedarfs ergeben. Es muß jedoch wegen der drohenden Streiks in den Kohlengruben und bei den Bahnen und etwaigen sonstigen Störungen in der Zufuhr noch ein sogenannter eiserner Bestand aufgespeichert werden. Das gibt zusammen ein Lager von 30 bis 35 Proz. des Jahresbedarfs.

Andererseits ist aber zu berücksichtigen, daß die Steinkohle durch das Lagern an Wert verliert. Die Kohlen sind im Laufe der Zeit einer langsamen Zersetzung unterworfen, welche den Heizwert derselben und namentlich auch die Gasausbeute herabsetzt. Nach Wheeler<sup>4)</sup> entweichen aus der Kohle schon vom Augenblick der Förderung an brennbare Gase, was mit einem Oxydationsprozeß verbunden ist. Der Verlust an Heizwert liegt in der Oxydation der Kohlenwasserstoffe oder in dem Ersatz der brennbaren Gase, durch nicht brennbare, z. B. Sauerstoff. Porter und Ovitz<sup>5)</sup> zeigten, daß schon

<sup>1)</sup> Dennstedt und Bünz, Zeitschr. f. angew. Chem. 1908, S. 1829; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 112; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 110. — <sup>2)</sup> Compt. rend. 1909, p. 348; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 481. — <sup>3)</sup> Journ. of Ind. Eng. Chem. 2, 304; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 1196. — <sup>4)</sup> Il Gas VII, 1909, S. 657; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 413. — <sup>5)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1020; Journ. soc. chem. ind. 1911, p. 1001.

bei der Aufbereitung eine beträchtliche Gasmenge entweicht, welche  $\frac{1}{4}$  des Volumens der Kohle ausmacht und im wesentlichen aus Methan besteht. Kurz nachher entweichen noch  $\frac{1}{2}$  bis  $1\frac{1}{2}$  Volumen. Nach 3 bis 18 Monaten hört die Gasentwicklung vollständig auf. Der Verlust ist beim Lagern im Freien größer, als beim Lagern in gedeckten Hallen, namentlich bei feinem Korn der Kohle. Natürlich verhalten sich auch betreffs des Lagerungsverlustes verschiedene Kohlen sehr verschieden. Nach Fessenden und Wharton <sup>1)</sup> betrug bei einer Feinkohle der Verlust innerhalb 110 Tagen bereits 20 Proz. Glücklicherweise sind solche hohe Verlustziffern in so kurzer Zeit Ausnahmen. Aber bei mehrmonatlicher Lagerung muß doch mit Verlustziffern zwischen 2 und 20 Proz. gerechnet werden. Nach längerer Lagerung scheint sich die Zersetzung allmählich einem Stillstande zu nähern.

Über die Verminderung der Gasausbeute mit der Dauer der Lagerung gibt Prenger nachstehende Beispiele:

Wolfgang-Kleinkohle	verlor innerhalb	14 Tagen	1,4 Proz.	
	"	370 "		8,1 Proz.
Wolfgang-Stückkohle	"	14 "	3,5 "	
	"	370 "		9,8 "
Königin-Luise-Kleinkohle	"	14 "	0,9 "	
	"	273 "		8,6 "
Königin-Luise-Stückkohle	"	14 "	— "	
	"	227 "		11,0 "
Gottesseggen-Kleinkohle	"	11 "	7,6 "	
	"	381 "		17,2 "
Gottesseggen-Stückkohle	"	21 "	4,7 "	
	"	354 "		13,2 "

Göhrum <sup>2)</sup> ermittelte in Stuttgart den Ausbeuteverlust bei sechswöchigem Lagern bei Saarkohle wie folgt:

Stückgröße mm	Ausbeuteverlust m <sup>3</sup> pro 100 kg	Verlust Proz.
0—30	1,88	6,3
30—80	0,86	2,8
200 und mehr	0,72	2,4

New Leverson-Kohle hat in Königsberg nach sieben Monaten 8,6 Proz. Wertverminderung erlitten. Die Backfähigkeit nimmt während der Verwitterung ab. Der Koks wird klein und mürbe. Ruhrkohle nahm in gedeckten Schuppen 0,5 bis 6 Proz. ab, nach  $2\frac{1}{2}$  Jahren sogar 16,6 Proz.; bei freier Lagerung in kurzer Zeit 2 bis 15 Proz., nach mehreren Jahren um 25 Proz. Englische Kohle verlor im Freien 3 bis 15 Proz., in gedeckten Lagern 0 bis 10 Proz., Saarkohle im Freien 3,3 Proz., in gedeckten Lagern 1,6 Proz. Bei schlesischer und sächsischer Kohle betrug der Verlust in beiden Fällen 4 Proz.

Der Heizwert der Kohle ging in Cöln in  $1\frac{1}{2}$  Jahren von 6603 auf 6084 Kal. und in Quedlinburg von 7000 auf 6300 Kal. zurück.

Besonders groß wird der Verlust, wenn die Kohle in feuchtem Zustande im Freien lagert, wie dies Wolfram <sup>3)</sup> durch ausführliche Untersuchungen nachgewiesen hat. Gas-, Teer- und Ammoniakausbeute nehmen beständig ab.

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. Vereins d. Ing. 1908, S. 1492; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 678. —  
<sup>2)</sup> Ebend. 1911, S. 425. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1906, S. 433.

Besonders schädlich wirkt Schnee, welcher beim Auftauen den Wassergehalt der Kohle wesentlich steigert. Auf die allmähliche Zersetzung der Kohle ist auch die Tatsache zurückzuführen, daß die Kohle in England mehr Gas und Gas von einer höheren Leuchtkraft liefert, als dieselbe Kohle, wenn sie nach Deutschland gebracht wurde<sup>1)</sup>.

Andere Kohlensorten, so z. B. oberschlesische und Ostrau-Karwiner Kohle leiden durch die atmosphärischen Einflüsse weniger.

Ausführliche Untersuchungen über die Lagerverluste unter den verschiedensten Umständen hat auch Dobbelstein<sup>2)</sup> ausgeführt, auf die jedoch hier nicht näher eingegangen werden kann<sup>3)</sup>.

Trotz des schädigenden Einflusses der Atmosphärien auf den Heizwert der Kohle bedarf die Frage, ob für die Lagerung großer Kohlenmengen große Kohlenhallen, die ein großes Anlagekapital verschlingen, ausgeführt werden sollen, noch der Klärung. Die Meinungen gehen hierüber stark auseinander<sup>4)</sup>. Ein solches Kohlenlager bringt beträchtliche Betriebskosten und Zinsverlust, ohne daß die Wertverminderung der Kohle dadurch vollständig vermieden werden kann. Bei einer im Jahre 1908 vorgenommenen Rundfrage ergab sich, daß von 183 größeren Gaswerken 141 mit gedeckten Kohlenlagern versehen waren. Nach Wheeler<sup>5)</sup> sollen überdachte Kohlenmagazine nur bei schwefelhaltiger Kohle Vorteile bieten. Jedenfalls sollte man sich von den Lagerungsverlusten einer bestimmten Kohlensorte und unter bestimmten Witterungsverhältnissen durch Versuche Rechenschaft geben, ehe man sich zu den großen Auslagen gedeckter Kohlenmagazine entschließt.

In Cöln kostet die Lagerung der Kohle unter Dach einschließlich 6 Proz. Verzinsung und Amortisation 45 ₤ pro Tonne, wogegen die Wertverminderung im Freien 53 bis 55 ₤ pro Tonne ausmacht. Ein Vorzug der gedeckten Lager ist jedenfalls der, daß man stets gleichmäßig trockene Kohle zur Verfügung hat. Man kann daher zweckmäßig mindestens einen Teil des Lagers abdecken<sup>6)</sup>.

Betreffs der Lagerung der Kohle spielt auch deren Selbstentzündlichkeit eine bedeutende Rolle (über die Prüfung auf Selbstentzündlichkeit s. S. 290). Früher machte man für die Selbstentzündlichkeit ausschließlich den in der Kohle enthaltenen Schwefelkies verantwortlich. Jetzt ist man anderer Meinung. Nach Wenzel<sup>7)</sup> bewirkt der Schwefelkies durch die Oxydation nur die anfängliche Temperatursteigerung, welche dann zur weiteren Oxydation und Erwärmung der Kohle führt<sup>8)</sup>. Schwefelkies wird in Gegenwart von Luft und Wasser unter Volumvergrößerung zu Eisenvitriol umgesetzt, so daß außer der Erwärmung auch eine Lockerung und Zersprengung der Kohlen-

---

<sup>1)</sup> Dessauer Vertikalöfen in England, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 233. — <sup>2)</sup> Ebend. 1911, S. 533. — <sup>3)</sup> Siehe ferner Parr und Wheeler: University of Illinois 1909, p. 38, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1165; Porter und Ovitz: Transact. Amer. Chem. Soc. Boston, Vol. 12, p. 27, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 509, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 586; Hinrichsen und Taczak, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1091. — <sup>4)</sup> Prenger, Lagerung von Gaskohlen, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 793; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 392. — <sup>5)</sup> Il Gas VII, 1909, p. 657; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 413. — <sup>6)</sup> Vgl. Göhrum, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 425. — <sup>7)</sup> Kohlen-speicher aus Beton, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 62 u. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1124. — <sup>8)</sup> Nach Untersuchungen von Galle (Zentralbl. f. Bakteriologie und Parasitenkunde 28, 461; Chem.-Ztg. 1911, Rep., S. 10; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 707; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 73) ist es möglich, daß auch Bakterien zur ersten Erwärmung der Kohle beitragen.

stücke stattfindet, wodurch die Angriffsflächen für den Sauerstoff vergrößert werden. Gasreiche Kohlen, welche Sauerstoff in höherem Maße absorbieren, neigen nach Wenzel mehr zur Selbstentzündung.

Die Erwärmung der Kohle durch die allmähliche Sauerstoffaufnahme verursacht natürlich nur dann eine größere Temperaturzunahme, wenn größere Massen aufgespeichert sind, so daß die entwickelte Wärme nicht rasch ins Freie abgeführt wird. Deshalb ist die Höhe der Schicht, in der die Kohle gelagert wird, von besonderer Bedeutung. Kohlen, die wenig zur Selbstentzündung neigen, wie z. B. oberschlesische Kohle, können in genügender Höhe gelagert werden. Die am meisten zur Selbstentzündung neigende englische Kohle sollte nicht höher als 3 m gelagert werden. Bei anderen Kohlenarten hält man je nach Umständen 6 bis 8 m Schütthöhe.

Zur Verhütung von Selbstentzündungen empfahl Pohmer<sup>1)</sup>, in die Kohlenlager Luftschächte aus Holzlatten einzubauen, so daß die durchziehende Luft eine Kühlung hervorruft. Thieme und Kobbert wiesen jedoch darauf hin, daß eine solche Lüftung der Kohlenlager eher schädlich als nützlich sei, da die Entstehung der Brände durch die Luftzirkulation begünstigt wird. Die Gefahr der Selbstentzündung wächst vor allem mit der Größe der Oberfläche, welche die Kohle der Luft darbietet. Trotzdem findet die Entzündung immer in der Nähe grober Kohle statt, weil dort der Luftzutritt erleichtert ist. Feuchtigkeit und Grus fördert die Entzündung namentlich, wenn Schwefelkies vorhanden ist. Bei Braunkohle ist die Entzündungsfähigkeit in trockenem Zustande eine höhere<sup>2)</sup>.

Nach Prenger<sup>3)</sup> sind Grusnester neben stückiger Kohle besonders gefährlich, weil erstere der Luft eine große Berührungsfläche darbieten, während letztere die Luftzirkulation verstärkt. Auch das Durcheinanderwerfen von nasser und trockener Kohle ist zu vermeiden.

Kordt hat beobachtet, daß Entzündungen im Freien seltener eintreten als in Kohlenschuppen. Im allgemeinen treten Brände nur bei englischer und westfälischer Kohle ein. In 183 größeren Gaswerken sind innerhalb 20 Jahren in 49 Werken Brände entstanden.

Auf alle Fälle ist es zweckmäßig, die Kohlenlager durch Zwischenwände in einzelne Zellen abzuteilen, damit einzelne dieser Räume entleert werden können, noch bevor der Brand sich auf die andere Kohle ausdehnt. Diese Zwischenwände sind zweckmäßig aus Beton anzufertigen. Gußeiserne Säulen sind zu vermeiden, da sie die Wärme zu gut weiterleiten. Wenzel<sup>4)</sup> empfiehlt, diese Wände hohl auszubilden, damit durch eine kräftige Luftzirkulation eine Kühlung eintrete. Solche Hohlwände können aus Eisenbeton leicht hergestellt werden.

Bei der Verarbeitung der Kohle soll womöglich die unten im Lager befindliche Kohle zuerst genommen werden, damit die älteste Kohle zuerst weggommt. Dies bedingt jedoch einen kostspieligeren Bau des Kohlenmagazins, worauf wir noch zu sprechen kommen werden. Körtling empfiehlt bei Bränden von oben aus ein großes Loch in die aufgestapelte Kohle zu graben und Wasser hineinzugießen; ferner empfiehlt er, die Kohlen abwechselnd in grob-

<sup>1)</sup> Über Kohlenbrände. Journ. f. Gasbel. 1907, S. 929. — <sup>2)</sup> Wenzel, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 62. — <sup>3)</sup> Lagerung von Gaskohlen. Journ. f. Gasbel. 1909, S. 793; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 392. — <sup>4)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 62.

stückigen und feinkörnigen Schichten zu lagern. Dies verhindert die Luftzirkulation und bringt daher nicht die Übelstände mit sich, die auftreten, wenn grobkörnige und Feinkohle nebeneinander liegt.

In Amerika sind in den letzten Jahren Versuche gemacht worden, die Kohle unter Wasser zu lagern. Es sind dann Selbstentzündungen natürlich vollständig ausgeschlossen und außerdem ist die Wertverringerung auch eine geringere als beim Lagern in der Luft. Sie betrug während eines Jahres nur 3 Proz. Ein weiterer Vorteil ist die geringere Grusbildung. Die Kohle muß jedoch nach der Entnahme wieder getrocknet werden, und dies ist ein Übelstand<sup>1)</sup>.

Es ist auch der Vorschlag gemacht worden, die Kohle in einer Atmosphäre von Kohlensäure oder Rauchgas<sup>2)</sup> zu lagern. Es dürfte jedoch zu kostspielig sein, diese Atmosphäre stets zu erneuern, und außerdem würden solche Lager unzugänglich sein. Behnke<sup>3)</sup> hat daher empfohlen, die Kohle mit einem Niederschlag aus Ammoniakdämpfen und Kohlensäure zu überziehen, welcher aus karbaminsaurem Ammoniak besteht und die einzelnen Kohlenstücke vor Luftzutritt schützt. Auch dies dürfte jedoch zu kostspielig sein.

Die Grusbildungen werden zum Teil auch dadurch hervorgerufen, daß die untenliegende Kohle einen hohen Druck auszuhalten hat. In Hamburg wurden daher Silolager mit honigwabenartig eingebauten horizontalen Zwischenböden verwendet, welche den Druck auf die unteren Kohlen-schichten aufnehmen<sup>4)</sup>.

Zur Verhütung der Selbstentzündung dient jedenfalls am besten die fortlaufende Beobachtung der Temperatur in allen Schichten des Lagers. Zu diesem Zwecke werden in 5 bis 8 m Entfernung voneinander Rohre in verschiedenen Höhenlagen des Kohlenlagers eingesenkt und man hängt dann Thermometer in diese Rohre hinein, deren Stand dann fortlaufend in Tabellen registriert wird. Zeigt sich an einem derselben eine Temperaturerhöhung von 50° oder mehr, so ist die Räumung des Lagers an dieser Stelle erforderlich. Lewes<sup>5)</sup> hat den Vorschlag gemacht, Bomben mit flüssiger Kohlensäure, welche mit einem leicht schmelzbaren Pfropfen verschlossen sind, in den Kohlenlagern aufzustellen. Bei entsprechender Temperaturerhöhung würden diese Verschlüsse schmelzen und Kohlensäure ausströmen lassen, so daß eine weitere Oxydation verhütet wird, noch bevor der Brand ausgebrochen ist.

Auf alle Fälle muß bei befürchtigtem oder schon ausgebrochenem Brande ein Teil des Kohlenlagers geräumt werden. Die Meinungen darüber, ob diese Räumung von oben nach unten oder von unten nach oben zweckmäßiger sei, gehen auseinander. Aumund und Pohmer<sup>6)</sup> verwiesen auf die Vorzüge der Entnahme von oben, wie dies in Cöln und Mariendorf bei Berlin durch-

<sup>1)</sup> Neuerdings hat die Schnellbahngesellschaft Minneapolis ein 12 000 t fassendes Lager für Kohle unter Wasser aus Eisenbeton eingerichtet (Zeitschr. d. Ver. deutsch. Eisenbahnverwaltungen 1911, S. 771; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 994). —

<sup>2)</sup> Klönne, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 969. — <sup>3)</sup> Wenzel, Kohlenspeicher aus Beton. Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 62. — <sup>4)</sup> Körting, Übersicht über das Gasfach. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 816. — <sup>5)</sup> Journ. Gaslighting Nr. 2238, S. 33. — <sup>6)</sup> Diskussion zu C. Meiers Vortrag über die Kohlenspeicher in Tegel. Journ. f. Gasbel. 1908, S. 1065.

geführt ist. Ersterer meint, daß bei Kohlenbränden der im geschlossenen Raume sitzende Maschinist bei der Entnahme von oben nicht so belästigt wird, als die Leute, welche die Kohle in den engen Gängen bei der Entnahme von unten abtransportieren müssen; letzterer gab an, daß bei den zahlreichen Kohlenbränden in Mariendorf die Kohle selbst bei 7 m Höhe mit Greifern leicht herausgeholt werden kann. Dagegen sind Meier und Weiss der Ansicht, daß sich beim Kohlenbrand die Entleerung von unten leichter gestaltet. Letzterer hebt diesbezüglich besonders die Vorzüge des mechanischen Transportes hervor, wie er bei den Kohlenmagazinen des Züricher Gaswerkes durchgeführt ist, und der die Entleerung der Magazine bei Bränden ohne Belästigung der Arbeiter gestattet.

Ob der Transport der Kohle in das Lager und vom Lager zu den Vergasungsapparaten mit maschinellen Hilfsmitteln oder durch Menschenkraft durchzuführen ist, hängt natürlich von der Größe des betreffenden Gaswerkes ab. Es lassen sich jedoch auch nicht bestimmte Angaben darüber machen, von welcher Größe angefangen der mechanische Kohlentransport einzusetzen hat<sup>1)</sup>. Es hängt dies vielmehr ausschließlich von den örtlichen Verhältnissen ab und kann nur im allgemeinen gesagt werden, daß um so mehr maschinelle Hilfsmittel beim Kohlentransporte am Platze sein werden, je größer die Produktion des Gaswerkes ist.

Unter den örtlichen Verhältnissen, welche auf die Wahl der Transportmittel von Einfluß sind, sind die Arbeiterverhältnisse in erster Linie maßgeblich und unter diesen wieder die Höhe der Arbeitslöhne. Die Höhe der Löhne ist aber schon deshalb nicht allein ausschlaggebend, weil der Ersatz der Handarbeit durch die Maschine nicht nur eine Ersparnis, sondern auch eine Vergrößerung der Sicherheit im Kohlentransport bringt.

Die Vorteile, welche der mechanische Kohlentransport großen Werken bietet, liegt vor allem in der größeren Unabhängigkeit von den Arbeitern, die besonders zur Zeit drohender Streiks eine große Rolle spielt. Doch nicht nur die Arbeitseinstellung bringt Unsicherheit in den Kohlentransport, sondern auch das Risiko, das mit einer zu erwartenden Lohnerhöhung zusammenhängt; bei einer maschinellen Einrichtung kann man sich über die aufzuwendenden Kosten für die Antriebskraft, für Reparaturen und für Verzinsung und Amortisation rasch volle Klarheit schaffen, wogegen man bei der Handarbeit nicht auf Jahre hinaus die Löhne vorausbestimmen kann.

Wie groß der finanzielle Vorteil ist, den der mechanische Kohlentransport in größeren Gaswerken ergeben kann, geht aus den Mitteilungen Kobberts hervor<sup>2)</sup>. Im alten Gaswerk in Königsberg kostete die Stapelung der Kohle allein 1,10 *M* pro Tonne und einschließlich des Transportes bis zum Ofenhaus 1,35 *M*. Heute kostet dagegen die Lagerung der Kohle an Stromverbrauch und Löhnen mit allen Nebenkosten nur 35 *§*. Die Zinsen des angelegten Kapitals betragen 50 *§* pro Tonne. Außerdem verkürzte der mechanische Betrieb die Löschzeiten der Dampfer derart, daß die Abladung mit Leichtern ganz aufhören konnte. Dadurch wurden weitere 1,20 *M* pro Tonne an Leichterkosten erspart. Wie aber schon bemerkt, bedeuten 1,35 *M* an Lohnkosten noch ein höheres Geschäftsrisiko als eine gleiche Auslage, die

---

<sup>1)</sup> Nicht unter 5000 t Jahresbedarf (Gaswerk Flensburg, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 589). — <sup>2)</sup> Retorte und Gasmesser. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 910.

sich z. B. aus nur 0,35  $\mathcal{M}$  an Lohn und Strom und 1,00  $\mathcal{M}$  an Zinsen und Abschreibungen zusammensetzt, da die Löhne unter den heutigen Verhältnissen einer steten Steigerung ausgesetzt sind.

In Hamburg<sup>1)</sup> stellten sich die Kosten der Kohlenförderung pro Tonne mittels Handbetrieb vom Kahn bis ins Retortenhaus auf 1,06  $\mathcal{M}$ , mit den mechanischen Hilfsmitteln auf 0,22  $\mathcal{M}$ .

Die Nachteile hingegen, welche kleineren Werken erwachsen würden, wenn sie zu umfangreiche maschinelle Kohlentransportanlagen schaffen würden, liegen in den hohen Anlagekosten, die, auf die geringen Kohlenmengen verteilt, sehr ins Gewicht fallen, den hohen Reparaturkosten und in dem Umstande, daß die Ersparnisse, welche durch den Ersatz der Handarbeit entstehen können, nicht sehr ins Gewicht fallen.

Die Anlieferung der Kohle an das Gaswerk erfolgt entweder in Schiffen oder mit der Bahn. Ersteres ist gewöhnlich billiger, wenn es sich um große Quantitäten handelt, jedoch hängt auch dies natürlich von den örtlichen Verhältnissen, vom Vorhandensein schiffbarer Kanäle usw. ab. Der Transport der Kohle vom Schiff oder vom Bahnwaggon muß stets so eingerichtet sein, daß die Kohle entweder direkt der Vergasung zugeführt oder auf das Lager gebracht werden kann. Es muß jedoch die Kohle auch jederzeit vom Lager zu den Vergasungsapparaten gebracht werden können. Da es zweckmäßig ist, die Kohle möglichst frisch zu vergasen, so wird im Sommer der zur Vergasung gelangende Teil der Kohle direkt den Öfen zuzuführen sein, während der Überschuß aufs Lager gebracht wird. Im Winter wird hingegen sämtliche eintreffende Kohle vergast und der weitere Bedarf durch Zufuhr vom Lager aus zu decken sein.

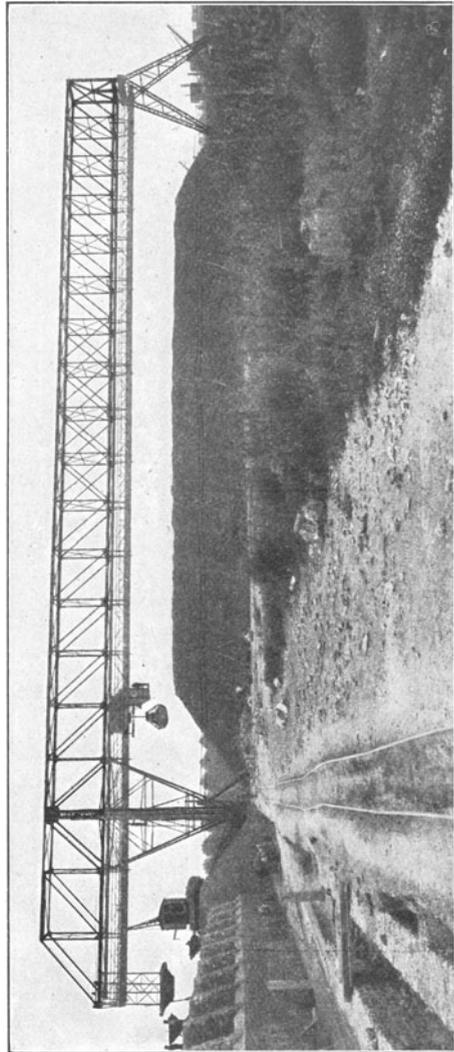


Fig. 148.

<sup>1)</sup> Übersicht über das Gasfach. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 816.

Kommt die Kohle in großen Quantitäten in Schiffen an, so erfolgt die Entladung gewöhnlich mit Hilfe von Selbstgreifern. Es sind dies an Kränen hängende, halbzyylinderförmige Gefäße, welche in geöffnetem Zustande auf die Kohle herabgelassen werden und beim Emporheben der Kette zunächst sich

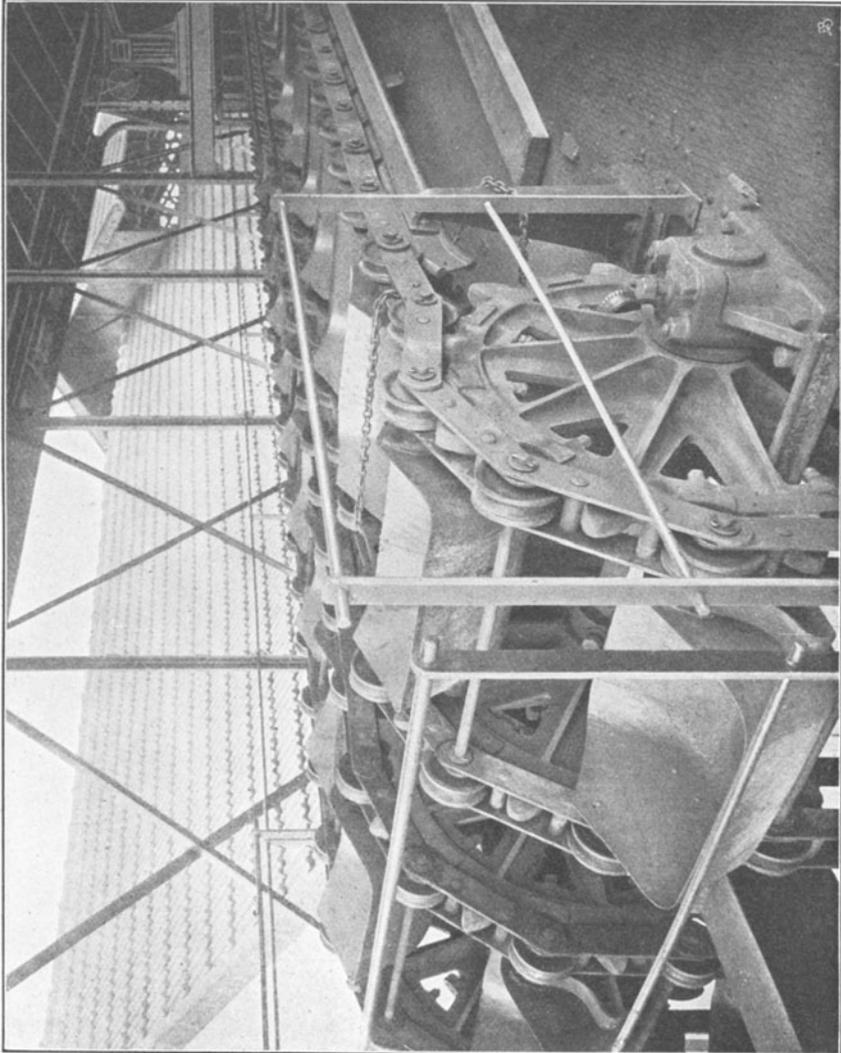


Fig. 149.

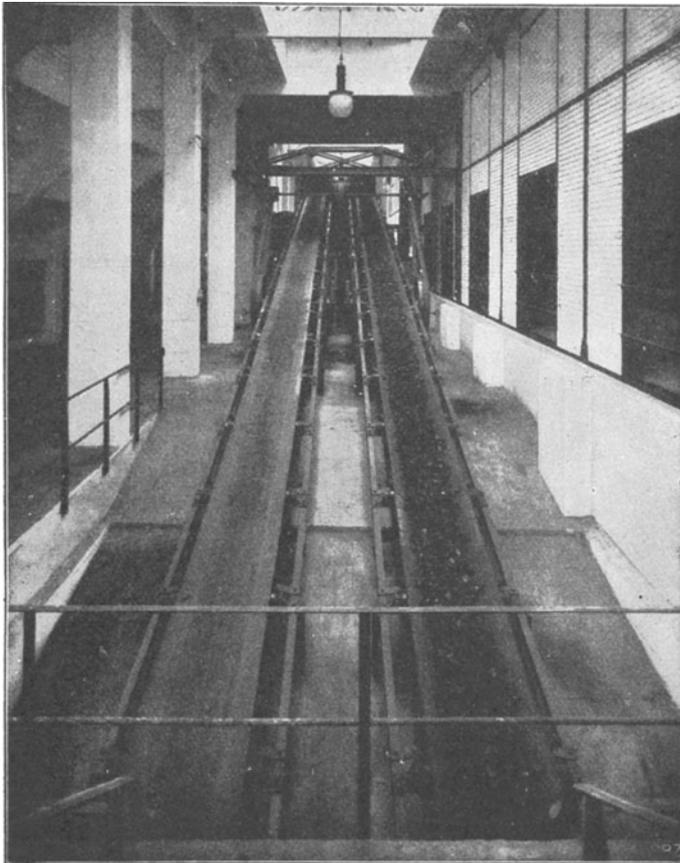
derart gegeneinander und in die Kohle pressen, daß sie ein bedeutendes Quantum derselben — bis zu  $4\text{ m}^3$  — aufnehmen. Sie werden dann vom Kran in die Höhe gezogen und an die Abladestelle gebracht, wo sie sich entleeren<sup>1)</sup>. Kommt die Kohle in Bahnwaggonen, so erfolgt die Entladung derselben meist erst in Schüttgruben, entweder durch Auswerfen der Kohle nach

<sup>1)</sup> Über die Betriebs- und Einrichtungskosten moderner Transportdampfer für Kohlen zur See siehe Stahl und Eisen 1911, S. 1077; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1165.

der Seite oder durch Kippen des ganzen Waggons mittels mechanischer Hilfsmittel.

Eine Entladebrücke mit Selbstgreifern zeigt Fig. 148. Es ist dies eine Entladevorrichtung, wie sie in dem neuen Gaswerk Gennevilliers bei Paris zur Entladung der Kohle auf dem Lagerplatz verwendet wird<sup>1)</sup>. Die Brücke bewegt sich auf zwei Geleisen, welche zu beiden Seiten des Kohlenlagers angeordnet sind. Auf der Brücke, welche das ganze Lager überspannt, fährt

Fig. 150.



der Hebekran mit dem Führerstand durch elektrischen Antrieb. Der Selbstgreifer ist in der Zeichnung in geschlossenem Zustande abgebildet, wie er eben die Kohle hochzieht.

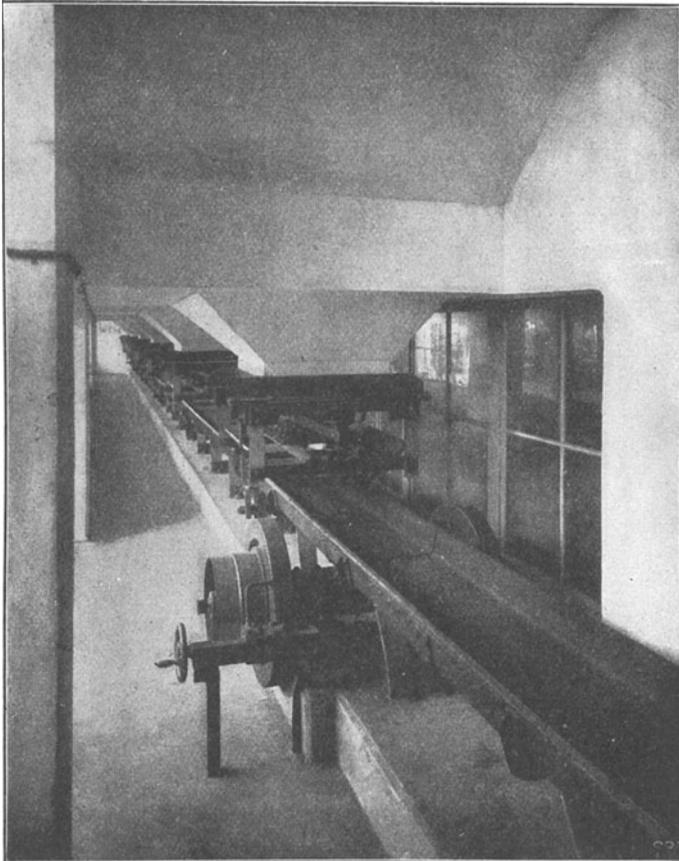
Von den Schüttgruben, in welche die Kohle zunächst gebracht wird, gelangt dieselbe durch Auslaufschurren in die Kohlenbrecher, denn die Kohle kann gewöhnlich nicht in dem Zustande vergast werden, wie sie aus der Kohlengrube gefördert wird, da sie zu große Stücke enthält. Der Kohlen-

<sup>1)</sup> Hermanns, Kohlen und Transporteinrichtungen auf dem Gaswerk in Gennevilliers bei Paris; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 463.

brecher liefert die gebrochene Kohle in ein Becherwerk oder in den Wagen einer Hängebahn. Ein Becherwerk moderner Konstruktion zeigt Fig. 149 <sup>1)</sup>. Die Becher füllen sich an der Auslaufschurre des Kohlenbrechers automatisch und entleeren ihren Inhalt ebenso automatisch an der Stelle, wo dies gewünscht wird.

Erfolgt die Förderung der Kohle mit Hängebahnwagen, so können dieselben entweder mit Seilbetrieb oder durch Kleinelektromotoren, welche je

Fig. 151.



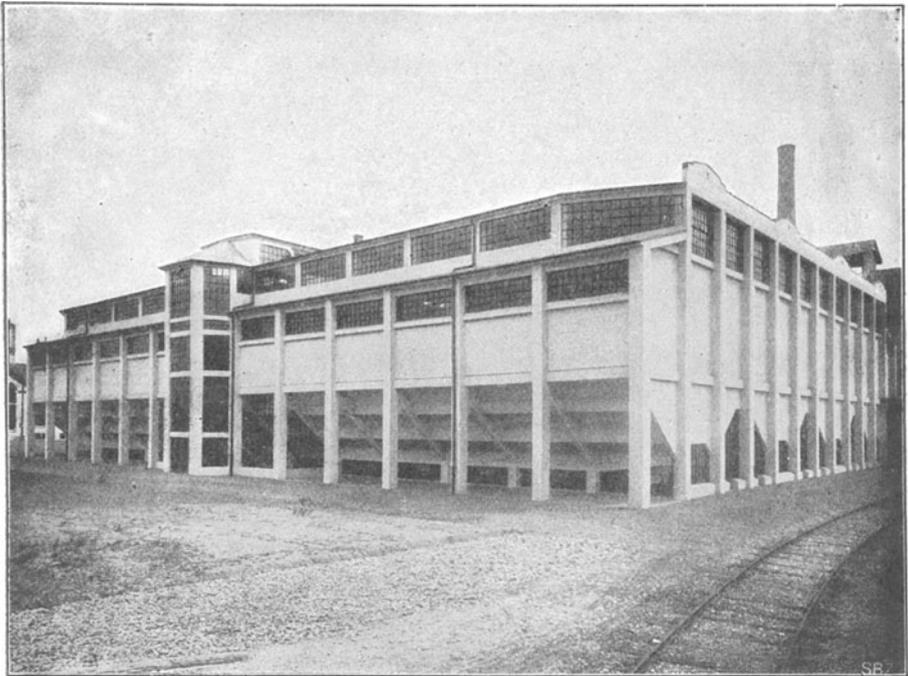
einen Wagen fördern, angetrieben werden. Diese letztere Transporteinrichtung, Elektrohängebahn genannt, hat sich in letzter Zeit in vielen Gaswerken gut eingeführt und bewährt.

Eine andere Vorrichtung, welche zur Beschickung eines Lagers dient, ist die sogenannte automatische Bahn, welche z. B. in Zürich erfolgreich verwendet wird. Bei dieser wird die Kohle zunächst in einem Aufzuge in die Höhe gezogen und kippt oben automatisch in einen Trichter, der einen kleinen

<sup>1)</sup> Von der Firma J. Pohlig für das Pariser Gaswerk Gennevilliers geliefert. Hermanns, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 463.

Wagen beschickt. Dieser Wagen steht auf einem Geleise auf schwach geneigter Bahn, welches sich oberhalb des Kohlenlagers in gerader Linie hinzieht. Durch einen schwachen Anstoß des Arbeiters gerät der Wagen auf der schrägen Bahn ins Rollen und wird durch eine geeignete Vorrichtung an der Stelle aufgehalten, wo die Entleerung erfolgen soll. Die Entleerung erfolgt automatisch durch Aufklappen der beiden Seitenwände. Beim Herunterfahren des Wagens ist an der Stelle, wo die Entladung erfolgen soll, durch den Anprall des Wagens ein großes Gewicht soweit in die Höhe gehoben worden, als dies der lebendigen Kraft entspricht, die der gefüllte Wagen beim Herunterfahren angenommen hat. Sobald die Kohle entleert

Fig. 153.



ist, setzt das gehobene Gegengewicht den Wagen in rückläufige Bewegung, die leichter erfolgt, weil der Wagen durch die Entleerung an Gewicht verloren hat. Der Wagen wird daher trotz aller Reibungsverluste wieder bis zu seinem Ausgangspunkt zurückgeworfen.

Ein anderes Mittel zum Transport der Kohle liegt in den Förderbändern. Es sind dies breite Bänder, welche von Rollen getragen sind, und sich in der Längsrichtung bewegen. Fig. 150<sup>1)</sup> zeigt einen solchen Kohlenbandförderer, welcher die Kohle im Gaswerke in Zürich zu den Kohlenbrechern bringt<sup>2)</sup>.

Ebenfalls im Gaswerk Zürich angewendet sind die Schüttelrinnen, Fig. 151. Diese dienen zum Abtransport der Kohle aus dem Lager. Die

<sup>1)</sup> Figuren 150 bis 153: Aus Schweizerische Bauzeitung 1909. — <sup>2)</sup> Weiss, Das Gaswerk der Stadt Zürich; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1085.

Figur zeigt die unteren Entnahmestellen des Kohlenmagazins in Form eines Trichters. Die trichterförmige Öffnung ist in einiger Entfernung durch eine Platte abgeschlossen, welche an allen Seiten hervorragt, so daß die Kohle im ruhenden Zustande der Platte nicht herausfallen kann. Wird hingegen die Platte mitsamt der Schüttelrinne in eine schüttelnde Bewegung gebracht, so rollt die Kohle zu beiden Seiten aus der Trichteröffnung in die Schüttelrinne und bewegt sich in dieser durch die schüttelnde Bewegung vorwärts. Von den Schüttelrinnen gelangt die Kohle dann in die Becherwerke, welche sie den Verwendungsstellen zuführen. Einen Schnitt durch das derart eingerichtete Kohlenmagazin in Zürich zeigt Fig. 152. Eine Ansicht dieses Kohlenmagazins ist durch Fig. 153 wiedergegeben.

Eine besondere Art der Aufsichtung der Kohle auf das Lager verwendet die Atchison Topeca- and Santa-Fé-Eisenbahn<sup>1)</sup>. Eine Verschiebelokomotive schiebt einen Wagen und einen Pflugwagen, der in der Art eines Schneepfluges ausgeführt ist. Während der Fahrt entladet sich die Kohle aus dem Wagen und wird von dem Pfluge zur Seite geschoben. Nachdem ein Teil des Kohlenlagers auf diese Weise mit Kohle belegt ist, wird das Geleise höher gelegt, mit Kohle entsprechend unterlegt und befestigt und es ist auf diese Weise möglich, mit 40 bis 50 Mann bis 1500 t in 10 Stunden auf Lager zu bringen.

In den Kohlenlagern der Gaslight and Coke Co<sup>2)</sup> wird die Kohle in ganzen Zügen auf einer Hochbahn durch das Ofenhaus geführt und die Züge dort entleert, so daß unter der Hochbahn sich direkt das Kohlenlager befindet.

## VI. Die Entgasung der Kohle und Vergasung des Kohlenstoffs.

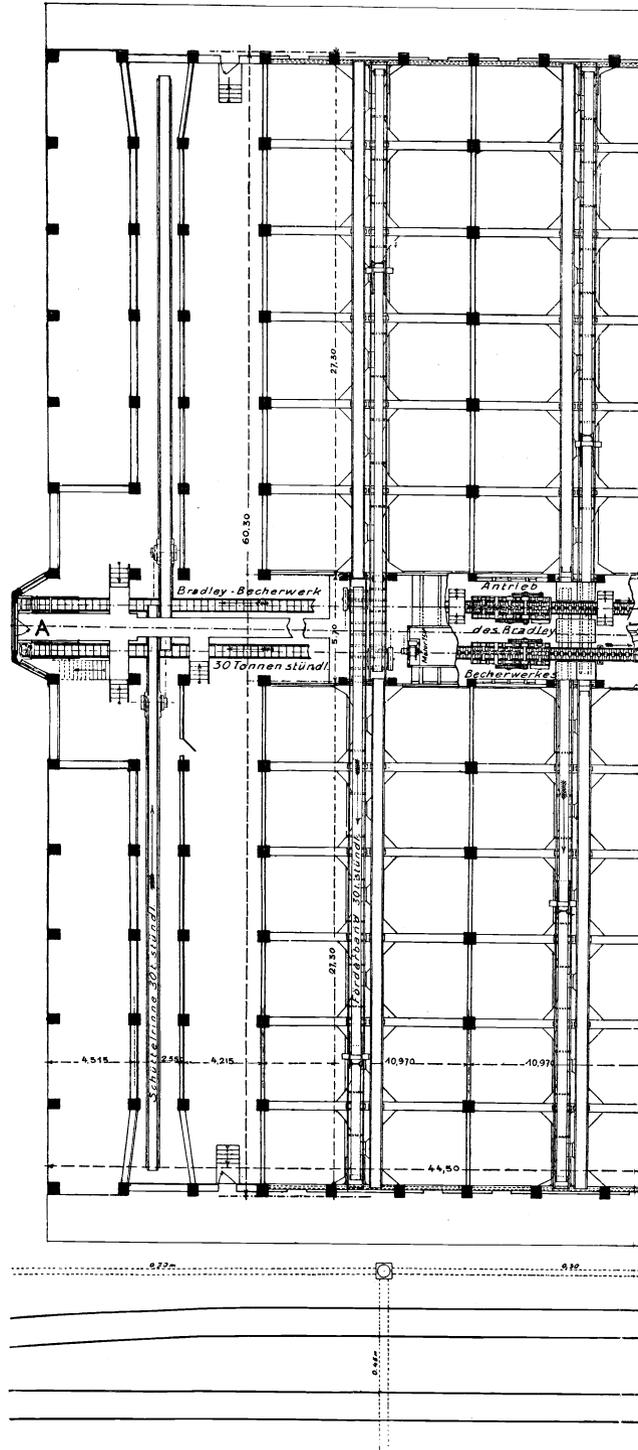
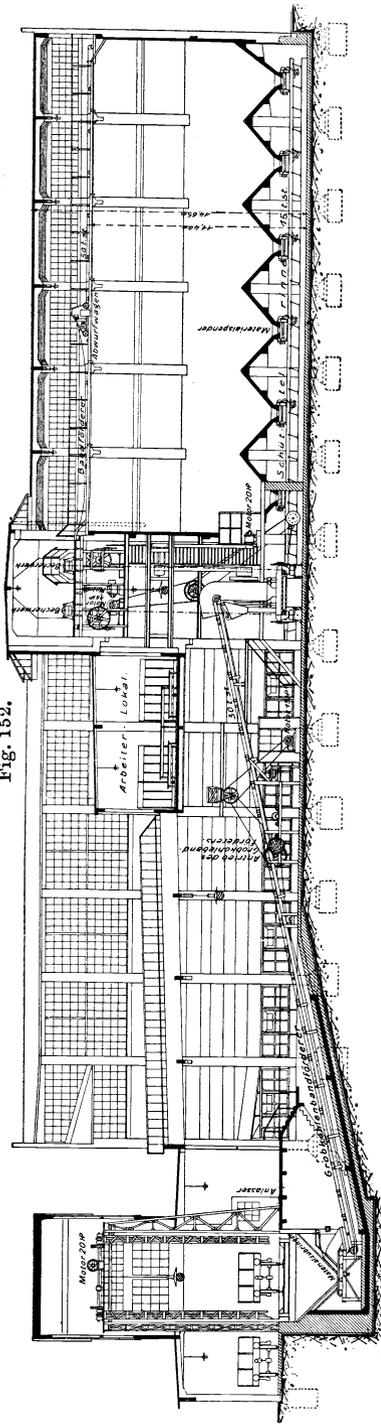
### 19. Die Entgasung der Kohle.

Die Menge und die Qualität des aus der Kohle erhaltenen Gases ist in beschränkter Weise von der Art der Entgasung abhängig. Naturgemäß läßt sich aus einer bestimmten Kohlensorte nur ein bestimmtes Maximum an Gas gewinnen. Allerdings sind im Großbetriebe im Laufe der Zeit beträchtliche Vervollkommnungen in der Gasausbeute erzielt worden, so z. B. betrug im Jahre 1858 die im Durchschnitt erhältliche Gasausbeute 22,5 m<sup>3</sup> pro 100 kg Kohle und stieg dieselbe im Jahre 1908 im Durchschnitt bereits auf 30,5 m<sup>3</sup><sup>3)</sup>. Die vollkommensten Methoden geben jetzt bereits eine Ausbeute von 34 m<sup>3</sup>.

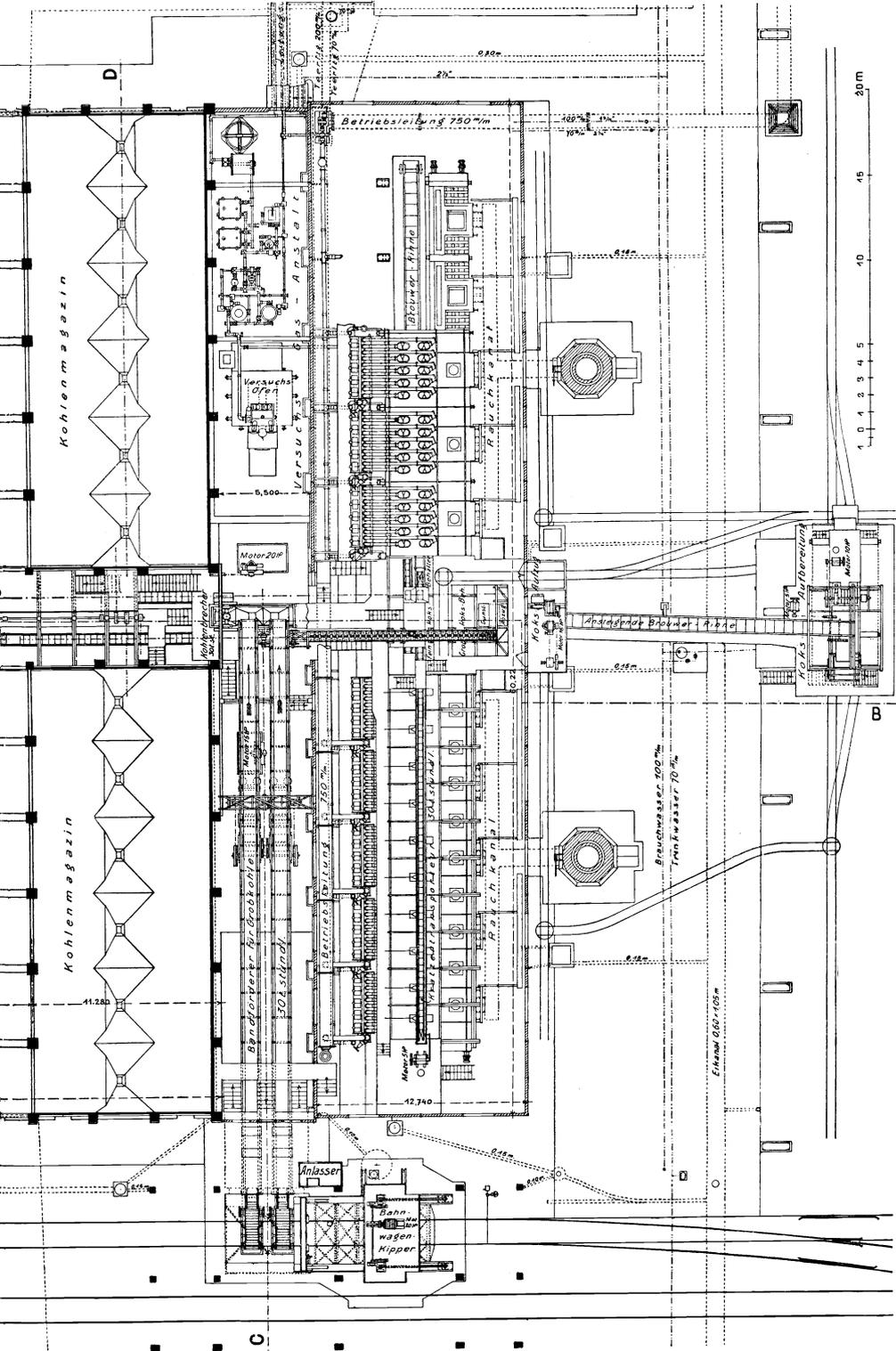
Will man berechnen, welcher Anteil des Gesamtheizwertes der Kohle in Gasform erhältlich ist, so ist zu berücksichtigen, daß die Kohle bei der Entgasung den Koksrückstand unvergast hinterläßt. Von diesem wird dann ein Teil zur Beheizung während der Entgasung verwendet, so daß nur ein geringerer Teil verkäuflich bleibt. Eine normale Gaskohle hinterläßt z. B. etwa 70 Proz. Koksrückstand, wovon etwa 20 Proz. zur Unterfeuerung verbraucht werden, so daß pro 100 kg Kohle etwa 50 kg Koks verkäuflich bleiben.

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. Ver. deutsch. Eisenbahnverwaltungen 1911, S. 224; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1067. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1. — <sup>3)</sup> Körting, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 556; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 385.

Fig. 152.



Strache, Gasbeleuchtung.



Rechnet man nun z. B. eine Ausbeute von  $32 \text{ m}^3$  mit einem Heizwert von 5000 Kal., so werden von 100 kg Kohlen  $32 \times 5000$ , d. i. 160 000 Kal. in Gasform erhalten. Bei den besten der heutigen Methoden erhält man etwa  $34 \text{ m}^3$  mit je 5300 Kal., d. i. 180 000 Kal. pro je 100 kg in Gasform.

Will man den in Gasform erhältlichen Anteil in Prozenten ausdrücken, so erscheinen verschiedene Berechnungsarten möglich. Hat man eine Kohle von 7000 Kal. Heizwert entgast, so würde sich der in Gasform erhältliche Anteil einfach zu  $\frac{160\,000 \times 100}{7000 \times 100}$ , d. i. 23 Proz. berechnen. Berücksichtigt man dagegen den nach Abzug der Unterfeuerung disponibel bleibenden Koks, welcher einen Heizwert von rund  $50 \times 7000$ , d. i. 350 000 Kal. besitzt, und rechnet man die Gewinnung dieses Nebenproduktes ebenfalls als Nutzeffekt, so stellt sich der Nutzeffekt der Entgasung auf  $\frac{160 + 350}{7}$ , das sind 73 Proz.

Bei dieser Berechnung erhält man jedoch einen Nutzeffekt an Heizwert, der nicht dem Nutzeffekt der Entgasung entspricht, weil ja der Heizwert des Koks nicht in Gasform gewonnen wird. Es erscheint deshalb richtiger, den Nutzeffekt eines Vergasungsprozesses in folgender Weise zu berechnen:

Von 100 kg Kohle bleiben 50 kg Koks disponibel. Vergast und verfeuert sind daher 50 kg des Ausgangsmaterials. Als wirklich vergast Material ist also in diesem Falle nur die Hälfte des Gesamtmaterials zu berücksichtigen. Wenn man also 160 000 Kal. als Nutzeffekt in Gasform erhält, so werden diese nicht aus  $7000 \times 100$ , sondern aus  $7000 \times 50$ , d. i. 350 000 Kal. des Ausgangsmaterials erhalten. Der Nutzeffekt in Prozenten beträgt daher  $\frac{160\,000 \times 100}{350\,000}$ , d. i. 46 Proz.<sup>1)</sup> Für den oben erwähnten günstigsten Fall berechnet sich der Nutzeffekt zu  $180 : 3,5$ , d. i. 51 Proz.

Der Nutzeffekt, den eine Vergasungsmethode bietet, ist von um so höherer Bedeutung, als der Heizwert des Brennmaterials in Gasform einen zehnfachen höheren Wert hat als der Heizwert des festen Brennmaterials<sup>2)</sup>.

Die Ausbeute und Qualität des Gases ist mehr von der Qualität der angewendeten Kohle als von der Methode der Entgasung bedingt. Terhaerst<sup>3)</sup> hat gezeigt, daß auch im Großbetriebe dieselbe Kohle bei der gleichen Temperatur auch stets die gleiche Gasausbeute liefert und daß unter dieser Voraussetzung der angewendete Apparat keinen Einfluß auf die Gasausbeute übt.

Man bezeichnet jene Kohlen, welche viel Gas von guter Qualität geben und außerdem einen gut zusammengebackenen Koksrückstand hinterlassen, als Gaskohle. Die Zusammensetzung einiger guter Gaskohlen geht aus nachstehender Tabelle hervor.

Zur Zeit, wo man auf die Leuchtkraft des Gases in der offenen Flamme einen großen Wert legte, verwandte man zur Aufbesserung des Gases vielfach die sogenannten Zusatzkohlen. Diese sind durch eine große Ausbeute an Gas mit einem sehr hohen Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen charakterisiert, während man auf die Qualität des zurückbleibenden Koks keinen Wert legt.

<sup>1)</sup> Vgl. Strache, Rauchplage und Heizgasversorgung; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 216. — <sup>2)</sup> H. Bunte, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 469. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 517 u. 1059.

	Westfäl. Kohle (Konsolidation)	Engl. Kohle (Baldon)	Saarkohle (Heinitz)	Böhm. Kohle (Turn u. Taxis)	Sächs. Bürger- gewerkschaft	Plattkohle
	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.
<b>Chemische Zusammensetzung:</b>						
Kohlenstoff . . . . .	78,94	80,18	77,18	71,97	68,75	67,43
Wasserstoff . . . . .	5,22	5,01	4,97	5,36	4,91	5,98
Sauerstoff . . . . .	7,58	8,46	9,37	10,18	11,05	8,84
Wasser . . . . .	1,64	0,74	2,00	5,61	7,79	3,33
Asche . . . . .	6,62	5,61	6,48	6,88	7,50	14,42
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Gehalt der Rohkohle an Kohlenstoff:</b>						
	91,74	93,65	91,52	87,51	84,71	82,25
<b>Zusammensetzung der Kohlenstoff:</b>						
Kohlenstoff . . . . .	86,04	85,63	84,44	82,24	81,16	81,95
Wasserstoff . . . . .	5,69	5,35	5,43	6,12	5,80	7,27
Sauerstoff . . . . .	8,27	9,02	10,13	11,64	13,04	10,78
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Dieser ist gewöhnlich sehr porös, leicht und kleinstückig. Die Zusammensetzung einiger solcher Zusatzkohlen zeigt die folgende Tabelle.

Chemische Zusammensetzung der gebräuchlichen Zusatzkohlen.

Bezeichnung	Elementar-Zusammensetzung				Verkokung	
	100 Tle. Kohlenstoff enthalten				100 Tle. Kohlenstoff liefern	
	C	H	O	Disp. H	Reinkoks	Flüchtiges
Consolidation Cannel . . .	85,41	6,02	9,62	4,82	58,39	41,61
Böhm. Plattkohlen . . .	79,24	7,46	13,30	5,80	40,68	59,32
Böhm. Braunkohle (Falk) .	77,61	7,80	14,59	6,00	29,64	70,36
Lyne Boghead Cannel . .	84,55	6,63	8,82	5,53	54,15	45,85
Schott. Woodville Boghead	81,87	7,04	11,09	5,65	43,30	56,70
Austral. Shale Boghead .	83,17	10,04	6,79	9,18	17,63	82,37

Zufolge der beinahe ausschließlichen Anwendung des Gasglühlichtes legt man gegenwärtig keinen Wert mehr auf die hohe Leuchtkraft des Gases in offener Flamme. Aus diesem Grunde ist ein hoher Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen im Gase nicht mehr erforderlich, und man ist daher auch in der Wahl der Kohle zur Gaserzeugung freier als früher. Der Begriff „Gaskohle“ ist also heute ein ausgedehnterer als vor einem Jahrzehnt.

Betrachten wir nun das Verhalten der Kohle während des Erhitzens, so ergibt sich folgendes:

Bei 300° beginnt die Kohle zu sintern, bei 400° beginnt die Teerdestillation, bei 500 bis 600° beginnt die Gasentwicklung, bei 800 bis 900° ist die Destillation beendet.

Nach Burgess und Wheeler<sup>1)</sup> besteht die Kohle aus einer aus Zellulose entstandenen Substanz, welche bei der Entgasung hauptsächlich Methankohlenwasserstoffe gibt, und einer aus Harz- oder Gummiarten, welche die Zellulose verkittet haben, entstandenen Substanz, welche beim Erhitzen zunächst einen höheren Kohlenwasserstoff liefert, der sich bei etwa 700 bis 800° zersetzt. Eine wesentliche Stütze erhält diese Ansicht durch eine Arbeit von Erdmann und Schäfer, welche bei trockener Destillation der Zellulose hauptsächlich nur CO, CH<sub>4</sub> und H<sub>2</sub>, aber nur Spuren schwerer Kohlenwasserstoffe erhielten. Dieselben Forscher haben aus 1 g Kohle erhalten:

bei 600° . . . . .	99,0 cm <sup>3</sup> Gas
„ 800° . . . . .	218,0 „ „
„ 1100° . . . . .	327,0 „ „

Von wesentlichem Einfluß auf den Entgasungsprozeß ist natürlich die Temperatur, die während desselben und am Schlusse desselben eingehalten wird. Die Temperatur beeinflusst: 1. die Vollkommenheit der Vergasung des Kokes; 2. die Zersetzung der Teerdämpfe; 3. die Zersetzung der Kohlenwasserstoffe des gebildeten Leuchtgases.

Der Koks wird natürlich um so vollkommener ausgegast sein, je höher die Temperatur war, der er ausgesetzt war, und je länger er in dieser Temperatur verblieb. Jedoch auch bei Anwendung der höchsten Temperatur enthält der Koks stets noch kleine Mengen von Wasserstoff, die kaum ausgetrieben werden können. Noch lange bevor eine annähernd vollkommene Entgasung des Kokes durchgeführt ist, gibt der Koks schon keine schweren Kohlenwasserstoffe mehr ab, sondern er liefert am Schlusse der Entgasung nur mehr Sumpfgas und schließlich nur mehr Wasserstoff. Dieses Verhalten hat Parker<sup>2)</sup> veranlaßt, einen hochwertigen rauchlosen Brennstoff dadurch zu erzeugen, daß er die Destillation nur so lange fortsetzt, bis keine mit leuchtender Flamme brennende Kohlenwasserstoffe mehr entweichen, und dann die Entgasung durch Einleiten von Dampf plötzlich unterbricht.

Die Zersetzung der Teerdämpfe bei höherer Temperatur ist bisher noch sehr wenig untersucht. Es hat sich jedoch erwiesen, daß bei langsamer und gleichmäßiger Erwärmung der Kohle ein leichter, dünnflüssiger Teer entsteht, der keinen oder nur geringe Mengen von Kohlenstoff und ebenso kein Naphtalin enthält, während bei allen jenen Methoden der Gaserzeugung, bei denen die Teerdämpfe über hoch erhitze Flächen streichen, was bei allen heute praktisch angewendeten Entgasungsmethoden der Fall ist, ein zähflüssiger, viel Kohlenstoff und Naphtalin enthaltender Teer entsteht. Es ist also zweifellos, daß die zunächst entstehenden Teerdämpfe eine pyrogene Zersetzung erfahren, die um so weiter geht, je höher die angewendete Temperatur ist. Läßt man die Teerdämpfe genügend lange Zeit in sehr hohen Temperaturen (etwa 1000 bis 1100°), so tritt eine vollständige Zerlegung unter Abspaltung von Kohlenstoff ein, indem vornehmlich Wasserstoff und bei etwas niedrigeren Temperaturen auch Sumpfgas gebildet wird. Allerdings herrschen derart hohe Temperaturen auch in den Retorten und Kammeröfen unserer Gaswerke. Aber nicht die ganze Menge der Teerdämpfe wird diesen hohen Temperaturen ausgesetzt, und

<sup>1)</sup> Journ. of Gaslighting 1911, S. 25; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 255; ferner Journ. of the chem. Soc., Bd. 49, S. 649; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 535. — <sup>2)</sup> D. R.-P. Nr. 195 316; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 981.

sie bleiben auch nicht lange genug an diesen heißesten Stellen, um eine so vollständige Zersetzung zu erfahren. Es treten daher Zwischenprodukte auf, welche den zum Teil noch vorhandenen dünnen Teer durch zähflüssige hochmolekulare Produkte und durch Kohlenstoff verunreinigen. Der in unseren Gaswerken gewonnene Teer unterscheidet sich deshalb ganz wesentlich von jenem dünnen Teer, der bei geringer Temperatur gewonnen werden kann. Der letztere liefert umgekehrt, wenn man ihn auf höhere Temperaturen erhitzt, beträchtliche Mengen von Gas unter Bildung schwerer flüchtiger, schmieriger Produkte. Der Vorgang der Entgasung der Kohlen im großen ist also kein sehr einfacher. Zunächst gelangt die Kohle auf eine verhältnismäßig geringe Temperatur, bei welcher jene primären Teerdämpfe entstehen. Diese zersetzen sich dann an den heißen Flächen des bereits entgasten Kokes und an den Retortenwandungen teilweise und in verschiedenem Grade, wobei neue Mengen von Gas und die pyrogenen Zersetzungsprodukte des Teeres, besonders auch Naphtalin, entstehen. Eine gleichmäßige Erwärmung der Kohle auf geringe Temperatur gibt deshalb eine große Menge dünnflüssigen Teeres und wenig Gas, während die ungleichmäßige Erhitzung auf hohe Temperaturen eine weit größere Gasmenge, dagegen weniger und dicken Teer ergibt.

Der Einfluß der Temperatur auf die Kohlenwasserstoffe des erzeugten Gases ist ein ähnlicher, wie wir dies bei den Teerdämpfen besprochen haben. Auch die Kohlenwasserstoffe des Gases werden durch hohe Temperaturen

Paraffinreihe: $C_n H_{2n+2}$	Olefinreihe: $C_n H_{2n}$
Hexan . . . . . $C_6 H_{14}$	—
Pentan . . . . . $C_5 H_{12}$	—
Butan . . . . . $C_4 H_{10}$	—
Propan . . . . . $C_3 H_8$	—
Äthan . . . . . $C_2 H_6$	Propylen . . . . . $C_3 H_6$
Methan . . . . . —	Äthylen . . . . . $C_2 H_4$
(Sumpfgas) . . . . $CH_4$	—

unter Abspaltung von Kohlenstoff zersetzt. Während jedoch die Zersetzung der Teerdämpfe eine Vermehrung nicht nur der Gasmenge, sondern auch des im Gase erzielten Gesamtheizwertes ergibt, ist die Zersetzung der bereits in Gasform vorhandenen Kohlenwasserstoffe unwirtschaftlich, weil dadurch ein Teil des erzielten Heizwertes im Gase durch Abscheidung von Kohlenstoff wieder verloren geht. Die Menge des Gases nimmt dabei zwar auch im allgemeinen zu, doch sinkt das Produkt aus Menge und Heizwert, auf welches es ja schließlich ankommt.

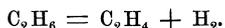
Die pyrogene Zersetzung der Kohlenwasserstoffe ist in letzter Zeit von Bone<sup>1)</sup> ausführlich untersucht worden. Früher hatte man angenommen, daß sich dieselben zunächst in Acetylen verwandeln und daß sich dieses dann erst in Wasserstoff und Kohlenstoff spaltet. Dies hat sich jedoch nicht als richtig erwiesen.

Als gasförmige Kohlenwasserstoffe kommen hauptsächlich die niedrigeren Kohlenwasserstoffe der Paraffinreihe von der Formel:  $C_n H_{2n+2}$  und die

<sup>1)</sup> Journ. of Gaslighting 1908; Gas World 1908; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 803.

sogenannten ungesättigten Kohlenwasserstoffe der Olefinreihe von der Formel:  $C_nH_{2n}$  in Betracht. Es treten dabei nur Kohlenwasserstoffe auf, welche weniger als 6 Atome Kohlenstoff im Molekül enthalten, da die höheren bei gewöhnlicher Temperatur nicht mehr gasförmig sind. Wir haben daher die folgenden Kohlenwasserstoffe zu berücksichtigen (s. nebenstehende Tabelle).

Nach den Untersuchungen Bones zerfällt das Hexan bei 600 bis 800° in niederere Kohlenwasserstoffe, ohne dabei Acetylen abzuspalten<sup>1)</sup>. Äthan spaltet sich in Äthylen und Wasserstoff nach der Formel:

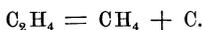


Bei weiterer Erwärmung tritt eine weitere Zerlegung ein in Methan, Kohlenstoff und Wasserstoff nach der Formel:



Aus einem Molekül Äthan entstehen also im ersteren Falle ein Molekül Äthylen und ein Molekül Wasserstoff. Das Volumen der Zersetzungsprodukte verdoppelt sich daher. Ebenso tritt eine Verdoppelung des Volumens im zweiten Falle ein, wo ein Molekül Methan neben einem Molekül Wasserstoff entsteht, während sich Kohlenstoff in fester Form abscheidet, also auf das Volumen des Gasgemisches keinen Einfluß hat. Bone hat gefunden, daß etwas mehr Methan entsteht, als der obigen Formel entspricht. Dies ist wahrscheinlich auf die Bildung von Methan aus Kohlenstoff und Wasserstoff nach der allerdings nur im geringen Maße auftretenden Methansynthese zurückzuführen.

Das Äthylen gibt beim Erhitzen bei 577° beträchtliche Mengen von Teer und auch etwas Acetylen, aber keine Abscheidung von Kohlenstoff. Bei 800° zerfällt das Äthylen in Methan und Kohlenstoff nach der Formel:



Acetylen erfährt beim Erwärmen bei 600 bis 700° zunächst nicht eine Zerlegung, sondern es vereinigen sich mehrere Moleküle zu schwerer flüchtigen Produkten von höherem Molekulargewicht. Man nennt dies „Polymerisation“, und zwar werden 65 Proz. des Acetylens auf diese Weise verändert, während sich 35 Proz. in Methan zersetzen.

Aus obigem geht hervor, daß die Kohle durch die Entgasung bei verhältnismäßig geringer Temperatur, wie schon erwähnt, eine größere Menge von Teer mit geringem Kohlenstoffgehalt liefern muß. Tatsächlich erhielt Börnstein<sup>2)</sup> bei Destillation der Kohle bei geringer Temperatur einen klaren braunen Teer, der leichter als Wasser war, und naturgemäß gleichzeitig ein Gas von höherem Gehalt an Kohlenwasserstoffen und von geringerem Wasserstoffgehalt als bei der Entgasung in Retorten im großen.

Bei der Destillation der Kohle im Vakuum verläuft dieselbe nach den Untersuchungen von Amé Pictet und Ramseyer<sup>3)</sup> schon bei 450°. Es wurde dabei ein Öl erhalten, dessen verschiedene Fraktionen alle das gleiche Verhältnis zwischen C und H zeigten, nämlich 13:16. Es wurde im wesentlichen als Hexahydrofluoren erkannt. Nach Mitteilungen Simpsons<sup>4)</sup> hat das Tailless Fuel Syndicate in Battersea auch Versuche der Entgasung

<sup>1)</sup> Vgl. auch Haber, Journ. f. Gasbel. 1896, S. 377. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1906, S. 667. — <sup>3)</sup> Ber. d. Deutsch. chem. Ges. 1911, S. 2486; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1239. — <sup>4)</sup> The Eng. 1910, S. 230; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 258.

im Vakuum im großen angestellt und dabei eine erhöhte Ausbeute an Nebenprodukten bei kurzer Ausstezeit ( $2\frac{1}{4}$  Stunden) erhalten.

Die Verbrennungswärme des bei der Entgasung der Kohle zurückbleibenden Kokes ist wesentlich nur von dem Aschengehalt der Kohle bedingt, da ja der Koks ohne Rücksicht auf den Aschengehalt nur aus Kohlenstoff mit geringen Mengen Wasserstoff und Stickstoff besteht. Die letzteren beiden Elemente sind in ungefähr immer gleichbleibenden Mengen vorhanden, so daß die Zusammensetzung des Reinkokes wenigstens insofern als konstant angenommen werden kann, daß derselbe stets die gleiche Verbrennungswärme besitzt<sup>1)</sup>. Die Zusammensetzung des Reinkokes, d. h. des aschenfreien Kokes, wird wohl von der Temperatur und der Dauer der Entgasung beeinflußt, nicht aber von der Zusammensetzung der Kohle.

Die für die Praxis maßgebliche Qualität des Kokes ist nicht von der Zusammensetzung des letzteren bedingt, sondern von der Art, wie der Koks entstanden ist. Das Zusammenbacken der Kohleteilchen, welches die Koksbildung bewirkt, erfolgt durch die Zersetzung der Teerdämpfe. Die Härte des Kokes wird deshalb bedingt durch das Auftreten einer größeren Menge von Teer während der Entgasung und durch Überhitzung dieses Teers. Der Koks wird um so härter, je größer die Backfähigkeit der angewendeten Kohle ist, die eben durch die genannten Umstände bedingt ist. Die physikalischen Eigenschaften, welche die Qualität des Kokes bestimmen, nämlich die Härte und das spezifische Gewicht, hängen also in erster Linie von der Art der verwendeten Kohle, in zweiter Linie von der Art der Entgasung ab.

Die Zusammensetzung des gewonnenen Gases ist im wesentlichen von der Art der Kohle abhängig. Sie geht parallel mit der Menge des gewinnbaren Gases. Je größer die Gasausbeute, die aus einer Kohle erhältlich ist, desto mehr Kohlensäure, schwere Kohlenwasserstoffe, Kohlenoxyd und Methan, desto weniger Wasserstoff enthält das erzeugte Gas.

Ob zur Entgasung der Kohle ohne Rücksicht auf die Austreibung der Zersetzungsprodukte eine bestimmte Wärmemenge erforderlich ist, ist noch nicht mit Sicherheit festgestellt. Die bei der trockenen Destillation erhaltenen Produkte: Koks, Gas, Teer ergeben, wenn man deren Verbrennung einzeln berechnet, in Summe etwa die gleiche Verbrennungswärme wie die angewendete Kohle. In der nachstehenden Tabelle ist eine auf diese Art gewonnene Wärmebilanz nach Mahler wiedergegeben. Die Summe der Verbrennungswärme der einzelnen Destillationsprodukte bleibt danach etwas unter der Verbrennungswärme der angewendeten Kohle zurück. Dies kann allerdings daher rühren, daß bei den betreffenden Versuchen unvermeidliche Verluste eintraten, welche dieses Minus bewirken. Sollte sich jedoch herausstellen, daß diese Summe auch bei Vermeidung aller dieser Verluste kleiner ausfällt, so würde daraus hervorgehen, daß zur Entgasung der Kohle nicht Wärme erforderlich ist, sondern daß umgekehrt die Zersetzung der Kohlensubstanz mit Wärmelieferung verbunden ist. Genauere Untersuchungen hierüber sind noch nicht ausgeführt.

Natürlich ist mit der Wärmemenge nicht die Temperatur zu verwechseln. Wenn auch keine Wärmemenge zur Entgasung der Kohle erforderlich ist, so ist doch deren Erhitzung auf eine bestimmte Temperatur notwendig. Die

<sup>1)</sup> Constam und Kolbe, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 669.

	Beobachteter Heizwert (pro 1 kg) WE	100 kg Kohle ergaben bei der Destillation	Verbrennungs- wärme der Destillations- produkte WE	Prozente des Heizwertes der Kohle
Rohkohle . . . . .	7423,2	100	742 326	100
Koks . . . . .	7019,4	65,66	460 894	62,1
Teer . . . . .	8797	7,51	66 066	8,9
Gas (trocken) . . . . .	11111,0	17,09	189 887	25,6
Ammoniakwasser . . . . .	—	9,36	—	—
Summa . .		99,62	716 847	96,6
Verlust . .			25 479	3,4

Destillation der Kohle ist wie das Sieden einer Flüssigkeit an eine bestimmte Temperatur gebunden, die für jede Kohle charakteristisch ist und im allgemeinen bei 700 bis 800°, bei stark bituminöser Kohle bei 900° und bei Anthrazit bei 1100° liegt<sup>1)</sup>. Außerdem benötigt auch das Austreiben der Zersetzungsprodukte aus der Kohle, besonders die Überführung des Teers in Dampfform, eine gewisse Wärmemenge. Diese wird jedoch bei der Kondensation des Teers und Wasserdampfes wieder gewonnen und findet sich zum Teil auch in der fühlbaren Wärme des Gases, ist also nicht auf Rechnung des eigentlichen Zersetzungsprozesses zu schieben.

Die Produkte, welche bei der Entgasung der Kohle entstehen, hängen nach obigem in ihrer Qualität und Quantität von der Zusammensetzung der angewendeten Kohle ab. Es läßt sich jedoch aus der elementaren Zusammensetzung der Kohle nach ihrem C-, H- und O-Gehalt nicht ohne weiteres ein Schluß auf die zu erzielenden Produkte ziehen. Nur der Sauerstoffgehalt gibt wichtigere Anhaltspunkte. Mit Zunahme des Sauerstoffs in der Kohle nimmt die erzielbare Koks menge und Gasmenge ab, während die Bildung von Teer zunimmt und auch dickerer Teer entsteht<sup>2)</sup>. Auch die Menge des Ammoniakwassers nimmt naturgemäß zu. Constam und Schläpfer<sup>3)</sup> haben eine Reihe verschiedener Steinkohlentypen bei verhältnismäßig geringer Temperatur von 700 bis 820° im kleinen Laboratoriumsapparat entgast und diese Resultate bestätigt gefunden, die übrigens auch schon von Bunte, St. Claire-Deville und anderen angegeben worden sind<sup>4)</sup>.

Zufolge der größeren Menge an Kondensationsprodukten ist natürlich für die Entgasung einer sauerstoffreicheren Kohle auch ein größerer Wärmefwand erforderlich, ohne daß damit gesagt wäre, daß eine solche Kohle eine gewisse Wärmemenge für die Zersetzung verbraucht.

Über den Vorgang der Verkokung in großen Entgasungsräumen (Retorten oder Kammern) ist man sich lange Zeit nicht vollkommen klar gewesen, auch heute sind die Meinungen hierüber noch geteilt. In sehr anschaulicher Weise schildert Peters<sup>5)</sup> den Vorgang der Verkokung in großen Kammern.

Die Entgasung findet zunächst an der Stelle statt, wo die frisch eingebrachte Kohle die glühende Kammerwand berührt. Die entstehenden De-

<sup>1)</sup> Burgess und Wheeler, Proc. Chem. Soc. 1910, S. 210; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 606. — <sup>2)</sup> Peters, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 1114. — <sup>3)</sup> Constam und Schläpfer, Ebend. 1906, S. 741. — <sup>4)</sup> Vgl. auch Constam und Kolbe, Ebend. 1908, S. 669 und Kolbe, Inaug.-Diss. Zürich 1908. — <sup>5)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 1114.

stillationsprodukte kondensieren sich an den weiter innen liegenden kalten Kohlenstücken und es bildet sich eine 3 bis 5 cm dicke zusammenhängende Schicht, welche gegen das beim weiteren Fortschreiten der Verkokung entstehende Gas nahezu undurchlässig ist. Beim weiteren Fortschreiten der Erhitzung nach innen entweicht das Gas gegen außen zu und streicht nahe der Wand der Entgasungskammer in die Höhe, um die Kammer zu verlassen. Hier tritt eine weitere Zersetzung der Kohlenwasserstoffe des Gases ein unter Abscheidung von Kohlenstoff, der sich in Form von Graphit an der glühenden Wand ablagert. Der Teer destilliert bei der fortschreitenden Erhitzung stets weiter nach innen und macht bei jedesmaliger Destillation einen Zersetzungsprozeß durch, indem er Kohlenstoff ausscheidet, welcher die einzelnen Kohleteilchen verkittet und so einen großstückigen harten Koks liefert. Ebenso wie der Teer geht natürlich auch der bei der Destillation entweichende Wasserdampf nach innen und kondensiert sich dort. Der Wasserdampf besorgt eine stete Kühllhaltung der Kohlenstücke, welche im Inneren der Kammer liegen, und diese verhältnismäßig kalten Kohlenstücke sind stets in der Lage, die später eintretenden Teerdämpfe zu kondensieren. Es ist daher in Kokereien gebräuchlich, eine Kohle, die eine geringere Backfähigkeit besitzt, anzufeuchten, was eine stärkere Kühlung der inneren Teile der Kammer zur Folge hat. Je öfter der Teer der Destillation unterworfen wird, desto mehr zersetzt er sich, und desto mehr Koks und Gas wird aus demselben gewonnen. Der oben geschilderte Vorgang hat also eine reichere Koks- und Gasausbeute zur Folge. Das Aussehen des einer Kammer entnommenen Koks bestätigt die Richtigkeit der obigen Schilderung, denn der Koks besitzt eine stengelartige Struktur, welche durch die vielen Kanäle gebildet wird, die sich das Gas schafft, um aus dem Inneren nach außen zu dringen.

Bei anderer Lage der Entgasungsräume, wie dies bei horizontalen oder geneigten Retorten der Fall ist, ist der Vorgang wohl ein etwas anderer, auch können bei kleinen Entgasungsräumen sich keine zusammenhängenden gasundurchlässigen Flächen bilden, aber immerhin wird auch bei diesen der innen liegende Teil der Kohle erst viel später geheizt als der in der Nähe der Retortenwand befindliche, so daß auch dort der Vorgang der Teerkondensation im Inneren und der Überhitzung des Gases an den Retortenwänden stattfinden muß.

Bueb<sup>1)</sup> hat zwar nachgewiesen, daß Steinkohlengas beim Hindurchleiten durch ein glühendes Koksstück schon bei 500<sup>0</sup> teilweise zersetzt wird, indem die schweren Kohlenwasserstoffe von 3,1 Proz. auf 2,5 Proz. zurückgingen und bei 900<sup>0</sup> sogar eine Zersetzung der letzteren bis auf 0,4 Proz. stattfand und daß auch der Sumpfgasgehalt bei 900<sup>0</sup> von 33,8 auf 23,5 herabgesetzt wurde, wobei sich gleichzeitig Naphtalin bildete. Er schließt hieraus und aus der Tatsache, daß die Kohlenwasserstoffe in Vertikalretorten nicht zersetzt werden, daß die obige Schilderung Peters für die Vertikalretorten nicht zutrifft. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß die Bedingungen, unter welchen Bueb den Versuch ausführte, nicht auf die Entgasung in Vertikalretorten passen; da bei letzteren das Gas nicht durch die Poren des Koksstückes hindurchgetrieben wird, wie beim Buebschen Versuche, sondern durch die Zwischenräume zwischen den Koksstücken entweicht, so daß die Zersetzung der Kohlen-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 685; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 482.

wasserstoffe lange nicht in dem Maße stattfindet, wie beim Buebschen Versuch. Überdies verweist Ott<sup>1)</sup> darauf, daß auch in Vertikalöfen eine teilweise Zersetzung des Gases stattfinden müsse, weil in diesem ja eine höhere Koks- ausbeute und ein ärmeres Gas erhalten werde als in horizontalen oder geneigten Retorten.

Um einen Anhaltspunkt über die Wirtschaftlichkeit der Anwendung einer bestimmten Kohlsorte oder eines bestimmten Entgasungsprozesses zu erhalten, bildet man die Wertzahl der Entgasung (S. 290), indem man die erhaltene Gasmenge mit dem Heizwert des Gases multipliziert. Früher, als noch der Leuchtwert des Gases maßgeblich war, bildete man die Wertzahl durch Multiplikation der erhaltenen Kubikmeter pro 100 kg Kohle mit dem Leuchtwert des Gases in Kerzen und Division durch 150. Nachstehend ist eine Tabelle dieser Leuchtwertzahlen wiedergegeben<sup>2)</sup>. Die Wertzahl ist hierbei durch 150 geteilt, weil die Leuchtkraft bei einem Stundenkonsum von 150 Liter erzielt wurde.

100 kg Kohle ergaben	m <sup>3</sup>	Leuchtkraft HK	Wertzahl
bei Dunkelrotglut . . . .	23,3	20,5	18,51
„ Hellrotglut . . . . .	27,5	17,8	32,26
„ Orangeglut . . . . .	34,0	15,6	35,40

Heute ist, wie wiederholt erwähnt, die Leuchtkraft des Gases für dessen Bewertung nicht mehr maßgeblich. Man bestimmt daher jetzt die Wertzahl durch Multiplikation der Gasmenge mit dem Heizwert des Gases. Um nun die beiden genannten Wertzahlen zu unterscheiden, ist es zweckmäßig, jeweils den vollen Namen, „Leuchtwertzahl“ oder „Heizwertzahl“, zu gebrauchen.

Die Bestimmung der Heizwertzahl wurde bisher stets nur benutzt, um das Gesamtergebn einer im großen vorgenommenen Entgasung zu kennzeichnen. Die auf S. 281 angegebene Methode der Kohlenuntersuchung gestattet jedoch, die Heizwertzahl für eine bestimmte Kohle ohne Rücksicht auf die angewendete Entgasungsmethode zu bestimmen. Man muß jedoch dabei berücksichtigen, daß diese Heizwertzahl ohne Zersetzung der Teerdämpfe erzielt wird. Eine abgeänderte Methode, bei der die Teerdämpfe vollkommen zersetzt werden, ist seitens des Verfassers in Ausarbeitung. Es werden somit für jede Kohle zweierlei Wertzahlen betreffs ihres Entgasungswertes anzugeben sein, die wir ähnlich wie bei der Verbrennungswärme als obere und untere Heizwertzahl der Entgasung bezeichnen können. Die in der Praxis erhaltenen Zahlen werden dann, ohne Rücksicht auf etwaige Verluste, in der Mitte zwischen beiden Zahlen liegen, und ein Entgasungsprozeß wird als um so günstiger zu betrachten sein, je mehr sich die dabei erhaltene Wertzahl der oberen Gasheizwertzahl der Kohle nähert. Die Vollkommenheit eines Entgasungsvorganges kann dann direkt in Prozenten angegeben werden.

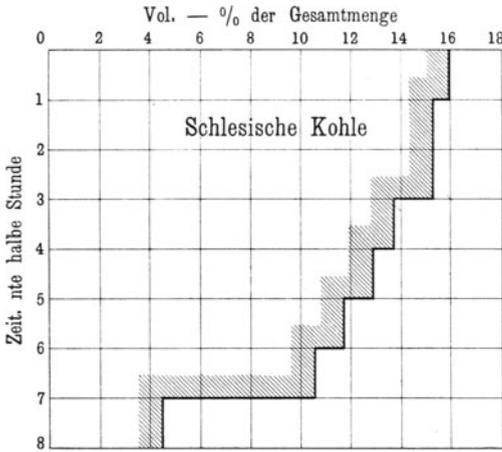
Die Art der entgasten Kohle ist auch von Einfluß auf die Dauer der Entgasung<sup>3)</sup>. Manche Kohlen sind in gewöhnlichen Gasretorten bereits in 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Stunden vollständig entgast, während andere 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub> bis 6 Stunden zur Entgasung benötigen. Die älteren Kohlen gasen am langsamsten. Die Dauer

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 621. — <sup>2)</sup> Aus „Zum Gaskursus“, München 1906, Oldenbourg. — <sup>3)</sup> K. Bunte, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 777.

der Entgasung ist wohl hauptsächlich durch das Wärmeleitungsvermögen der Kohle und durch die Menge der Destillationsprodukte bestimmt.

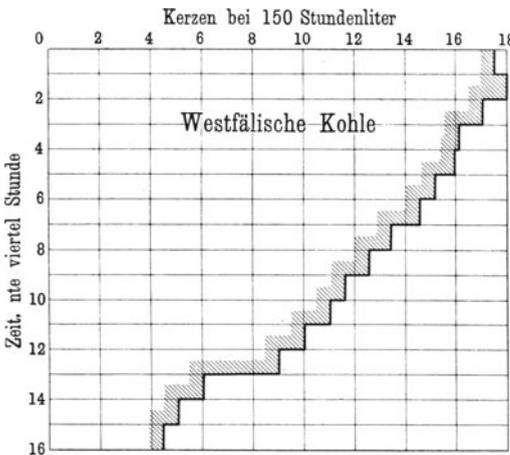
Kleinkörnige Kohle gibt im allgemeinen weniger Gas als Stückkohle. Auch dies mag damit zusammenhängen, daß bei der Entgasung der Stückkohle höhere Temperaturdifferenzen vorliegen als bei der Entgasung von Kleinkohle, und daß daher bei ersterer die Teerdämpfe vollkommener zersetzt werden.

Fig. 154.



Verlauf der Gasentwicklung.

Fig. 155.



Veränderung der Leuchtkraft.

Zerkleinerte Kohle liefert im allgemeinen besseren Koks, ebenso wird durch die Anwendung einer höheren Temperatur der Koks verbessert. Beides ist wieder auf die stärkere Zersetzung der Teerdämpfe bei höherer bzw. ungleichmäßiger Temperatur zurückzuführen. Wenn jedoch zerkleinerte Kohle einen besseren Koks gibt, so trifft dies nicht für eine Kohle zu, welche schon kleinstückig angeliefert ist. Eine solche hat nämlich gewöhnlich einen höheren Aschengehalt als Stückkohle, und außerdem wirkt die Verwitterung der Oberfläche, die bei kleinstückiger Kohle einen größeren Einfluß hat, nachteilig auf die Koksbildung, denn lange an der Luft abgelagerte Kohle hat ein geringeres Backvermögen als frische. Ebenso wird auch die Gasausbeute zufolge der Sauerstoffaufnahme der Kohle beim Lagern verringert.

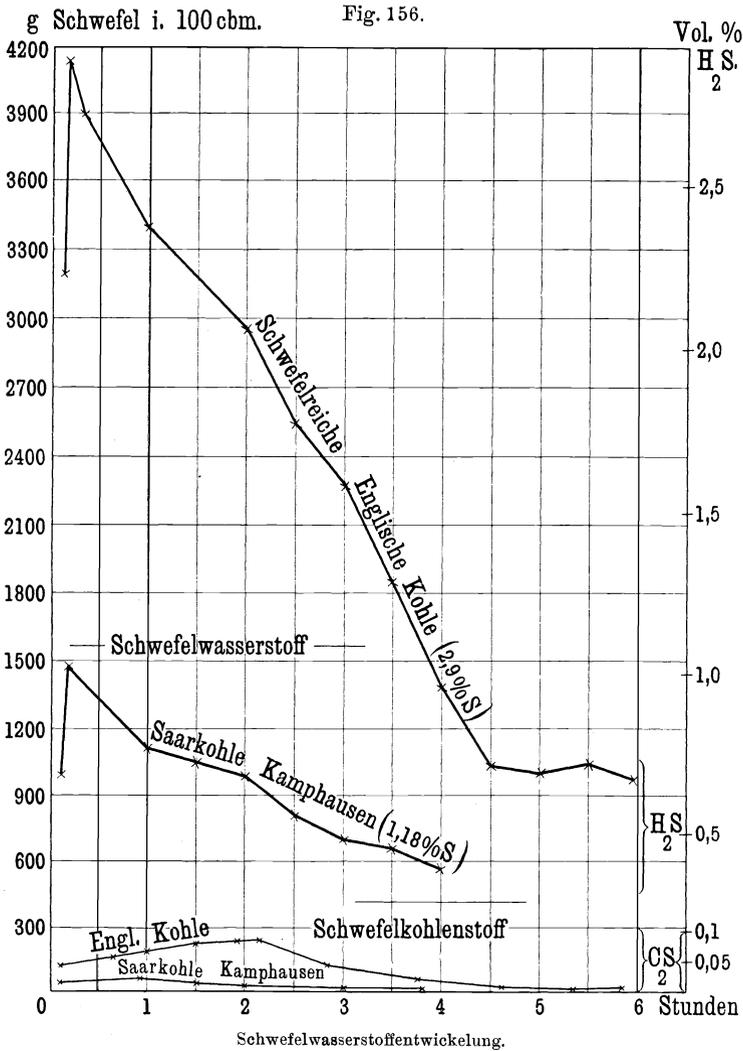
Nach Mahler kann man abgelagerte Kohle daran erkennen, daß sie beim Übergießen mit Kalilauge eine Braunfärbung ergibt, was bei frischer Kohle nicht der Fall ist.

Auch die Füllung der Retorten ist von wesentlichem Einfluß auf den Entgasungsprozeß. Es spielen hier wieder dieselben Umstände der Teerdampfzer-

setzung eine Rolle, die oben beschrieben sind. Füllt man die Retorten nur teilweise, so bleiben die Destillationsprodukte lange Zeit in der Retorte, einerseits weil die pro Zeiteinheit entstehende Gasmenge geringer ist, andererseits weil der in der Retorte vorhandene freie Raum größer ist. In diesem freien Raume stehen die Destillationsprodukte lange Zeit in Berührung mit den hoch erhitzten Retortenwänden. Die Folge ist eine weitreichende Zer-

setzung der Teerdämpfe unter Abscheidung von Kohlenstoff, was einen dicken Teer und Steigerrohrverstopfungen bewirkt. Aber auch die Kohlenwasserstoffe des Gases werden hier zersetzt, wobei sich Graphit an den Retortenwandungen abscheidet.

Mit Rücksicht auf diese Umstände darf bei kleinen Füllungen keine zu hohe Temperatur angewendet werden <sup>1)</sup>, und dies hat wieder eine geringe Gas-



ausbeute zur Folge. In allen modern betriebenen Gaswerken sucht man daher die Füllung der Retorten möglichst zu vergrößern, um eine hohe Temperatur verwenden zu können, die den Koks möglichst vollkommen entgast, ohne dabei das Gas oder die Teerdämpfe so weitreichend zu zersetzen, daß durch den abgeschiedenen Kohlenstoff die oben genannten Schwierigkeiten der Teerverdickung eintreten.

<sup>1)</sup> Körtling, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1.

Nach Körting sollen die Retortenwandungen ein Maximum der Heizflächen darstellen, was zur Folge hat, daß mit einem geringeren Temperaturgefälle von außen nach innen gearbeitet werden kann und alle Teile der Retorte und des Inhaltes jene Temperatur annehmen können, die für die Entgasung am günstigsten ist, nämlich eine solche Temperatur, bei der die Teerdämpfe so weit zersetzt werden, daß viel Gas gewonnen wird, ohne jedoch bis zur Abscheidung von Kohlenstoff zu gehen, so daß noch ein dünnflüssiger Teer erhalten wird.

Der Verlauf der Gasentwicklung und die Ergebnisse der Entgasung verschiedener deutscher Gaskohlen ebenso wie die Leuchtkraft, der Kohlen säure- und Schwefelgehalt <sup>1)</sup> des Gases in den verschiedenen Perioden der Entgasung ist der nachstehenden Tabelle und den Diagrammen Fig. 154 bis 156 zu entnehmen <sup>2)</sup>.

Entgasungsergebnisse deutscher Gaskohlen.

Es wurden erhalten aus 100 kg	Gas cbm	Leuchtkraft 150 Liter pro Stunde		Koks kg	Teer kg	Gas- wasser kg	Leucht- gas kg	Verlust kg	Tempe- ratur im Ofen ° C
		D. V. K.	HK						
Westfälische Kohle	30,3	13,17	15,80	71,4	4,09	4,44	16,95	3,12	1370
Saarkohle . . . . .	30,2	12,09	14,50	68,3	5,33	6,90	17,71	1,76	1250
Böhmische Schwarz- kohle . . . . .	28,5	12,00	14,40	63,3	5,79	9,06	18,52	3,33	1300
Zwickauerkohle . . .	25,5	12,04	14,45	62,7	5,22	11,89	15,81	4,38	1210
Plattelnkohle . . . .	30,4	21,38	25,66	56,3	8,81	6,45	25,72	2,72	1270

Wichtigste Bestandteile des Steinkohlenleuchtgases.

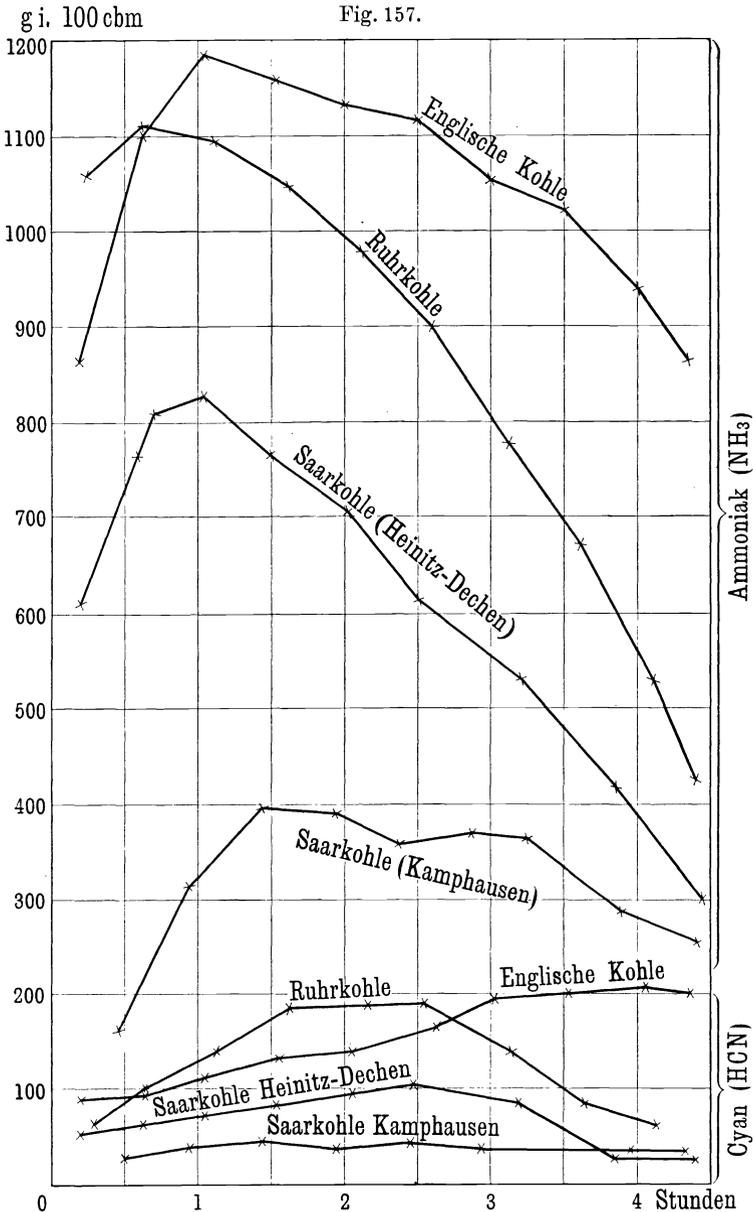
Bestandteile des Leuchtgases	Volum- prozente	Gewichts- prozente	1 cbm Gas enthält g	100 kg Kohle geben 30 cbm Gas mit kg
Wasserstoff H <sub>2</sub> . . . . .	49	8,2	44	1,32
Methan CH <sub>4</sub> . . . . .	34	45,3	243	7,29
Kohlenoxyd CO . . . . .	8	18,7	100	3,00
Äthylen, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (Propylen, Acetylen) . . . . .	4	9,3	50	1,50
Benzol C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (Toluol) . . .	1	6,5	35	1,05
Kohlensäure . . . . .	2	7,3	39	1,17
Stickstoff . . . . .	2	4,7	25	0,75
	100,0	100,0	536	16,08

(Spezifisches Gewicht des Gases: 0,41.)

Der Verlauf der Ammoniak- und Cyanentwicklung während der Entgasung der Kohle ist aus dem Diagramm Fig. 157 ersichtlich <sup>2)</sup>. Der Ammoniakgehalt steigt entsprechend dem Fortschreiten der Erwärmung im Inneren der

<sup>1)</sup> Über die Entwicklung des Schwefelkohlenstoffs im Laufe der Entgasung siehe Journ. f. Gasbel. 1910, S. 836. Die Bildungswärme des CS<sub>2</sub> beträgt 12500 Kal. — <sup>2)</sup> Aus „Zum Gaskursus“, München 1906, S. 7, 12, 13 u. 15.

Retorte innerhalb der ersten Stunde auf ein Maximum; er fällt dann im weiteren Verlaufe der Entgasung rasch ab. Dies rührt zum Teil daher, daß sich das Ammoniak bei hoher Temperatur zersetzt und daß die ammoniak-

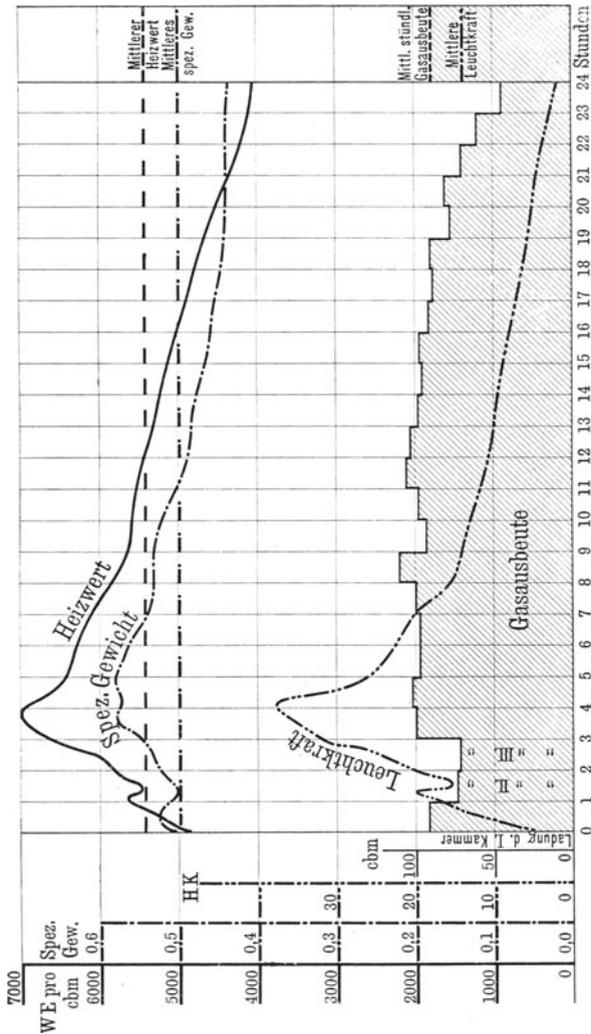


abgebenden anorganischen Substanzen der Kohle im Laufe der Entgasung allmählich abnehmen. Die Zersetzung des Ammoniaks durch Hitze ist allerdings glücklicherweise eine langsame. Nach Mayer und Altmayer<sup>1)</sup> wirken besonders glühende Flächen zerstörend auf das Ammoniak. Würde man das

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1907, S. 27.

Ammoniak sehr lange Zeit mit glühenden Oberflächen in Berührung lassen, so würde sich ein beträchtlicher Teil desselben zerlegen. Da jedoch die Geschwindigkeit des Ammoniakzerfalles eine sehr geringe ist, so kann man das Ammoniak vor Zerstörung bewahren, indem man es rasch aus dem Entgasungsraum abführt. Die Ammoniakausbeute ist daher eine höhere, wenn

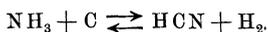
Fig. 158.



man Dampf oder ein fremdes Gas während der Entgasung durch die Kohle hindurchleitet. Auf dieser Erscheinung beruht die hohe Ammoniakausbeute, welche beim Mondgas erzielt wird, da hierbei während der Entgasung der Kohle in Generatoren eine große Dampfmenge eingeblasen wird, welche die entstehenden Gase rasch aus der heißen Zone abführt.

Der Cyangehalt steigt, wie aus dem gleichen Diagramm ersichtlich ist, langsamer als der Ammoniakgehalt an. Das Cyan zeigt bei höherer Tem-

peratur eine weit größere Beständigkeit als das Ammoniak, ja es bildet sich sogar mit Vorliebe bei höherer Temperatur gemäß der umkehrbaren Reaktion:



Bis zu 1000° wird Cyanwasserstoff noch kaum zerlegt, bei höherer Temperatur wird er rasch zersetzt<sup>1)</sup>. Der Abfall gegen das Ende der Entgasung rührt nur daher, daß jene Stoffe, welche bei der Zerlegung Cyan bilden, allmählich abnehmen.

In dem Koksrückstande bleibt eine große Menge des Stickstoffs unvergasbar zurück. Die Verteilung des Stickstoffgehaltes der Kohle bei der Destillation geht aus nachfolgender Tabelle hervor:

Verteilung des Stickstoffs (1,5 Proz. N) bei Destillation von:

	Westfälischer Kohle Proz.	Saarkohle Proz.
im Koks . . . . .	35	63
„ Gas . . . . .	48	17
„ Ammoniak (NH <sub>3</sub> ) . . . . .	14	16
„ Cyan . . . . .	1,8	2,0
„ Teer . . . . .	1,2	2,0

Das Diagramm Fig. 158 zeigt die Veränderungen in der Qualität des Gases im Laufe der Gaserzeugung. Sowohl der Heizwert wie auch die Leuchtkraft des Gases steigen bei Beginn der Destillation rasch an, indem sich zunächst große Mengen von Kohlenwasserstoffen entwickeln. Da diese ein hohes Molekulargewicht haben, so steigt auch das spezifische Gewicht dementsprechend an. Im weiteren Verlaufe der Entgasung sinken dann alle drei Werte beträchtlich herab, da, wie schon bemerkt, später keine schweren Kohlenwasserstoffe mehr entstehen und am Ende der Entgasung nur mehr Methan und Wasserstoff entweichen, so daß die Leuchtkraft des Gases am Schlusse nahezu auf Null herabsinkt.

Die Zusammensetzung eines Rohgases geht aus der nachstehenden Tabelle<sup>2)</sup> hervor.

Rohgas aus westfälischer Kohle.

		Vol.-Proz.
Wasserstoff	H <sub>2</sub> . . . . .	50,0
Methan	CH <sub>4</sub> . . . . .	31,0
Kohlenoxyd	CO . . . . .	9,0
Äthylen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> . . . . .	2,50
Benzol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> . . . . .	1,25
Kohlensäure	CO <sub>2</sub> . . . . .	2,0
Schwefelwasserstoff	H <sub>2</sub> S . . . . .	0,75
Stickstoff	N <sub>2</sub> . . . . .	2,25
Ammoniak	NH <sub>3</sub> . . . . .	1,10
Cyanwasserstoff	HCN . . . . .	0,15

<sup>1)</sup> Über die Bildung von CNH aus NH<sub>3</sub> und C, sowie über CNH-Bildung bei der Entgasung siehe Carpenter und Linder, Journ. of Gaslighting 1910, S. 191; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 253. — <sup>2)</sup> Aus: Gaskursus, S. 23.

Natürlich ist das Gas nicht nur bei Verwendung verschiedener Kohlenarten, sondern auch bei Verwendung verschiedener Entgasungsmethoden verschieden zusammengesetzt. Die hier wiedergegebenen Werte sollen daher nur als Beispiel dienen.

Unter die schweren Kohlenwasserstoffe rechnet man hauptsächlich Äthylen ( $C_2H_4$ ) und Benzol ( $C_6H_6$ ). Ersteres ist gasförmig, letzteres dagegen bei gewöhnlicher Temperatur flüssig. Es hat jedoch einen so niederen Siedepunkt ( $80^\circ$ ), daß es auch bei gewöhnlicher Temperatur stark flüchtig ist und daher in Dampfform im Gase enthalten bleibt, während sich ein anderer Teil im Teer als Flüssigkeit ausscheidet. Der Dampfdruck des Benzols nimmt bei steigender Temperatur sehr rasch zu, wie die nachstehende Tabelle zeigt:

$t^\circ$	Dampfdruck mm Quecksilber	Vol.-Proz.	1 Liter Benzol- dampf wiegt bei $t^\circ$ g	in $1\text{ m}^3$ g	Differenz
— 20	5,79	0,76	3,76	28,6	—
— 15	8,82	1,17	3,69	43,2	14,6
— 10	12,92	1,70	3,62	61,5	18,3
— 5	18,33	2,41	3,55	85,5	24,0
0	25,31	3,33	3,49	116,1	30,6
10	45,25	5,95	3,36	200,0	83,9
20	76,65	10,08	3,25	327,6	127,6
30	120,24	15,83	3,14	497,5	174,3
40	183,62	24,2	3,04	735,5	238,0
50	271,37	35,7	2,95	1052	316,5
60	390,10	51,4	2,86	1470	418
70	547,42	72,0	2,77	1995	525
80	751,86	98,8	2,70	2670	675
90	1012,75	133,3	2,62	3495	825
100	1340,05	176,3	2,55	4500	1005

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, wieviel Gramm Benzoldampf in  $1\text{ m}^3$  Gas bei verschiedenen Temperaturen enthalten sind, wenn das Gas mit Benzoldampf gesättigt ist, d. h. so viel davon enthält, daß sich ein Überschuß in flüssiger Form ausscheiden würde. Danach müßte das Gas schon bei  $10^\circ$  200 g Benzol oder nahezu 6 Vol.-Proz. Benzoldampf enthalten, wenn es mit Benzoldampf gesättigt wäre. Dies ist jedoch bei der Gaserzeugung aus Steinkohle nicht der Fall, trotzdem eine teilweise Ausscheidung des Benzols im Teer stattfindet. Die Ursache liegt darin, daß der Teer das Benzol auflöst und festhält, daß der Dampf, der dieser Lösung entweicht, nicht mehr die hohe Dampftension, die in der vorstehenden Tabelle wiedergegeben ist, besitzt. Bringt man also ein mit Benzoldampf gesättigtes Gas mit Teer in Berührung, so löst der Teer einen großen Teil des Benzoldampfes auf, solange bis der Dampfdruck (Dampftension) des Benzoldampfes im Gase und des Benzols in der Teerlösung gleich groß geworden ist. Es wäre daher sehr wichtig, die Dampftension von benzolhaltigem Steinkohlenteer bei verschiedenem Benzolgehalt zu bestimmen.

Ebenso wie Teer lösen auch andere Öle und flüssige Kohlenwasserstoffe Benzol aus dem Gase auf. Hierauf beruht die Gewinnung von Benzol aus den

Destillationsgasen der Kokereien, welche im großen betrieben wird und einen wesentlichen Teil des gesamten Benzolbedarfs deckt. Als Waschöle werden hierbei vornehmlich Paraffinöle verwendet. Das Benzol wird dann durch Destillation aus diesen wieder gewonnen.

Ähnlich wie das Benzol verhält sich auch das Naphtalin, ebenfalls ein hochmolekularer Kohlenwasserstoff von der Formel  $C_{10}H_8$ . Während jedoch das Benzol dem Gase die wertvollen Eigenschaften einer hohen Leuchtkraft und einer hohen Verbrennungswärme erteilt, ist das Naphtalin im Gase nicht gern gesehen. Zwar würde es ebenfalls sowohl die Leuchtkraft als den Heizwert steigern, aber seine sonstigen Eigenschaften sind sehr unangenehm. Das Naphtalin ist nämlich ein fester, verhältnismäßig schwer flüchtiger Stoff, der in ganz dünnen, äußerst leichten Blättern kristallisiert, derart, daß geringe Gewichtsmengen von Naphtalinkristallen rasch den ganzen Querschnitt eines Rohres ausfüllen und so zu Verstopfungen führen. Dabei ist der Dampfdruck des Naphtalins so gering, daß sich nur so geringe Mengen im Gase vorfinden, die auf Leuchtkraft und Heizwert keinen erkennbaren Einfluß haben. Die nachstehende Tabelle zeigt Dampfdruck und Naphtalingehalt in 100 m<sup>3</sup> Gas bei verschiedenen Temperaturen im Sättigungszustande:

t° C	Dampfdruck mm	In 100 m <sup>3</sup> g	t° C	Dampfdruck mm	In 100 m <sup>3</sup> g
0	0,022	13,7	50	0,81	476,0
5	0,034	22,4	60	1,83	1 104,0
10	0,047	32,3	70	3,95	2 405,0
15	0,062	43,5	80	7,40	4 342,0
20	0,080	56,3	90	12,6	6 950,0
30	0,135	90,4	100	18,5	10 122,0
40	0,32	191,0			

Enthält nun z. B. ein Gas mehr als 43,5 g Naphtalin in 100 m<sup>3</sup>, und sinkt die Temperatur desselben unter 15°, so scheidet sich der Überschuß in Form von Kristallen in den betreffenden Rohrleitungen oder Apparaten ab, so daß Verengungen der freien Querschnitte eintreten. Wir werden später unter dem Kapitel „Naphtalinwäsche“ sehen, in welcher Weise diese Abscheidungen verhindert oder beseitigt werden können.

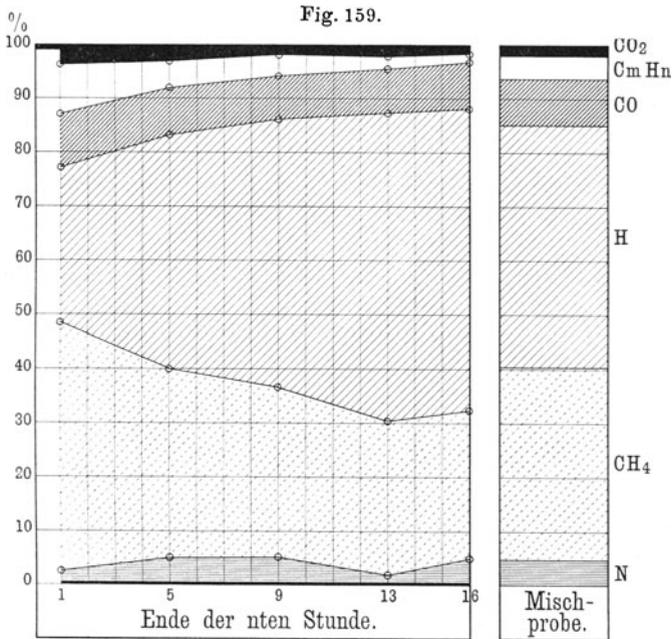
Hier sei jedoch bemerkt, daß der Gehalt des Gases an Naphtalin ebenso wenig wie der Benzolgehalt der Dampftension des Naphtalins entspricht, weil wieder der Teer ein großes Lösungsvermögen für Naphtalin besitzt und dessen Dampftension daher wesentlich herabsetzt. Auch die Dampftensionen von Naphtalinlösungen im Teer sind jedoch noch nicht genügend bekannt.

Während das Benzol bei verhältnismäßig geringer Temperatur entsteht und sich bei hoher Temperatur zersetzt, entsteht das Naphtalin gerade bei höherer Temperatur und tritt namentlich dann auf, wenn Kohlenwasserstoffe auf höhere Temperaturen erhitzt werden, die noch nicht zur vollständigen Zersetzung des Naphtalins führen, denn bei sehr hohen Temperaturen (über 1000°) zersetzt sich auch das Naphtalin in Kohlenstoff und Wasserstoff.

In welcher Weise die einzelnen Gase im Verlauf der Entgasung entstehen, zeigt das Diagramm Fig. 159. Am auffallendsten ist daran das Herabgehen des Gehaltes an schweren Kohlenwasserstoffen und an Methan,

und dementsprechend die Steigerung des Wasserstoffgehaltes im Laufe der Entgasung. Beides ist aus den vorhergehenden Erörterungen durch die allmähliche Zunahme der Temperatur ohne weiteres verständlich.

Die dampfförmigen Produkte, welche bei der Destillation entstehen, also alle Stoffe, die im Teer und Ammoniakwasser vorhanden sind, scheiden sich bei der allmählichen Abkühlung des Gases zunächst in Form feiner Tröpfchen



als Nebel aus. Sie müssen durch Waschung des Gases mit Wasser und durch die Teerscheider beseitigt werden, die wir später (Kap. 30) besprechen werden.

Der abgeschiedene Teer enthält durchschnittlich:

- 50 bis 60 Proz. Pech,
- 20 bis 30 Proz. Kohlenstoff in Form von Ruß,
- 20 Proz. Schweröle,

und der Rest besteht aus Leicht- und Mittelölen. Die Zusammensetzung der Leicht- und Mittelöle, bzw. deren beiläufiger Gehalt an wertvollen Substanzen ist in folgender Tabelle zusammengestellt:

Bestandteil	Siedepunkt °C
etwa 1 bis 1½ Proz. Benzol (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ) und . . . . .	80
Toluol (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> ) . . . . .	110
0,8 Proz. Schwerbenzol (Xylol) . . . . .	140
0,5 „ Phenol (Karbolsäure) . . . . .	183
1,0 bis 1,5 Proz. Kresol (Homologe des Phenols) . . . . .	—
4 bis 6 Proz. Naphtalin (Schmelzpunkt 80°) . . . . .	218
0,5 Proz. Anthracen (Schmelzpunkt 213°) . . . . .	360

Eine Wärmebilanz der ganzen trockenen Destillation ist im nachstehenden<sup>1)</sup> wiedergegeben. Sie wurde in sehr exakter Weise von Mahler unter Anwendung einer Kohle von Comentry bestimmt.

	Beobachteter Heizwert pro 1 kg Kal.	100 kg Kohle ergaben bei der Destillation Proz.	Verbrennungs- wärme der Destillations- produkte Kal.	Proz.
Rohkohle . . . . .	7 423,2	100	742 326	100,0
Koks . . . . .	7 019,4	65,66	460 893,8	62,1
Hydraulikteer . . . . .	8 887,0	3,59	31 904,3	4,3
Teer aus der Leitung . .	8 942,8	0,87	7 780,2	1,0
Kondensatorsteer . . . . .	8 831,0	1,16	10 243,9	1,4
Skrubberteer . . . . .	8 538,0	1,89	16 137,6	2,2
Gas (trocken) . . . . .	11 111,0	17,09	189 887,0	25,6
Ammoniakwasser . . . . .	—	9,36	—	—
Summa . . . . .		99,62	716 846,8	96,6
Verbrennungswärme der Kohle . . . . .			742 326	100,0
„ „ Destillationsprodukte . . . . .			716 847	96,6
Verlust bei der Destillation . . . . .			25 479	3,4

Daraus ist ersichtlich, daß der größte Teil des Heizwertes der ganzen Destillation (62 Proz.) im Koks unvergasbar zurückbleibt, während nur 25 Proz. im Gase erscheinen. Ob der Destillationsverlust von 3,4 Proz. als unvermeidlicher Verlust bei der Ausführung der Versuche oder als wirklich geringerer Wärmegehalt der Destillationsprodukte aufzufassen ist, ist noch nicht entschieden.

Ähnlich wie die Kohle verhält sich auch das Holz bei der Entgasung. Die Produkte, welche dabei entstehen, sind zwar in anderen Mengenverhältnissen vorhanden, und der Teer sowie die wässerigen Kondensationsprodukte zeigen andere Zusammensetzung, indem bei letzteren die sauren Produkte (Essigsäure) und Alkohol (Methylalkohol) auftreten, während bei der Destillation der Steinkohle Ammoniak vorherrscht. Der Vorgang der Entgasung ist jedoch im großen und ganzen derselbe. Brooks<sup>2)</sup> hat die Entgasung des Holzes in der Retorte in neuerer Zeit bearbeitet und gefunden, daß auch hierbei durch Überhitzung der Teerdämpfe in Schamotteüberhitzern bei 870 bis 900<sup>0</sup> eine Zersetzung derselben unter Vermehrung der Gasausbeute eintritt. Er erhält aus Eichen-, Ulmen- und Fichtenholz durchschnittlich 363 cm<sup>3</sup> Gasausbeute pro 1000 kg Holz mit einem Heizwert von 3310 bis 3440 Kal., während 17 bis 22 Proz. Holzkohle als Verkohlungsrückstand hinterbleiben. Das Gas ist reich an CO<sub>2</sub>, weil das Holz große Mengen von Wasser enthält, wodurch die Temperatur herabgesetzt und daher CO<sub>2</sub> gebildet wird. Letztere ist auch die Ursache des geringen Heizwertes des Gases. Die Entfernung derselben mit Kalk ist zu kostspielig und umständlich. Die Erzeugung des Holzgases werden wir im Kap. 51 näher besprechen.

<sup>1)</sup> Aus Schäfer: Einrichtung und Betrieb eines Gaswerkes. München 1903, S. 59. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 413.

## 20. Vergasung des Kohlenstoffs.

Bei der Entgasung der Kohle oder anderer Brennmaterialien bleibt, wie wir gesehen haben, der größte Teil des Kohlenstoffgehaltes in fester Form als Koks zurück. Häufig ist es jedoch erwünscht, das gesamte Brennmaterial in Gasform überzuführen, da es in dieser Form wertvoller ist, denn sowohl zur Beleuchtung als bei der Heizung kann das Gas in vollkommenerer Weise und daher mit besserem Nutzeffekt verbrannt werden als der feste Brennstoff.

Es gibt zwei Wege, um Kohlenstoff in brennbare Gase zu verwandeln. Der eine besteht in der unvollständigen Verbrennung, der zweite in dem Wassergasprozeß.

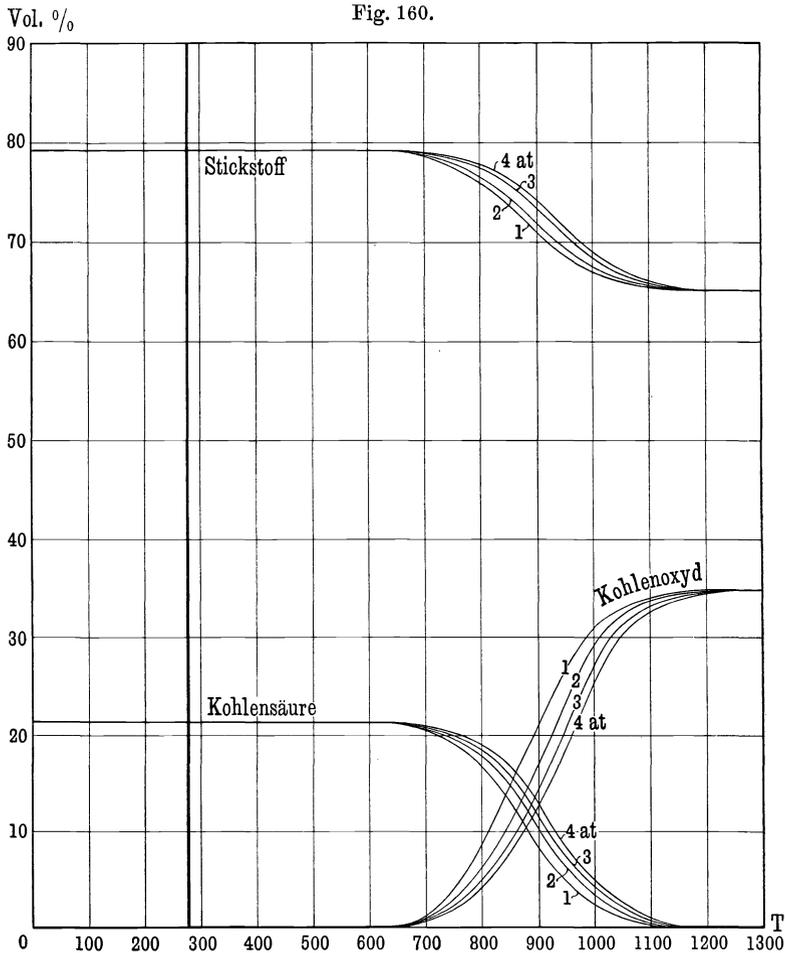
Die unvollständige Verbrennung des Kohlenstoffs erfolgt, wenn derselbe bei hoher Temperatur mit Luft oder Kohlensäure längere Zeit in Berührung bleibt. Der Kohlenstoff hat bekanntlich zweierlei verschiedene Oxydationsstufen: das Kohlenoxyd (CO) und die Kohlensäure (CO<sub>2</sub>). Bei niedriger Temperatur vereinigt sich der Kohlenstoff mit dem Sauerstoff der Luft ausschließlich zu Kohlensäure, bei hoher Temperatur ausschließlich zu Kohlenoxyd, und es ist ein Irrtum, wenn häufig angegeben wird, daß es ausschließlich von der Menge des vorhandenen Sauerstoffs bzw. von der Menge der Verbrennungsluft abhängt, ob sich Kohlensäure oder Kohlenoxyd bildet. Bei niedriger Temperatur bildet sich auch dann kein Kohlenoxyd, wenn Kohlenstoff in großem Überschuß vorhanden oder die Luft in nur geringem Maße anwesend ist. Ebenso bildet sich bei Temperaturen von mehr als 1000° keine Kohlensäure, sondern nur Kohlenoxyd, wenn Kohlenstoff in genügender Menge vorhanden ist. Allerdings, wenn letzteres nicht der Fall ist, d. h. wenn der vorhandene Kohlenstoff nicht ausreicht, um den vorhandenen Sauerstoff in Kohlenoxyd überzuführen, so vereinigt sich der überschüssige Sauerstoff mit dem Kohlenoxyd zu Kohlensäure. Dies entspricht jedoch der nachträglichen Verbrennung des gebildeten Kohlenoxyds zu Kohlensäure und kann daher hier, wo wir zunächst nur von der Bildung der Oxydationsprodukte reden wollen, außer Betracht bleiben.

Die Gleichungen, welche die obigen Vorgänge darstellen, sind folgende, wobei wir die bei dem betreffenden Vorgang pro je 1 g-Mol. (s. S. 43) entwickelte bzw. verbrauchte Wärmemenge mit angeben wollen:

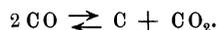
1.  $2\text{C} + \text{O}_2 = 2\text{CO} + 58,0 \text{ Kal.}$
2.  $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + 97,65 \text{ „}$
3.  $2\text{CO} = \text{C} + \text{CO}_2 + 39,2 \text{ „}$
4.  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO} - 39,2 \text{ „}$
5.  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2 + 136,4 \text{ „}$

Die Formeln 3 und 4 entsprechen der Umsetzung von Kohlenoxyd in Kohlenstoff und Kohlensäure, wie dies auf S. 47 erläutert wurde, und dem umgekehrten Vorgang, d. i. der Reduktion der CO<sub>2</sub> durch Kohlenstoff bei hoher Temperatur zu Kohlenoxyd. Der erstere dieser Vorgänge liefert Wärme. Der umgekehrte Vorgang verbraucht natürlich dieselbe Menge von Wärme. Nun ist es aber ein allgemein gültiges Naturgesetz, daß jene Vorgänge, welche Wärme verbrauchen, durch hohe Temperatur begünstigt werden und jene Vorgänge, welche Wärme liefern, bei geringer Temperatur auftreten. Bei den dazwischen liegenden Temperaturen treten beide Vorgänge gleichzeitig auf

und es hängt von der Höhe der Temperatur ab, ob der eine oder der andere Vorgang überwiegt. Es stellt sich demnach zwischen den beiden Reaktionen ein Gleichgewichtszustand ein. Dieser ist so aufzufassen, daß beide Reaktionen gleichzeitig nebeneinander verlaufen. Die CO<sub>2</sub> wird durch den Kohlenstoff auch bei verhältnismäßig niederen Temperaturen zu CO reduziert. Gleichzeitig zerfällt aber bei niederen Temperaturen das gebildete CO zu C und CO<sub>2</sub>, und das Endresultat hängt davon ab, inwieweit der eine oder andere Prozeß



im stärkeren Maßstabe stattfindet. Man drückt einen derartigen Gleichgewichtszustand aus durch die Gleichung:

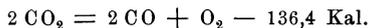


Aus dem Diagramm Fig. 160 sind die Gehalte an CO<sub>2</sub> und CO zu erkennen, welche diesem Gleichgewichtszustande entsprechen, wenn man Kohlenstoff mit Luft bei der betreffenden Temperatur so lange miteinander in Berührung läßt, bis eben dieser Gleichgewichtszustand hergestellt ist<sup>1)</sup>. Wir

<sup>1)</sup> Die neuesten Untersuchungen über das CO-CO<sub>2</sub>-Gleichgewicht rühren von Mayer und Jacobi her (Journ. f. Gasbel. 1909, S. 282). Sie bestimmten die Gleichgewichtskonstante zu 21,3.

wollen nun sehen, wie sich die Volumina der entstehenden und verschwindenden Gase bei dieser Reaktion verhalten. Aus der oben genannten Gleichgewichtsgleichung geht hervor, daß sich 2 Vol. Kohlenoxyd in 1 Vol. Kohlen- säure umsetzen, wobei sich Kohlenstoff in fester Form ausscheidet und daher für das Gasvolumen nicht in Betracht kommt. Umgekehrt vergrößert sich das Volumen der  $\text{CO}_2$  auf das Doppelte, wenn sie sich durch Aufnahme von festem Kohlenstoff in Kohlenoxyd verwandelt. Nun entspricht es aber wieder einem Naturgesetz, daß durch höhere Drucke jene Reaktionen begünstigt werden, bei welchen sich das Volumen der Gase verringert, und durch geringe Drucke jene Reaktionen, bei denen eine Ausdehnung stattfindet. Daraus geht hervor, daß bei höheren Drucken der Zerfall des  $\text{CO}$  zu  $\text{CO}_2$ , bei niederen Drucken dagegen die Reduktion der  $\text{CO}_2$  zu  $\text{CO}$  begünstigt wird. Dies zeigt auch das Diagramm Fig. 160, aus dem ersichtlich ist, daß bei einem Drucke von 4 Atm. wesentlich mehr  $\text{CO}_2$  entsteht als bei einem Drucke von nur 1 Atm. So hohe Drucke werden jedoch in der Praxis nie angewendet und daher kommt die durch den Druck bedingte Verschiebung des Gleichgewichts- zustandes für die Praxis kaum in Betracht.

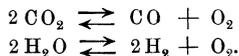
Eine andere Art der unvollständigen Verbrennung tritt ein, wenn wäh- rend der Verbrennung außerordentlich hohe Temperaturen herrschen. Es tritt dann die sogenannte Dissoziation der Verbrennungsprodukte auf, d. h. bei außerordentlich hoher Temperatur zerfällt das Verbrennungsprodukt in seine Bestandteile, so z. B. zerlegt sich Kohlen- säure in Kohlenoxyd und Sauerstoff, wobei natürlich dieselbe Wärmemenge verbraucht wird, die bei der Verbrennung des Kohlenoxyds entstanden ist, nach der Formel:



Ebenso zerlegt sich Wasserdampf bei extrem hohen Temperaturen (etwa 3000°) in Wasserstoff und Sauerstoff unter Verbrauch von Wärme nach der Formel:



Beide Dissoziationen sind mit Wärmeverbrauch verbunden und treten deshalb zufolge des oben genannten Gesetzes bei hohen Temperaturen ein. Beide Vorgänge sind ferner mit einer Volumvermehrung verbunden, indem sich aus 2 Vol. der Stoffe 3 Vol. der Zerfallsprodukte bilden, und deshalb werden diese Dissoziationen durch geringen Druck begünstigt. Zwischen der Bildung der  $\text{CO}_2$  durch Verbrennung von Kohlenoxyd mit Sauerstoff und des Wasser- dampfes durch Verbrennung von Wasserstoff im Sauerstoff und der Zerlegung dieser Stoffe tritt wieder ein von der Temperatur abhängiger Gleichgewichts- zustand ein, der sich in den beiden Gleichungen ausdrückt:



Die Temperaturen, welche für diese Dissoziationen erforderlich sind, sind jedoch so hohe, daß sie für die Praxis kaum in Betracht kommen.

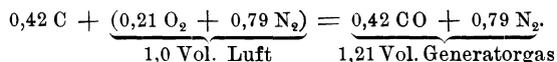
Der Prozeß der Vergasung des Kohlenstoffs durch unvollständige Ver- brennung mit Luft bei hoher Temperatur wird als Generatorgasprozeß be- zeichnet, und das aus Kohlenoxyd und Stickstoff bestehende Gas, welches dabei gewonnen wird, heißt Generatorgas. Bei den Hüttenmännern ist auch die Bezeichnung „Luftgas“ üblich. Da jedoch die Beleuchtungstechniker als „Luftgas“ ein durch Karburierung von Luft mit Kohlenwasserstoffen erhält-

liches Gas bezeichnen, so ist es vorzuziehen, den eindeutigen Namen Generatorgas beizubehalten.

Das Generatorgas wird durch Einblasen von Luft in eine genügend hohe Kokssäule erhalten. Da die Luft nur 21 Vol.-Proz. Sauerstoff neben 79 Proz. Stickstoff enthält, hat das dabei gewonnene Generatorgas ebenfalls einen hohen Gehalt an Stickstoff. Die bei der Verbrennung des Kokes erzeugte Wärme dient teils zur Erhitzung des Kokes, teils überträgt sie sich auf das gewonnene Generatorgas, welches seine Wärme in den höher gelegenen Zonen ebenfalls an die Koksstücke abgibt. Wenn man also in eine Kokssäule von unten Luft einbläst, so gelangt der Koks, der allmählich nach abwärts sinkt, im vorgewärmten Zustande zur Verbrennung, so daß wir es beim Einblasen von trockener Luft, sobald dasselbe lange genug gedauert hat, immer mit einer hohen Temperatur zu tun haben, welche zur vollständigen Umsetzung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd ohne Bildung von  $\text{CO}_2$  ausreicht. Bei der Verbrennung von Kohlenstoff zu Kohlenoxyd werden nämlich pro 1 kg C 2473 Kal. frei. Diese würden, wenn sie vollständig auf das gebildete Kohlenoxyd und den Stickstoffgehalt der Luft übertragen würden, eine Verbrennungstemperatur von  $1426^\circ$  ergeben, wenn der Kohlenstoff im kalten Zustande angewendet würde. Dies ist jedoch, wie oben erwähnt, nicht der Fall, und daher kommt zu der Verbrennungswärme noch die Wärmemenge hinzu, welche der Koks aus den oberen Schichten mitbringt. Man kann nun annehmen, daß sich der Koks, bevor er zur Verbrennung gelangt, nahezu auf die Verbrennungstemperatur erhitzt. Unter diesen Umständen würde dann theoretisch eine Verbrennungstemperatur von etwa  $1700^\circ$  erreicht werden müssen. Die praktisch erreichte Temperatur ist geringer, weil in der Praxis Wärmeverluste eintreten, die bei dieser Berechnung nicht in Betracht gezogen sind.

Wollen wir die Zusammensetzung des Generatorgases berechnen, welches aus reinem Kohlenstoff gewonnen werden könnte, so müßte man wie folgt vorgehen (vgl. S. 41).

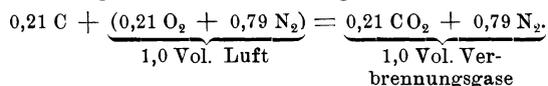
Da 1 Vol. Luft 0,21 Vol. Sauerstoff enthält und 1 Mol. Sauerstoff mit 2 At. Kohlenstoff zu CO zusammentritt, so müssen wir  $2 \times 0,21$ , d. i. 0,42 At. C verbrennen, wobei 0,42 Vol. CO entstehen. Die in 1 Vol. Luft enthaltenen 0,79 Vol. Stickstoff bleiben unverändert. Wir haben daher die Gleichung:



Daraus berechnet sich die Zusammensetzung des Generatorgases zu:

34,7 Vol.-Proz. Kohlenoxyd,  
65,3 „ „ Stickstoff,  
oder rund  $\frac{1}{3} \text{ CO} + \frac{2}{3} \text{ N}_2$ .

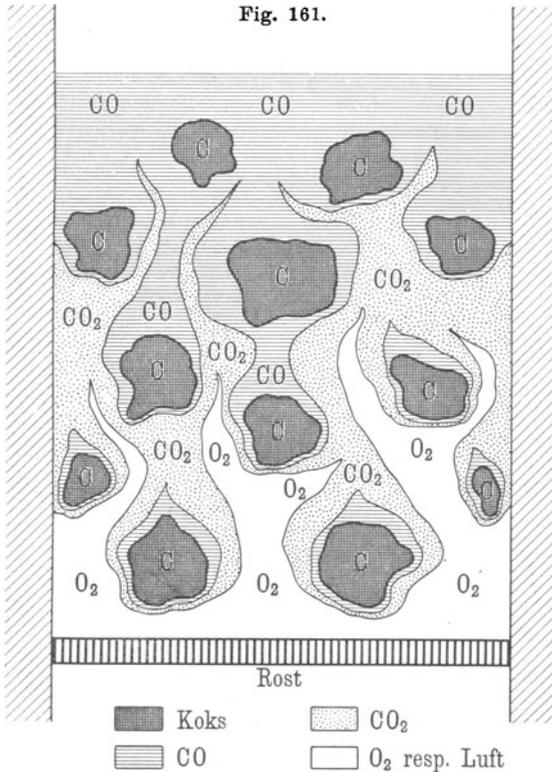
Trotz der hohen Temperatur, die auch in der Praxis bei der Erzeugung des Generatorgases herrscht, wird in der Praxis immer ein Teil des Kohlenstoffs zu  $\text{CO}_2$  verbrannt. Es ist daher notwendig, daß wir auch die hierbei auftretenden Gase ihrer Zusammensetzung nach kennen lernen. Da bei der Vereinigung von Kohlenstoff mit Sauerstoff zu  $\text{CO}_2$  von 1 Mol. Sauerstoff 1 At. Kohlenstoff aufgenommen wird, so haben wir für 1 Vol. Luft einen Verbrauch von 0,21 At. C und ergibt sich die Gleichung:



Die Zusammensetzung der entstehenden Gase ist daher:

21,0 Vol.-Proz.  $\text{CO}_2$ ,  
79,0 „ „  $\text{N}_2$ .

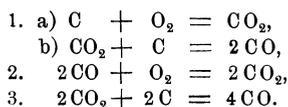
Es geht also daraus hervor, daß der  $\text{N}_2$ -Gehalt des Generatorgases höher wird, wenn der  $\text{CO}_2$ -Gehalt des Gases steigt, denn wenn sich nur  $\text{CO}$  bildet, so haben wir nur 65,3 Proz. Stickstoff, wenn sich dagegen  $\text{CO}_2$  bildet, haben wir 79 Proz.  $\text{N}_2$  im Generatorgas. Dies ergibt auch das bereits genannte Diagramm Fig. 160. Dieses zeigt einen von der Temperatur abhängigen  $\text{N}_2$ -Gehalt des Generatorgases, der dem Abfallen der  $\text{CO}_2$  bei höherer Temperatur entspricht. Es zeigt ferner, daß bei Temperaturen von weniger als  $600^\circ$  praktisch nur  $\text{CO}_2$ , bei Temperaturen über  $1200^\circ$  dagegen praktisch nur  $\text{CO}$  gebildet werden sollte, wenn die Luft dauernd mit dem Koks in Berührung bleiben und alle Teile des Raumes, in welchem die Verbrennung stattfindet, die gleiche Temperatur haben würden. Beides ist jedoch in der Praxis nicht der Fall und wir müssen uns daher zunächst vergegenwärtigen, welche Vorgänge an der Berührungsstelle zwischen Koks und Luft im Generatorunterteile eintreten.



Nach dem Gesetze der stufenweisen Reaktionen treten in allen Fällen, wo mehrere Reaktionen aufeinander folgen, zunächst jene Zustände auf, die bei der betreffenden Temperatur weniger beständig sind<sup>1)</sup>. Es müßte also bei hoher Temperatur an der Berührungsstelle zwischen Koks und Luft in erster Linie  $\text{CO}_2$  entstehen, die aber nachher sofort durch den Kohlenstoff zu  $\text{CO}$  reduziert wird. Wenn jedoch, wie dies in der Praxis der Fall ist, der Kohlenstoff nicht in äußerst feiner Verteilung, sondern in Form der groben Koksstücke vorhanden ist, so ist die eigentliche Berührungsfläche zwischen Luft und Kohlenstoff umgeben mit einer größeren Menge von Luft, so daß das an der Berührungsfläche gebildete  $\text{CO}$  durch die umgebende Luft notwendigerweise zu  $\text{CO}_2$  verbrannt werden muß. Diese in den untersten Schichten einer Koksäule in unmittelbarer Nähe der Koksstücke gebildete Kohlensäure wird

<sup>1)</sup> Vgl. Haber, Technische Gasreaktionen.

dann in den höheren Schichten zu CO reduziert. Um uns hiervon ein Bild zu machen, wollen wir Fig. 161 betrachten. Die primäre Bildung von CO<sub>2</sub> an der Berührungsstelle ist in dieser Figur nicht berücksichtigt, da die CO<sub>2</sub> eben noch an der Berührungsstelle wieder verschwindet und dort also nur CO auftritt. Die Luft, welche die Koksstücke in den untersten Lagen umgibt und die zwischen den einzelnen Koksstücken hindurch in Form von Zungen auch höhere Schichten erreichen kann, verbrennt das CO zu CO<sub>2</sub>. Die heiße CO<sub>2</sub> bespült die in höheren Lagen befindlichen Koksstücke, indem sie dieselben zum Glühen erhitzt. Sobald die erforderliche Temperatur erreicht ist, reduziert der Koks die CO<sub>2</sub> an der Berührungsstelle wieder zu CO. Aber auch hier kann zwischen den einzelnen Koksstücken noch überschüssige Luft vorhanden sein, so daß neuerdings die Verbrennung zu CO<sub>2</sub> stattfindet. Die abwechselnde Reduktion und Verbrennung wird also so lange stattfinden, bis in den höheren Schichten die Luft vollständig aufgebraucht ist. In den höheren Schichten, die einige Dezimeter über dem Rost liegen, findet sich also nur mehr CO<sub>2</sub> und CO vor. Untersuchen wir die Gase knapp über dem Rost an verschiedenen Stellen des Querschnittes, so finden wir in unmittelbarer Nähe der Koksstücke CO, dann CO<sub>2</sub> und zwischen den Koksstücken Luft. Weiter oben finden wir in unmittelbarer Nähe der Koksstücke CO und zwischen denselben nur CO<sub>2</sub>, während die Luft bereits verbraucht ist. In noch größeren Höhen wird allmählich auch die CO<sub>2</sub> vollständig verbraucht, wenn die Temperatur hoch genug ist, und schließlich hat man daher in allen höheren Schichten nur mehr CO neben dem von der Luft mitgebrachten Stickstoff. Es treten also folgende Reaktionen ein:



Die Höhen, bis zu welchen die eine oder die andere Reaktion bemerkbar ist, wechselt mit der Geschwindigkeit, mit welcher die Luft die Kokssäule passiert. Die Luftzungen, welche zwischen den einzelnen Koksschichten hindurchgehen, reichen um so weiter hinauf, je größer die Geschwindigkeit der Luft ist. Ist die Koksschicht kleiner als die Länge dieser Luftzungen, so treten aus der obersten Koksschicht blaue Stichflammen hervor, welche eben die Verbrennung des Kohlenoxyds mit der überschüssigen Luft anzeigen. Ist die Koksschicht höher, aber nicht hoch genug, um alle Kohlensäure zu reduzieren, so entweicht neben CO viel CO<sub>2</sub>. Auch dies ist also abhängig von der Windgeschwindigkeit. Jedoch auch bei großen Windgeschwindigkeiten ist bei entsprechend hoher Temperatur auch schon bei verhältnismäßig geringen Schichthöhen von etwa 500 mm die Reduktion eine der Temperatur entsprechend nahezu vollkommene <sup>1)</sup>.

Wir haben jedoch noch eine weitere Reaktion zu betrachten. Das Diagramm Fig. 160 zeigt an, daß bei niedriger Temperatur das Kohlenoxyd in Kohlenstoff und Kohlensäure zerfällt; die in den untersten Schichten gebildeten heißen Gase geben aber ihre Wärme in den höheren Schichten an den Koks ab und entweichen mit Temperaturen, die nur wenige hundert Grad betragen. Dementsprechend müßte in dem Maße, wie sich die Gase abkühlen, eine Zer-

<sup>1)</sup> Strache und Jahoda, Zur Theorie des Wassergasprozesses; Journ. f. Gasbel. 1900, S. 355.

legung des gebildeten Kohlenoxyds stattfinden. Dieser Zerfall, der zuerst von St. Claire-Deville<sup>1)</sup> beobachtet wurde, ist jedoch bei den geringen Temperaturen, wie sie hier herrschen, ein sehr langsamer und deshalb ist er in der Praxis in nur geringem Maße wahrnehmbar. Auf alle Fälle haben wir den oben genannten drei Formeln noch die vierte hinzuzufügen:



Hier spielt die Geschwindigkeit, mit der eine Reaktion verläuft, eine große Rolle. Im allgemeinen ist die Geschwindigkeit jeder chemischen Reaktion um so größer, je höher die Temperatur ist. In den unteren Schichten der Koks säule herrscht eine derart hohe Temperatur, daß die unter 1, 2 und 3 genannten Vorgänge in so kurzer Zeit verlaufen, daß die durch diese Zeiten entstehende Verzögerung praktisch keine Rolle spielt. In höheren Schichten ist dagegen die Temperatur so gering, daß der Zerfall des CO in CO<sub>2</sub> nur mehr sehr langsam stattfindet. Das Generatorgas hat daher immer einen viel höheren Gehalt an CO, als der Temperatur der oberen Koksschichten entspricht, ja es hat sogar einen höheren Gehalt an Kohlenoxyd, als der mittleren Temperatur der ganzen Koks säule entspricht.

v. Jüptner hat nach Boudouards Versuchen den Gleichgewichtszustand, der bei dauernder Berührung von Kohlenstoff und Luft eintreten müßte, berechnet und folgende CO<sub>2</sub>-Gehalte gefunden:

Bei 500° . . .	21,00 Proz. CO <sub>2</sub>	Bei 900° . . .	9,75 Proz. CO <sub>2</sub>
„ 700° . . .	20,31 „ „	„ 1000° . . .	2,14 „ „
„ 800° . . .	16,40 „ „	„ 1100° . . .	0,47 „ „

Dieses ideale Gleichgewicht wird jedoch nie erreicht, weil eben die Temperatur der Gase sich während des Aufsteigens rasch ändert und dann nicht genügend Zeit vorhanden ist, daß die Gase den idealen Gleichgewichtszustand einnehmen können.

Betreffs der Reaktionsgeschwindigkeit ist zu bemerken, daß dieselbe durch die Gegenwart bestimmter Stoffe, die man Katalysatoren nennt, beschleunigt wird. Schon Stammer<sup>2)</sup> hatte gefunden, daß Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> das Kohlenoxyd bei der Temperatur des erweichenden Glases zerlegt, und auch Caron<sup>3)</sup> und Bell<sup>4)</sup> hielten die Gegenwart eines Oxydes für nötig. Schützenberger<sup>5)</sup> schiebt jedoch die beschleunigende Wirkung nicht den Oxyden, sondern den Metallen zu<sup>6)</sup>. Für die oben genannten Reaktionen ist besonders Nickel ein vorzüglicher Katalysator, aber auch metallisches Eisen wirkt katalytisch. Es ist also sehr wohl möglich, daß Stoffe, die in verschiedenen Kokssorten enthalten sind, den Zerfall des CO sehr verschieden stark beschleunigen, so daß das aus verschiedenen Kokssorten gewonnene Generatorgas, selbst wenn es bei der gleichen Temperatur entstanden ist, verschiedene Zusammensetzung haben kann.

Auf alle Fälle müssen wir festhalten, daß eine Koks säule, auch wenn sie noch so hoch ist, und auch bei der geringsten Geschwindigkeit der Luft bei niedriger Temperatur große Mengen von CO<sub>2</sub> entwickelt, während bei hoher

<sup>1)</sup> Compt. rend. S. 166. — <sup>2)</sup> Pogg. Ann. 1851, S. 136 u. 1853, S. 135. —

<sup>3)</sup> Compt. rend. 152, 1190. — <sup>4)</sup> Chem. Soc. Journ. 1869; Iron and Steel Inst. 1871, S. 85. — <sup>5)</sup> Trait. de Chimie gén. 2, 475. — <sup>6)</sup> Siehe ferner Schlagdenhaufen und Pagel, Compt. rend. 128, 311; Grüner, Ebend. 73, 28 u. 74, 226; Guntz, Bull. soc. chem. 7, 275, 278; Berthelot, Compt. rend. 112, 394 u. Essais de Mech. chem. 2, 11; Rathke, Abhandl. d. naturf. Ges. Halle 15, 1881.

Temperatur im wesentlichen nur Kohlenoxyd entsteht, wenn Schichthöhe und Luftgeschwindigkeit in einem solchen Verhältnis zueinander stehen, daß die Zungen unverbrannter Luft oder nicht reduzierter  $\text{CO}_2$  nicht aus der letzten Koksschicht heraustreten.

Auch das Wärmeleitungsvermögen der Koksschicht spielt betreffs der Zusammensetzung der Generatorgase eine wichtige Rolle. Ein poröser Koks oder in extremem Maße Holzkohle leiten die Wärme nur langsam in das Innere der Koksstücke hinein. Daher nimmt die Oberfläche solcher Stücke viel rascher eine hohe Temperatur an als Koksstücke, die hart und schwer sind, also zufolge des geringeren Porengehaltes ein besseres Wärmeleitungsvermögen besitzen und die an der Oberfläche auftretende Wärme rasch ins Innere leiten. Daher nehmen poröse Koksstücke rascher eine hohe Temperatur an und geben viel rascher ein  $\text{CO}$ -reiches Generatorgas, als wie ein harter, nicht poröser Koks. Holzkohle gibt beim ersten Überleiten von Luft beinahe sofort ein sehr  $\text{CO}$ -reiches Gas, während man bei Koks oft lange warten muß, ehe man überhaupt brennbares Gas erhält.

Das in der Praxis angewendete Brennmaterial ist niemals rein und deshalb enthält auch das aus Koks gewonnene Generatorgas stets beträchtliche Mengen von Verunreinigungen. Weiter kommt aber noch hinzu, daß auch die Verbrennungsluft Verunreinigungen, besonders beträchtliche Mengen von Wasserdampf enthält, wodurch die Zusammensetzung des Gases geändert wird.

Der Koks enthält außer seinem Hauptbestandteil, dem Kohlenstoff, stets Wasserstoff, Stickstoff, beträchtliche Mengen von kieselsäurehaltiger Asche und Schwefel. Diese Stoffe verursachen eine Verunreinigung des Generatorgases mit

Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ),	Cyan $(\text{CN})_2$ ,
Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ),	Stickstoff ( $\text{N}_2$ ),
Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ),	Siliciumwasserstoff ( $\text{SiH}_4$ ),
Schwefelkohlenstoff ( $\text{CS}_2$ ),	Chlorsilicium ( $\text{SiCl}_4$ ).
schwefliger Säure ( $\text{SO}_2$ ),	

Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft zersetzt sich, wie wir später sehen werden, zu Wasserstoff und Kohlenoxyd, wodurch der Wasserstoffgehalt des Generatorgases noch weiter angereichert wird.

Diese Verunreinigungen verursachen zum Teil auch den Rauch, welcher einer sehr heißen Kokssäule entweicht. Dieser Rauch ist schwach gelblich gefärbt und verschwindet sofort, wenn man durch Zufuhr von überschüssiger Luft das Kohlenoxyd verbrennt. Ebenso tritt dieser Rauch nicht auf, solange die Kokssäule noch nicht jene Temperatur erreicht hat, welche zur Bildung von Kohlenoxyd erforderlich ist. Es ist wahrscheinlich, daß er aus einer Abscheidung von Schwefel besteht, der sich durch Umsetzung von Schwefelwasserstoff mit schwefliger Säure bilden kann. Bei der Verbrennung des Generatorgases wird er dann in schweflige Säure übergeführt, so daß der Rauch verschwindet. Dieser gelbliche Rauch gibt ein gutes Kennzeichen zur Beurteilung des Stadiums, in welchem sich die Verbrennung in der Kokssäule befindet. So lange dieser Rauch nicht auftritt, kann man sicher sein, daß das Generatorgas große Mengen von  $\text{CO}_2$  enthält.

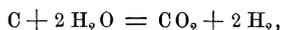
Allerdings bilden auch Chlorsilicium und Siliciumwasserstoff, die im Generatorgas vorkommen, durch Umsetzung mit der Feuchtigkeit Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ), und ferner verdampfen aus dem Aschengehalte des Kokes geringe

Mengen von Natron ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), Kalk ( $\text{CaO}$ ), Magnesia ( $\text{MgO}$ ), Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und Eisenoxyd ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) und scheiden sich diese Stoffe ebenfalls im Rauch als feines Pulver ab, jedoch ist deren Menge so gering, daß sie mit dem Auge im Rauche nicht bemerkt werden können, während man sie in Form eines feinpulverigen weißen Überzuges in den Kanälen findet, welche vom heißen Generatorgas, das aus Koks erzeugt wurde, durchstrichen werden.

Eine zweite Art, den C zu vergasen, liegt in der Behandlung mit Dampf. Leitet man Wasserdampf über glühenden Kohlenstoff, so treten je nach der Temperatur zweierlei verschiedene Reaktionen auf, bei denen auf alle Fälle der Kohlenstoff in eine gasförmige Verbindung überführt wird. Bei höherer Temperatur zersetzt der Kohlenstoff den Wasserdampf in der Weise, daß er demselben den Sauerstoff unter Bildung von Kohlenoxyd entzieht, wobei Wasserstoff frei wird, so daß ein Gemisch von CO und  $\text{H}_2$  entsteht nach der Gleichung:

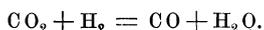


Bei niederen Temperaturen bildet sich, wie wir schon gesehen haben, leichter  $\text{CO}_2$  als CO. Die Zersetzung des Wasserdampfes verläuft daher bei niederen Temperaturen in der Weise, daß 1 Mol. C 2 Mol. Wasserdampf zerlegt und daraus 2 At. O unter Bildung von  $\text{CO}_2$  aufnimmt, so daß neben  $\text{CO}_2$  2 Mol.  $\text{H}_2$  gebildet werden, nach der Gleichung:

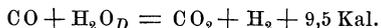


während also im ersteren Falle bei hoher Temperatur gleiche Raunteile von CO und  $\text{H}_2$  gebildet werden, so daß das Gasgemisch aus 50 Proz. CO und 50 Proz.  $\text{H}_2$  besteht, wird bei niederen Temperaturen ein Gasgemisch gebildet, das 33,3 Proz.  $\text{CO}_2$  und 66,7 Proz.  $\text{H}_2$  enthält.

Wir haben noch eine weitere Reaktion zu berücksichtigen. Bei hohen Temperaturen wird Kohlensäure durch Wasserstoff reduziert, indem 1 Sauerstoffatom unter Bildung von Wasser an den Wasserstoff gebunden wird, während die Kohlensäure in Kohlenoxyd übergeht nach der Gleichung:



Dagegen findet bei niedrigen Temperaturen die umgekehrte Umsetzung statt, indem Kohlenoxyd den Wasserdampf reduziert, wobei es den Sauerstoff an sich reißt und Wasserstoff frei macht nach der Gleichung:



Bei den dazwischen liegenden Temperaturen treten beide Reaktionen gleichzeitig nebeneinander auf, so daß sich wieder ein Gleichgewichtszustand (vgl. S. 48) herstellt, der sich durch die Gleichung ausdrücken läßt:



Auch aus diesem Verhalten der vier Produkte: Kohlenoxyd, Wasserdampf, Kohlensäure und Wasserstoff geht hervor, daß die Vergasung des Kohlenstoffs mit Wasserdampf um so mehr Kohlensäure ergeben muß, je geringer die Temperatur ist, denn bei geringer Temperatur treten jene Reaktionen in den Vordergrund, welche Wärme liefern.

Die Höhe der Temperatur spielt bei dieser Zersetzung auch insofern eine Rolle, als die Geschwindigkeit, mit der dieselbe verläuft, bei niederen Temperaturen gering ist. Läßt man daher den Dampf mit großer Geschwindigkeit über den glühenden Kohlenstoff streichen, so reicht die Zeit nicht aus, um

denselben vollkommen zu zersetzen, und es entweichen große Mengen unzersetzten Wasserdampfes, welche eine große Wärmemenge mit abführen, so daß durch die eintretende Abkühlung die Reaktion überhaupt bald zum Stillstande kommt. Aus diesem Grunde kann die Bildung von  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$  unter Vermeidung der Bildung von  $\text{CO}$  praktisch nicht direkt durchgeführt werden. Man muß vielmehr, wenn man diese Umsetzung vollziehen will, zunächst die Reaktion bei höherer Temperatur unter Bildung von  $\text{CO}$  durchführen und letzteres nachträglich mit  $\text{H}_2\text{O}$ -Dampf in  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$  umsetzen.

Da es nur in seltenen Fällen möglich ist, die Temperatur des Kohlenstoffs so hoch zu steigern, daß beim Darüberleiten von  $\text{H}_2\text{O}$ -Dampf ausschließlich  $\text{CO}$  gebildet wird, so kann auch diese Reaktion nicht in ihrer theoretischen Vollkommenheit durchgeführt werden, und das entstehende Gasgemisch, welches man in diesem Falle „Wassergas“ nennt, enthält immer kleinere oder größere Mengen von  $\text{CO}_2$ , je nachdem ob die Temperatur höher oder geringer war. Wir werden diese Umstände bei Besprechung des Wassergasprozesses (Kap. 60) noch genau erörtern.

Aus den obigen Gleichungen geht hervor, daß die Umsetzung von Kohlenstoff und Wasserdampf zu Wassergas, einerlei, ob dieselbe zu  $\text{CO}$  oder  $\text{CO}_2$  führt, stets mit einem Wärmeaufwand verbunden ist. In letzterem Falle ( $\text{CO}_2$ -Bildung) ist der Wärmeaufwand allerdings geringer, aber, wie schon erwähnt, nimmt dann der bei so niedrigen Temperaturen unzersetzt hindurchgehende Wasserdampf eine große Wärmemenge mit sich, so daß dadurch ein neuer beträchtlicher Wärmeverlust entsteht.

Die durch den Prozeß verbrauchten Wärmemengen müssen notwendigerweise wieder ersetzt werden, wenn die Vergasung des Kohlenstoffs nicht unterbrochen werden soll. Dieser Wärmeersatz ist durch eine Verbrennung von Kohlenstoff leicht zu bewirken. Es gibt nun zwei verschiedene Methoden, dies durchzuführen, nämlich:

1. Indem man Luft zu gleicher Zeit mit dem Wasserdampf über den Kohlenstoff leitet.

2. Durch abwechselndes Überleiten von Luft und Wasserdampf.

In ersterem Falle enthalten die entweichenden Gase den vollen N-Gehalt der eingeblasenen Luft. Man nennt diesen Prozeß den Halbwassergasprozeß.

Im zweiten Falle läßt man die beim Einblasen von Luft entstehenden Verbrennungsprodukte ins Freie entweichen und fängt nur die beim Überleiten von Wasserdampf entstehenden Gase auf, und man spricht in diesem Falle von dem Wassergasprozeß. Diese beiden Prozesse werden wir unter besonderen Kapiteln ausführlich behandeln.

Hier sei nur noch erwähnt, daß die Vergasung des Kohlenstoffs mit Hilfe von Wasserdampf bei der früher besprochenen Bildung von Generatorgas durch unvollkommene Verbrennung des Kohlenstoffs (S. 324) eine wichtige Rolle spielt. Nicht nur daß der Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu Wassergas zersetzt wird, welches sich dem Generatorgas beimischt, sondern man sucht auch die unter dem Rost eintretende Luft absichtlich zu befeuchten, um die Wassergasbildung bzw. die Halbwassergasbildung, um die es sich hier handelt, möglichst zu verstärken.

Bei der Bildung von Generatorgas tritt die ganze Verbrennungswärme des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd knapp oberhalb des Rostes auf und es ergibt sich daher hier eine sehr hohe Temperatur, welche nicht nur dem Schamotte

und den Roststäben nachträglich ist, sondern welche auch die Schlacke zusammenschmelzen macht, so daß die Rostfläche nur schwer luftdurchlässig erhalten werden kann. Setzt man hingegen der Verbrennungsluft etwas Wasserdampf zu, so wird in der untersten Schicht des Brennmaterials die wärmeverbrauchende Wasserdampfersetzung eingeleitet und die hier auftretenden Temperaturen sind daher wesentlich geringer. Dafür aber erhält das gebildete Generatorgas einen höheren Heizwert, indem außer den 34 Proz. Kohlenoxyd, welche in demselben enthalten sind, noch das durch die Wasserdampfersetzung gebildete Wassergas als brennbares Gas hinzutritt. Die Wärmemenge, welche bei der reinen Generatorgasbildung über dem Rost auftritt, teilt sich dem gebildeten Generatorgas mit und dieses ist daher bei der reinen Generatorgasbildung heißer, als wenn man Wasserdampf zusetzt. Die gesamte Wärmemenge, die aus dem Generatorgasprozeß gewonnen werden kann, ist in dem einen oder anderen Falle die gleiche, wenn das Generatorgas in dem heißen Zustande, wie es entsteht, verbrannt wird; denn die gleiche Wärmemenge, welche in dem einen Falle durch das heiße Generatorgas mitgebracht wird, kommt im anderen Falle beim Wasserdampfbzusatz bei verhältnismäßig kühlerem Gas als Verbrennungswärme zum Ausdruck. Man erzielt also durch den Dampfbzusatz nicht etwa eine bessere Ausnutzung der Verbrennungswärme, sondern nur eine teilweise Verlegung der Wärmeentwicklung von der Stelle knapp oberhalb des Rostes nach dem eigentlichen Verbrennungsraum. Außerdem ist die Abkühlung des Rostes, wie erwähnt, aus praktischen Gründen zur Schonung des Mauerwerks und des Rostes und zur Erleichterung des Abschlackens unbedingt erforderlich. Wir werden hierüber im Kapitel 58 über Generatorgas auch noch Näheres besprechen.

## VII. Öfen zur Entgasung der Kohle.

### 21. Retortenöfen.

Zum Zwecke der Entgasung der Kohle unter Bildung von Steinkohlengas und Koks muß die Kohle unter Luftabschluß erhitzt werden. Man verwendet dazu die sogenannten Gasretorten. Der Name entstammt den gleichnamigen Laboratoriumsapparaten, in welchen Destillationen unter Ausschluß von Luft ausgeführt werden. In der Tat hatten die zuerst von Murdoch für die Steinkohlengaserzeugung verwendeten Destillationsgefäße die Form der in den Laboratorien verwendeten Retorten (s. Fig. 162). Diese Retorten waren aus Gußeisen und konnten daher die hohen Temperaturen, deren Anwendung zur Destillation der Steinkohle sich sehr bald als notwendig erwies, nicht aushalten. Man mußte daher Retorten aus feuerfestem Material verwenden und gelangte zu der auch heute noch angewendeten Schamotte. Allerdings ist die Wärmeleitfähigkeit derselben ganz wesentlich geringer als die des Eisens, und außerdem ist die Anwendung einer viel größeren Wandstärke erforderlich, um den nötigen Grad der Festigkeit zu erzielen, so daß viel höhere Außentemperaturen erforderlich sind, um die nötige Wärmemenge in das Innere der Retorte zu übertragen. Händ in Hand mit der Anwendung der Schamotte ging auch die Umbildung der Retortenform. Die Notwendigkeit, den als Entgasungsrückstand hinterbliebenen Koks rasch entfernen zu müssen, führte zur Anwendung zylindrischer Rohre, die auf einer

Seite geschlossen, auf der anderen Seite durch einen leicht zu öffnenden, aber sicher abdichtenden Verschuß zu versehen waren.

Obwohl man nahezu ein Jahrhundert lang die Form der Retorten kaum geändert hat, so hat doch in den letzten beiden Jahrzehnten kaum ein anderer Apparat in der Gasindustrie so große Änderungen erfahren wie die Retortenöfen.

Die Querschnitte der Retorten wurden in verschiedener Weise ausgebildet, doch einigte man sich bald auf Normalien, die gemäß der Vereinbarungen des deutschen Vereins der Gas- und Wasserfachmänner im Jahre 1867, wie Fig. 163 zeigt, festgelegt wurden. Aus derselben sind auch die Dimensionen der Querschnitte ersichtlich. Die Profile der dritten Horizontalreihe beziehen sich auf geneigte Retorten. Die Länge der Retorten wird wechselnd mit 2,5 bis zu 6 m genommen. Die Wandstärke wählt man gewöhnlich 60 bis 65 mm, und man verstärkt sie an der Mündung bis zu 110 mm. — Von besonderer Wichtigkeit nicht nur betreffs der Retorten, sondern auch betreffs des ganzen Baues der Retortenöfen ist die Wahl einer guten Schamottequalität, die im

Fig. 162.

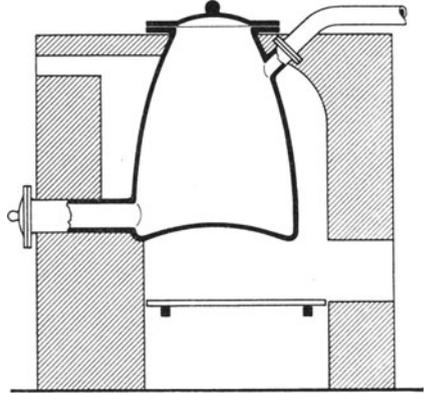
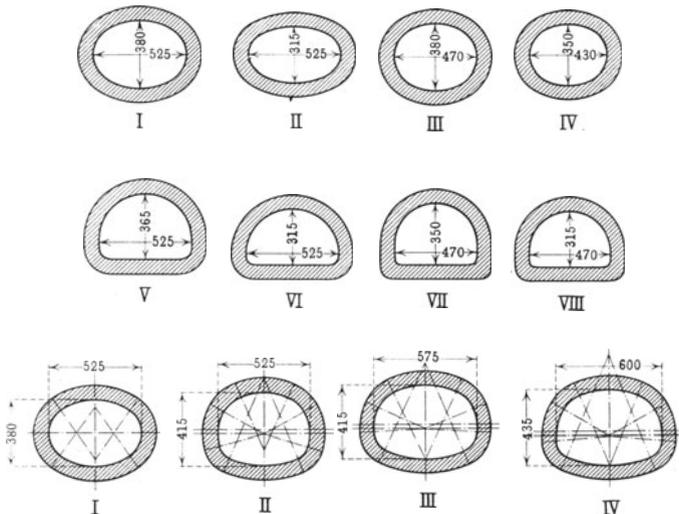


Fig. 163.



allgemeinen viel zu wenig Beachtung erfährt. Es ist unrichtig, die Güte der Schamotte nur nach dem Kieselsäuregehalt zu beurteilen. Ein zu großer Gehalt an Kieselsäure wirkt sogar nachteilig. Reiner Ton ist am widerstandsfähigsten, und ein Gehalt von nicht mehr als 55 Proz.  $\text{SiO}_2$  am günstigsten<sup>1)</sup>. Der Ton soll nicht weniger als 33 Proz.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  enthalten.

<sup>1)</sup> Searle, Journ. of Gasl. 1910, S. 424; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1076.

Durch Kohlenstoff und reduzierende Gase verringert sich die Widerstandsfähigkeit der Schamotte. Eisen und Eisenoxyde, die in der Glühhitze mit der Schamotte in Berührung kommen, geben mit der Kieselsäure der letzteren leichtflüssige Schlacken und zerstören daher die Schamotte. Große Temperaturschwankungen wirken ebenfalls nachteilig auf die Schamotte ein. Steine, welche solchen Schwankungen ausgesetzt sind, sollen aus porösem Ton bestehen, da dieser die Wärme schlechter leitet, so daß die Temperaturschwankungen nicht so rasch in das Innere eintreten. Als Material zur Herstellung der Retorten ist dagegen die Anwendung porösen Tons weniger zweckmäßig, weil solche Retorten mehr Gas hindurchlassen und ebenso die Wärme langsamer in das Innere übertragen. Außerdem schwindet derselbe stärker, wenn er nicht gut gebrannt ist. Die Schamottesteine sollen bei wenigstens 1400°C gebrannt werden. Sie sollen selbst beim Erhitzen bis auf den Schmelzpunkt ihre Porosität nicht verlieren.

Asche und alkalihaltiger Staub wirken in der Hitze sehr nachteilig auf die Schamotte ein, ebenso macht überhitzter Dampf die Schamottesteine weich. Besonders nachteilig ist auch die Abscheidung von Kohlenstoff in Form von Graphit in den Poren der Schamotte. Derselbe treibt die Poren auseinander und lockert das Gefüge der Schamotte. Schamottesteine, die reich an Tonerde sind, sind dichter und spezifisch schwerer, lassen daher eine geringere Ablagerung von Kohlenstoff in den Poren zu, was für die Wahl des Retortenmaterials besonders wichtig ist<sup>1)</sup>.

Enthält die Schamotte Natriumsalze, so ist dies ebenfalls nachteilig, weil dieselben bei hoher Temperatur dissoziieren. Im allgemeinen sind Steine mit dem höchsten spezifischen Gewicht die besten.

Die glühenden Schamottesteine sind nach Untersuchungen von Gary<sup>2)</sup> noch fester als im kalten Zustande, wenn dieselben nur einmal erhitzt wurden. Häufiges Erhitzen und Erkalten macht jedoch die Schamotte mürbe.

Die Wärmeleitfähigkeit beträgt nach Untersuchungen von Clement und Egy<sup>3)</sup> für mittelgroben Ton 0,003 62, für sehr feinen Ton 0,002 21. Sie fanden ferner<sup>4)</sup> ein Anwachsen der Leitfähigkeit bei zunehmender Temperatur.

Ray und Kreisinger<sup>5)</sup> fanden bei Untersuchungen über den Wärmedurchgang bei Ofenmauerwerk, daß unterhalb 625° die Strahlungsverluste geringer sind als die Leitungsverluste, daß also bei solchen Temperaturen die Anwendung isolierender Luftschichten zweckmäßig ist. Oberhalb dieser Temperatur geht jedoch durch Strahlung erheblich mehr Wärme verloren als durch Leitung.

Wesentlich für den Bau der Retortenöfen ist die Art der Beheizung derselben, die Anzahl der in einem Ofen zu vereinigenden Retorten oder Kammern und die Lage derselben. Danach unterscheidet man folgende Ofentypen:

- Rostöfen,
- Halbgeneratoröfen,
- Vollgeneratoröfen mit horizontalen Retorten,
- „ „ geneigten „
- Vertikalöfen mit periodischer Beschickung,

<sup>1)</sup> Schreiber, Stahl u. Eisen 1910, S. 1839. — <sup>2)</sup> Ebend. S. 963; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 348. — <sup>3)</sup> Iron Transaction Revue 1910, S. 821; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 836. — <sup>4)</sup> Journ. of the Soc. Chem. Ind. 1910, S. 952; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 163. — <sup>5)</sup> Stahl u. Eisen 1911, S. 1640; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1114.

Vertikalöfen mit kontinuierlicher Beschickung,  
 Kammeröfen mit horizontalen Kammern,  
 „ „ geneigten „  
 „ „ vertikalen „

Bevor wir in die Beschreibung der einzelnen Typen eingehen, wollen wir das für den Ofenbau allgemein Gültige zusammenfassen.

Die Anzahl der Retorten, die man in einem Ofen vereinigt, hängt von der Größe der Gaswerksanlage ab. Natürlich muß sich die Produktion dem Gasverbrauch anpassen. Beheizt man eine Anzahl von Retorten im Ofen, ohne sie auszunutzen, so ist eine wesentlich höhere Menge an Unterfeuerungsmaterial notwendig. Man baut Öfen mit beliebiger Zahl von Retorten von zwei bis neun Stück, in neuerer Zeit bei Vertikalretortenöfen sogar bis zu 20 Stück, und die Anordnung ist stets so getroffen, daß eine gleiche Anzahl von Retorten in beiden Hälften des Ofens angeordnet sind.

Die Retortenöfen bestehen aus den Ofenhülsen, dem eigentlichen Einbau und dem Rauchkanal. Die Ofenhülse ist dazu bestimmt, dem eigentlichen Ofeneinbau den nötigen Halt zu gewähren. Zur Herstellung derselben ist ausschließlich nur festes, hartes Material zu verwenden. Ebenso ist auch auf die Arbeit der Aufmauerung der Ofenhülse größte Sorgfalt zu legen. Es ist dafür zu sorgen, daß engfügig gemauert wird. Ferner ist auf größte Dichtigkeit des gesamten Mauerwerks zu achten, denn durch undichtes Mauerwerk wird der ganze Betrieb des Ofens wesentlich beeinflußt. Die Ofenhülse ist außen in Ziegelmauerwerk gemauert, innen in Schamotte. Auch der Schamotteinsatz ist möglichst dünnfügig mit größter Sorgfalt zu mauern. Zu diesem Zwecke muß der Schamottemörtel aus dünnstem Brei angewendet werden. Es dürfen auch keine behauenen Steine angewendet werden, sondern ausschließlich nur Formsteine.

Zur Erzielung einer größeren Festigkeit der Ofenhülse wird dieselbe stark verankert. Es ist jedoch vorteilhaft, die Anker an den Enden nicht fest einzumauern, sondern dort beweglich zu machen, damit die verschiedene Ausdehnung des Eisens und des Mauerwerkes in der Hitze keine Lockerung des ganzen Gefüges hervorbringt. Zu diesem Zwecke kann man an den Enden der einzelnen Anker Federn einbauen, wie es die Fig. 164<sup>1)</sup> zeigt.

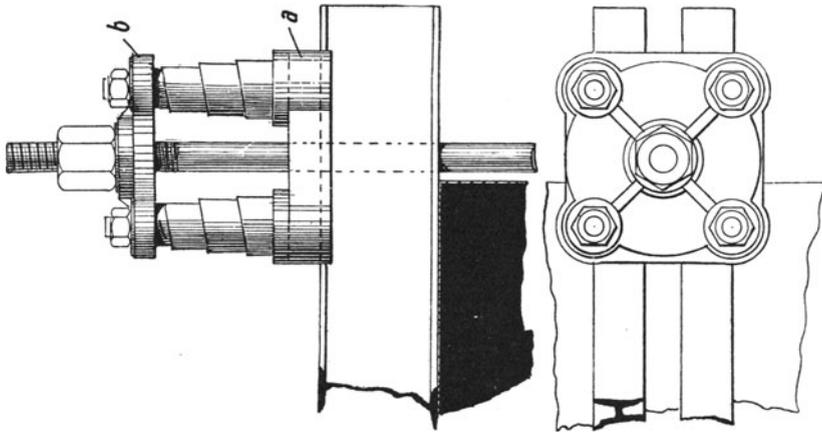
Jede Verbindung der Ofenhülse mit den sonstigen Bestandteilen des Ofenhauses muß unbedingt vermieden werden. Die Hülse des Ofens soll auch mit den Fundamenten des Ofenhauses in keiner Verbindung stehen, damit dieselben sich bei der Erwärmung selbständig bewegen können, ohne von dem Ofenhaus beeinflusst zu sein. Wie schon erwähnt, sind die Retorten im Ofen zu beiden Seiten symmetrisch angeordnet. Dementsprechend ist auch die Beheizung der Retorten eingerichtet. Von der Feuerung, ob dies nun eine Rost- oder eine Generatorfeuerung ist, streichen die Heizgase in der Mitte nach oben, umspülen dort die oberste Retortenreihe und sinken zu beiden Seiten des Ofens nach abwärts. Da die Beheizung der Retorten eine durchaus gleichmäßige sein soll, müssen die Feuergase an der untersten Retortenreihe noch dieselbe Temperatur oder wenigstens annähernd dieselbe Temperatur besitzen wie bei den oberen Retortenreihen. Würden nun aber die Abgase mit dieser hohen Temperatur in den Schornstein entweichen, so würde eine ganz beträchtliche

<sup>1)</sup> Aus Schäfer, Einrichtung und Betrieb eines Gaswerkes, 3. Aufl. München 1910.

Wärmemenge aus dem Ofen mit fortgenommen und die Verluste wären ganz bedeutende, so daß der Verbrauch an Unterfeuerungsmaterial sehr hoch würde. Bei allen Öfen, die einen höheren Grad der Vollkommenheit besitzen, wird diese von den Abgasen unten abgeführte Wärmemenge zur Vorwärmung der Verbrennungsluft benutzt und auf diese Weise wiedergewonnen. Diese Vorwärmung wird in der sogenannten Regeneration vorgenommen.

Es werden zwar hier nicht Regeneratoren verwendet, wie man sie sonst bei Feuerungsanlagen gebraucht, bei welchen die Wärme der Abgase in den Regeneratoren, die mit Schamottesteinen ausgesetzt sind, aufgespeichert wird, wonach dann durch Umstellen entsprechender Ventile die Verbrennungsluft über diese erwärmten Steine streicht, sondern es wird hier die Luft in kontinuierlichem Strome vorgewärmt. Derartige Vorrichtungen nennt man bei

Fig. 164.



anderen Feuerungsanlagen Rekuperatoren. Trotzdem hat sich der Ausdruck „Regeneration“ im Gaswerksbetriebe aufrecht erhalten. Auf die Anordnung dieser Regeneration werden wir bei Besprechung der einzelnen Ofentypen zurückkommen.

Hier sei nur noch eine besondere Ausführungsform der Regeneration erwähnt, die allgemein anwendbar und besonders für Öfen mit geringem Tiefbau geeignet ist. Sie wurde von Hermansen<sup>1)</sup> konstruiert und von Pintsch eingeführt. Sie besteht aus aufeinanderliegenden vierkantigen, röhrenförmigen Schamotteformsteinen, die falzartig ineinandergreifen. Es kann hierbei in gleichem Volumen fünfmal so viel Heizfläche erzielt werden, wie bei der üblichen Ausführung, und die entstehenden kompakten Blöcke sind sehr haltbar.

Die Regeneration ist zu beiden Seiten des Ofens symmetrisch ausgebildet. Die Abgase treten daher von beiden Seiten des Ofens getrennt in den Abgaskanal.

Allerdings ist es nicht immer zweckmäßig, die Vorwärmung der Verbrennungsluft auf das äußerste zu treiben. Die letzten Grade der Erhitzung kosten eine große Heizfläche, während bei einer etwas geringeren Vorwärmung

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1906, S. 1133.

mit einer viel geringeren Heizfläche das Auslangen gefunden werden kann. Die Anlagekosten sind aber in letzterem Falle bedeutend geringere<sup>1)</sup>.

Obwohl die beiden Ofenteile von einer gemeinsamen Feuerstelle, die in der Mitte gelegen ist, beheizt werden, sind sie doch als getrennte Feuerungsanlagen zu betrachten und jede für sich zu regulieren. Dementsprechend sind auch an der Austrittsstelle der Abgase von den beiden Ofenseiten in den Schornsteinkanal zwei getrennte Schieber angeordnet.

Auch bei der ganzen Ausführung des in die Ofenhülse einzusetzenden Einbaues ist auf die größte Dichtigkeit des ganzen Baues zu sehen. Es ist zweckmäßig, dafür zu sorgen, daß die Fugen zwischen den Steinen der Ofenhülse mit den Fugen des Einbaues nicht übereinstimmen, damit, im Falle Luft durch eine undichte Fuge der Ofenhülse eintritt, diese nicht in das Innere des Einbaues gelangen kann. Von besonderer Wichtigkeit ist natürlich die Dichtigkeit der Regeneration selbst. Sind die Wände, welche die Luftkanäle von den Abgaskanälen trennen, undicht, so würde Luft in die Abgaskanäle gelangen und die Abgase verdünnen, wobei der Luftüberschuß eine beträchtliche Wärmemenge mit in den Schornstein entführen würde. Eine undichte Regeneration bringt daher wesentliche Wärmeverluste mit sich. Für die Abgas- und Luftkanäle sollen daher niemals Normalsteine verwendet werden, die viel zu viel Fugen ergeben, sondern Formsteine. Jedoch auch die Formsteine müssen möglichst dünnfugig aufeinandergesetzt werden, was nur zu erzielen ist, wenn ein sehr dünner Mörtel für die Mauerung angewendet wird. Die Formsteine werden mit Nut und Feder aufeinandergesetzt, d. h. der eine Stein besitzt eine Ausnehmung, die „Nut“, und der andere eine entsprechende Erhebung, die sogenannte „Feder“, welche in die Nut eingreift, so daß ein inniger Zusammenhang zwischen den beiden Steinen hervorgerufen wird. Ist im Inneren des Ofens ein Generator eingebaut, so ist derselbe zweckmäßig ohne Verband mit der Regeneration auszuführen, so daß derselbe die Bewegungen, die er zufolge seiner Erwärmung macht, unabhängig von der Regeneration ausführen kann. Im anderen Falle würden dabei Undichtheiten in der Regeneration entstehen.

Zur Berechnung der Größe der für die Abgase erforderlichen Querschnitte ist zu berücksichtigen, daß 1 kg Koks entsprechend seinem Kohlenstoffgehalt von etwa 85 Proz. beiläufig 7,5 m<sup>3</sup> Luft zur Verbrennung benötigt. Führt man die Verbrennung ohne Zusatz von Wasserdampf zur Verbrennungsluft aus, so ist die Hälfte als Unterluft, die Hälfte als Oberluft zu verwenden. Verbrennt man dagegen den Koks im Generator unter Zuführung von Wasserdampf, so tritt nur ein Drittel als Unterluft und zwei Drittel als Oberluft hinzu. Es ist nun aber noch zu berücksichtigen, daß die Gase durch die hohe Temperatur eine wesentliche Vermehrung ihres Volumens annehmen. Die Ausdehnung der Gase ist proportional der absoluten Temperatur. Letztere erhält man, indem man der in Celsiusgraden angegebenen Temperatur die Zahl 273 hinzuzählt. Demnach beträgt also das Volumen der Gase bei 273° C doppelt so viel als bei 0° C. Bei 546° C beträgt es dreimal so viel und bei 3 × 273, d. i. 819° C, viermal so viel. Allgemein gesagt beträgt also das Volumen der Gase bei  $n \times 273^\circ \text{C}$   $n$ -mal so viel als bei 0°.

<sup>1)</sup> Terhaerst, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1061.

Der Schornstein erhält nach Dr. Schilling sen. folgenden Querschnitt:

Für einen Ofen mit 2 Retorten	0,08 m <sup>2</sup>
" " " " 3 "	0,09 "
" " " " 5 "	0,10 "
" " " " 6 "	0,12 "
" " " " 7 "	0,13 "
" " " " 8 "	0,14 "

Die Rauchgasschieber, welche den Austritt der Abgase zum Schornsteinkanal drosseln, werden meist in gänzlich unzulänglicher Weise ausgeführt. Eiserne Schieber sind gänzlich unbrauchbar, da sie sich durch die heißen Gase, die oft mehr als 500° haben, verziehen und entweder schwer beweglich oder undicht werden. Es sind also unbedingt Schamottesteine als Schieber zu verwenden. Diese müssen jedoch leicht beweglich sein und werden daher in Schlitzten des Schornsteinkanals geführt, welche meist wesentlich weiter sind, als die Dicke der Schamottesteine beträgt. Dadurch treten aber wieder ganz bedeutende Undichtheiten ein, derart, daß der Schornsteinzug große Mengen von kalter Luft neben dem Schieber einsaugt. Dem kann man nur dadurch ausweichen, daß man oberhalb des Schiebers einen geräumigen Kasten anordnet, welcher den ganzen Schamotteschornsteinschieber aufzunehmen vermag. Dieser Kasten kann aus Gußeisen oder Schmiedeeisen hergestellt sein und erhält oben eine Stopfbüchse, durch welche die Stange des Schiebers hindurchgeführt wird. Die Undichtheiten, welche durch schlecht ausgeführte Schornsteinschieber bedingt werden, sind oft derart groß, daß ein regelmäßiger und ordentlicher Betrieb eines Ofens dadurch unmöglich gemacht werden kann.

Von Wichtigkeit ist auch die Art der Ausführung der Einmündung der Rauchgase in den gemeinsamen Schornsteinkanal. Bei einfacher, rechtwinkliger Einmündung kann es vorkommen, daß durch die in dem gemeinsamen großen Kanal vorbeistreichenden Gase der Austritt der Abgase aus einem Ofen verhindert wird, oder daß doch wenigstens der Zug in dem betreffenden Ofen wesentlich gestört wird. Kann also die Einmündung nicht schräg in der Richtung der Bewegung der Abgase erfolgen, so ist es zweckmäßig, an der Einmündungsstelle Kappen anzubringen, welche ihre Öffnung in der Richtung der Bewegung der Gase besitzen, so daß durch die vorbeistreichenden Gase eine saugende Wirkung ausgeübt wird.

Der Sammelkanal der Rauchgase, welcher zu einem für alle Öfen gemeinsamen Schornstein führt, soll befahrbar eingerichtet sein. Zu diesem Zwecke muß er an einem Ende eine Einsteigöffnung besitzen. Dem Verschlusse dieser Einsteigöffnung ist jedoch ebenfalls große Aufmerksamkeit zu widmen. Auch dort dürfen keine Undichtheiten vorhanden sein, da sonst der Zug namentlich in den zuletzt stehenden Öfen sehr beeinträchtigt werden kann. Am besten ist es, die Abdichtung derart vorzunehmen, daß man hinter das zum Abschluß eingebaute Mauerwerk noch ein zweites kleines Mauerchen setzt und den Zwischenraum zwischen diesen beiden Mauern mit feinem Sand ausfüllt. Blechtüren sind dort ebenfalls unzulässig, weil sie sich durch die Wärme leicht verziehen.

Um die Wärmeausstrahlung der Retortenöfen gegen das Ofenhaus zu vermindern, ist es sehr zweckmäßig, dieselben zu isolieren. Einesteils wird dadurch an Wärme gespart, anderenteils werden die Ofenhausarbeiter vor einer zu hohen Temperatur geschützt. Zur Isolierung eignet sich gut

Thermalit<sup>1)</sup>. Man bringt davon oberhalb des Gewölbes und an der Rückseite des Umbaus eine etwa 6,5 cm dicke Schicht und an der Vorderseite eine 3 cm starke Schicht an.

Zwischen je zwei Retortenöfen ist ein mindestens zwei Steine breiter Pfeiler aufzurichten. Vor den Öfen ist ein Raum von mindestens 5 bis 7 m Breite, rückwärts ein solcher von 1,5 bis 2 m Breite freizulassen. Werden zwei Reihen von Retortenöfen einander gegenüberstehend angeordnet, so muß zwischen denselben mindestens ein Raum von 10 m Breite frei bleiben.

Beim Austrocknen der Retortenöfen muß man besonders vorsichtig zu Werke gehen. Sind dieselben neu errichtet, so enthalten die Steine der Öfen große Mengen von Wasser. Dünnfugiges Mauerwerk kann ja nur hergestellt werden, wenn sowohl die Steine wie der Mörtel sehr naß zur Anwendung gelangen. Es ist nun notwendig, diese großen Mengen von Wasser sehr vorsichtig aus dem Mauerwerk auszutreiben. Bei neu errichteten Gaswerken beginnt man zunächst mit der Ausheizung des Schornsteines. Würde man umgekehrt gleich bei den Öfen anfangen, so würde das aus denselben ausgetriebene Wasser sich im Rauchkanal und im Schornstein kondensieren und diese großen Mengen von Kondenswasser würden den Mörtel aus dem Mauerwerk wegschwemmen. Man zündet also zunächst am Fuße des Schornsteines ein Holzfeuer an und unterhält dasselbe so lange, bis der Schornstein vollständig trocken ist. Dann beginnt man mit der Ausheizung des Rauchkanals in der gleichen Weise, indem man an dem vom Schornstein abgewendeten Ende des Rauchkanals ebenfalls Holzfeuer anzündet. Zuletzt geht man dann an die Austrocknung des Ofens selbst, ebenfalls mit Hilfe von Holzfeuern.

Um sich davon zu überzeugen, welche Menge von Wasserdampf die abziehenden Verbrennungsgase dort enthalten, kann man ein Stück festen gebrannten Kalkes in die Abgase hineinlegen. Aus dem Grade des Zerfalles des Kalkes kann man einen Schluß auf den Feuchtigkeitsgehalt ziehen. Das Austrocknen eines größeren Ofens mit neun Retorten, welches auf diese Weise vorgenommen wird, dauert etwa sechs Wochen.

Dem Austrocknen folgt das eigentliche Anheizen, welches jedenfalls mit großer Vorsicht vorgenommen werden muß. Einmal muß man ein zu rasches Anheizen vermeiden, weil dadurch die Schamottesteine stark leiden würden. Andererseits ist große Vorsicht geboten, weil sich leicht explosive Gasgemische bilden würden, solange die Steine des Ofens noch nicht glühend sind. Man bringt daher auf den Rost der Feuerung, einerlei ob es ein Rostofen oder ein Generatorofen ist, nur eine dünne Schicht von Koks, welche die Bildung von Kohlenoxydgas ausschließt. Man läßt dabei die Feuertür vollständig offen, um ein Hindurchstreichen von möglichst viel Luft zu gewährleisten. Ist das Innere des Generators auf diese Weise bis zum Glühen erhitzt, so kann man die Feuertüren bzw. die Füllöffnung des Generators schließen, hält aber nach wie vor die Koksschicht im Generator sehr niedrig, so daß sich noch keine brennbaren Gase bilden. Erst bis die Retorten selbst schon schwach zu glühen beginnen und die Schlitze, durch welche die Gase austreten, schon lebhaft glühen, kann man dazu übergehen, die Koksschicht im Generator allmählich zu erhöhen, so daß Generatorgas entsteht, welches sich aber jetzt an den glühenden Schlitzen sofort entzündet. Wäre dies nicht

<sup>1)</sup> Arnold, Journ. of Gaslighting 1910, S. 171; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 725.

der Fall, so läge die Möglichkeit vor, daß sich das Generatorgas mit der Sekundärluft mischt, so daß dann bei plötzlich eintretenden Entzündungen Explosionen, welche das ganze Mauerwerk des Ofens nicht nur beschädigen, sondern gänzlich zerstören können, möglich sind. Ein größerer Retortenofen benötigt fünf Tage, bis er auf die für die Gaserzeugung erforderliche Temperatur gebracht wird; denn auch wenn das Generatorgas bereits zu brennen begonnen hat, darf das Anheizen nicht zu rasch vorgenommen werden, weil sonst das Schamottefeuerwerk an einzelnen Stellen übermäßig heiß würde, während es an anderen Stellen noch kalt ist, und durch derartige Temperaturdifferenzen die Steine zerreißen. Erfolgt die Entzündung des Generatorgases nicht rasch genug, so kann man sich auch dadurch helfen, daß man eine weißglühende Eisenstange an jene Stelle bringt, wo das Generatorgas mit der Sekundärluft in Berührung kommt. Um eine gleichmäßigere Beheizung der Retorten, d. h. ein gleichmäßigeres Anheizen derselben zu erzielen, füllt man dieselben manchmal während des Anheizens mit Koks<sup>1)</sup>. Es ist jedoch dafür zu sorgen, daß der Koks in vollständig trockenem Zustande verwendet wird. Ein solches Verfahren ist recht zweckmäßig, jedoch kostspielig<sup>2)</sup>.

Von großer Wichtigkeit für den guten Gang der Öfen ist die richtige Zufuhr der Luft, die teilweise unter dem Rost, auf dem der Koks liegt, teilweise oberhalb desselben eintritt. Um die beste Ausnutzung des Brennmaterials zu erzielen, ist es notwendig, eine vollständige Verbrennung ohne einen zu großen Überschuß von Luft durchzuführen. Dies kennzeichnet sich durch den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Abgase. Die Verbrennung wird eine um so günstigere und sparsamere sein, je höher der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Abgase ist. Eine Ersparnis von nur 1 Proz. an Unterfeuerung entspricht einem Ertrag von 50 *M* pro Ofen und Monat; es lohnt sich also, die Ofenkontrolle auf das genaueste durchzuführen und auch die Anschaffung und regelmäßige Bedienung von geeigneten Kontrollinstrumenten nicht zu scheuen<sup>3)</sup>. Bei Rostöfen ist die Regulierung nur durch die Schichthöhe des Kokes auf dem Rost möglich. Bei den viel vollkommener arbeitenden Halbgeneratoröfen oder Vollgeneratoröfen kann die Regulierung zwischen Unterluft und Oberluft jedoch außerordentlich exakt durchgeführt werden. Zu diesem Zwecke befinden sich zu beiden Seiten des Ofens Öffnungen, die mit kleinen Schiebern verstellbar verschlossen werden können. Jede Seite des Ofens hat dabei ihre eigene Regulierung. Die eintretende Unterluft bewirkt die Erzeugung des Generatorgases, die Oberluft hingegen die Verbrennung des letzteren. Es wird also das Verhältnis zwischen Unterluft und Oberluft derart geregelt werden müssen, daß die Verbrennung eine vollkommene ist und daß keine größere Menge freien Sauerstoffs in den Abgasen enthalten ist.

Hat man den Ofen einmal auf eine bestimmte Temperatur gebracht, so ist dieselbe auch dauernd aufrecht zu erhalten. Hierzu ist eine konstant bleibende Wärmezufuhr aus der Feuerung erforderlich. Auf alle Fälle muß in der Feuerung stets pro Zeiteinheit eine gleichbleibende Menge von Koks verbrannt werden. Dies tritt ein, wenn immer die gleiche Luftmenge durch den Koks hindurchgesogen wird. Das Durchsaugen von Luft wird jedoch bei diesen Feuerungen stets nur von dem Schornsteinzug allein bewirkt.

---

<sup>1)</sup> Cremer, Journ. f. Gasbel. 1906, S. 508. — <sup>2)</sup> Schweizer, Ebend. 1910, S. 394.  
— <sup>3)</sup> K. Bunte, Ebend. 1908, S. 785.

Würde der Widerstand in der Brennmateriasäule und der Schornsteinzug stets gleich bleiben, so hätte man nicht zu besorgen, daß die Luftmengen, welche den Koks verbrennen, wechseln. Dies ist aber nie der Fall. Würde auch der Schornsteinzug konstant bleiben, so würden sich doch die Widerstände in der Brennmateriasäule derart ändern, daß die durchgesogenen Luftmengen und dadurch die Verbrennung an Koks verschieden würden. Die Widerstände in der Brennmateriasäule ändern sich nicht nur durch die wechselnde Schichthöhe, sondern auch durch die allmähliche Verschlackung des Rostes. Ein frisch geschlackter Rost wird wesentlich größere Mengen von Luft hindurchtreten lassen und wird dadurch eine größere Wärmeentwicklung bedingen als ein durch Schlacken bereits teilweise verlegter Rost. Von größerem Einfluß auf den Widerstand in der Brennmateriasäule ist auch die Korngröße des angewandten Kokes. Kleinstückiger Koks gibt einen größeren Widerstand als Koks in großen Stücken.

Vollständig irrtümlich ist die Ansicht, daß ein zu hoher Schornsteinzug die Heizgase unausgenutzt hindurchreißt. Ein zu hoher Schornsteinzug kann wohl nachteilig sein, wenn größere Undichtheiten in der Regeneration vorhanden sind. Es wird dann natürlich mehr Luft bei den undichten Stellen eingesogen, als bei geringem Schornsteinzug<sup>1)</sup>. Bei vollständig dichten Öfen ist der höhere Schornsteinzug sogar vorteilhaft, weil er ermöglicht, die Regulierung der Öfen in weiteren Grenzen vorzunehmen.

Die Unterluft hat zunächst den Unterluftschieber und dann die Brennmateriasäule zu passieren. Dadurch hat man ein Mittel an der Hand, den Gesamtwiderstand von Unterluftschieber und Brennmateriasäule konstant zu halten. Man braucht nur den Unterluftschieber in dem Maße zu öffnen, wie die Verschlackung des Rostes zunimmt<sup>2)</sup>. Änderungen der Temperatur des Ofens soll man nicht durch Änderung in der Einstellung des Unterluftschiebers bewirken, sondern durch Veränderungen in der Zugstärke. Bleibt die Menge der eingesogenen Oberluft konstant und ist auch die Zusammensetzung der Abgase konstant, so kann man sicher sein, daß auch die Menge der zur Verbrennung gelangenden Generatorgase konstant, also die gesamte gebildete Wärmemenge gleich geblieben ist. Allerdings wird häufig auch in anderer Weise vorgegangen. Man hält dann die Einstellung des Unterluftschiebers konstant und regelt nur die Oberluft. Dann nimmt aber die Menge des pro Zeiteinheit entwickelten Generatorgases allmählich ab und demgemäß muß auch die Oberluft allmählich gedrosselt werden.

Hudler hat einen automatisch wirkenden Regler konstruiert, welcher die Oberluft in dem Maße abdrosselt, als die Zugstärke des Ofens durch allmählich zunehmende Verschlackung des Generators zunimmt. Er besteht aus einer einseitig beschwerten Klappe, welche durch zunehmende Saugwirkung im Ofen derart gedreht wird, daß die zwischen der Klappe und dem Gehäuse des Reglers freibleibende Spalte sich verkleinert. Ein solcher Oberluftregler vermag also zu bewirken, daß die Zusammensetzung der Abgase doch stets eine konstante günstige bleibt, wenn auch die Verschlackung des Brennmaterias allmählich zunimmt; er bewirkt jedoch nicht die Konstanz in der Wärmezufuhr. Die Wärmezufuhr wird vielmehr allmählich nach Maßgabe des Verschlackens des Rostes abnehmen.

---

<sup>1)</sup> Bäcker, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 221. — <sup>2)</sup> Geipert, Ebend. 1910, S. 82.

Da die Zusammensetzung der Abgase für die Wirtschaftlichkeit im Betriebe des Ofens von außerordentlicher Wichtigkeit ist, so ist es unbedingt notwendig, sich so häufig wie möglich von der Vollkommenheit der Verbrennung durch Analyse der Abgase zu überzeugen. Auf alle Fälle sollten Analysen stets vor und nach dem Schlacken ausgeführt werden und auch dann, wenn eine Änderung im Schornsteinzuge oder in der Einstellung des Schornsteinschiebers erfolgt ist. Am besten ist es, einen kontinuierlich wirkenden automatischen Gasanalysenapparat, wie wir solche auf S. 237 bis 246 kennen gelernt haben, anzuschließen. Zum Zwecke der richtigen Kontrolle sollte aber dann jeder Ofen seinen eigenen Apparat besitzen.

Bei richtiger Einstellung ist ein  $\text{CO}_2$ -Gehalt von 18 bis 20 Proz. zu erreichen und dieser soll auch dauernd festgehalten werden.

Die Kontrolle des Ganges der Öfen wird auch sehr erleichtert, wenn jeder Ofen einen Zugmesser trägt. Ein solcher ist am besten am Primärluftkanal anzuschließen. Doch auch die Untersuchung des Zuges in den anderen Kanälen ist von Wichtigkeit. Der Zug ist im Primärluftkanal am geringsten und muß allmählich in den dem Schornstein näher gelegenen Zügen zunehmen.

Zur weiteren Kontrolle des richtigen Ganges der Öfen sind zeitweise Temperaturmessungen, am besten mit dem Wannerschen Pyrometer (s. S. 103) zu machen. Als wichtigste Punkte wählt man den Gewölbescheitel, den Boden der Mittelretorte und die Punkte außerhalb der Flügelretorten. Die höchste Differenz der beobachtenden Temperaturen soll  $80^\circ$  nicht überschreiten<sup>1)</sup>.

Um eine derartige gleichmäßige Temperaturverteilung im Ofen zu erzielen, ist es notwendig, daß die Verbrennung mit langer Flamme erfolgt. Verbrennt man ein Generatorgas mit geringem Kohlenoxydgehalt und hohem  $\text{CO}_2$ -Gehalt, so erhält man eine kurze Flamme, weil eine verhältnismäßig geringe Menge von Sekundärluft nötig ist, um die Verbrennung durchzuführen. Man erhält aber gleichfalls eine kurzflammiige Verbrennung, wenn der Winkel, unter welchem die Sekundärluft zu dem Generatorgase tritt, ein stumpfer ist. Treffen die beiden Gase unter spitzem Winkel aneinander, so streichen sie längere Zeit nebeneinander vorbei und mischen sich nicht so innig, daß eine rasche Verbrennung stattfinden könnte. In diesem Falle erfolgt also die Verbrennung langsam und man bekommt eine lange Flamme. Tritt dagegen durch rechtwinkeliges oder gar stumpfwinkeliges Aufeinandertreffen von Generatorgas und Luft eine innige Mischung der Gase ein, so erfolgt die Verbrennung rasch und man erhält eine kurze Stichflamme.

Die Gasanalyse ist nicht nur wichtig für die richtige Einstellung der Verbrennung, sondern sie leistet auch vorzügliche Dienste für die Erkennung von Undichtheiten im Ofen und speziell in der Regeneration. Untersucht man die Gase in den verschiedenen Feuerzügen, so kann man an der Zunahme des Sauerstoffgehaltes erkennen, ob der Abgaskanal gegenüber dem Luftkanal etwa undicht ist, denn in diesem Falle wird Luft zu den Abgasen hinübertreten. Die Zunahme des Kohlensäuregehaltes hingegen oder gar das Auftreten von Kohlenoxyd wird die Undichtheit gegenüber den Gaskanälen anzeigen. Um Undichtheiten ohne Analyse der Gase zu erkennen, kann man den Oberluftschieber etwas drosseln, so daß die Gase kohlenoxydhaltig sind, und man erkennt dann durch die Schauluken, wenn an irgend einer Stelle

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1105.

Luft eingesogen wird. Es zeigt sich nämlich dann dort ein kleines blaues Flämmchen von Kohlenoxyd <sup>1)</sup>).

Ein anderes Mittel zur Erkennung von Undichtheiten liegt in der Messung des Zuges zu beiden Seiten des Ofens. Ergibt sich an der einen Seite ein stärkerer Zugabfall als an der anderen, so kann daraus wohl geschlossen werden, daß an der einen Seite die Mauerung sich in einem anderen Zustande befindet als an der anderen, daß also an der einen Seite irgend ein Fehler vorhanden sein muß. Auch wenn man an einem Ofen ganz andere Zugverhältnisse beobachtet als an einem anderen, nahe daneben stehenden, der an demselben Schornstein hängt, kann angenommen werden, daß irgend welche Fehler im Mauerwerk vorliegen. Die Undichtheiten des äußeren Ziegelmauerwerkes erkennt man mit Hilfe einer Kerze, indem man dieselbe längs der Fugen entlang führt. An den Stellen, wo die Undichtigkeit beginnt, wird die Flamme durch den Zug in den Ofen gezogen. Aus der Ablenkung der Kerzenflamme kann man also Undichtheiten erkennen. Ergeben sich solche, so werden dieselben entweder mit Zementmörtel oder mit Braunstein verfügt. Ebenso wie das Mauerwerk des Ofens ist auch der Essenkanal zeitweise mit einer Kerze abzuleuchten und frisch zu verfügen, wenn sich Undichtheiten ergeben.

Um Undichtheiten möglichst bequem beseitigen zu können, ist es natürlich notwendig, daß die sämtlichen Züge der Regeneration sowie überhaupt das Innere des Ofens von außen leicht zugänglich sind, darauf ist bei der Konstruktion des Ofens besonders zu achten. Die neueren Ofenkonstruktionen kommen dieser Anforderung in vollkommener Weise nach.

In welcher Weise die Reparaturen im Inneren des Ofens auszuführen sind, werden wir später sehen.

Im Gaswerkbetriebe ist das Gas das Hauptprodukt und der Koks das Nebenprodukt. Als Feuerungsmaterial zur Beheizung der Retortenöfen wird daher im Gaswerkbetriebe der Koks verbraucht, während in den Destillationskokereien, wo der Koks das Hauptprodukt ist, das Gas zur Beheizung der Öfen dient. In letzter Zeit ist man allerdings an manchen Stellen zur Erkenntnis gelangt, daß auch der Koks ein noch verhältnismäßig wertvolles Feuerungsmaterial darstellt, und daß man auch die Befuerung im Gaswerkbetriebe mit billigeren Brennmaterialien, z. B. mit Braunkohle, die man in Generatoren vergast, durchführen kann. Wir wollen jedoch zunächst nur die Befuerung mit Koks betrachten.

Je nach der Art, wie der Koks verbrannt wird, unterscheiden wir zweierlei prinzipiell voneinander verschiedene Methoden: die Rostfeuerung und die Generatorfeuerung. Die erstere ist, wie wir schon erörtert haben, unrationell, jedoch billig in der Anlage und eignet sich daher nur für kleine Werke. Die Rostfeuerung ist stets in der Mitte des Ofens unten eingebaut. Der Rost besteht gewöhnlich aus 50 mm quadratischen gußeisernen Stäben. Je nach der Größe des Ofens, d. h. nach der Anzahl der Retorten wählt man die Größe der Rostfläche gemäß nachstehender Tabelle:

Für 2	Retorten: Rostfläche . . . . .	0,18 m <sup>2</sup>
" 3	" " . . . . .	0,225 "
" 4	" " . . . . .	0,28 "
" 5 bis 7	" " . . . . .	0,30 "

<sup>1)</sup> Geipert, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 82; vgl. auch ebend. 1910, S. 1105.

Den Schornstein dimensioniert man für je 1 m<sup>2</sup> Rostfläche mit 0,5 m<sup>2</sup>. An Koksverbrauch für die Unterfeuerung sind bei Rostöfen 20 bis 50 Proz. der vergasten Kohle in Anrechnung zu stellen. Der Verbrauch ist natürlich bei kleinen Öfen verhältnismäßig ungünstiger als bei großen.

Bei Generatoren unterscheidet man Öfen mit Außengenerator und solche, bei denen der Generator im Inneren des Ofens angebracht ist. Die Theorie über die Vergasung des Kohlenstoffs im Generator haben wir bereits früher (S. 324) besprochen. Wir haben nur noch hinzuzufügen, daß aus 1 kg Koks ungefähr 7,5 m<sup>3</sup> Generatorgas gewonnen werden. Will man berechnen, wieviel Kohlenstoff zur Erzeugung eines gewissen Quantum Generatorgas von bestimmter Zusammensetzung erforderlich ist, so ist hier zu berücksichtigen, daß 1 m<sup>3</sup> Kohlensäure ebenso wie 1 m<sup>3</sup> Kohlenoxyd je 0,536 kg an Kohlenstoff enthält. Die Verdampfung des Wassers zum Zwecke der Kühlung des Rostes (vgl. S. 331) wird stets unterhalb des Rostes vorgenommen, indem man dort ein eisernes Schiff, welches mit Wasser gefüllt ist, anbringt. Die Verdampfung erfolgt teils durch die Bestrahlung von seiten des Rostes und teils durch den Abfall an Asche und kleinen Koksstücken, welche glühend durch den Rost hindurchfallen. Weiter ist ja auch der unter dem Rost eintretende Primärwind vorgewärmt und bringt somit eine gewisse Wärmemenge mit, die dazu dient, einen Teil des Wassers zu verdampfen. Man soll die Verdampfung des Wassers so einrichten, daß pro 1 kg vergasten Kohlenstoffs 0,5 kg Wasserdampf verbraucht werden. Bei größerem Wasserverbrauch ist zu befürchten, daß Wasserdampf unzersetzt durch den Generator hindurchstreicht oder daß das Generatorgas viel CO<sub>2</sub> enthält. Die Prüfung auf unzersetzten Dampf erfolgt in der Weise, daß man das Generatorgas mit Hilfe eines Aspirators (am besten einer Saugflasche) durch ein gewogenes Chlorcalciumrohr absaugt. Die Gewichtszunahme des letzteren ergibt die Menge des unzersetzten Wasserdampfes. Wir werden später bei der Besprechung des Generatorgases im Kap. 58 noch näher darauf zu sprechen kommen.

Zum Zwecke der Entfernung der Schlacke vom Rost muß der Generator zeitweise abgeschlackt werden. Dies erfolgt, indem man oberhalb des Rostes durch eigens zu diesem Zwecke angebrachte Öffnungen Notroststäbe hineinschiebt, welche die Brennmaterialsäule oberhalb derselben zu halten haben, während man den Koks und die Schlacke, die sich unterhalb dieser Notroststäbe befinden, herauszieht, d. h. also den Raum zwischen den Notroststäben und dem eigentlichen Rost von Koks und Schlacke vollständig befreit. Ist dies geschehen, so zieht man die Notroststäbe wieder heraus und das Brennmaterial, welches sich oberhalb derselben befindet, fällt dann auf den Rost, indem es dort weiter verbrennt. Da die Notroststäbe naturgemäß im glühenden Koks selbst glühend werden und einer raschen Abnutzung unterliegen, hat Walter<sup>1)</sup> mit Wasser gekühlte Notroststäbe eingeführt, die eine weit größere Haltbarkeit besitzen. Die Schichthöhe des Kokses im Generator wird gewöhnlich auf 0,5 bis 0,8 m gehalten. Zufolge des Widerstandes der Kokssäule ergibt ein Generator einen Zugverlust von etwa 1 bis 2 mm Wassersäule.

Wichtig für die Generatoröfen erscheint auch eine Veränderung der Konstruktion des Rostes, welche von Pohmer<sup>2)</sup> angegeben worden ist. Er

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1907, S. 65. — <sup>2)</sup> Ebend. 1910, S. 816; vgl. auch Leisse, Ebend. 1911, S. 781.

bildet den Unterteil des Generators als Treppenrost aus. Dies ermöglicht die Anordnung einer großen Rostfläche. Allerdings ist der Treppenrost auch nur dann brauchbar, wenn eine große Rostfläche verwendet wird. Pohmer gibt an: 1,45 m<sup>2</sup> pro 100 kg in der Stunde vergasten Koks. Bei einer so großen Rostfläche ist die Reinhaltung des Rostes eine verhältnismäßig leichte, weil ja pro Zeiteinheit und Quadratmeter Rostfläche eine verhältnismäßig kleine Menge von Koks verbrennt. Es genügt dann, zeitweise mit einem dünnen Haken, die sich an den Rost anlegenden Schlackenstücke zu entfernen. Man hat also beim Treppenrost nicht die Störungen, welche beim sonstigen Generatorbetrieb durch die langen Pausen, die durch das Schlacken entstehen, hervorgerufen werden. Dadurch ist auch eine größere Gleichmäßigkeit der Temperatur der Retorten gewährleistet. Ein weiterer Vorteil ist, daß kleinstückigerer Koks verwendet werden kann und weniger Koks mit in die Schlacke gerät. Rutten<sup>1)</sup> hat allerdings angegeben, daß auch der Treppenrost alle vier Stunden einer Reinigung benötigt, und alle 24 Stunden gründlich geschlackt werden muß. Es mag dies aber von der Art des verwendeten Kokes abhängen.

Weißkopf<sup>2)</sup> erhielt durch Einführung des Treppenrostes eine 5 Proz. Kokersparnis und eine gleichmäßigere Temperatur.

Die Kanäle, welche von dem Generatorgas durchstrichen werden, sollen so dimensioniert werden, daß die Geschwindigkeit des Generatorgases etwa 2 m pro Sekunde beträgt.

Als Koksverbrauch bei Generatorfeuerung sind 12 bis 18 Proz. der vergasten Kohle zu rechnen. Die Bestimmung der Unterfeuerung erfolgt gewöhnlich in der Art, daß die Koksausbeute, welche die Kohle bei der Entgasung hinterläßt, bestimmt und als gegeben angenommen wird; dann zieht man von der Koksausbeute, welche man hätte aus der Kohle erhalten sollen, den nach Beschickung der Generatoren oder Rostöfen verkäuflich bleibenden Koks ab und erhält so die Koksmenge, welche verfeuert wurde. Es müssen dabei stets längere Betriebsperioden in Rechnung gezogen werden, weil sonst zufolge der Änderung des Wärmezustandes der Öfen oft bedeutende Fehler vorkommen können.

Körting<sup>3)</sup> hebt hervor, daß die Bestimmung der Unterfeuerung durch Errechnung, wie dies gewöhnlich geschieht, zu argen Irrtümern Anlaß geben kann. Zur richtigen Bestimmung der Unterfeuerung sollte zeitweise je ein Ofen untersucht werden, indem man alle Retorten zieht und den Koks in den Generator bringt, den Überschuß beiseite legt und von diesem nachfeuert, bis alles verbraucht ist. Dann ist allerdings noch hinzuzurechnen, was zum Anheizen, beim Ausgraphitieren, für Stillstände usw. verloren geht. Diese Menge ist etwa mit 1 bis 1,5 Proz. des vergasten Kohlenquantums anzunehmen.

Körting meint überdies, der Koksverbrauch für die Unterfeuerung sei in den letzten Jahrzehnten im allgemeinen wesentlich gestiegen, weil heute höhere Temperaturen in den Retorten angewendet werden und durch Vollfüllen der Retorten und längere Ausstehzeiten mehr Unterfeuerungsmaterial erforderlich sei. So brauchten die alten Retortenöfen nach Hasse-Didier früher 12 Proz. Unterfeuerung, während jetzt 16 bis 18 Proz. erforderlich seien. Ebenso gibt Körting den jetzigen Verbrauch der Cozeöfen mit

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 598. — <sup>2)</sup> Ebend. 1911, S. 925. — <sup>3)</sup> Ebend. 1911, S. 647.

16 Proz. an. Dem steht allerdings die Angabe Terhaersts<sup>1)</sup> entgegen, nach welcher in Nürnberg die Unterfeuerung der Cozeöfen nur etwa 12 Proz. beträgt; ferner auch die Angabe von Göhrum für Horizontalöfen<sup>2)</sup>, nach welcher in Stuttgart die Unterfeuerung für Horizontalretorten nur 12,7 Proz. beträgt (vgl. S. 352).

Für mittlere Werke, für welche die Errichtung eines Generatorofens zu teuer wäre, bei welchen jedoch der Koksverbrauch zur Unterfeuerung schon eine große Rolle spielt, wählt man die sogenannten „Halbgeneratoröfen“.

Bei diesen ist der Raum über dem Rost so hoch ausgebildet, daß man eine höhere Schicht von Koks einbringen kann als beim Rostofen. Die Schicht ist jedoch niedriger als beim Vollgenerator und daher auch der Verbrauch an Unterfeuerung ungünstiger. Er beträgt 15 bis 20 Proz. der vergasteten Kohle.

Die Vorteile der Generatorfeuerung liegen vor allem in der sparsameren Ausnutzung des Brennmaterials und darin, daß man von der Geschicklichkeit des Arbeiters unabhängig ist. Man benötigt aber zur Beaufsichtigung ein besser geschultes Personal und Leute, die Gasanalysen zu machen und auch aus ihnen Schlüsse zu ziehen verstehen. Ein weiterer Vorteil ist die weit gleichmäßigere und höhere Temperatur, welche man im ganzen Ofen erzielen kann. Bei richtiger Zusammensetzung des Generatorgases und bei richtiger Zuführung der Sekundärluft tritt keine Stichflammenbildung ein und man hat es in der Hand, beliebig lange Flammen zu erzeugen, welche die Retorten bis zu der untersten vollständig umspülen. Dadurch ist auch eine längere Haltbarkeit der Retorten bedingt.

Die Nachteile der Generatorfeuerung sind dagegen: die hohen Anlagekosten und der viel kompliziertere Unterbau der Öfen. Der Bau des Generators erfordert naturgemäß eine wesentlich größere Tiefe, die entsprechend den Grundwasserverhältnissen nicht überall erreicht werden kann. Aus diesen Gründen, namentlich aber wegen der zu hohen Anlagekosten, kann man Generatoröfen in kleinen Gaswerksanlagen nicht anwenden. Natürlich können keine bestimmten Zahlen darüber gegeben werden, bei welcher Größe des Gaswerkes der Halbgeneratorofen und bei welcher Größe der Generatorofen zweckmäßig ist.

Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, daß im großen ganzen der Rostofen bis zu 0,5 Millionen Kubikmeter Jahresproduktion geeignet ist, während von 0,5 bis 2 Millionen Kubikmeter Jahresproduktion der Halbgeneratorofen zweckmäßig ist, und über dieser Jahresleistung schon der Generatorofen, d. h. der Vollgenerator angewendet werden kann. Auch bei größeren Werken kann es jedoch vorkommen, daß man statt des Vollgenerators einen Halbgenerator verwenden muß, wenn eben die Verhältnisse den Tiefbau nicht gestatten.

Betreffs der Ladung der Retorte mit Kohle ist folgendes zu bemerken: Die neueren Erfahrungen haben gezeigt, daß man die Retorten stets so voll als möglich laden muß (vgl. S. 312). Nicht nur die Leistung der Retorte an Gas pro Retortentag wird dadurch wesentlich erhöht, sondern auch die ganzen Betriebsverhältnisse gestalten sich viel besser. Wie schon erwähnt, bleibt bei ganz gefüllter Retorte das Gas nur geringere Zeit in derselben und hat daher weniger Gelegenheit, sich an den heißen Retortenwandungen zu zersetzen.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 517. — <sup>2)</sup> Ebend. 1911, S. 573.

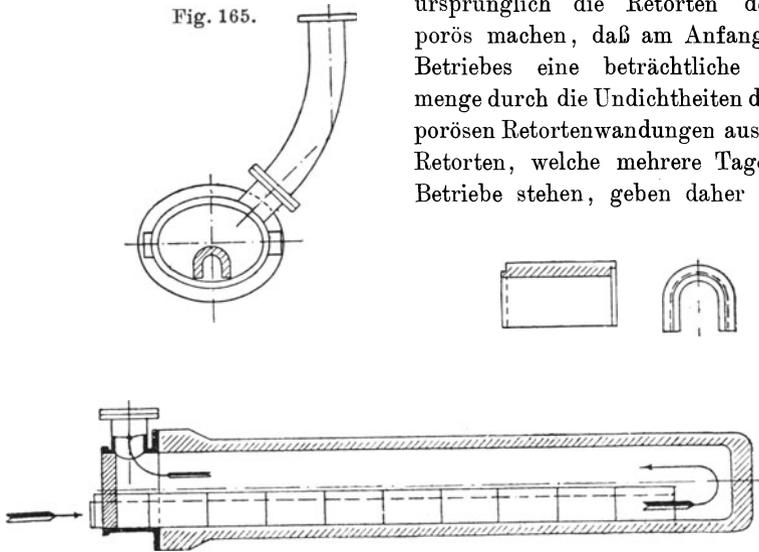
Es wird daher ein dünnerer Teer erzielt, ferner ist auch die Ausbeute eine bessere, weil die Retorte für eine bestimmte Leistung an Gas weniger oft geöffnet wird und daher die Verluste weniger in Betracht kommen, welche durch Öffnen der Retortendeckel entstehen.

Das beste Mittel, die Retorten möglichst voll zu laden, ist, dieselben vertikal zu stellen. Jedoch auch für horizontal liegende Retorten sind in letzter Zeit vielfach Lademaschinen angewendet worden, welche es ermöglichen, die Retorte recht voll zu füllen. Wir werden dieselben in einem besonderen Kapitel (25) besprechen.

Wie schon erwähnt, bedingt die Zersetzung des Teeres sowohl wie die Zersetzung des Gases eine Abscheidung von Kohlenstoff an den Retortenwandungen. Für den Anfang des Betriebes einer Retorte ist dies von Vorteil. Der Kohlenstoff, welcher sich als Graphit absetzt, verstopft die Poren, welche

ursprünglich die Retorten derart porös machen, daß am Anfang des Betriebes eine beträchtliche Gasmenge durch die Undichtheiten dieser porösen Retortenwandungen austritt. Retorten, welche mehrere Tage im Betriebe stehen, geben daher stets

Fig. 165.



eine größere Gasausbeute, als ganz neue Retorten. Später gibt jedoch die Graphitausscheidung eine Schwierigkeit im Betriebe. Der Graphit setzt sich dann in großen Mengen, namentlich an der oberen Seite der Retorte ab, so daß dadurch wesentliche Verengungen des Querschnittes der Retorte entstehen. Dies ist sowohl beim Laden der Retorte, als auch namentlich beim Ziehen des Kokes von Nachteil. Der Graphit muß daher zeitweise aus der Retorte entfernt werden.

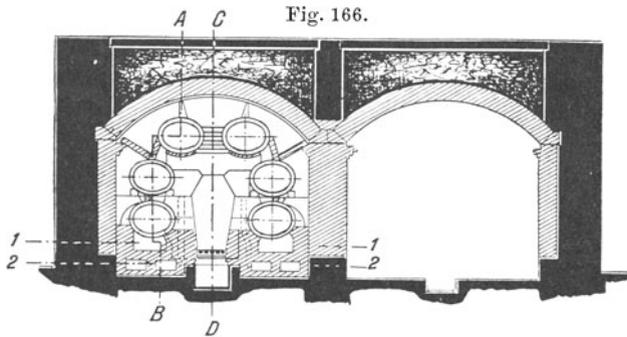
Die Entfernung des Graphites erfolgt, indem man das Innere der Retorte plötzlich abkühlt. Es geschieht dies durch Einströmenlassen von kalter Luft. Zufolge der auftretenden Temperaturunterschiede springt der Graphit von den Retortenwandungen ab und fällt in Form großer zusammenhängender Stücke ins Innere der Retorte, von wo er dann leicht entfernt werden kann.

Zu diesem sogenannten „Ausbrennen“ oder „Graphitieren“ der Retorte verwendet man zweckmäßig einen Muldenkanal, wie er in Fig. 165 dargestellt ist. Die Retorte wird vorn vollständig durch Steine verschlossen, nur unten bleibt eine kleine Öffnung, an welche sich die Muldensteine anschließen, wie dies aus obiger Figur zu erkennen ist. Diese gehen nahe bis an das hintere Ende

der Retorte. Der Deckel des Steigrohres wird geöffnet und es entsteht dadurch ein lebhafter Luftzug durch die Muldensteine hindurch, an der oberen Wandung der Retorte vorbei und durch das Steigrohr hinaus. Diese eintretende kalte Luft löst den oben an der Retorte hängenden Graphit ab. Bei schrägen Retorten ist der Einbau von Muldensteinen nicht erforderlich, denn in diesem Falle genügt es, die Retorte an beiden Enden zu öffnen, so daß zufolge der schrägen Lage der Retorte ein Luftzug entsteht, welcher das Ausgraphitieren besorgt.

Für horizontale Retorten sind auch besondere Ausbrennvorrichtungen konstruiert worden, welche jedoch alle auf dem gleichen Prinzip beruhen, wie die Muldensteine. So z. B. der Ausbrennzylinder von Kerris in Godesberg am Rhein, ferner das Ausbrennrohr von Tenkhoff. Helck besorgt das Ausbrennen der Retorten durch Einführen von Luft mit Hilfe eines Gebläses.

Wir wollen nun die einzelnen Ofentypen näher kennen lernen; als erste die Rostöfen. Sie repräsentieren die älteste Art der Befuerung der Retorten-

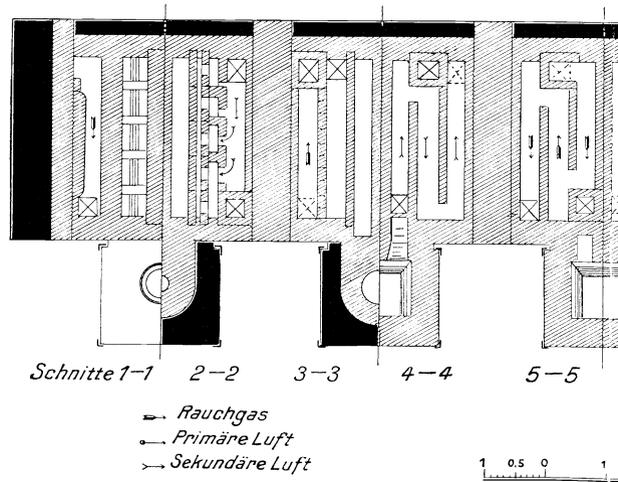
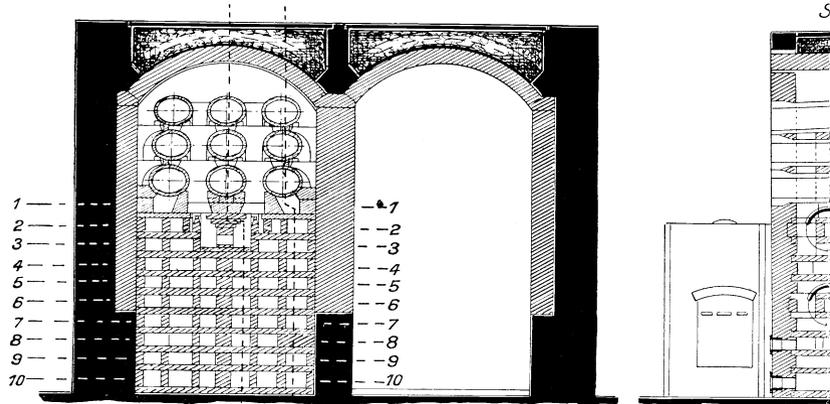


öfen und, wie schon erwähnt, auch die unrationellste. Die Berechnung der Rostfläche und des Schornsteinquerschnittes haben wir bereits auf S. 338 und 343 kennen gelernt. In Fig. 166<sup>1)</sup> ist ein Rostofen im Querschnitt dargestellt. Es ist dies ein Rostofen neuerer Konstruktion, bei dem schon eine etwas höhere Schichthöhe auf dem Rost die Ähnlichkeit mit einer Halbgeneratorfeuerung zeigt. Ebenso ist hier auch bereits die Zufuhr von Sekundärluft vorhanden. Die Unterluft tritt unter dem Rost ein und die erzeugten Verbrennungsgase, welche etwas Kohlenoxyd enthalten, steigen in der Mitte des Ofens in die Höhe. In einiger Höhe über dem Rost tritt Sekundärluft hinzu. Diese wird durch Kanäle, welche sich an der Sohle des Ofens befinden, vorgewärmt. Unter dem Rost ist ein Wasserschiff angebracht, in dem die Primärluft mit Feuchtigkeit gesättigt wird. Die Primärluft tritt bei kleinen Öffnungen, die mit Schiebern teilweise geschlossen sind, zu beiden Seiten der Rückwand des Rostofens ein. Von hier aus gelangt die Luft in vertikal nach abwärts gehenden Kanälen bis auf den Boden des Ofens und tritt auf beiden Seiten desselben durch einen hin und her geführten Kanal zu den Öffnungen, die über das Brennmaterial führen. Zuzufolge des Weges, den die Sekundärluft durchmacht, erwärmt sie sich an dem heißen Abgaskanal, der sich über diesen Kanälen befindet. Die Sekundärluft tritt also

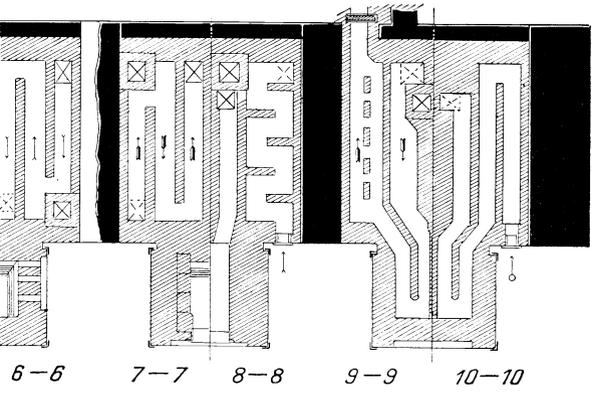
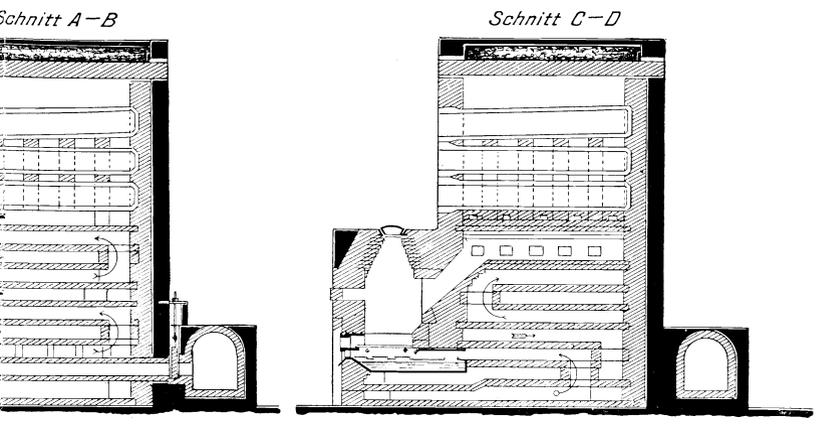
<sup>1)</sup> Fig. 166—169 aus Schäfer, Gaswerk, 3. Aufl. München 1910.

Zu S. 349.

Fig.



Strache, Gasbeleuchtung.

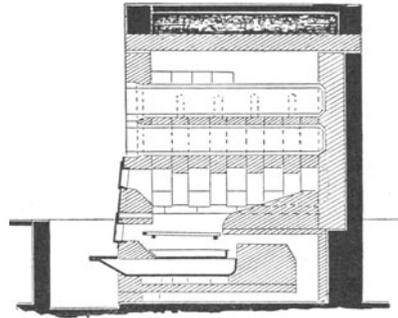


2 3m

auch hier in, wenn auch schwach, vorgewärmtem Zustande ein. Die Verbrennungsgase streichen in der Mitte des Ofens bis zum Scheitel nach aufwärts, treten dann nach rechts um die beiden Retortenreihen herum und fallen zu beiden Seiten derselben nach abwärts. Sie gelangen dann an der Vorderseite des Ofens in den Kanal, der eben dazu dient, die Sekundärluft vorzuwärmen. Von hier aus fallen die Abgase wieder nach abwärts und führen dann durch den Schornsteinschieber zu dem Schornsteinkanal.

Ein Mittelding zwischen Rostöfen und Generatoröfen bilden, wie schon erwähnt, die Halbgeneratoröfen. Das Wesen derselben haben wir bereits auf S. 346 besprochen. In Fig. 167 ist ein solcher nach System Hasse-Vacherot dargestellt. Dieser Halbgeneratorofen enthält ein doppeltes Wasserschiff. Die Unterluft (Primärluft) tritt durch den Unterluftschieber an der Rückseite des Ofens ein; ein zweiter Schieber vermittelt den Eintritt der Sekundärluft. Beide Luftströmungen werden im Zickzackwege an den Heizkanälen vorbeigeführt. Die Oberluft wird durch eine Anzahl von eingesetzten Steinen gleichmäßig über die ganze Breite des Ofens verteilt und dann durch vier kleine quadratische Kanäle in die Höhe geführt. Dort tritt die Sekundärluft aus und mischt sich mit dem Generatorgas, indem sie dasselbe verbrennt. Die entstehenden Feuergase streichen in der Mitte zwischen den Retortenreihen bis zum Scheitel des Ofens in die Höhe, gelangen dann nach beiden Seiten des Ofens und umspülen also sämtliche Retorten. Sie fallen an beiden Seiten des Ofens nach abwärts und gelangen schließlich in einen Kanal, der sie im Zickzackwege der Luft entgegen nach abwärts führt und durch einen Abgasschieber zum Schornstein. Hier ist also die Vorwärmung der Luft durch die Abgase, welche ihrerseits abgekühlt werden, schon eine ganz beträchtliche. Natürlich erreicht sie noch lange nicht die Vorwärmung der Luft bei den Vollgeneratoröfen, die wir jetzt gleich besprechen wollen.

Fig. 167.



Die Theorie der Generatorgasbildung in den Vollgeneratoröfen haben wir bereits auf S. 324 besprochen. Ebenso haben wir die Vorteile des Generatorbetriebes gegenüber dem Betriebe des Rostofens auf S. 346 erörtert. Der Generatorbetrieb ist durch H. Bunte sen. und Schilling sen. in die Gasindustrie eingeführt worden. Diese Konstruktion ist unter dem Namen „Münchener Ofen“ bekannt. Der in Fig. 168 dargestellte Vollgeneratorofen ist eine kleine Abänderung des Münchener Ofens, die durch Hasse-Didier angegeben worden ist.

Die Konstruktion desselben ist am besten aus dem Schnitt *C—D* erkenntlich. Der Generator befindet sich vor der Front des Ofens. Unterhalb des Rostes des Generators ist, wie bei allen diesen Generatorfeuerungen, ein Wasserschiff angebracht. Der Kanal, welcher das Generatorgas zum Ofen führt, zweigt in der Mitte des Generators, in der Zeichnung nach rechts, ab. Oberhalb dieses Kanals befindet sich also noch ein Vorratsraum für Koks, welcher durch eine dicht verschließbare Füllöffnung eingefüllt wird. Dieser Koks wird aus den Retorten genommen, wenn die-

selben entleert werden, da sich ja die Öffnungen der Retorten gerade über der Füllöffnung des Generators befinden. Das Generatorgas tritt durch rechteckige Öffnungen in einen Verteilungskanal ein, der am besten aus dem Querschnitt erkenntlich ist, und von diesem gelangt es, durch einen schmalen Schlitz an jeder Seite, in den Feuerraum. Auch hier gehen die Flammengase wieder in der Mitte der Retortenreihe bis zum Scheitel des Ofens in die Höhe und dann zu beiden Seiten der Retorten wieder nach abwärts. Der Schnitt 1 — 1 unterhalb der Retortenreihe zeigt nun den Kanal, welcher die Abgase von der Rückwand des Ofens nach vorwärts befördert. Hier fallen sie durch einen nach abwärts führenden Kanal bis zum Schnitt 3 — 3, gehen hier nach einem zweiten, rechts daneben befindlichen Kanal bis an die Rückwand des Ofens, fallen dann wieder nach abwärts bis zum Schnitt 5 — 5 und gelangen hier in Zickzacklinie vorwärts, rückwärts und wieder vorwärts, streichen dann, abermals nach abwärts fallend, bis zum Schnitt 7 — 7, wo sie wieder einen Zickzackweg nach rückwärts, vorwärts und wieder nach rückwärts machen. Ein abermals nach abwärts führender Kanal führt die Abgase dann bis zum Schnitt 9 — 9, wo sie nach vorwärts und dann abermals nach rückwärts gehend schließlich zum Schornsteinschieber gelangen. Die Unterluft tritt in der Höhe des Schnittes 10 — 10 ein, ebenfalls durch einen kleinen Schieber, wie dies bei allen diesen Ofenkonstruktionen üblich ist. Sie macht den umgekehrten Weg wie die Abgase im Schnitt 9 — 9, indem sie sich an dem letzten Zuge der Abgase vorwärmt. Der weitere Gang der Unterluft ist besser aus dem Schnitt *C—D* ersichtlich. Sie streicht an der Rückwand des Ofens dann nach aufwärts und in der Höhe des Schnittes 8 — 8 nach vorwärts, indem sie schließlich über das Wasserschiff und somit unter den Rost gelangt. Die Sekundärluft oder Oberluft tritt etwas höher, in der Höhe des Schnittes 8 — 8 ein und passiert hier einen zickzackförmigen Kanal, der sie an die Rückwand des Ofens und dann in die Höhe führt.

Der weitere Gang der Sekundärluft ist aus dem Schnitt *A—B* ersichtlich. Sie kommt in die Höhe des Schnittes 6 — 6, indem sie hier den umgekehrten Weg geht, und zwar auch zickzackförmig hin und her gehend von der Rückwand des Ofens nach vorwärts wieder nach rückwärts, abermals nach vorwärts und dann in die Höhe des Schnittes 4 — 4 ebenfalls wieder zickzackförmig weiter, dann schließlich durch einen vertikalen Kanal in die Höhe des Schnittes 2 — 2 führt. Hier kommt sie nun in einen Verteilungskanal, der sie über die ganze Ofenbreite gleichmäßig verteilt, und schließlich in die Schlitz, d. h. Ausströmungsöffnungen, welche die Oberluft durch einen langen Schlitz in die Nähe des Generatorgasaustrittes führen. Aus dem zuerst gezeichneten Schnitt ist ersichtlich, daß das Generatorgas und die Sekundärluft parallel zueinander nach aufwärts austreten. Es hat dies den Zweck, eine möglichst lange Flamme zu erzielen (vgl. S. 342). Die Flammengase, welche hier entstehen, beheizen die Retorten gleichmäßig und wir haben deren Weg bereits vorher verfolgt.

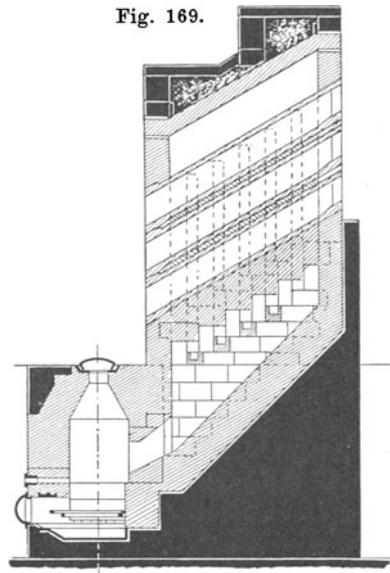
Eine sehr wichtige Abänderung des eben beschriebenen Ofens mit horizontalen Retorten ist der Ofen mit schrägen Retorten, welcher gegen Ende des vorigen Jahrhunderts einen bedeutenden Fortschritt in der Gasindustrie darstellte. Er ist zum erstenmal von Coze eingeführt worden. Die Retorten besitzen bei diesen eine Neigung von  $32^\circ$ , entsprechend dem Böschungswinkel der Kohlen. Das Einbringen der Kohle ist dadurch wesentlich erleichtert,

weil sie nur aus einem entsprechenden Blechkasten, der eine Retortenladung enthält, in das obere Ende der Retorte eingebracht zu werden brauchen, wonach sie von selbst die ganze Retorte ausfüllen. Man gab der Retorte genau den Neigungswinkel der Böschung der Kohle, weil man damals annahm, daß es vorteilhaft sei, wenn ein Kanal zur Entwicklung der Gase oberhalb der Kohle in der Retorte frei bliebe. Dies hat sich allerdings in neuester Zeit durch die Konstruktion der Vertikalöfen als nicht notwendig erwiesen, und es ist im Gegenteil heute bekannt, daß es vorteilhafter ist, wenn die Retorte vollständig mit Kohle gefüllt wird.

Ein Vollgeneratorofen mit vorliegendem Generator und schräg liegenden Retorten ist in Fig. 169 dargestellt. Die Primärluft wird durch einmaliges Hin- und Hergehen unter dem untersten Abgaskanal ein wenig vorgewärmt und gelangt so unter den Rost des Generators. Auch hier befindet sich oberhalb des Abgaskanals der Generatorgase ein Vorratsraum für die Aufspeicherung von Koks. Das entstehende Generatorgas steigt in einem Kanal schräg nach aufwärts und strömt dann durch die durch kleine Quadrate gekennzeichneten Austrittsdüsen in einen Sammelkanal, welcher es durch einen Schlitz nach oben in den Beheizungsraum der Retorten führt. Die Oberluft tritt an der Rückwand des Ofens ein, geht durch einen kleinen vertikalen Kanal nach abwärts und wird wieder im Zickzackwege nach aufwärts bis zu den Schlitzten geführt, welche dieselbe in den Feuerraum eintreten lassen. Die Feuergase umspülen in gleicher Weise die neun Retorten, wie bei den Vollgeneratoröfen mit horizontal liegenden Retorten. Sie gelangen auch hier unter der letzten Retortenreihe durch einen Kanal an die Rückwand des Ofens und wie bei all diesen Ofenkonstruktionen im Zickzackwege nach abwärts, wonach sie durch den Schornsteinschieber zum Abgaskanal entweichen.

Der Wasserverdampfer ist hier anders angeordnet als bei den sonstigen Konstruktionen. Es ist zwar auch hier ein Wasserschiff unter dem Rost des Generators angebracht, welches die herabfallende Asche aufnimmt, jedoch die eigentliche Verdampfung des Wassers erfolgt in besonderen Verdampfern. Die Erhitzung dieser Verdampfer erfolgt durch die oben und unten vorbeistreichenden Abgase. Der Dampf tritt unter den Rost des Generators.

Der Schrägretortenofen hat den Vorteil vor dem Horizontalretortenofen, daß er eine wesentlich geringere Bedienung benötigt. Dadurch ist eine größere Unabhängigkeit von den Arbeitern gewährleistet. Jedoch sind andererseits größere maschinelle Einrichtungen zur Hebung der Kohle in einen über dem Generatorofen liegenden Kohlenbunker erforderlich. Dementsprechend sind auch höhere Reparaturkosten in Anrechnung zu bringen. Außerdem erfordert der Schrägofen höhere Anlagekosten, so daß die Ersparnisse, welche durch die geringere Bedienung entstehen, durch die höheren Quoten an Verzinsung



und Amortisation wieder aufgezehrt werden. Die Unabhängigkeit von den Arbeitern ist jedoch ein so großer Vorteil, daß man in den letzten Jahrzehnten in größeren Gaswerken sehr vielfach die Schrägretortenöfen angewendet hat.

Durch die schräge Lage der Retorten wird nicht nur das Laden, sondern auch das Ziehen des Koksens wesentlich erleichtert. In neuerer Zeit sind jedoch, wie schon erwähnt, Lade- und Ziehmaschinen im Gebrauch, welche auch bei horizontal liegenden durchgehenden Retorten das Laden und Ziehen des Materials sehr erleichtern. Man wählt dieselben zweckmäßig in einer Länge von 6 m mit einem ovalen Querschnitt von  $600 \times 400$  mm, so daß 650 kg Kohle geladen werden können <sup>1)</sup>.

Die Dauer der Entgasungszeit bei einer solchen Retorte beträgt 9 Stunden. Es wird hier also eine große Menge Kohle in einer längeren Arbeitszeit vergast und dementsprechend ergibt sich eine Arbeitersparnis. Die früher befürchtete Durchsackung der Retorten bei so großer Länge tritt bei geeigneter Konstruktion des Ofens nicht ein.

Als Resultate des Betriebes von Horizontalgeneratoröfen hat Göhrum <sup>2)</sup> angegeben: 32,6 m<sup>3</sup> Gasausbeute von 5000 Kal. Heizwert (unterer, 15<sup>0</sup>) pro 100 kg Kohle, ferner eine Tagesleistung von 4400 m<sup>3</sup> pro Ofen und eine Leistung von 50 m<sup>3</sup> Gas täglich pro Quadratmeter Ofenhausfläche, 13 bis 14 Proz. Unterfeuerung.

Die neuesten Angaben <sup>3)</sup> lauten: 32,5 m<sup>3</sup> Ausbeute (unkorrigiert) von 5350 Kal. unterer Heizwert, was einem beiläufigen oberen Heizwert von 6000 Kal. (0<sup>0</sup>) entspricht, bei 12,7 Proz. Unterfeuerung. Teerausbeute 5,15 Proz., wovon 3,5 Proz. Leichtöle, 13,2 Proz. Mittelöle, 11,5 Proz. Schweröle, 0,25 Proz. Ammoniak.

Rutten <sup>4)</sup> gibt an: 29,4 m<sup>3</sup> Ausbeute von 5412 Kal. mit 19 HK Leuchtkraft, 5000 m<sup>3</sup> Gaserzeugung pro Ofentag, 72,1 Proz. Koksausbeute, 55 m<sup>3</sup> tägliche Leistung pro Quadratmeter Ofenhausfläche, 15,1 Proz. Unterfeuerung, bei Vergasung von  $\frac{1}{3}$  englischer und  $\frac{2}{3}$  westfälischer Kohle.

Die Anordnung der Retortenöfen im Ofenhaus werden wir im Kapitel 45 besprechen.

In neuerer Zeit ringt sich die Überzeugung durch, daß die heutige Art der Gaserzeugung mit dem diskontinuierlichen Betriebe der kleinen Retorten, in welche die Kohle gewissermaßen löffelweise eingetragen wird, nicht berufen sein kann, die ins Riesenhafte gesteigerten Gasmengen zu liefern, welche die Großstädte täglich verbrauchen. In Deutschland treten die Kammeröfen mit den großräumigen Vertikalretorten in erfolgreichen Wettbewerb, und in England sucht man die Frage durch kontinuierliche Vergasung der Kohle zu lösen. Auf alle Fälle sucht man die Größe der Entgasungsräume möglichst zu steigern, um auf einmal eine größere Kohlenmenge einbringen zu können und dadurch an Arbeitslöhnen zu sparen. Demselben Bestreben entspringt die Konstruktion des in Deutschland zuerst von Bueb <sup>5)</sup> eingeführten Vertikalofens.

Der Buebsche oder sogenannte Dessauer Vertikalofen ist in Fig. 170 dargestellt. Derselbe enthält in zwei Reihen 10 bis 12 vertikal gestellte

<sup>1)</sup> Göhrum, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 793; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 457; Rutten, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 598. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 598. — <sup>3)</sup> Göhrum, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 573. — <sup>4)</sup> Ebend. 1910, S. 598. — <sup>5)</sup> Ebend. 1905, S. 833.

Retorten, welche jedoch nicht aus einem zusammenhängenden Rohre, wie bei den horizontal oder schräg gestellten Retorten, bestehen, sondern aus einzelnen Stücken, die vertikal aufeinander gesetzt werden. Der Generator befindet sich nicht unterhalb des Ofens, sondern neben demselben und ist so hoch, daß ein großer Vorratsraum von Koks vorhanden ist, so daß derselbe nur 12 stündig einmal beschickt werden muß. Die Regeneration befindet sich an den Seitenwänden des Ofens, so daß sie außerordentlich leicht zugänglich ist. Die Schlitze, bei welchen Sekundärluft und das Generatorgas austreten, befinden sich an der untersten Stelle des Ofens, so daß dort die höchste Temperatur herrscht. Die Abgase ziehen im gewundenen Wege nach oben, wie dies die Zeichnung durch Pfeile andeutet. Die Retorten sind nach unten konisch erweitert, einerseits um den Koks bequemer herausstoßen zu können, andererseits um bei der geringen Temperatur, welche in dem Oberteil der Retorte herrscht, eine geringere Dicke der zu entgasenden Kohlschicht zu haben.

Sowohl das Einbringen der Kohle, als auch das Herausziehen des Kokes ist bei den Vertikalöfen außerordentlich erleichtert. Das erstere erfolgt einfach dadurch, daß ein an einer Schiene hängender Wagen über die Retorten geführt wird und sich direkt in dieselben entleert. Das Herausbringen des Kokes erfolgt durch einfaches Öffnen der unteren Mortontür,

welche die Retorte verschließt, und ist nur manchmal, wenn der Koks hängen bleibt, eine kleine Nachhilfe von seiten eines Arbeiters erforderlich. Der glühende Koks fällt entweder in Karren oder direkt auf ein Transportband (Brouwersche Rinne oder dgl.), welche den Koks abtransportiert (vgl. Kokstransport).

Die Retorten haben einen Querschnitt von etwa  $\frac{1}{4}$  m<sup>2</sup>, so daß sie eine große Menge von Kohlen aufnehmen können. Die Höhe derselben betrug bei den zuerst gebauten Öfen 4 m, wird aber jetzt auch größer ausgeführt. Die Kohlenfüllung einer Retorte beträgt 500 bis 550 kg bei 4 m langen Retorten.

Zufolge der größeren Kohlenmenge und namentlich der dickeren Schicht des Brennmaterials, welches die Wärme zu passieren hat, um bis in das Innere der Retorte zu gelangen, ist eine längere Ausstehzeit erforderlich. Dieselbe beträgt 10 bis 12 Stunden. Außerdem muß aber eine höhere Temperatur an der Außenseite der Retorte angewendet werden. Nach Buebs Angaben soll dieselbe mehr als 1300° betragen. [Nach Prenger<sup>1)</sup> beträgt die

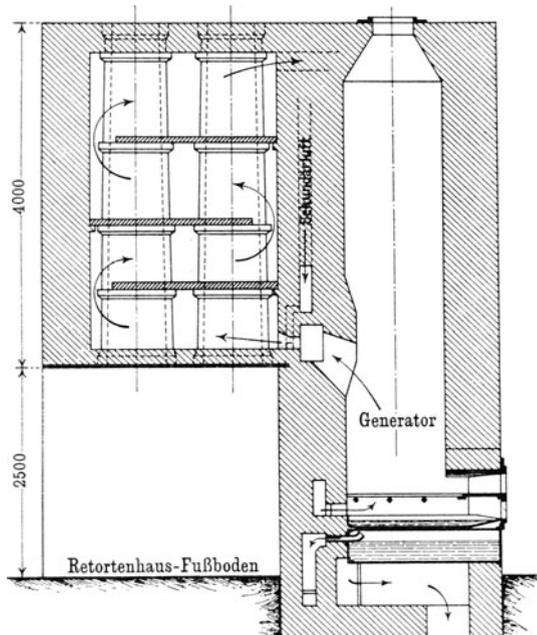


Fig. 170.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1907, S. 716.

Temperatur jedoch nur 1250° an der unteren Stelle und nur 1050° am oberen Teile der Retorte.] Die naturgemäß ungleichmäßige Temperatur bei dieser Anordnung hält Prenger für einen Vorteil, wogegen Drehschmidt diese nicht günstig beurteilt<sup>1)</sup>.

Bueb stellt sich den Vorgang der Entgasung in der Vertikalretorte folgendermaßen vor. Er nimmt an, daß die Entgasung der Kohle von den Wandungen der Retorte aus beginnt, und das Gas sich im Innern der Retorte nach oben bewegt. Dadurch, meint er, wird das Gas vor übermäßigen Zersetzungen an den Retortenwandungen geschont und es gelangt daher mit den Dämpfen dünnflüssigen Teeres in den Oberteil und aus der Retorte heraus<sup>2)</sup>.

Peters<sup>3)</sup> und Ott<sup>4)</sup> sind dagegen anderer Ansicht. Peters meint, wie schon im Kapitel über Entgasung der Kohle (S. 309) berichtet, daß der Teer nach innen destilliert und eine für das Gas undurchlässige Schicht bildet, so daß das Gas nur in der Nähe der Retortenwandungen nach oben streichen kann. Ott hat nachgewiesen, daß tatsächlich die Zersetzungsverhältnisse der Kohlenwasserstoffe des Gases dafür sprechen, daß dieser Weg vom Gase eingehalten werde. Es zeigt sich in der Tat auch nach dem vollständigen Verkoken der Kohle ein Zwischenraum zwischen dem Kokskuchen und der Wandung der Retorte, durch welchen das Gas zweifellos entweicht. Jedenfalls ist aber durch den Betrieb der Vertikalretorten nachgewiesen, daß die Forderung, die man früher zu stellen müssen glaubte, daß ein beträchtlich großer Kanal in der Retorte vorhanden sein müßte, damit das Gas ungehindert entweichen könne, unrichtig ist, und daß auch bei vollkommen gefüllter Retorte das Gas sich seinen Weg sucht. Der verhältnismäßig dünne Teer, welchen die Vertikalretorte liefert, ist eine Folge des Umstandes, daß das Gas nur geringe Zeit in der gänzlich gefüllten Retorte verbleibt, so daß dem Teer nur wenig Gelegenheit gegeben ist, seine Kohlenwasserstoffe derart zu zersetzen, daß Teerverdickungen eintreten können. Für diese Anschauung spricht auch der Umstand, daß durchaus nicht bei allen Betrieben von Vertikalofenanlagen sich der Teer so dünn zeigt, wie dies bei den ersten Dessauer Versuchen der Fall war. Es hängt eben von der Art der Kohle und von der angewendeten Temperatur ab, wie weit der Teer zersetzt wird.

In neuester Zeit hat der Vertikalofen eine weitere wesentliche Vervollkommnung durch Körting<sup>5)</sup> erfahren. An Stelle von zwei Reihen von Retorten werden nunmehr drei Reihen mit zusammen 18 Retorten angewendet. Die einzelnen Retorten haben dabei einen geringeren Querschnitt, aber doch ein größeres Gesamtfassungsvermögen als früher 12 Retorten. Außerdem ist das Verhältniß der Heizfläche zur Größe des Entgasungsraumes ein günstigeres, d. h. für die gleiche Menge von Kohle kommt eine größere Fläche, welche die erforderliche Wärmemenge hindurchtreten läßt, zur Wirkung. Dadurch wird wesentlich an Unterfeuerungsmaterial gespart. Während ein Vertikalofen mit 12 Retorten 5000 m<sup>3</sup> Gas pro Tag lieferte, gibt ein 18er-Ofen 7500 m<sup>3</sup> pro Ofen und Tag. Während der 12er-Ofen mehr als 15 Proz. Unterfeuerung erforderte, benötigt der 18er-Ofen nur etwa 12 Proz. an Unterfeuerungskoks. Gleichzeitig wurde auch durch die Neukonstruktion die Bedienung wesentlich erleichtert. Es wurden nämlich immer je drei Türen

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 813. — <sup>2)</sup> Ebend. 1909, S. 685; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 482. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 1114. — <sup>4)</sup> Ebend. 1909, S. 621 und 837. — <sup>5)</sup> Ebend. 1910, S. 819.

zur Entleerung des Kokes in eine Einheit zusammengefaßt derart, daß sie zugleich geöffnet und zugleich geschlossen werden können. Schließlich hat der 18er-Vertikalofen naturgemäß auch einen kleineren Platzbedarf und geringere Anlagekosten pro 1000 m<sup>3</sup> Tagesleistung.

Während der Vertikalofen mit 18 Retorten den Bedürfnissen großer Gaswerke nachkommt, war es auch notwendig, Vertikalöfen für kleinere Gaswerke zu schaffen. Dies ist geschehen, indem man den gewöhnlichen 10er-Vertikalofen durch eine Scheidewand in zwei Teile teilte, so daß man dadurch kleinere Einheiten erhielt, und dadurch auch den zeitweise geringen Bedürfnissen an Gas bei den kleineren Gaswerken nachkommen konnte, ohne zuviel Unterfeuerung zu verbrennen.

Am Schlusse der Entgasung der Kohle in den Vertikalretorten nutzt man die im Koks aufgespeicherte Wärme dazu aus, um eine gewisse Menge von Wasserdampf zu Wassergas zu zersetzen. Es erfolgt dies einfach, indem man am Schlusse der Gasperiode in den Unterteil der Retorten Dampf einleitet. Die Zersetzung des Dampfes ist dort allerdings keine sehr vollkommene, weil die im Koks aufgespeicherte Wärme nur eine geringe ist und eine Wärmezufuhr von außen nur im beschränkten Maße durch die Retortenwandung und durch den Koks hindurch stattfinden kann. Daher sind die Meinungen über die Wirtschaftlichkeit der Wassergaserzeugung in der Vertikalretorte durch Dampfzusatz geteilt. Es scheint jedoch, daß der Wasserdampfzusatz am Schlusse der Gasperiode für den Vertikalofenbetrieb eine Notwendigkeit ist. Weiss<sup>1)</sup> hält ihn für notwendig, um das Ausgraphitieren der Retorten zu erleichtern. Auch Körting gibt an<sup>2)</sup>, daß der Wasserdampfzusatz nötig ist, um keine Teerverdickungen in der Vorlage zu erhalten.

Die Wassergaserzeugung in der Vertikalretorte wird vorgenommen, indem während der letzten 1½ oder 2 Stunden Wasserdampf zugeführt wird. Körting und Geipert<sup>3)</sup> halten diese Art der Wärmeausnutzung zur Wassergaserzeugung für rationell. Sie meinen, daß der Kohlenstoff, der sich sonst in Form von Graphit absetzt, hier in Wassergas umgesetzt wird, und daß die im Koks aufgespeicherte Wärmemenge genügt, um die Zerlegung des Wasserdampfes zu bewirken. Bei den Berechnungen, die Geipert<sup>4)</sup> aufstellte, berücksichtigt er allerdings nicht, daß ein großer Teil des Wasserdampfes bei den verhältnismäßig geringen Temperaturen, wie sie im Inneren der Retorte bei Wärmeverbrauch herrschen, unzersetzt hindurchgeht und dadurch einen großen Wärmeverlust bedingt.

Kobbert<sup>5)</sup> hebt dagegen hervor, daß zufolge der Wassergaserzeugung in der Vertikalretorte, die man auch mit dem Namen „nasse Vergasung“ bezeichnet, mehr Unterfeuerung erforderlich ist, und entsprechend auch weniger Koks entsteht, da ein Teil des Kokes sich eben mit dem Dampf zu Wassergas umsetzt. Aus diesen Gründen berechnet Kobbert den Koksverbrauch des Wassergases, welches in der Vertikalretorte erzeugt ist, nahezu doppelt so hoch, als bei dem in eigenen Generatoranlagen erzeugten Wassergas. Ebenso hält Drehschmidt<sup>6)</sup> die nasse Vergasung für unrationell.

Auch der Verfasser<sup>7)</sup> hält die Erzeugung des Wassergases in der Vertikalretorte für unrationell. Um dies zu erkennen, braucht man nur diesen

1) Journ. f. Gasbel. 1908, S. 579. — 2) Ebend. 1908, S. 813. — 3) Ebend. 1908, S. 1041 u. 1909, S. 13. — 4) Ebend. 1909, S. 365. — 5) Ebend. 1908, S. 813 u. 725. — 6) Ebend. 1908, S. 813. — 7) Ebend. 1909, S. 12 u. 164.

Vorgang mit der Wassergaserzeugung im Generator zu vergleichen. Dort wird über den erhitzten Koks (etwa 1200°) nur 6 bis 10 Minuten lang Dampf geleitet, wonach der Koks so weit erkaltet ist, daß eine rationelle Wassergaserzeugung nicht mehr möglich ist, weil der Dampf bei der niederen Temperatur den Koks zum größten Teil unzersetzt verläßt. Es ist also nicht möglich, in einem Wassergasgenerator Stunden hindurch Wassergas zu erzeugen. Vielmehr besteht nach so langem Hindurchleiten von Dampf das entweichende Gemisch im wesentlichen aus unzersetztem Dampf neben etwas  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$ . Der Verfasser ist daher der Ansicht, daß das Hindurchleiten des Dampfes notwendig ist, um den Graphit von den Retortenwandungen abzubrückeln, aber für eine rationelle Erzeugung des Wassergases nicht geeignet ist. Errichtet man vielmehr neben den Retortenöfen besondere Wassergasanlagen, so läßt sich dort nicht nur das Wassergas rationeller erzeugen, sondern diese Anlagen geben außerdem eine große Sicherheit gegen Streiks wegen der steten Betriebsbereitschaft solcher Anlagen. (Vgl. Kapitel Wassergas.)

Den gleichen Standpunkt vertreten Terhaerst und Trautwein<sup>1)</sup>. Auch diese verweisen darauf, daß bei dem sogenannten „Dampfen“ in den Vertikalöfen größere Mengen an Unterfeuerung notwendig werden, weil eben der Dampf große Wärmemengen hinausführt. Auch Ott<sup>2)</sup> hebt hervor, daß die Gesamtenergie von Gas und Koks zusammengenommen bei der nassen Vergasung, d. h. also bei der Wassergaserzeugung in der Vertikalretorte, geringer ist als bei trockener Vergasung, so daß sich dieses Verfahren als unrationell darstellt.

Debruck<sup>3)</sup> vertritt den gegenteiligen Standpunkt, indem er meint, daß eine besondere Wassergasanlage, welche nicht das ganze Jahr hindurch ausgenutzt ist, teurer arbeitet als der nasse Betrieb der Vertikalretorten<sup>4)</sup>. Terhaerst<sup>5)</sup> verwies dagegen darauf, daß eine Wassergasanlage eben nur dann rationell arbeitet, wenn sie während des ganzen Jahres ziemlich gleichmäßig ausgenutzt wird. (Vgl. Kapitel Mischgas.)

Die Vorteile des Vertikalofenbetriebes liegen vor allem in der hohen Ausbeute, welche eine Folge der hohen Temperatur und der starken Füllung der Retorte ist, ferner in der großen Leistung pro Retortentag, nämlich 420 m<sup>3</sup>, dann in dem geringen Platzbedarf, der sich in einer hohen Leistung pro m<sup>2</sup> verbauter Fläche ausdrückt. Ferner ist auch die Ammoniakausbeute aus der Kohle eine höhere und beträgt etwa 0,36 kg pro 100 kg Kohle<sup>6)</sup>. Die Ammoniakausbeute ist also wesentlich höher als im Horizontalofenbetriebe. Weisskopf<sup>7)</sup> berichtet, daß die Ammoniakausbeute aus sächsischen Kohlen durch Einführung des Vertikalofenbetriebes um 30 Proz. gesteigert wurde. Dies hat wohl seine Ursache darin, daß ebenso wie die Kohlenwasserstoffe auch das Ammoniak rasch aus der Retorte entfernt wird, und dadurch keine Gelegenheit hat, sich zu zersetzen. Ein weiterer großer Vorteil ist der geringe Gehalt des Vertikalofengases an Naphtalin. Auch dieses bildet sich ja (s. S. 319), wenn das Gas bzw. die Teerdämpfe über hoch erhitzte Flächen streichen, und dies ist eben zufolge der starken Füllung der Vertikalretorte nicht der Fall<sup>8)</sup>. Aus den gleichen Gründen ist es auch verständlich, wenn

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 205. — <sup>2)</sup> Ebend. 1909, S. 621. — <sup>3)</sup> Ebend. 1910, S. 409. — <sup>4)</sup> Vgl. ferner Weisskopf, ebend. 1911, S. 925. — <sup>5)</sup> Ebend. 1910, S. 979. — <sup>6)</sup> Körting, ebend. 1907, S. 709. — <sup>7)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 925. — <sup>8)</sup> Weiß, ebend. 1908, S. 579.

angegeben wird, daß der Teer aus den Vertikalöfen ein weit dünnerer ist, als der sonstige Steinkohlengasteer. Eine Zersetzung der Teerdämpfe zu Kohlenstoff und eine Verdickung des Teers ist ja aus den gleichen Gründen, wie oben erörtert, in geringerem Maße vorhanden als bei den sonstigen Retortenöfen. Allerdings wurde an manchen Orten auch aus Vertikalöfen dicker Teer erhalten<sup>1)</sup>. Es mag dies von der Temperatur abhängen, welche bei der Entgasung der Kohle angewendet wird.

In Cöln<sup>2)</sup> mußte z. B. bei der Arbeit mit westfälischen Kohlen der Dickteer aus den Vorlagen alle 4 Tage entfernt und die Steigerohre gereinigt werden. Die Steigerohrberieselung verminderte die Menge des Dickteers. Der Teer enthielt jedoch nur 1,5 bis 2,5 Proz. freien Kohlenstoff gegenüber 20 bis 25 Proz. beim Horizontalofenteer.

Hand in Hand mit der Verdickung des Teers geht die Abscheidung von Graphit in den Retorten. Dementsprechend war in Cöln alle 35 Tage das Ausbrennen der Retorten erforderlich, was 14 bis 18 Stunden in Anspruch nahm. In Chemnitz<sup>3)</sup> war das Ausgraphitieren alle 8 bis 9 Wochen erforderlich.

Dieselben Gründe, welche die Zersetzung des Ammoniaks und des Teers, sowie die Naphthalinbildung vermindern, bewirken auch, daß der Cyangehalt des Gases ein geringerer ist<sup>4)</sup>. Ebenso bildet sich demzufolge weniger Schwefelkohlenstoff, weil auch dieser ein pyrogenes Produkt ist, d. h. bei dauernder Erwärmung des Rohgases auf hohe Temperatur entsteht<sup>5)</sup>.

Der Koks aus dem Vertikalofenbetriebe ist wesentlich härter und grobstückiger als der sonstige Gaskoks. Er nähert sich also einigermaßen dem Hüttenkoks und hat daher für besondere Zwecke einen höheren Wert. Für die Heizung von Stubenöfen ist der härtere Koks jedoch nicht immer gut<sup>6)</sup>. Es konnte auch eine Erhöhung des Preises des Vertikalofenkokes bis jetzt nicht erzielt werden<sup>7)</sup>.

Ein weiterer Vorteil des Vertikalofens ist seine leichte Zugänglichkeit der Regeneration und daher leicht ausführbare Reparaturen. Ein weiterer Vorteil ist auch dadurch erzielt worden, daß die Ofenverankerungen der Vertikalöfen gleichzeitig zur Stütze des Daches des Retortenhauses dienen<sup>8)</sup>.

Wie schon erwähnt, ist ein Hauptvorteil der Vertikalöfen, daß die Arbeit zur Beschickung und Entleerung wesentlich verringert ist. Drei Mann können 30 Retorten bedienen. Allerdings muß die Bedienung der Vertikalöfen eine vorsichtiger sein<sup>9)</sup>. Besonders zu beachten ist, daß die Ofentemperatur nicht über ein gewisses Maximum hinaus gehen darf, und daß die hohe Temperatur in der untersten Zone gleichmäßig verteilt sein muß, da sonst der Ofen in Gefahr gerät. Am besten ist es, den Ofenzug so genau konstant zu halten und die Unterluft fortlaufend so zu regulieren, daß der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Gase ein Maximum beträgt. Zur Ofenkontrolle sind hier Meßinstrumente unbedingt erforderlich, so z. B. die Anwendung des Wanneryrometers oder der Seegerkegel, welche letztere alle 2 bis 3 Wochen zu er-

---

<sup>1)</sup> Drehschmidt u. Prenger, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 813. — <sup>2)</sup> Leisse, ebend. 1911, S. 781. — <sup>3)</sup> Weisskopf, ebend. 1911, S. 925. — <sup>4)</sup> Weiß, ebend. 1908, S. 579. — <sup>5)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 83. — <sup>6)</sup> Prenger u. Weiß, ebend. 1908, S. 579. — <sup>7)</sup> Möllers, ebend. 1910, S. 287. Über Vertikalöfen in England siehe Drury u. Leather, ebend. 1911, S. 1109. — <sup>8)</sup> Körting, ebend. 1907, S. 709. — <sup>9)</sup> Körting, ebend. 1909, S. 509.

neuern sind. Bei mangelhafter Aufsicht können die Öfen schon nach wenigen hundert Tagen reparaturbedürftig werden. Nach Leisse<sup>1)</sup> sind tägliche Revisionen der Kanäle und tägliche Temperaturmessungen empfehlenswert. Nach dem Ausgraphitieren verursacht die raue Retortenwandung zuweilen ein Hängenbleiben der Chargen.

Wir wollen nun die Resultate betrachten, die in den letzten Jahren über den Vertikalofenbetrieb bekannt geworden sind.

Diesbezügliche Zahlen über die Ausbeute zeigt die nachstehende Tabelle:

Autor	Gaswerk	Ausbeute Kubikmeter aus Kilogr. Proz.	Temp. d. Gases ° C	Heizwert	Bemerkung
Körting <sup>2)</sup> . .	Mariendorf	34,8	—	5195	Heizwert bei 0°, 760 mm
Röhlich <sup>3)</sup> . .	Offenbach	36,5	—	—	—
Foertsch <sup>4)</sup> .	Ludwigs- hafen	33,0	—	—	—
Geipert <sup>5)</sup> . .	—	37,3	15	5195	} oberschlesische Kohle, nasse Vergasung
Geipert <sup>6)</sup> . .	—	38,5	15	5400	
Leisse <sup>7)</sup> . . .	Cöln {	1908/09 {	15	5194	} westfälische Kohle, nasse Vergasung
		1909/10 {		5137	
		1910/11 {		5018	
				m. 26 Proz. Wasser- gaszusatz	
Weisskopf <sup>8)</sup>	Chemnitz	{ 30,65–31,02 36,68	—	5238	sächsische { trockene } Ver- Kohle { nasse } gasung

Wie ersichtlich, schwankt die Ausbeute zwischen 33,0 m<sup>3</sup> pro 100 kg Kohle bei trockener Vergasung, bis auf 39,6 m<sup>3</sup> bei nasser Vergasung.

Als mittlere Zusammensetzung des Vertikalofengases bei Naßbetrieb erhielt Leisse<sup>9)</sup> die folgende:

C O <sub>2</sub> . . . . .	1,9 Vol.-Proz.
C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> . . . . .	2,4 „
CO . . . . .	13,4 „
CH <sub>4</sub> . . . . .	22,1 „
H <sub>2</sub> . . . . .	56,9 „
N <sub>2</sub> . . . . .	3,3 „
	100,0 Vol.-Proz.

Die in letzterer Zeit veröffentlichten Zahlen betreffs der Unterfeuerung gehen aus der folgenden Tabelle hervor:

1) Journ. f. Gasbel. 1911, S. 781. — 2) Ebend. 1910, S. 1. — 3) Welches Ofensystem ist für 20 000 m<sup>3</sup> Tagesproduktion zu empfehlen? Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1061. — 4) Ebend. — 5) Ebend. 1910, S. 341; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 209. — 6) Ebend. — 7) Ebend. 1911, S. 781. Die Temperatur wurde im Laufe der Jahre von 1275 auf 1350° gesteigert, daher die Erhöhung der Ausbeute und Verringerung des Heizwertes. — 8) Journ. f. Gasbel. 1911, S. 925. — 9) Ebend. 1911, S. 781.

Autor	Gaswerk	Unterfeuerung der entgasten Kohle Proz.
Körting <sup>1)</sup> . . . . .	Mariendorf	11,8
Geipert <sup>2)</sup> . . . . .	18 er-Ofen	11,8
Geipert <sup>2)</sup> . . . . .	18 er-Ofen	11,8
Röhrich <sup>3)</sup> . . . . .	Offenbach	15,5
Förtsch <sup>4)</sup> . . . . .	Ludwigshafen	15
Weiss <sup>5)</sup> . . . . .	Zürich	15
Koppers <sup>6)</sup> (aus Gas World) .	Mariendorf	13,5—14
	Oberspree	16
	Frankfurt	16,9
	Potsdam	17,5
	Charlottenburg	19,5

Bei dem 12er-Vertikalofen schwankt die Unterfeuerung zwischen 15 und 19,5 Proz. Bei dem 18er-Vertikalofen dagegen sinkt sie auf 11,8 Proz. herunter. Dies ist die natürliche Folge der besseren Ausnutzung des Brennmaterials in einem Ofen mit einer größeren Anzahl von Retorten, die eine größere Heizfläche für das gleiche Kohlenquantum ergibt (S. 354).

Die Löhne sind beim Vertikalofen bis auf ein Minimum herabgesunken. Nach Weiß<sup>7)</sup> erzeugt ein Mann im 12er-Vertikalofen 7000 m<sup>3</sup> pro Tag. Beim Ofen mit 18 Retorten erzeugt ein Mann 16 000 bis 19 000 m<sup>3</sup> pro Tag<sup>8)</sup>. Nach Weisskopfs Bericht<sup>9)</sup> leistete eine Arbeitsschicht:

beim Vertikalofentrockenbetrieb 2600 m<sup>3</sup>,  
beim Vertikalofennaßbetrieb 3067 m<sup>3</sup>.

Nach Davidson<sup>10)</sup> waren die Lohnkosten der Vertikalöfen nur mehr 0,335 *M* pro Tonne vergaster Kohle, wobei Laden, Ziehen und Bedienung der Unterfeuerung inbegriffen sind.

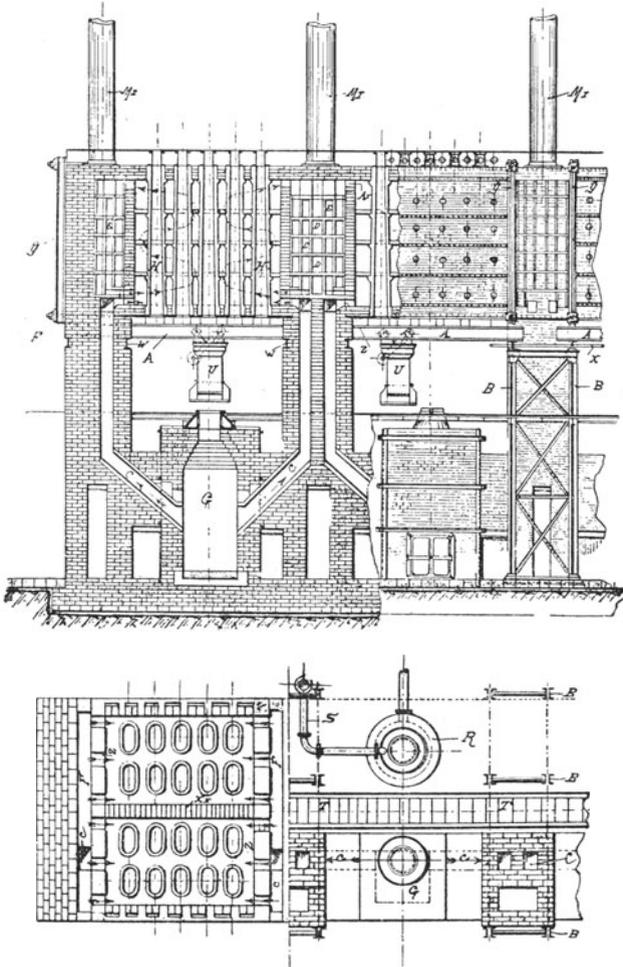
Die Anlagekosten der Vertikalretortenöfen gibt Peischer<sup>11)</sup> mit 26,67 K., einschließlich des Ofenhauses pro Kubikmeter Tagesproduktion, an. Ohne Ofenhaus gibt Weiß<sup>12)</sup> diese Kosten mit 17 K. an.

Beim Buebschen Vertikalofen muß der Generator mit kaltem Koks beschickt werden. Wegen der großen Höhe des Generators ist außerdem nur ausgegabelter großer Koks verwendbar. Auch muß der Koks aus dem Ofenhaus heraus- und dann wieder hineingeschafft werden, was eine beträchtliche Anlage für Koksauflagerung erfordert. Bolz<sup>13)</sup> hat daher ein Vertikalofensystem angegeben, bei welchem diese Nachteile vermieden sind (Fig. 171). Bei seiner Konstruktion erhält der Generator glühenden Koks und es fallen somit die oben genannten Übelstände weg. Die Feuerführung ist an die

1) Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1. — 2) Ebend. 1910, S. 341; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 209. — 3) Welches Ofensystem ist für 200 000 m<sup>3</sup> Tagesproduktion zu empfehlen? Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1061. — 4) Ebend. — 5) Diskussion auf der Versammlung Innsbruck; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 278 u. 323. — 6) Ebend. — 7) Journ. f. Gasbel. 1908, S. 579. — 8) Körting, Übersicht über das Gasfach; ebend. 1910, S. 816 und Geipert, ebend. 1910, S. 341; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 209. — 9) Journ. f. Gasbel. 1911, S. 925. — 10) Ebend. 1910, S. 1173. — 11) Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 105. — 12) Ebend. 1910, S. 278 u. 323. — 13) Journ. f. Gasbel. 1909, S. 591.

Schmalseite der Retorte verlegt, wodurch Ausbauchungen vermieden werden, durch die das Hängenbleiben der Charge bedingt sein kann. Es wird eine äußere Retortentemperatur von 1200 bis 1300° angewendet. Der Generator soll nur einen sehr geringen Zugverlust ergeben, die ansteigenden Kanäle lassen keine Flugasche ablagern, der glühende Koks kann nicht nur direkt in den Heizungsgenerator, sondern auch in einen unterhalb des Ofens an-

Fig. 171.



gebrachten Wassergasgenerator eingeführt werden. Die Arbeit für die Beschickung des Generators entfällt, das Schlacken des Generators ist wöchentlich nur einmal erforderlich, ein Auflockern alle 6 Stunden. Der Ofen soll 45 Proz. weniger Platz brauchen als der Dessauer 12er-Vertikalofen. Allerdings ist die Kohle um 4,5 m höher zu heben als bei letzterem. Dies bedeutet aber keinen Verlust an Arbeit, weil dafür die Hebung des Kokes entfällt.

Wenn wir auch Bueb die Einführung des Vertikalofens in die Praxis verdanken, so muß doch erwähnt werden, daß der Vertikalofen an sich nicht

neu war. Als Vorläufer desselben sind in England schon früher Vertikalöfen von Young und Beilby, von Herring und Young und von Glovers bekannt gewesen<sup>1)</sup>. Gegenwärtig sind Vertikalofenkonstruktionen noch bekannt von Rummens, Lachomette, Verdier und Teulon, ferner von Bäker in Budweis, dessen Retorten im Kreise angeordnet sind, und von Kämpfe, ferner jener von Martin und Pagenstecher<sup>2)</sup>.

Als Mangel werden beim Buebschen Vertikalofen noch empfunden: die periodische Füllung und Entleerung und die damit zusammenhängenden Übelstände. Beim Einfüllen der Kohle in die glühende Retorte entweichen natürlich große Mengen von Rauch und Qualm, so daß die Arbeiter belästigt werden und das Retortenhaus durch Hitze und schlechte Luft für den Aufenthalt weniger angenehm ist. Außerdem sind die Arbeiter beim Entleeren der Retorte durch den herabfallenden glühenden Koks gefährdet. Diese Übelstände können durch kontinuierliche Beschickung mittels maschineller Vorrichtung und ebenso durch kontinuierliche Entfernung des Kokseseitigt werden. Die Kohle bleibt bei einem solchen Verfahren allerdings nicht mehr ruhig im Entgasungsraume liegen, wie dies bisher der Fall war, sondern sie muß denselben von oben bis unten durchwandern, währenddem sie entgast wird. Der Entgasungsvorgang erfährt also eine wesentliche Änderung. Daß jedoch eine derartige kontinuierliche Vergasung möglich ist, haben zunächst Woodall und Duckham durch Einführung ihres Vertikalofens für kontinuierliche Entgasung bewiesen. Ob die kontinuierliche Entgasung tatsächlich ein Vorteil ist, darüber gehen die Meinungen noch auseinander. Die kontinuierliche Entgasung sucht die Handarbeit durch Maschinenarbeit zu ersetzen. Die jetzt eingeführten Großraumöfen dagegen suchen die Arbeit überhaupt auf ein Minimum zu beschränken, indem 13- bis 24 stündige Chargen eingeführt werden. Im ersteren Falle hat man es also an Stelle von Handarbeit mit Maschinenarbeit zu tun, mit all den Nachteilen, die daraus resultieren, daß die Maschinen höhere Anlagekosten, infolgedessen Verzinsung und Amortisation und auch wesentliche Reparaturen beanspruchen. In letzterem Falle hat man es nur mit einer periodischen Arbeit, jedoch aber dafür mit Handarbeit zu tun. Es wird von Fall zu Fall beurteilt werden müssen, welches das günstigere Verfahren für besondere Verhältnisse ist.

Die veränderte Art der Entgasung im kontinuierlichen Verfahren muß notwendigerweise auch einen Einfluß auf die Qualität des Koksese haben. Die Kohle ist hier in beständiger Bewegung, dementsprechend können die einzelnen Kohlenpartikelchen nicht so fest zusammenbacken wie bei der Entgasung im ruhenden Zustande. Der Koks wird also kleinstückiger und weniger fest sein.

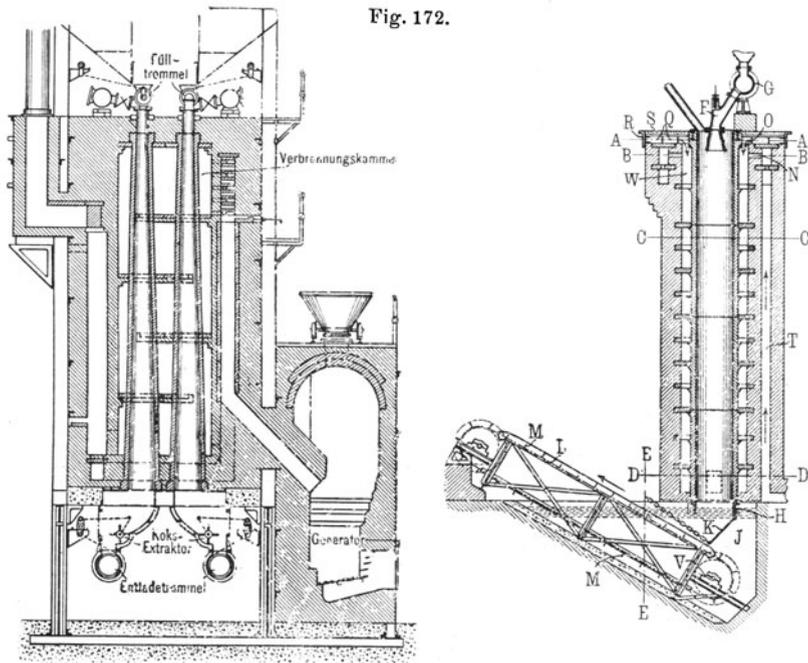
Den ersten Schritt in dieser Richtung machten Settle-Padfield, die in Vertikalretorten eine kontinuierliche Beschickung mittels maschineller Vorrichtungen einführten. Sie gingen jedoch nicht so weit, auch die Abfuhr des Koksese kontinuierlich zu bewirken.

In Deutschland konnte sich die kontinuierliche Entgasung bisher noch nicht umfangreichen Eingang verschaffen, wenn auch hier und da einige Versuche gemacht werden. Dagegen scheint sie in England günstige Resultate zu zeitigen. Woodall und Duckham, denen die Einführung der kontinuier-

<sup>1)</sup> Eisele, Der Vertikalofen und die Zukunft der Gasbereitung; Journ. f. Gasbel. 1907, S. 1. — <sup>2)</sup> Eisele, ebend.; ferner Strache, Vergangeneit und Zukunft der Gaserzeugung, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 257.

lichen Entgasung in die Praxis zu verdanken ist, hatten beabsichtigt, erstens die kontinuierliche Koksabfuhr und das gleichmäßige Vergasen der Kohle durchzuführen, zweitens die Wärme des Kokes zur Gaserzeugung zu verwenden, drittens den oberen Teil so stark als möglich zu erhitzen. Die ersten Versuche wurden im Jahre 1903 ausgeführt, doch gab der erste Ofen erst 1908 befriedigende Resultate. Der Koks konnte durch einen Wasserverschluß herausgezogen werden. Es entwickelten sich aber durch den ruckweise herabsinkenden Koks plötzlich so große Dampfmengen, daß dadurch die Entgasung gestört wurde.

In seiner jetzigen Form besteht der Woodall-Duckham-Ofen aus vier ovalen Retorten,  $0,61 \times 0,25$  m oben und  $0,76 \times 0,56$  m unten im Lichten;



sie sind je 7,6 m lang. Die Tagesleistung eines Ofens mit vier Retorten beträgt  $3600 \text{ m}^3$  und reicht eine Antriebskraft von 1 HP hierfür aus. Jede Retorte vergast pro Tag 2,5 Tonnen Kohle. Die Kohle bleibt  $6\frac{1}{2}$  Stunden in der Retorte. An Koks werden stündlich etwa 80 kg abgezogen. Zum Löschen desselben werden 50 Liter Wasser pro Tonne benötigt. Der Ofen nimmt  $16 \text{ m}^2$  Bodenfläche ein. Die Gesamthöhe beträgt 14 m. Pro Tonne Kohle wurden in verschiedenen Öfen 368 bis  $529 \text{ m}^3$  Gas von 4560 bis 5100 Kal. Heizwert erzeugt<sup>1)</sup>. In Nine Elms war der Ofen zwei Jahre in Betrieb und wurden  $350 \text{ m}^3$  pro Tonne mit 5300 Kal. erhalten. Das Koksabbringen betrug 71 Proz., die Unterfeuerung 14,5 Proz. An Ammoniumsulfat wurde 1,4 Proz. der vergasteten Kohle gewonnen. Dies entspricht an Ammoniak 0,31 Proz. Der Naphtalingehalt des Gases war unbedeutend.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1053.

Die Zusammensetzung des Gases ist die eines gewöhnlichen Steinkohlengases mit etwas erhöhtem Stickstoffgehalt.

Leather<sup>1)</sup> erhielt mit dem Woodall-Duckham-Ofen in Burnley bei täglich 2600 bis 2750 kg pro Retorte vergaster Kohle eine Ausbeute von 35,6 m<sup>3</sup> pro 100 kg und guten Koks. Er beschreibt einen besonderen Extraktor zum Herausziehen desselben.

Die Konstruktion des Woodall-Duckham-Ofens geht aus Fig. 172 hervor. Während bei den ersten Versuchen der Koks durch einen Wasserverschluß hindurchgezogen wurde, ist Woodall später davon abgegangen, wie dies die Figuren zeigen. Die Ablöschung des Koks erfolgt jetzt nur durch geringe Wassermengen. Daß dabei die Wassergaserzeugung keine nennenswerte ist, geht aus dem geringen Kohlenoxydgehalt des Gases hervor. Nachstehend die Zusammensetzung desselben:

CO <sub>2</sub> . . . . .	3,22	Proz.
C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> . . . . .	2,88	„
O <sub>2</sub> . . . . .	0,27	„
CO . . . . .	7,41	„
CH <sub>4</sub> . . . . .	35,05	„
H <sub>2</sub> . . . . .	45,85	„
N <sub>2</sub> . . . . .	5,32	„
	100,00	Proz.

Der Ofen weist die höchste Temperatur von etwa 1250° am oberen Retortende auf. Unten beträgt dieselbe nur 950°. Die Temperaturverteilung ist also umgekehrt wie beim Buebschen Vertikalofen. Dies findet seine Begründung darin, daß die frisch eingebrachte Kohle, welche sich im oberen Teile der Retorte befindet, eine große Wärmemenge teils zur Erwärmung bis auf die Entgasungstemperatur und dann zur Entgasung im ersten Stadium beim Austreiben des Teers verbraucht, wogegen der herabsinkende, schon teilweise entgaste Koks nur mehr eine geringere Wärmezufuhr benötigt.

Der Koks ist nicht so dicht wie gewöhnlicher Gaskoks, da er während der Bewegung der Schwellung folgen kann, während der Gaskoks oder der in Kokereien erzeugte Hüttenkoks dadurch, daß seine Ausdehnung verhindert wird, ein festeres Gefüge erhält. Das Hektolitergewicht beträgt daher beim Koks aus der kontinuierlichen Entgasung nur 40 kg gegenüber 55 kg beim gewöhnlichen Retortenkoks. Bei der kontinuierlichen Entgasung ist man von der Kohlensorte ziemlich unabhängig. Ob der dichte oder der wenig dichtere Koks den Vorzug verdient, hängt, wie schon erwähnt, von dem Verwendungszweck ab.

Der Betrieb der Öfen mit kontinuierlicher Entgasung ist ein außerordentlich reinlicher und leicht zu regelnder. Die Beschaffenheit von Gas und Koks sind Funktionen der Geschwindigkeit, mit welcher der Koks abgeführt wird. Die Bedienung erfordert keinerlei geschulte Arbeiter. Die Anlagekosten stellen sich nicht höher wie für einen gewöhnlichen Retortenofen. Die Unterhaltungskosten der mechanischen Einrichtungen werden sich erst aus einem längeren praktischen Betriebe ergeben.

Nach den Angaben von Woodall<sup>2)</sup> ergab die Anlage in Bornemouth aus 100 kg Kohlen 36,8 m<sup>3</sup> Gas von 16,1 HK Leuchtkraft. Auch stark

<sup>1)</sup> Versamml. d. englischen Gasingenieure in Glasgow; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1109. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 1025.

blähende Kohle soll ohne Schwierigkeit vergasbar gewesen sein. In den Nine-Elms-Werken wurden  $34,7 \text{ m}^3$  von  $18,1 \text{ HK}$  und  $5300 \text{ Kal.}$  mit  $2,22 \text{ Proz. CO}_2$  und  $7,41 \text{ Proz. CO}$  erhalten. Die letzten Resultate sind  $39,8 \text{ m}^3$ ,  $16,25 \text{ HK}$ ,  $4900 \text{ Kal.}$ ,  $1,73 \text{ CO}_2$  und  $50 \text{ Proz. Koks}$ ausbeute. Auch Woodall kommt zu dem Resultate, daß das Wassergas am besten in besonderen Apparaten und nicht mit Hilfe der Gasretorten herzustellen sei <sup>1)</sup>.

Die von Woodall bei der kontinuierlichen Vergasung erhaltenen Zahlen sind, wenn sie auch anderwärts erreichbar sind, so glänzende, daß die hohe Bedeutung dieses Verfahrens nicht geleugnet werden kann. Woodall glaubt, daß auch die Lebensdauer der Retorte eine höhere sein wird, weil keine Temperaturschwankungen und keine Behandlungen mit Lade- und Entladewerkzeugen stattfinden. Das allmähliche Herabgleiten des Koks verhindert die Graphitbildung.

Ein Retortenhaus ist überhaupt nicht erforderlich, da ein Dach über dem Kohlenbehälter genügenden Schutz gewährt. Bei wechselnder Temperatur des Ofens kann die Geschwindigkeit der Chargen durch einen einfachen Handgriff geändert werden. Der Kraftbedarf der Kohlenzufuhr und Koksabfuhr beträgt für 4 Öfen à 4 Retorten 5 HP. An Unterfeuerung wurden 19 Proz. wasserhaltiger, d. i. 15 Proz. trockener Koks benötigt. Dieser Mehraufwand an Koks kann jedoch kaum im System begründet sein, und dieses wird bei richtiger Ausführung der Feuerung auch kaum mehr Koks für Unterfeuerung beanspruchen, als die anderen Vertikalöfen.

Ein neuer Ofen zur kontinuierlichen Entgasung nach System Glover-West wurde in St. Hellens errichtet <sup>2)</sup>.

Über dieses System berichtete Newbigging auf der Versammlung englischer Gasingenieure in Glasgow <sup>3)</sup> und hob die Beseitigung aller unreinlichen Arbeit bei gleichbleibender Qualität des Gases hervor. Ein Ofen mit 2 Abteilungen zu je 8 Retorten ergab  $14\,150 \text{ m}^3$  Tagesleistung. Pro Retorte und Tag konnten  $2500$  bis  $3200 \text{ kg}$  Kohle entgast werden. Der Durchgang der Kohle durch die Retorte beanspruchte 12 Stunden. Der Kraftverbrauch kostete  $5,7 \text{ ₤}$  pro  $100 \text{ kg}$  Kohle. Die Unterfeuerung konnte auf  $10,04 \text{ Proz.}$  herabgedrückt werden, wäre also, wenn sie sich dauernd auf dieser Zahl erhält, geringer als bei irgend einem anderen der bekannten Entgasungssysteme. Die Kosten der Anlage betragen  $3600 \text{ ₤}$  pro  $1000 \text{ kg}$  täglich vergaster Kohle, die Retortenhauslöhne  $34 \text{ ₤}$  pro Tonne und Tag. Gegenüber dem bisherigen Verfahren wurde eine Mehrausbeute von  $14$  bis  $28 \text{ m}^3$  pro Tonne vergaster Kohle erzielt. Der Teer enthielt nur  $3,1$  bis  $5,8 \text{ Proz.}$  freien Kohlenstoff, während im Horizontalofenteer  $17,6 \text{ Proz.}$  enthalten waren.

## 22. Ofenreparaturen.

Hat man in einem Ofen durch Analyse der Gase in den verschiedenen Zügen festgestellt, daß sich Undichtheiten vorfinden, was sich durch eine Zunahme des Sauerstoffüberschusses in dem betreffenden Zuge ausdrückt, oder durch Auftreten von Kohlenoxyd in den Gasen, wenn es sich um eine Undichtheit der Gaskanäle handelt, so muß man dafür sorgen, daß die vorhan-

<sup>1)</sup> Vgl. Drehschmidt, Kobbert und Terhaerst, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 813. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 878. — <sup>3)</sup> Ebend. 1911, S. 1109.

denen Undichtheiten raschestens beseitigt werden, weil dadurch eine große Verschwendung an Brennmaterial bedingt ist. Die Beseitigung der Undichtheit erfolgt nach vollständiger Erkaltung, indem man zunächst das Innere der betreffenden Züge und auch das der Retorte mit Licht ableuchtet, wodurch man erkennen kann, an welchen Stellen die Undichtheiten vorhanden sind, da die Flamme des Lichtes durch diese eingesogen wird. Kleine Sprünge verschmiert man mit Zement, größere mit einem Kitt von Schamotte und Wasserglas oder bei noch größeren Undichtheiten setzt man ganze Schamottestücke unter Verwendung eines Mörtels aus Schamottemehl und Wasserglas ein.

Ist eine teilweise Erneuerung des Mauerwerkes erforderlich, so muß man berücksichtigen, daß das neu eingebaute Mauerwerk in der Hitze nur sehr schlecht den Verband mit dem alten Mauerwerk hält und sich leicht von diesem ablöst. Um dies zu vermeiden, muß unter Anwendung großer Mengen von Wasser gemauert werden und muß auch das alte Mauerwerk durchnäßt werden. Dies besorgt man am besten durch mehrtägiges Auflegen von nassen Tüchern, die beständig frisch befeuchtet werden. Anstatt jedoch große Reparaturen auszuführen, deren Verlässlichkeit doch nicht immer sichergestellt ist, ist es meist zweckmäßiger, den ganzen Einbau des Ofens zu erneuern. Beim Abbruch des alten Mauerwerkes sorgt man dafür, daß die Ziegel vorsichtig behandelt werden, da sie beim Neubau wieder verwendet werden können. Übrigens werden die Schamottebruchsteine von Schamottefabriken aufgekauft, welche sie einstampfen und dann zur Erzeugung neuer Schamottesteine verwenden. Undichtheiten in Retorten lassen sich auch während des Betriebes beseitigen, indem man mit einem an einem langen Stiele angebrachten Instrument den Mörtel aus Schamotte und Wasserglas in der Retorte auf die betreffende brüchige Stelle aufstreicht.

### 23. Kammeröfen.

Das Vorbild des Kammerofens ist der Koksöfen. Die modernen Kokereien haben uns gelehrt, große Quantitäten von Kohle unter Gewinnung von Gas und anderen Nebenprodukten zu verkoken. Zur Beheizung der Koksöfen wird das überschüssige Gas verwendet, während es Zweck der Gaswerke ist, bei der Entgasung der Kohle möglichst viel Gas zu gewinnen, und daher benutzen die Gaswerke zur Beheizung ihrer Öfen den Koks; während für die Kokereien nicht nur die Menge, sondern hauptsächlich auch die Qualität des erzeugten Kokes von größter Wichtigkeit ist, liegt bei den Gaswerken der Schwerpunkt nicht nur in der Menge, sondern auch in der Qualität des erzeugten Gases. Schon daraus geht hervor, daß die Konstruktionen der Öfen, wie sie in den Kokereien angewendet werden, nicht ohne weiteres auf den Gaswerksbetrieb übertragen werden können.

Bei dem Gedanken, Koksöfen oder ähnliche Kammeröfen in den Gaswerken zur Entgasung der Kohle zu verwenden, traten die Bedenken auf, daß das Gas in nicht genügend gleichbleibender Qualität erzeugt werden könnte. Tatsächlich war das Schwanken der Qualität des Gases in den Kokereien ein ganz bedeutendes, was aber vornehmlich daran lag, daß man auf die Dichtigkeit der Kammern, in denen die Kohle entgast wurde, keinen besonderen Wert legte. Aber auch wenn man in vollkommen dichten Kammern arbeitet, resul-

tieren doch beträchtliche Schwankungen in der Qualität des Gases daraus, daß die Kohle in den großen Kammern nur sehr langsam entgast und dadurch sehr lange Ausstehezzeiten erforderlich sind. In den Koksöfen hat man Ausstehezzeiten von 36 bis 48 Stunden.

Bekanntlich entwickelt sich bei der Entgasung von Kohle (S. 314) zunächst ein sehr leucht- und heizkräftiges Gas von verhältnismäßig hohem spezifischen Gewicht, während am Schlusse der Entgasung leichtere Kohlenwasserstoffe, hauptsächlich Sumpfgas, und zum Schlusse hauptsächlich nur Wasserstoff entweichen. Würde man also eine kleine Menge Kohle innerhalb 24 Stunden sehr langsam erwärmen, so würde man am Anfang ein sehr reiches Gas, am Schlusse aber beinahe nur reinen Wasserstoff erhalten. Nun liegen aber die Verhältnisse in der Praxis der Kokserzeugung doch anders. Hier wird nicht jedes Kohlenstück allmählich innerhalb 24 Stunden langsam erwärmt, sondern es ist eine große Kohlenschicht vorhanden, deren einer Teil, der nahe den Wandungen der Kammer gelegen ist, zuerst zur Vergasung kommt, während die Entgasung nach dem Inneren fortschreitet, und die äußeren Teile allmählich vollständig entgast werden. Die Qualität des gewonnenen Gases ist daher eine gleichmäßigere, als wenn man eine kleine Partie Kohle so langsam erhitzen würde.

Daher kommt es auch, daß der Heizwert des in großen Kammern erzeugten Gases am Anfange zwar sehr hoch, etwa bis 8000 Kal. ist und im Laufe der ersten Stunde bis auf etwa 5000 Kal. herabgeht, dann aber längere Zeit konstant bleibt und erst ganz am Schlusse der Gaserzeugung wieder wesentlich heruntersinkt, nämlich bis auf etwa 4000 Kal. pro Kubikmeter. Die Differenzen werden nun zum Teil schon von selbst dadurch ausgeglichen, daß ja in einem Gaswerke, wo eine große Anzahl von Kammern im Betrieb steht, nicht alle Kammern gleichzeitig chargiert werden, sondern daß dieselben hintereinander mit Kohle beschickt werden, so daß der Schluß der Entgasung der einen Kammer mit dem Beginn der Entgasung bei der anderen zusammenfällt und dadurch diese Unregelmäßigkeiten im Heizwert ausgeglichen werden. Außerdem kann man aber dafür sorgen, daß die Chargierung der Kammern nicht einmal im Tage, sondern zwei- oder dreimal im Tage vorgenommen werde, so daß dadurch alle Bedenken entfallen, die wegen der Unregelmäßigkeit in der Zusammensetzung des Gases bestanden. Allerdings ist es sehr wichtig, immer auf die vollständige Dichtheit der Kammerwände zu sehen, da anderenfalls durch die Undichtheiten Verbrennungsgase, d. i. also stark stickstoffhaltige Gase eingesogen würden.

Bei der Kammer ist die Anwendung eines Exhaustors zum Zwecke des Absaugens der Gase noch viel wichtiger als beim Retortenbetrieb, weil ja eben naturgemäß bei der Kammer viel mehr poröse Stellen vorhanden sind, wo Gase entweichen könnten. Es muß also durch eine mäßige Exhaustorwirkung ein solcher Unterdruck in der Kammer hergestellt werden, daß kein Gas in die Heizkanäle entweicht, daß aber auch keine wesentlichen Quantitäten von Heizgas in die Kammern eingesogen werden können. Beim Kammerofenbetrieb ist es daher noch viel wichtiger, die Wirkung des Exhaustors beständig und scharf zu überwachen, so daß stets der gewünschte Druck innerhalb der Kammer herrscht.

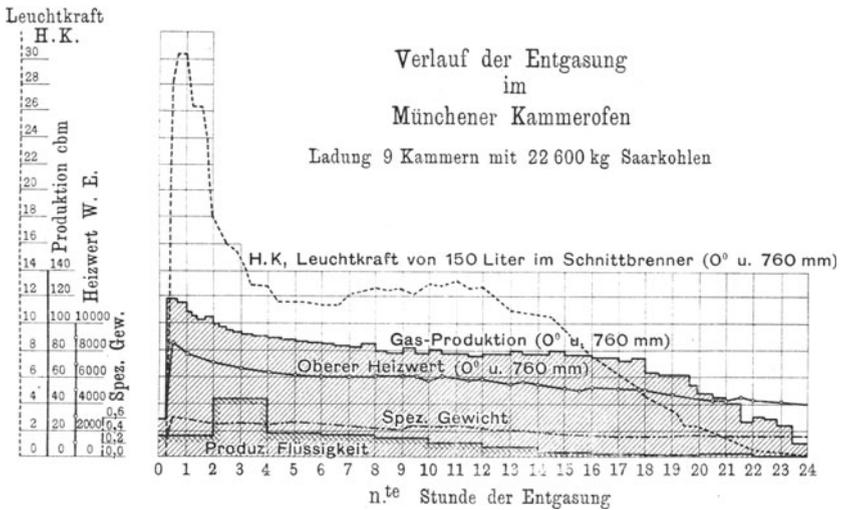
Die Anwendung des Kammerofens an Stelle des Retortenofens im Gaswerksbetriebe bedeutet eine ganz bedeutende Umwälzung, daher darf es nicht

wundernehmen, daß die Einführung des Kammerofenbetriebes mancherlei Kinderkrankheiten mit sich brachte, die eben erst überwunden werden müssen. Es wird also zweifellos länger dauern, bis der Kammerofenbetrieb sich zu seiner Vollkommenheit ausgebildet haben wird, als wie dies z. B. beim Vertikalofen der Fall war, der sich doch bedeutend mehr an die älteren Konstruktionen der Retortenöfen anschmiegt.

Ries in München gebührt das Verdienst, den Kammerofen zuerst im Gaswerksbetrieb eingeführt zu haben<sup>1)</sup>. Er hat gezeigt, daß nicht nur Gas in genügend gleichbleibender Qualität hergestellt werden kann, sondern auch daß die Quantität der Gaserzeugung im Kammerofen eine genügend gleichmäßige ist.

Das Maximum der Gaserzeugung ergibt sich natürlich kurz nach der Ladung innerhalb der ersten 5 Stunden. Dann sinkt die Gaserzeugung auf

Fig. 173.



eine gewisse Höhe herab, auf der sie sich sehr lange Zeit gleichmäßig erhält. Erst von der 17. Stunde an sinkt die Gasproduktion wesentlich bis zur 24. Stunde, wie das Diagramm Fig. 173<sup>2)</sup> zeigt.

Ebenso wie der Heizwert und die Gasproduktion verhält sich auch die Leuchtkraft des Gases. Auch diese ist am Anfang hoch und sinkt dann stark herab, bleibt dann längere Zeit konstant und geht schließlich bis nahezu auf Null. Der durchschnittliche Heizwert betrug bei den ersten Münchener Versuchen 5880 Kal. pro Kubikmeter erzeugten Gases.

Als Vorteil des Kammerofenbetriebes konnte von vornherein erwartet werden, daß die Arbeitslöhne sich wesentlich geringer stellen würden als bei den alten Retortenöfen. Wenn so viel Kohle auf einmal in eine große Kammer geladen werden kann, so ergibt sich natürlich eine viel geringere Anzahl von Ladungen. Diese beträgt beim Kammerofen nur  $\frac{1}{40}$  von der Anzahl der Ladungen in den Retorten. Als Entgasungszeit wurde von Anfang an die 24stündige gewählt, weil dadurch eine große Regelmäßigkeit in den Gaswerks-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1907, S. 717 u. 1908, S. 585. — <sup>2)</sup> Aus Schäfer, Gaswerk, 3. Aufl.

betrieb gebracht werden konnte. Die Verkürzung der noch viel längeren Entgasungszeit, wie sie im Kokereibetriebe angewendet wird, war eine Notwendigkeit, weil durch 36- bis 48 stündige Chargen das Gas doch zu unregelmäßig geworden wäre. Diese Verkürzung konnte nur durch Verminderung der Breite der Kammern erzielt werden. Der 24 stündige Betrieb hatte zur Folge, daß die Nacharbeiten im Ofenhausbetrieb gänzlich entfallen konnten. Die Bedenken, die dagegen laut wurden <sup>1)</sup>, beziehen sich auf den schon erwähnten Umstand, daß man meinte, dadurch kein genügend gleichmäßiges Gas erzeugen zu können. Allerdings konnte man aus diesem Grunde auch nicht mit einer einzigen Chargierung pro 24 Stunden auskommen, aber man konnte sich in der Weise helfen, daß man zweimal während des Tages chargierte und so doch während der Nacht keine Arbeit im Ofenhaus benötigte. Weitere Bedenken wurden ausgesprochen, weil die Erzeugung von Wassergas im Entgasungsraume selbst, wie dies bei den Vertikalöfen üblich ist, im Kammerofen nicht gut durchgeführt werden konnte wegen der voraussichtlichen ungleichmäßigen Verteilung des Dampfes in der großen Kammer; doch wenn man Wassergas zumischen will, so geschieht dies viel besser mit Hilfe eigener Wassergasanlagen, wie dies schon beim Vertikalofenbetrieb erwähnt wurde.

Weitere Bedenken gegen den Kammerofenbetrieb sind ausgesprochen worden wegen der großen Masse von Koks, welche auf einmal entfallen und bewältigt werden müßte <sup>2)</sup>. Es war hier jedoch vorauszusehen, daß sich Konstruktionen finden müssen, um diese Koksmassen bewältigen zu können, und die Praxis hat dies auch bestätigt.

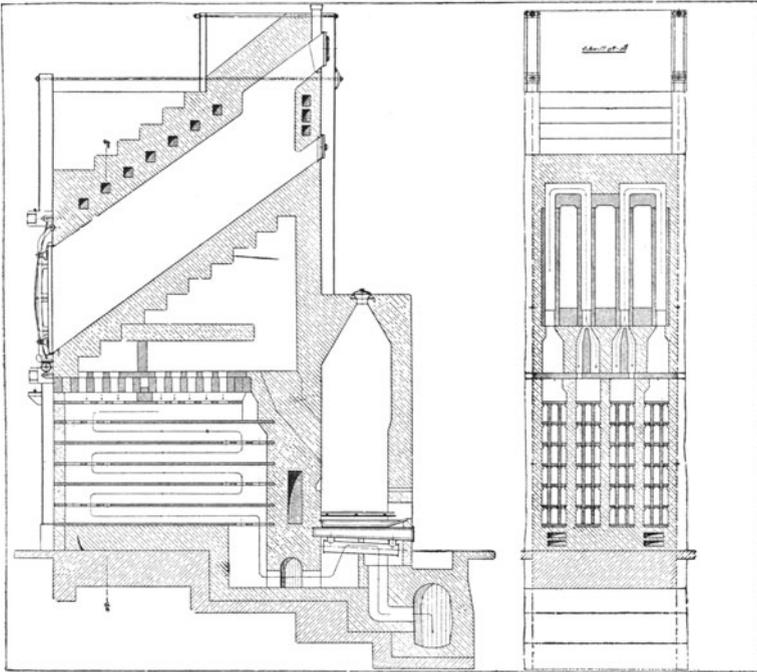
Während die Retorte ein Jahrhundert dazu brauchte, um von der horizontalen über die schräge in die vertikale Lage überzugehen, fing der Kammerofen beim Gaswerksbetrieb gleich mit der schrägen Lage an, weil man eben zu der Zeit seiner Einführung die Schrägretorten als das bequemste betreffs der Füllung mit Kohle und betreffs der Abfuhr des Kokses betrachten mußte. Schon wenige Jahre nachher trat jedoch die horizontale Lage des Kammerofens im Gaswerksbetriebe auf, die man ja von seiten der Kokereien bereits kannte. Dies bedingt allerdings die Anwendung von Ausstoßmaschinen, um den Koks aus der Kammer herauszubringen, und erfordert daher einen größeren Platz, aber dem steht der Vorteil der wesentlich größeren Billigkeit gegenüber. Auch die vertikale Lage der Kammer hat man bald erprobt. Diese scheint sich jedoch hauptsächlich nur für kleinere Werke zu eignen, da man große Koksmassen doch nicht gut vertikal nach abwärts fallen lassen kann. Entsprechend der Entwicklung der Kammeröfen wollen wir zunächst den Schrägkammerofen, dann den Horizontalkammerofen und schließlich den Vertikalkammerofen besprechen.

Der Riessche Kammerofen <sup>3)</sup>, der zuerst in München ausgeführt wurde, ist in Fig. 174 dargestellt. Er ist sozusagen aus dem Schrägretortenofen mit neun Retorten entstanden, indem je drei übereinander liegende Retorten zu einer großen Kammer vereinigt wurden. Er besteht daher aus drei schräg gestellten Kammern, die einen Neigungswinkel von 35 bis 40° besitzen, so daß der Koks von selbst herausrutscht, wenn die untere Tür geöffnet wird. Der Fassungsraum der Kammern betrug bei dem ursprünglichen Ofen 2,5 bis

<sup>1)</sup> Bueb, Journ. f. Gasbel. 1907, S. 728. — <sup>2)</sup> Körting, ebend. 1908, S. 837. — <sup>3)</sup> D. R.-P. Nr. 208 953; Journ. f. Gasbel. 1907, S. 717.

3 t. Bei späteren Ausführungen wurden die Kammern 7,15 m lang gemacht, so daß der Fassungsraum auf 6,6 t erhöht wurde<sup>1)</sup>. An der Rückwand besitzt die Kammer eine obere und eine untere Öffnung. Die obere dient zum Beschicken, indem aus einem fahrbaren Gefäß durch eine Mulde die Kohle eingelassen wird. Das Füllen dauert auch bei 6 bis 7 t Fassungsraum nur 1 Minute. Das Ausstoßen erfolgt, im Falle der Kokskuchen nicht von selber rutscht, durch die untere Öffnung mittels einer Stoßvorrichtung, die maschinell angetrieben ist. Es genügt, dem Kokskuchen eine kleine Bewegung nach vorwärts zu geben, um das selbsttätige Rutschen zu veranlassen. Um die Entleerung zu erleichtern, ist die Kammer nach unten konisch erweitert. Sie

Fig. 174.

Münchener Kammerofen von 6000 m<sup>3</sup> Tagesleistung.

besitzt oben eine Breite von 45 cm, unten dagegen von 60 cm. Oben ist ein Sammelkanal für die abziehenden Gase vorhanden, welcher nicht beheizt ist, so daß die Gase keine übermäßige Zersetzung erfahren.

Die Dichtung der Auslaßtüren machte anfangs bei den Kammeröfen einige Schwierigkeiten, die jedoch jetzt als vollständig überwunden gelten können.

Der Generator befindet sich wie bei den Schrägretortenöfen außerhalb des eigentlichen Ofens. Er hat einen gewöhnlichen Planrost und Öffnungen zum Einstoßen der Notroststäbe. Unterhalb des Rostes ist ein Wasserschiff angeordnet und außerdem empfängt der Rost noch Dampf durch einen Wasserverdampfer, der im Kanal der abziehenden Essengase angeordnet ist. Der

<sup>1)</sup> Lessing, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 962; Zeitschr. d. österr. Gasver 1909, S. 605. Strache, Gasbeleuchtung.

Generator zeigt, wie beim Vertikalofen, eine solche Höhe, daß der Koks vort nur selten ergänzt werden muß. Die abziehenden Generatorgase gelangen in ähnlicher Weise zu den Schlitzten der Feuerung, wie wir dies bei den Schrägretortenöfen gesehen haben. Die Feuergase bespülen die einzelnen Kammern, wie aus dem Querschnitt ersichtlich, und gelangen dann, nach abwärts streichend, in die Regeneration. Unten verlassen sie den Ofen, indem sie in den Schornsteinkanal gehen. Es sind hier Schieber angeordnet, welche zum einzelnen oder gruppenweisen Absperren der Rauchgaskanäle gegen den Hauptabzugskanal der Rauchgase dienen <sup>1)</sup>.

Um die beim Füllen der Kammern auftretenden lästigen Gase zu beseitigen, kann man eine Anordnung anwenden, welche bei Koksöfen verwendet wird. Es ist dies eine Hilfsvorlage, welche mit Wasser gefüllt ist und für jedes Steigrohr ein eigenes Glockenventil trägt <sup>2)</sup>. Dieses Ventil, welches in Wasser taucht, ist beim Betriebe des Ofens niedergeschraubt, beim Füllen jedoch so hoch oben, daß es noch 65 mm Tauchung hat. Mittels eines angeschlossenen Dampfstrahlexhaustors werden die Gase durch die Tauchung hindurchgesogen. Dies hat den Zweck, etwaige Flammen abzulöschen, welche Explosionen verursachen könnten. Die Reinigunsklappe des Steigerohres ist dabei geöffnet und der Exhaustor so reguliert, daß keine Luft mit angesogen wird.

Die Kammeröfen werden, wenn sie überhaupt in einem Retortenhaus Unterkommen finden sollen, im Hause derart aufgestellt, daß der Koks direkt ins Freie gelangen kann und in einen Löschwagen oder in eine Löschgrube fällt.

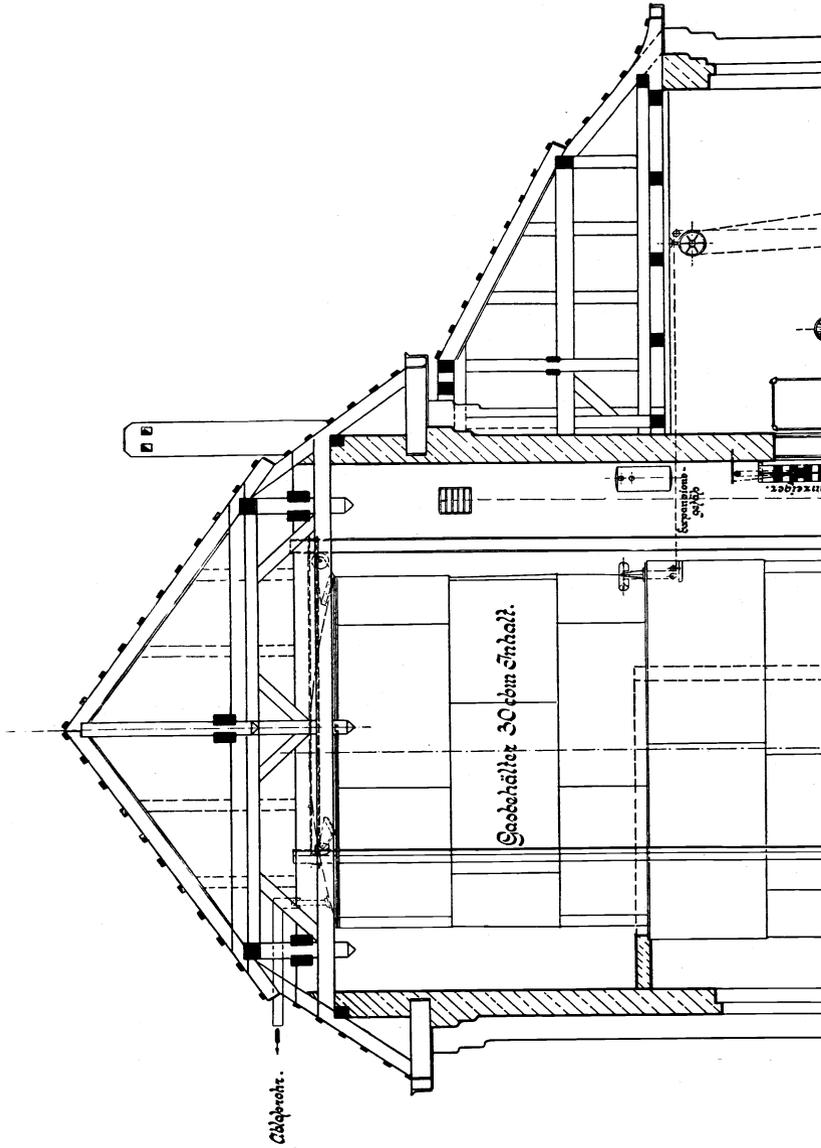
Die Bedienung des Riesschen Kammerofens erfordert für 100 000 m<sup>3</sup> Tagesleistung 4 bis 6 Mann <sup>3)</sup>. Die Bedienung erfordert keine besondere Vorsicht, wie dies z. B. beim Vertikalofen der Fall ist. Die Kammeröfen können auch von minderwertig ausgebildetem Bedienungspersonal bedient werden.

Als ein Nachteil des Riesschen Kammerofens wurden die großen Schamottmassen bezeichnet, welche zu seinem Bau benötigt werden. Da jedoch von vornherein darauf gesehen werden mußte, daß die Dichtheit der Kammern eine absolute ist, so war es natürlich, daß der erste Konstrukteur eines Kammerofens große Schamottmassen anwenden mußte, um den hier vorauszusetzenden Übelstand von vornherein zu beseitigen. Jetzt, nachdem genügende Erfahrungen gesammelt sind, werden auch die Riesschen Kammeröfen leichter und daher billiger gebaut <sup>4)</sup>.

Der aus dem Riesschen Ofen zu gewinnende Koks ist sehr gut und hart, der Graphitansatz ist sehr gering und läßt sich leicht entfernen, so daß nur alle 4 bis 6 Wochen das Ausgraphitieren erforderlich ist. Die Anwendung eines Behälters zur Mischung der Gase wegen der verschiedenen Qualität am Anfang und zu Ende der Gaserzeugung hat sich nicht als notwendig erwiesen. Die größte Anlage mit Riesschen Kammeröfen mit 100 000 m<sup>3</sup> Tagesproduktion befindet sich derzeit in Hamburg.

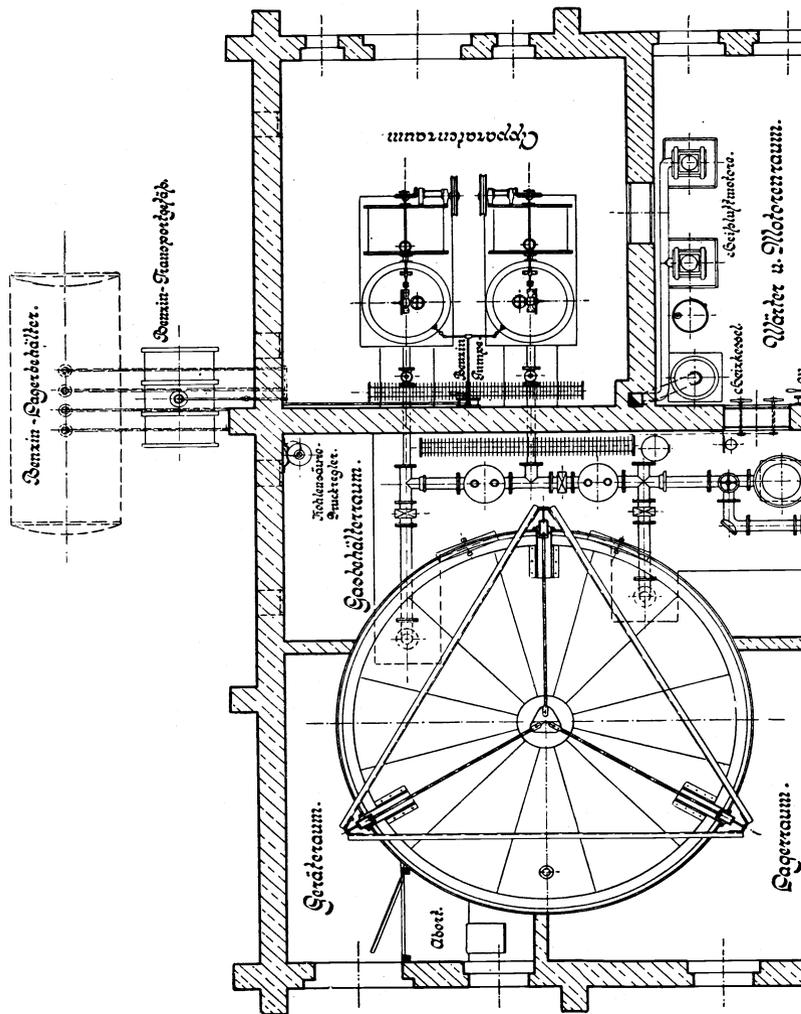
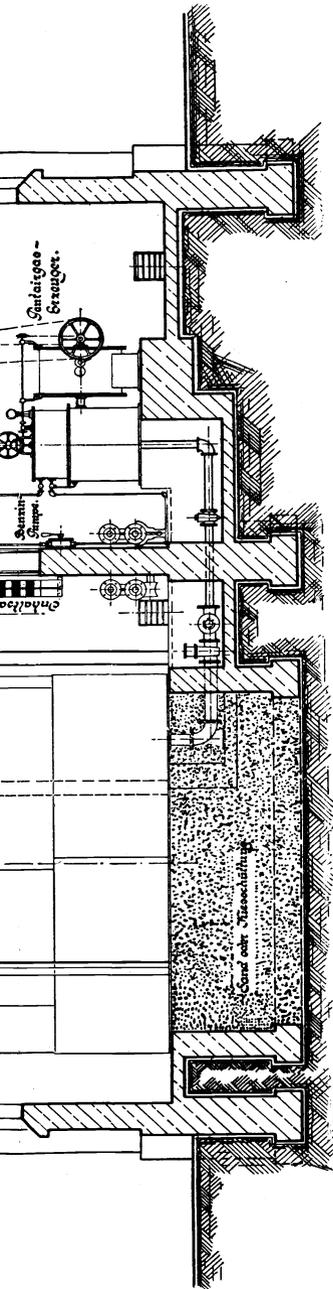
Ähnlich wie der Riessche Kammerofen, jedoch leichter gebaut, ist der Koppersche Schrägkammerofen <sup>5)</sup>. Er hat einen Fassungsraum von 8 t pro

<sup>1)</sup> D. R.-P. Nr. 208 953; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1104. — <sup>2)</sup> Glück Auf 1908, S. 1573; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 109. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 585. — <sup>4)</sup> Prenger, ebend. 1908, S. 586. — <sup>5)</sup> Peters, ebend. 1909, S. 231.

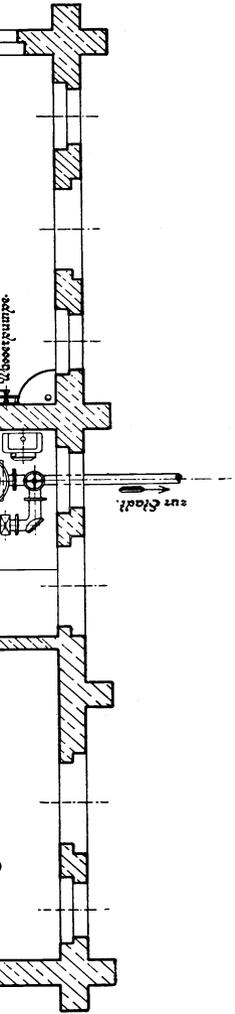


Strache, Gasbeleuchtung.

Fig. 301.



Zu Seite 692.

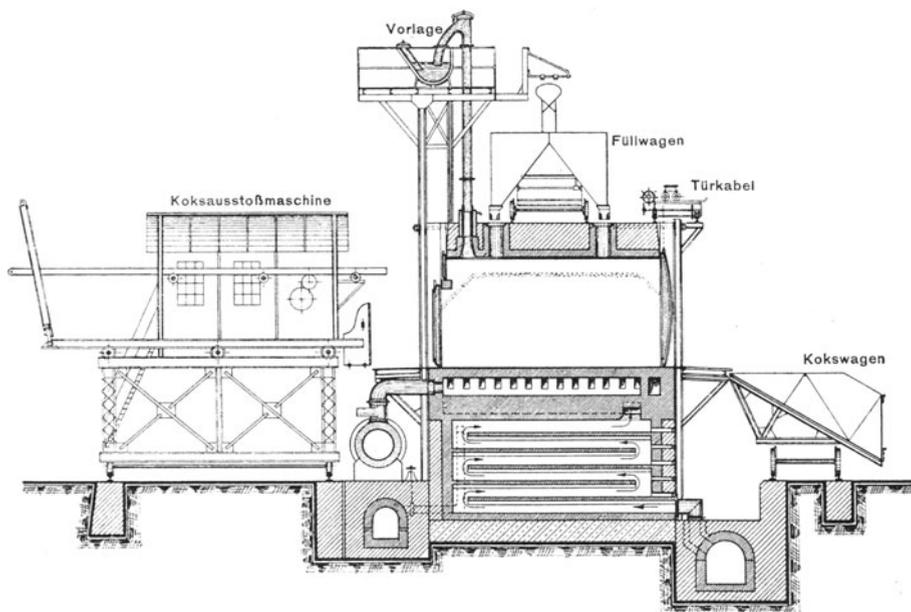


Kammer. Der Koks rutscht auf eine schräg gestellte Fläche, von welcher aus er nach dem Ablöschen auf einem Transportband zur Aufbereitung befördert werden kann.

Ähnlich wie diese beiden ist auch der Schrägkammerofen von Klönne konstruiert. Derselbe hat 9,5 m lange Kammern mit 6600 kg Fassungsraum<sup>1)</sup>. Die Ansicht eines Ofens dieses Systemes in Königsberg ist durch Fig. 175 dargestellt.

Die Schrägkammeröfen erfordern durch ihren hohen Bau ein hohes Anlagekapital. Kammeröfen mit horizontalen Kammern derart, wie sie in den

Fig. 176.



Kokereien ausgeführt werden, stellen sich weit billiger. Deshalb ist man in letzter Zeit auch dazu übergegangen, die Schrägkammeröfen durch Horizontalkammeröfen zu ersetzen.

Allerdings erfordert der Horizontalkammerofen eine Ausstoßmaschine, welche den Kokskuchen in seiner ganzen Länge aus der Kammer herauschiebt. Demzufolge ist neben dem Ofen ein breiter Raum für diese Ausstoßmaschine, die von Kammer zu Kammer gefahren wird, erforderlich. Zufolge dieses größeren Platzbedarfes können also Horizontalkammeröfen nur dort errichtet werden, wo genügend Platz vorhanden ist. Die Konstruktion eines Koppersschen Ofens dieser Art geht aus Fig. 176<sup>2)</sup> hervor.

Die erste Stadt, welche ausschließlich mit Horizontalkammerofengas erleuchtet war, ist Innsbruck<sup>3)</sup>. Es sind dort vier Öfen System Koppers mit je drei Kammern zu je 3800 kg Fassungsraum aufgestellt. Die Tagesleistung

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 497; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 969 u. 722. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 400; vgl. auch D. R.-P. Nr. 202 429. — <sup>3)</sup> Peischer, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 105, 252; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 841.

dieser Anlage beträgt 15 000 m<sup>3</sup>. Die Ausstoßmaschine dient gleichzeitig zum Planieren der Kohlencharge nach dem Einbringen.

Zur Beheizung der Kammern ist eine heiße Flamme erforderlich, daher wird eine möglichst kurze Flamme gewählt. Um aber die ganze Breite der Kammer beheizen zu können, ist eine große Anzahl von Brennern, die in einzelnen vertikalen Zügen brennen, erforderlich<sup>1)</sup>.

Koppers hat auch bei seinen Horizontalkammeröfen ein anderes Prinzip der Regeneration eingeführt, als dies bis dahin in den Gaswerken üblich war. Wir haben schon (S. 336) erwähnt, daß die sogenannte Regeneration bei den Retortenöfen eigentlich den Namen „Rekuperation“ tragen sollte. Unter Regeneration versteht man ja gewöhnlich die Aufspeicherung der Wärme im Schamottemauerwerk, während zum Zwecke der Wiedergewinnung der Wärme die Verbrennungsluft durch dieselben Schamottesteine hindurchstreicht, die früher zur Aufspeicherung der Wärme gedient haben. Die Regeneration bedingt also eigentlich einen abwechselnden Betrieb. Die gleichzeitige gleichmäßige Vorwärmung der Verbrennungsluft an den heißen Abgasen, wie sie sonst bei den Retortenöfen üblich ist und wie wir sie bei Besprechung der verschiedenen Ofenkonstruktionen kennen gelernt haben, vollzieht sich, indem Luft und Abgase durch getrennte Kanäle streichen. Sie sollte den Namen Rekuperation tragen.

Koppers hat aber bei seinen Horizontalkammeröfen die richtige Regeneration durch abwechselndes Erhitzen von Regeneratoren, die mit Schamottesteinen ausgesetzt sind, mittels der Verbrennungsgase unter späterem Darüberleiten von Luft eingeführt. Die Wärmeausnutzung ist dabei eine günstigere und das Umschalten, welches nur etwa alle halbe Stunde einmal zu erfolgen hat, ist eine so kleine Arbeit, daß sie dabei kaum in Betracht kommt.

Die größte Anlage dieser Art mit Koppersschen Horizontal-Regenerativ-Kammeröfen besteht derzeit in Wien im zweiten Gaswerk in Leopoldau. Diese hat 250 000 m<sup>3</sup> Tagesleistung, und ist das ganze Werk nur mit diesen Öfen ausgestattet.

Auch Klönne<sup>2)</sup> hat einen Horizontalkammerofen konstruiert und mit Erfolg eingeführt, dessen Beschreibung hier jedoch zu weit führen würde. Er ist in Fig. 177 abgebildet.

Die dritte Möglichkeit in der Anordnung der Kammern ist die vertikale. Es wurde schon erwähnt (S. 368), daß der Vertikalkammerofen nur für kleinere Leistungen bestimmt sein kann. Es bestehen diesbezüglich Konstruktionen von Klönne<sup>3)</sup>, welcher die Chargen 12 stündig eingerichtet hat, ferner jene von Horn<sup>4)</sup>, schließlich ein kleiner Kammerofen von Knoch<sup>5)</sup> und in England kleine Kammeröfen mit 1,6 t Inhalt von Glover und größere mit 6,5 bis 7,4 t von Jones.

Wichtig ist eine andere Anordnung in der Beheizung, die ebenfalls von Koppers eingeführt worden ist. Es ist dies die Anlage von Zentralgeneratoren an Stelle der einzelnen Generatoren für jeden Ofen<sup>6)</sup>. Eine solche Zentral-

<sup>1)</sup> Peters, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 465 u. 1909, S. 231. — <sup>2)</sup> Siningh, Het Gas 28, Nr. 11, S. 489; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 214; 1910, S. 969. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 969. — <sup>4)</sup> Ebend. 1908, S. 429. — <sup>5)</sup> Lessing, ebend. 1909, S. 962; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 605. — <sup>6)</sup> Walter, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 97.

Autor	Gaswerk	Ausbeute m <sup>3</sup> aus 100 kg	Zustand des Gases	Heizwert	Bezeichnung des Heizwertes
Riemann <sup>1)</sup> . .	--	32,5	—	4700	—
Peischer <sup>2)</sup> . .	Innsbruck	32,85	15°	5630	—
" . .	(nach 3 Monaten)	—	—	5287	—
" <sup>3)</sup> . .	(nach 6 Monaten)	30,80	15°	5454	—
Parsy <sup>4)</sup> . . . .	Rotterdam	34,3	—	5541	oberer
" . . . .	Padua	34,6	—	—	—
" . . . .	Frankenthal	34—35	—	—	—
Käfer <sup>5)</sup> . . . .	"	34,79	—	—	—
Gässler <sup>6)</sup> . . .	München	37,31	0° trocken	5297	oberer 0°
Benninghoff <sup>7)</sup>	Frankenthal	{ 35,7	—	5222	—
		{ 37,6	—	5258	—
		{ 37,95	—	5370	—
		{ 36,59	—	5328	—
"	Padua	34	—	5400	—
"	Rixdorf	33,5	—	5400	—
"	Königsberg	34	—	5400	—
Bössner <sup>8)</sup> . . .	Wien	33,65—33,76	15°	5100	15°
Reinhard <sup>9)</sup> . .	—	32,7	—	4900—5100	oberer
Rauch <sup>10)</sup> . . .	München	{ 34,39	15°	5474	9°
		{ 35,02	—	5307	—
		{ 38,74	—	4966	—
		{ 38,15	—	5511	Saarkohle
		{ 40,6	—	4885	nasse Vergasung
" . . . .	{ München- Dachauerstr. }	35,25	—	5760	0°
Krause <sup>11)</sup> . . .	Hamburg	{ 29,6	—	—	—
		{ 30,6	—	—	—
		{ 32—34	—	—	Probeversuch
Böhm <sup>12)</sup> . . . .	Padua	33,56	15°	4822	0°
Engelking <sup>13)</sup> .	Weimar	{ 32,2—32,4 } { später 34 }	—	5100	0°

generatoranlage bietet den Vorteil, daß man sich von den Einzelgeneratoren der Retortenöfen frei machen kann und den Betrieb der Zentralgeneratoranlage kundiger Leitung unterstellen kann, statt dieselbe den Feuermachern zu überlassen. Die Bedienung wird dadurch wesentlich vereinfacht, das

<sup>1)</sup> Übersicht über das Gasfach: Versamml. d. märk. Vereins, Berlin 1910; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 816. — <sup>2)</sup> Erste städtische Gasversorgung mit ausschließlichem Horizontalkammerofenbetrieb. Ebend. 1910, S. 219. — <sup>3)</sup> Bericht über die Jahresversammlung d. österr. Ver. in Innsbruck. Diskussion. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 841; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 252 bis 260. — <sup>4)</sup> Französ. Gasfachmännerversammlung 1910 in Paris. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 722. — <sup>5)</sup> Welches Ofensystem ist für 20 000 cm<sup>3</sup> Tagesproduktion zu empfehlen? Ebend. 1910, S. 1061. — <sup>6)</sup> Ebend. — <sup>7)</sup> Diskussion auf der Versammlung in Innsbruck. Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 278 u. 323. — <sup>8)</sup> Ebend. — <sup>9)</sup> Fortschritte der Gasbeleuchtung. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1040. — <sup>10)</sup> Rauch, Der Münchener Kammerofen. Diskussion auf der Innsbrucker Versammlung. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 861; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 297. — <sup>11)</sup> Krause, Erweiterungen des Hamburger Gaswerkes. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 261. — <sup>12)</sup> Ebend. 1911, S. 105. — <sup>13)</sup> Ebend. 1911, S. 973.

Schlacken weitaus bequemer, und schließlich kann auch Braunkohle<sup>1)</sup> oder Steinkohle oder minderwertiger Gries verwendet werden. Die Anordnung von Zentralgeneratoren ist übrigens in Amerika bereits vielfach angewendet.

Von den Resultaten des Kammerofenbetriebes interessiert uns wieder in erster Linie die Ausbeute. Die vorstehende Tabelle (S. 373) gibt uns einen Überblick über die in verschiedenen Systemen erreichten Werte<sup>2)</sup>.

Wie ersichtlich, schwankt die Ausbeute zwischen 29,6 und 40,6 m<sup>3</sup>. Im Durchschnitt können wohl 34 bis 35 m<sup>3</sup> pro 100 kg angenommen werden. Die Zahlen lassen nicht ohne weiteres auf den Wert des betreffenden Systems schließen, weil ja nicht nur die Ausbeute allein, sondern auch der Heizwert des Gases von Bedeutung ist und weil verschiedene Kohलगattungen und sonstige verschiedene Verhältnisse wesentliche Differenzen in der Ausbeute hervorrufen können.

Betreffs der Menge des Kokes, welche zur Unterfeuerung beim Kammerofenbetriebe notwendig ist, sei auf die nachstehende Tabelle verwiesen<sup>3)</sup>.

Autor	Gaswerk	Unterfeuerung Proz. der entgasten Kohle	Koksqualität
Peischer <sup>4)</sup> . . . . .	Innsbruck	12	Reinkoks
„ <sup>5)</sup> . . . . .	(nach 3 Monaten)	16,4	Rohkoks
„ . . . . .	(nach 6 Monaten)	16,5	„
Parsy <sup>6)</sup> . . . . .	Rotterdam	14,5	Reinkoks
„ . . . . .	Padua	13,99	„
„ . . . . .	Frankenthal	12—14	„
Käfer <sup>7)</sup> . . . . .	„	14,8	{ Rohkoks d. i. 12 Proz. Reinkoks
Gässler <sup>8)</sup> . . . . .	München	11,77	Reinkoks
Benninghoff <sup>9)</sup> . . . . .	Frankenthal	14,5—15,2	—
„ . . . . .	Padua	14,5	—
„ . . . . .	Rixdorf	12,5	—
„ . . . . .	Königsberg	15	—
Bössner <sup>10)</sup> . . . . .	Wien	14,2	—
Reinhardt <sup>11)</sup> . . . . .	Leipzig	15,4	—
Rauch <sup>12)</sup> . . . . .	{ München- Dachauerstr. }	13,5	—
Böhm <sup>13)</sup> . . . . .	Padua	14,5	Trockenkoks
Engelking <sup>14)</sup> . . . . .	Weimar	15,5	—

<sup>1)</sup> Vgl. Heltai, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 402. — <sup>2)</sup> Jahresber.: Fortschritte des Beleuchtungswesens und der Gasindustrie 1910, S. 32. — <sup>3)</sup> Ebend. 1910, S. 34. — <sup>4)</sup> Erste städtische Gasversorgung mit ausschließlichem Horizontal-kammerofenbetrieb. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 219. — <sup>5)</sup> Bericht über die Jahres-versamml. d. österr. Ver. in Innsbruck. Diskussion. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 841; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 252 u. 260. — <sup>6)</sup> Französ. Gasfachmänner-versammlung. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 722. — <sup>7)</sup> Welches Ofensystem ist für 20 000 m<sup>3</sup> Tagesleistung zu empfehlen? Ebend. 1910, S. 1061. — <sup>8)</sup> Ebend. — <sup>9)</sup> Diskussion auf der Versammlung in Innsbruck. Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 278 u. 323. — <sup>10)</sup> Ebend. — <sup>11)</sup> Fortschritte der Gasbeleuchtung. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1040. — <sup>12)</sup> Rauch, Der Münchener Kammerofen. Diskussion auf der Innsbrucker Versammlung. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 861; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 297. — <sup>13)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 105. — <sup>14)</sup> Ebend. 1910, S. 973.

Die Unterfeuerungsanzahlen schwanken hier zwischen 11,77 und 16,6. Sie sind also keinesfalls höher als bei den Vertikalöfen (s. S. 359).

Für die Arbeitslöhne beim Kammerofenbetriebe ist in erster Linie der Wegfall der Nacharbeit von hervorragender Bedeutung (vgl. S. 367). Die Diskussion darüber<sup>1)</sup>, wie lange der Betrieb des Kammerofens ohne Beaufsichtigung bleiben kann, hat ergeben, daß bei zweimaliger Charge im Tage der Nachtbetrieb vollständig ruhen kann, daß unter Umständen aber auch eine 36- oder 48 stündige Pause eintreten kann. Dementsprechend ist es an Sommersonntagen manchmal möglich, den Betrieb mittags vollständig zu schließen, was gewiß nicht belanglos ist.

Betreffs der Höhe der Arbeitslöhne pro 1000 m<sup>3</sup> erzeugten Gases wurde in Rixdorf 1,48 *M* gefunden<sup>2)</sup>. Davidson gibt die Kosten der Löhne pro Tonne vergastem Kohle mit 0,17 *M* an. Dabei ist das Laden und Ziehen sowie die Bedienung der Unterfeuerung mit einbegriffen. Bei großen Anlagen vermag ein Mann 17 000<sup>3)</sup> bis 20 000 m<sup>3</sup><sup>4)</sup> pro Tag zu erzeugen.

In Weimar<sup>5)</sup> betragen in einem kleinen Kammerofen mit drei Kammern à 2800 kg Fassungsraum die Löhne 67,5 *§* pro 100 m<sup>3</sup> Gas.

Die Arbeit des Chargierens auf eine achtstündige Schicht zu beschränken, ist gemäß Angaben von Reinhardt<sup>6)</sup> nicht möglich, wohl aber ist das Auslangen mit zwei Schichten à 8 Stunden zu finden.

Wie schon erwähnt, boten die Türen der Kammern oft noch einige Übelstände, da dieselben nicht leicht dicht gehalten werden konnten. Bei undichten Fülltüren muß das Verschmieren derselben mit Lehm vorgenommen werden, was einen beträchtlichen Aufwand an Arbeit bedingt. Jetzt sind bereits an verschiedenen Orten selbstdichtende Türen mit Wasserkühlrohr angebracht, so daß man diesen Übelstand als beseitigt bezeichnen kann.

Wie Fig. 176 auf S. 371 zeigt, wurde die Ofenanlage in Innsbruck im Freien, also ohne Ofenhaus errichtet, ebenso wie auch die Kopperschen Schräg- und Horizontalkammeröfen in Wien-Simmering und Wien-Leopoldau ohne Ofenhaus gebaut wurden, trotzdem dies bei manchen Fachleuten anfänglich Bedenken erweckte. Ordnet man die Kammeröfen im Freien an, so sind die Arbeiter allen Witterungseinflüssen ausgesetzt und wurde dies von manchen als ein Übelstand betrachtet. Die in Innsbruck erzielten Resultate<sup>7)</sup> zeigen jedoch das Gegenteil. Dort ist der Gesundheitszustand der Arbeiter, seitdem sich dieselben dauernd im Freien aufhalten anstatt in den mit schlechter Luft erfüllten Retortenhäusern, ein wesentlich günstigerer geworden. Gleich günstige Ergebnisse wurden auch in Wien erzielt.

Über die Anlagekosten von Kammeröfen sei nachstehendes mitgeteilt. Peischer<sup>8)</sup> gibt dieselben pro Kubikmeter Tagesproduktion mit 20,40 K. an. Dabei ist, wie erwähnt, ein Ofenhaus nicht mit eingerechnet, aber auch nicht nötig. Die Anlagekosten des Münchener Kammerofens sowohl wie der anderen

---

<sup>1)</sup> Rauch, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 861; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 297; ferner Peischer, ebend.; Käfer, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1061; Krause, ebend. 1910, S. 173; Peischer, ebend., S. 219. — <sup>2)</sup> Riemann, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 816. — <sup>3)</sup> Bössner, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 278 u. 323. — <sup>4)</sup> Benninghoff, ebend. — <sup>5)</sup> Engelking, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 973. — <sup>6)</sup> Ebend. 1910, S. 1040. — <sup>7)</sup> Peischer, ebend. 1910, S. 841; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 252 und 260. — <sup>8)</sup> Ebend. 1910, S. 105.

Schräggkammeröfen sind beträchtlich höher<sup>1)</sup>. Die Reparaturen an den Kammeröfen, die anfangs so sehr gefürchtet wurden, haben sich als sehr gering erwiesen. Sie können mit  $3\frac{1}{2}$  Proz. des Anlagekapitals pro Jahr angenommen werden<sup>2)</sup>. Die dauernde Dichtheit der Kammern ist natürlich von außerordentlicher Wichtigkeit, aber die zuerst ausgesprochenen Befürchtungen<sup>3)</sup> haben sich glücklicherweise als unbegründet erwiesen. Die Reparaturen werden natürlich stark von den Temperaturen beeinflusst, welche angewendet werden. Nach Riemann<sup>4)</sup> betragen in der Kammerofenanlage in Rixdorf die Temperaturen 950 bis 1000°. Benninghoff<sup>5)</sup> gibt ebenfalls an, daß die Temperaturen der Kammern geringere seien, als jene der Vertikalöfen.

Reinhardt<sup>6)</sup> gibt für die Leipziger Kammerofenanlage an:

Im Oxydkanal . . . . .	950° C
„ Sekundärluftkanal . . . . .	928
„ Ofeninnern rückwärts . . . . .	1256
„ „ oben . . . . .	1337
„ „ vorn . . . . .	1443
In den Kammern . . . . .	1200

Rauch<sup>7)</sup> gibt für die Münchener Kammeröfen an:

An den Brennern . . . . .	1282° C
In den Kammern . . . . .	1068

Gässler<sup>8)</sup> fand beim Münchener Ofen:

In den unteren Heizkanälen . . . . .	1260° C
In den Kammern . . . . .	1040

Der Platzbedarf der Kammerofenanlagen ist, wie schon S. 371 erwähnt, ein verschiedener, je nachdem, ob man Schräggkammeröfen oder aber Horizontalkammeröfen mit Ausstoßmaschinen verwendet. Letztere benötigen natürlich einen größeren Platz. In Innsbruck erzeugt man pro 1 m<sup>2</sup> verbauter Fläche 200 m<sup>3</sup> Gas, in Rixdorf 185 m<sup>3</sup> Gas täglich<sup>9)</sup>.

Die Qualität des erzeugten Koks liegt beim Kammerofen zwischen dem Vertikalofenkoks und dem Hüttenkoks<sup>10)</sup>.

## 24. Vergleich verschiedener Ofensysteme.

Die wichtigsten Punkte, die beim Vergleich verschiedener Ofensysteme in Betracht kommen, sind: Ausbeute, Unterfeuerung, Löhne und Anlagekosten. Welcher dieser Punkte bei der Wahl eines Ofens die Hauptrolle spielt, das hängt von örtlichen Umständen ab und ist von Fall zu Fall besonders zu ermitteln. Im allgemeinen werden in kleineren Gaswerken die Anlagekosten eine große Rolle spielen, während in großen Werken die Ausbeute und die Unterfeuerung die wichtigsten Posten sind. Die Löhne sind bei den modern eingerichteten großen

<sup>1)</sup> Vgl. z. B. Heltai, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 402. — <sup>2)</sup> Heckert, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1040, und Rauch, ebend. 1910, S. 861; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 297. — <sup>3)</sup> Blum, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1061, und Strache, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 278 und 322. — <sup>4)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 816. — <sup>5)</sup> Ebend. 1910, S. 816. — <sup>6)</sup> Ebend. 1910, S. 1040. — <sup>7)</sup> Der Münchener Kammerofen. Diskussion auf der Innsbrucker Versammlung. Journ. f. Gasbel. 1910, S. 861; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 297. — <sup>8)</sup> Welches Ofensystem ist für 20 000 m<sup>3</sup> Tagesproduktion zu empfehlen? Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1061. — <sup>9)</sup> Lang, ebend. 1910, S. 816. — <sup>10)</sup> Peischer, ebend. 1910, S. 841 und Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 252 u. 260.

Gaswerken bereits auf ein solches Minimum herabgesunken, daß diesbezüglich eine weitere Verbesserung kaum mehr zu erwarten ist, und daß dieselben im Gaswerksbetriebe überhaupt nicht mehr die große Rolle spielen wie ehemals.

Im nachstehenden seien einige Angaben, die den Vergleich der verschiedenen Ofensysteme erleichtern, zusammengestellt.

Die Löhne für die Vergasung von 10 000 t Kohle in 17<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Tagen, d. i. etwa 180 000 m<sup>3</sup> Tagesproduktion, gibt Drory für die verschiedenen Arten der Öfen gemäß der Tabelle auf S. 378 u. 379<sup>1)</sup>.

Davidson<sup>2)</sup> gab eine Zusammenstellung der Lohnkosten pro Tonne vergaster Kohle wie folgt:

Bei Handarbeit . . . . .	2,70 <i>M</i>
„ alten maschinellen Einrichtungen an Horizontalöfen . . .	1,50 „
„ Schrägretorten . . . . .	1,00 „
„ Horizontalöfen mit neuen maschinellen Einrichtungen . .	0,67 „
„ Vertikalöfen . . . . .	0,35 „
„ Kammeröfen . . . . .	0,17 „

In diesen Kosten ist Laden, Ziehen der Retorten und Bedienung der Unterfeuerung inbegriffen.

Bolz<sup>3)</sup> gab eine tabellarische Zusammenstellung der Anlage- und Betriebskosten für ein Werk von 100 000 m<sup>3</sup> Tagesleistung mit den Kosten des Gebäudes und Kohlentransportanlagen. Nach seinen Angaben stellen sich die Betriebskosten pro 100 m<sup>3</sup> Gas sowie die Anlagekosten wie folgt:

System	Anlagekosten Millionen <i>M</i>	Kosten pro 100 m <sup>3</sup>	
		ohne	mit
		Verzinsung und Amortisation	
		<i>M</i>	<i>M</i>
Bolz-Vertikalöfen . . . . .	1,028	1,77	2,43
Dessauer Vertikalöfen . . . . .	1,246	2,06	2,68
Münchener Kammeröfen . . . . .	1,596	2,82	3,12
Coze-Öfen, 6 m-Retorten . . . . .	0,762	2,71	3,08
„ „ 4 m-Retorten . . . . .	0,947	2,76	3,22
Horizontalöfen, 6 m-Retorten . . . . .	0,722	2,86	3,17

Klönnesche Kammeröfen, Kopperssche Kammeröfen sowie Hornsche Kammeröfen sind in dieser Zusammenstellung nicht berücksichtigt, und dürften die oben über Kammeröfen gegebenen Zahlen nicht unbedeutend ändern<sup>4)</sup>.

Die derzeit verwendeten Vergasungsräume pro 1 t in 24 Stunden betragen bei den Kammeröfen 1,37 m<sup>3</sup>, bei den Dessauer (Buebschen) Vertikalöfen 0,54 m<sup>3</sup>, die zur Vergasung von 1 t in 24 Stunden angewendete Heizfläche beträgt bei den Kammeröfen 6,57 m<sup>2</sup>, bei den Buebschen Vertikalöfen 5,15 m<sup>2</sup>.

Eine Übersicht über die Fortschritte im Ofenbetriebe zeigt die Tabelle auf S. 380<sup>5)</sup>.

Bei der Anlage oder Erweiterung größerer Gaswerke wird heute das Hauptgewicht auf die neueren Entgasungsverfahren gelegt, nämlich auf Vertikal-

<sup>1)</sup> Gaskalender 1910, S. 73. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1173. — <sup>3)</sup> Ebend. 1909, S. 591. — <sup>4)</sup> Jahresber.: Die Fortschritte des Beleuchtungswesens und der Gasindustrie 1909, S. 33. — <sup>5)</sup> Aus Gaskalender 1910, S. 79.

Ofentypen	Öfen mit geneigten Retorten		Öfen mit geneigten Retorten mit Kohlentransportbändern und De Brouwers Transport- rinne für heißen Koks			
Retorten . . . . .	46 9er Öfen = 414 Retorten		46 9er Öfen = 414 Retorten			
Innere Dimensionen der Retorte . . . . .	4,83 : 0,53 : 0,38 m		4,83 : 0,53 : 0,38 m			
Vergaste Kohle pro Re- torte und Tag . . . .	1,38 engl. t		1,38 engl. t			
Vergaste Kohle pro im Retortenhaus beschäf- tigten Mann und Tag	5,7 engl. t		7,32 engl. t			
Vergaste Kohle pro Qua- dratmeter der vom Retortenhaus bedeck- ten Fläche und pro Tag	0,155 engl. t		0,157 engl. t			
Die folgenden Leute sind in der Retortenhausarbeit einbegriffen		<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	
	2 Aufseher . . .	6,00	12,00	2 Aufseher . . .	6,00	12,00
	64 Retortenheizer .	5,50	352,00	58 Retortenheizer .	5,50	319,00
	5 Generatorheizer	5,50	27,50	5 Generatorheizer	5,50	27,50
	22 Kokslöscher u. Karrer . . . . .	4,25	93,50	4 Steigrohrputzer, Deckelhebel- schmierer usw.	4,25	17,00
	4 Steigrohrputzer, Deckelhebel- schmierer usw.	4,25	17,00	3 Mann für Ma- schinen u. Koks- transportrinne .	4,50	13,50
	2 Kohlenarbeiter	4,25	8,50	3 Mann für Ma- schinen u. Koh- lenelevatoren .	4,50	13,50
	1 Mann für Ma- schine und Ele- vator . . . . .	4,50	4,50	3 Mann f. Kohlen- transportbedie- nung . . . . .	4,50	13,50
		100 Mann in 24 Std.		78 Mann in 24 Std.		
		515,00		416,00		
Gesamtkosten der Re- tortenhausarbeit für Vergasung von 10000 t	9 010,00 <i>M</i>		7 280,00 <i>M</i>			
Dasselbe pro Meter der Retortenlänge . . . .	4,506 <i>M</i>		3,641 <i>M</i>			
Dasselbe pro Quadrat- meter Fläche . . . . .	2,449 <i>M</i>		2,004 <i>M</i>			

Hasse-Didier-Generatoröfen mit Arol u. Foulis' hydraulischen Zieh- und Lade- maschinen	Hasse-Didier-Generatoröfen mit Handbetrieb	Gewöhnliche 7er Rostöfen mit Handbetrieb																																																															
68 9er Öfen = 774 Retorten	80 9er Öfen = 720 Retorten	118 7er Öfen = 826 Retorten																																																															
2,90 : 0,53 : 0,34 m	2,90 : 0,53 : 0,34 m	2,60 : 0,53 : 0,34 m																																																															
0,74 engl. t	0,79 engl. t	2,14 engl. t																																																															
3,44 engl. t	2,52 engl. t	2,14 engl. t																																																															
0,12 engl. t	0,13 engl. t	0,13 engl. t																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;"><i>M</i></th> <th style="text-align: center;"><i>M</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4 Aufseher . . .</td> <td style="text-align: center;">6,00</td> <td style="text-align: center;">24,00</td> </tr> <tr> <td>20 Mann an Zieh- u. Lademaschi- nen . . . . .</td> <td style="text-align: center;">5,50</td> <td style="text-align: center;">110,00</td> </tr> <tr> <td>30 Helfer . . . .</td> <td style="text-align: center;">4,50</td> <td style="text-align: center;">135,00</td> </tr> <tr> <td>10 Generatorheizer</td> <td style="text-align: center;">5,50</td> <td style="text-align: center;">55,00</td> </tr> <tr> <td>42 Kokslöcher u. Karrer . . . .</td> <td style="text-align: center;">4,00</td> <td style="text-align: center;">168,00</td> </tr> <tr> <td>56 Steigrohrputzer, Deckelhebel- schmierer usw.</td> <td style="text-align: center;">4,25</td> <td style="text-align: center;">238,00</td> </tr> <tr> <td>2 Maschinisten f. Kohlenelevato- ren . . . . .</td> <td style="text-align: center;">4,50</td> <td style="text-align: center;">9,00</td> </tr> <tr> <td>2 Maschinisten f. hydraulische Maschinen . .</td> <td style="text-align: center;">4,25</td> <td style="text-align: center;">8,50</td> </tr> </tbody> </table>		<i>M</i>	<i>M</i>	4 Aufseher . . .	6,00	24,00	20 Mann an Zieh- u. Lademaschi- nen . . . . .	5,50	110,00	30 Helfer . . . .	4,50	135,00	10 Generatorheizer	5,50	55,00	42 Kokslöcher u. Karrer . . . .	4,00	168,00	56 Steigrohrputzer, Deckelhebel- schmierer usw.	4,25	238,00	2 Maschinisten f. Kohlenelevato- ren . . . . .	4,50	9,00	2 Maschinisten f. hydraulische Maschinen . .	4,25	8,50	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;"><i>M</i></th> <th style="text-align: center;"><i>M</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4 Aufseher . .</td> <td style="text-align: center;">6,00</td> <td style="text-align: center;">24,00</td> </tr> <tr> <td>160 Retorten- heizer . . . .</td> <td style="text-align: center;">5,50</td> <td style="text-align: center;">880,00</td> </tr> <tr> <td>10 Generator- heizer . . . .</td> <td style="text-align: center;">5,50</td> <td style="text-align: center;">55,00</td> </tr> <tr> <td>40 Kokslöcher und Karrer . .</td> <td style="text-align: center;">4,00</td> <td style="text-align: center;">160,00</td> </tr> <tr> <td>10 Steigrohr- putz-, Deckel- hebelschmie- rer usw. . . .</td> <td style="text-align: center;">4,25</td> <td style="text-align: center;">42,50</td> </tr> <tr> <td>2 Maschinist. für die Auf- züge . . . .</td> <td style="text-align: center;">4,50</td> <td style="text-align: center;">9,00</td> </tr> </tbody> </table>		<i>M</i>	<i>M</i>	4 Aufseher . .	6,00	24,00	160 Retorten- heizer . . . .	5,50	880,00	10 Generator- heizer . . . .	5,50	55,00	40 Kokslöcher und Karrer . .	4,00	160,00	10 Steigrohr- putz-, Deckel- hebelschmie- rer usw. . . .	4,25	42,50	2 Maschinist. für die Auf- züge . . . .	4,50	9,00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;"><i>M</i></th> <th style="text-align: center;"><i>M</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4 Aufseher . .</td> <td style="text-align: center;">6,00</td> <td style="text-align: center;">24,00</td> </tr> <tr> <td>236 Retorten- heizer . . . .</td> <td style="text-align: center;">5,50</td> <td style="text-align: center;">1298,00</td> </tr> <tr> <td>16 Kokslöcher und Karrer . .</td> <td style="text-align: center;">4,00</td> <td style="text-align: center;">64,00</td> </tr> <tr> <td>11 Kohlen- arbeiter . . .</td> <td style="text-align: center;">4,00</td> <td style="text-align: center;">44,00</td> </tr> </tbody> </table>		<i>M</i>	<i>M</i>	4 Aufseher . .	6,00	24,00	236 Retorten- heizer . . . .	5,50	1298,00	16 Kokslöcher und Karrer . .	4,00	64,00	11 Kohlen- arbeiter . . .	4,00	44,00
	<i>M</i>	<i>M</i>																																																															
4 Aufseher . . .	6,00	24,00																																																															
20 Mann an Zieh- u. Lademaschi- nen . . . . .	5,50	110,00																																																															
30 Helfer . . . .	4,50	135,00																																																															
10 Generatorheizer	5,50	55,00																																																															
42 Kokslöcher u. Karrer . . . .	4,00	168,00																																																															
56 Steigrohrputzer, Deckelhebel- schmierer usw.	4,25	238,00																																																															
2 Maschinisten f. Kohlenelevato- ren . . . . .	4,50	9,00																																																															
2 Maschinisten f. hydraulische Maschinen . .	4,25	8,50																																																															
	<i>M</i>	<i>M</i>																																																															
4 Aufseher . .	6,00	24,00																																																															
160 Retorten- heizer . . . .	5,50	880,00																																																															
10 Generator- heizer . . . .	5,50	55,00																																																															
40 Kokslöcher und Karrer . .	4,00	160,00																																																															
10 Steigrohr- putz-, Deckel- hebelschmie- rer usw. . . .	4,25	42,50																																																															
2 Maschinist. für die Auf- züge . . . .	4,50	9,00																																																															
	<i>M</i>	<i>M</i>																																																															
4 Aufseher . .	6,00	24,00																																																															
236 Retorten- heizer . . . .	5,50	1298,00																																																															
16 Kokslöcher und Karrer . .	4,00	64,00																																																															
11 Kohlen- arbeiter . . .	4,00	44,00																																																															
166 Mann in 24 Std.   747,50	226 Mann in 24 Std.   1170,50	267 Mann in 24 Std.   1430,00																																																															
13 080,00 <i>M</i>	20 485,00 <i>M</i>	25 025,00 <i>M</i>																																																															
5,827 <i>M</i>	9,811 <i>M</i>	11,653 <i>M</i>																																																															
2,73 <i>M</i>	4,548 <i>M</i>	5,55 <i>M</i>																																																															

Ofensystem	Jahr der Führung	Pro Ofen in 24 Stunden			Pro 100 t in 24 Stunden vergasteter Kohlen						Baukosten (ungefähr)	
		Kohlen vergast t	Gas erzeugt m <sup>3</sup>	Koks verheizt t	Gas erzeugt m <sup>3</sup>	Erforderliche Zahl der Öfen	Ofenfläche m <sup>2</sup>	Ofenhausfläche m <sup>2</sup>	Zahl der Arbeiterschichten	Koks verheizt t	eines Ofens	pro Tonne Kohle täglich M
Alter Cleggscher Rostofen . . . . .	1818	1,5	368	0,7	24 000	66	488	1320	130	43	5 000	330
Rostofen mit 7 Tonretorten . . . . .	1862	4,3	1200	0,9	28 000	23	242	690	45	22	8 000	184
Generatorofen Schilling-Bunte . . . . .	1879	8,0	2400	1,0	30 000	13	179	910	40	13	15 000	195
Coze-Ofen . . . . .	1884	10,8	3240	1,6	30 000	8	158	544	15	15	25 000	200
Vertikalretortenofen (trockener Betrieb)	1903	12,5	4000	1,9	32 000	8	195	432	9	15	40 000	320
Kammerofen . . . . .	1906	15,6	5000	2,3	32 000	6	156	375	4	15	60 000	360

öfen und Kammeröfen. Ferner ist die kontinuierliche Entgasung nach Woodall-Duckham auch in größeren Gaswerken schon sehr ausgebreitet und es wird sich wohl dieses Verfahren auch in Deutschland und Österreich neben den gewöhnlichen Vertikal- und Kammeröfen einführen. Zum Vergleich der Vor- und Nachteile der Vertikal- und Kammeröfen sei folgendes erwähnt:

Die Kammeröfen geben eine bessere Ausbeute, die durch Temperaturerhöhung noch weiter gesteigert werden kann. Die Arbeit ist infolge der 24stündigen Ausstehtzeit eine geringere, Steigerrohrverstopfungen treten im geringeren Maße auf als bei Vertikalöfen, das Entgraphitieren geht leichter vonstatten und braucht nur weit seltener vorgenommen zu werden. Kammeröfen können auch ohne Ofenhäuser errichtet werden. Vertikalöfen geben hingegen bei trockenem Betriebe einen höheren Heizwert des Gases, jedoch wird der nasse Betrieb zur Vermeidung der Steigerrohrverstopfungen und zur Erleichterung des Graphitierens als nötig bezeichnet, hingegen von jenen, welche den Wassergasbetrieb genau kennen, als unrationell bezeichnet. Die Vertikalöfen liefern mehr Ammoniak und Teer, dagegen weniger Naphtalin im Gas und der erzeugte Koks enthält weniger Grus. Der Vertikalofenkoks ist aber für den Hausbrauch weniger geeignet. Für den Vertikalofenbetrieb wird eine verständnisvolle Bedienung als wichtig bezeichnet

Nach obigem wären also die Vorzüge wesentlich auf Seite der Kammeröfen. Als gewichtige Nachteile derselben sind jedoch die bei 24 stündiger Chargierung auftretenden Ungleichmäßigkeiten des Gases und der teure Bau zu bezeichnen. Die Ungleichmäßigkeiten des Gases lassen sich jedoch durch Einführung der Ladung am Morgen und am Abend auch ohne Nachtbetrieb genügend beseitigen und die Anlagekosten sind durch die neueren Ausführungen ebenfalls wesentlich herabgesetzt.

Wenn man jetzt vornehmlich nur Vertikal- und Kammeröfen für größere Gaswerke ins Auge faßt, so muß doch betont werden, daß in den letzten Jahren auch wiederholt Stimmen laut geworden sind, welche darauf hinweisen, daß auch der Horizontalofen in Verbindung mit geeigneten Lademaschinen und bei Verwendung sehr großer langer Retorten (vgl. S. 352) vorzügliche Dienste leistet und mit den anderen großräumigen Öfen in Wettbewerb treten kann, namentlich in Verbindung mit Wassergaszusatzanlagen. Einen außerordentlich interessanten Vergleich zwischen den verschiedenen modernen Ofensystemen, sowie der in den verschiedenen Anlagen erhaltenen Betriebsresultate gaben Terhaerst und Trautwein<sup>1)</sup> wie folgt:

Der Vergleich zwischen Vertikal- und Kammeröfen ergab für die gleiche Kohlensorte nach Drehschmidt:

	Vertikalöfen	Kammeröfen
Wertzahl <sup>2)</sup> . . . . .	166 060	167 170
Koks . . . . .	70,4	70,5 Proz.
Teer . . . . .	6,0	4,5 „

Der Vergleich zwischen Horizontal- und Kammeröfen ergab unter gleichen Bedingungen:

	Horizontalöfen	Kammeröfen
Wertzahl. . . . .	162 430	159 800
Koks . . . . .	69,6	70,1 Proz.
Teer . . . . .	5,96	5,87 „
N H <sub>3</sub> . . . . .	0,26	0,25 „

Der Vergleich zwischen Vertikal- und Cozeöfen ergab:

	Vertikalöfen	Cozeöfen
Wertzahl. . . . .	171 602	172 001
Koks } . . . . .	bleiben bei beiden gleich.	
Teer } . . . . .		
N H <sub>3</sub> } . . . . .		

Ferner wurde ein Vergleich zwischen Vertikalofennaßbetrieb und Horizontalofenbetrieb mit Wassergaszusatz durchgeführt, welcher ergab:

	Vertikalofen- naßbetrieb	Horizontalofen mit Wassergas
Ausbeute . . . . .	39,4	39,4 m <sup>3</sup>
Wertzahl. . . . .	171 784	181 437
Koks . . . . .	68,6	69,6 Proz.

Die Unterfeuerung pro 100 m<sup>3</sup> Gaserzeugung wurde berechnet für

Vertikalöfen . . . . .	31 kg
Kammeröfen . . . . .	37 „
Horizontal- und Schrägöfen . . . . .	36 „

Es konnte also betreffs der Wertzahl bei keinem der modernen Öfen eine Überlegenheit über den anderen nachgewiesen werden; es ergab sich nur

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 517 u. 1197. — <sup>2)</sup> Ebend. 1911, S. 594.

ein wirtschaftlicher Vorteil zugunsten des Horizontalofenbetriebes mit Wassergaszusatz, wobei die Einhaltung geringer Ofentemperaturen die Unterfeuerung herabsetzt und die Retorten weniger beansprucht.

In kleineren Anlagen kommen schon wegen der Anlagekosten überhaupt nur Horizontalretortenöfen in Betracht, in ganz kleinen vornehmlich solche mit Halbgeneratorfeuerung. Die Wahl des Ofensystems muß sich naturgemäß von Fall zu Fall nach den örtlichen Verhältnissen richten. Mit Rücksicht auf die Anlagekosten läßt sich jedoch in großen Zügen folgendes sagen:

In den größten Werken werden Horizontalkammeröfen mit Ausstoßmaschinen das zweckmäßigste sein, in mittleren Gaswerken Vertikalöfen, in kleineren Horizontalretortenöfen mit Lademaschinen, in den kleinsten Horizontalretortenöfen mit Handbetrieb (Halbgeneratoröfen). Die kontinuierliche Entgasung wird sich in den Vertikalöfen einführen, sobald die Kinderkrankheiten, die einem so wesentlich veränderten Prozeß naturgemäß anhaften, überwunden sein werden.

## 25. Lade- und Ziehmaschinen.

Die ursprünglichste Art, die Retorten mit Kohle zu füllen, ist das Einwerfen der Kohle mittels der Wurfschaufel. Diese Arbeit erfordert sehr geschickte Arbeiter und man ist daher im hohen Maße von diesen abhängig. Diese Art des Ladens der Retorten wird daher nur mehr in ganz kleinen und veralteten Werken angewendet.

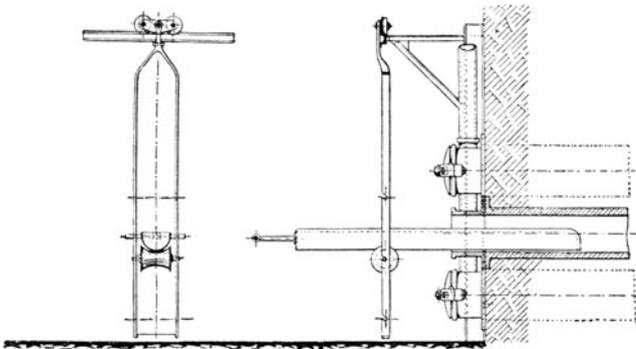
Die rascheste Arbeit bei der Ladung der Retorten ist von sehr großer Bedeutung. Die im Inneren stark glühende Retorte beginnt die eingeworfene Kohle sofort zu entgasen und das Gas entweicht natürlich während der ganzen Dauer des Ladens, so daß dadurch Gasverluste entstehen. Bei raschem Arbeiten mit mechanischen Vorrichtungen kann also dieser Verlust wesentlich herabgesetzt werden. Außerdem aber kann durch mechanische Arbeit ein weit gleichmäßigeres Beschieken der Retorten durchgeführt werden, was mit Rücksicht auf die Zersetzung der Teerdämpfe (S. 305) von Wichtigkeit ist, und ferner ist es mit Hilfe solcher Vorrichtungen möglich, die Retorte so vollkommen als möglich mit Kohle zu füllen, was besonders in neuerer Zeit seit Bekanntwerden der Resultate des Vertikalofens als wichtig betrachtet wird.

In kleineren Werken werden die Lademaschinen mit Handarbeit bedient, in größeren Werken hingegen verwendet man natürlich Motorenkraft zum Antriebe derselben. Weit vollkommener als das Laden mit der Schaufel ist schon das Laden der Retorten mit der Handlademulde. Es ist dies ein halbzylindrisches langes Blechgefäß, welches vorne offen ist und eine Handhabe besitzt, um in die Retorte eingeführt werden zu können. Man beschiekt diese Mulde so voll als möglich mit Kohle, führt sie in die Retorte ein und dreht sie dort um, so daß die ganze Kohlenladung in der Retorte verbleibt, während man die Mulde wieder herauszieht. Eine fahrbare Lademulde ist in Fig. 178 dargestellt. Die Lademulde ist hier auf eine Rolle gelagert, welche in einem Rahmen an einer Laufkatze hängt. Die letztere ist längs der Ofenreihe verschiebbar und die Rolle läßt sich in drei verschiedenen Höhenlagen entsprechend den Höhen der Retorte in den Rahmen einhängen. Bei anderen Konstruktionen läßt sich die Mulde ebenfalls in der Richtung der Retortenachse an einer Laufkatze verschieben, wodurch das Einführen in die

Retorte erleichtert wird. Derartige Handladevorrichtungen sind konstruiert worden von Thiele, Gellendien und eine dritte ist unter dem Namen Rochlitzer-Lademaschine bekannt.

In neuerer Zeit haben sich in mittleren Gaswerken die Handlademaschinen mit zweiteiliger Lademulde besonders gut eingeführt. Die zweiteilige Lademulde ermöglicht eine stärkere Beschickung der Retorte mit Kohle, was ja der größte Vorteil einer maschinellen Beschickung überhaupt ist. Während die einteilige Lademulde einen verhältnismäßig großen Raum zum Umdrehen benötigt, ermöglicht die zweiteilige Lademulde auch bei starker Ladung ein glattes Herausziehen, ohne Kohle herauszureißen, selbst dann, wenn die Retorte beinahe vollständig gefüllt ist. Die Entleerung der zweiteiligen Mulde innerhalb der Retorte kann auf zweierlei verschiedene Weise erfolgen, entweder es bewegen sich die zwei Muldenhälften mit der konkaven Seite nach einwärts, so daß sie entlang der Retortenwandungen sich bewegen, dann wird die Kohle

Fig. 178.



zum größten Teil in der Mitte der Retorte angehäuft, oder aber sie bewegen sich in umgekehrter Richtung, nämlich beide Muldenhälften mit der zusammenstoßenden mittleren Kante nach aufwärts, dann wird die Kohle nach auswärts abgeworfen und sie liegt daher an den Retortenwandungen besser an, während in der Mitte ein größerer Platz frei bleibt. Die erstere Konstruktion ist in der Eitleschen Lademaschine, genannt „Zwilling“, Fig. 179 ausgeführt, während das zweite System in der Franckeschen und in der Lademaschine Bamag durchgeführt ist. Die Lademaschine Fig. 179 besteht aus einem Hängerahmen, welcher an einer Laufkatze fahrbar ist, die ihrerseits auf einem Geleise läuft, welches längs der Retortenreihen verschoben werden kann. Sie ist durch einen Kettenzug in der Höhe verstellbar, so daß sie sich jeder Retortenreihe anpassen kann. Die Drehung der beiden Muldenhälften erfolgt durch einen einzigen Handgriff an einem Hebel und es drehen sich die beiden Muldenhälften gleichzeitig. Die Mulden sind aus dünnem Blech, welche durch Versteifungseisen verstärkt sind <sup>1)</sup>.

Die Franckesche zweiteilige Lademaschine <sup>2)</sup> wirft, wie schon erwähnt, die Kohle von innen nach außen, beide Teile der Mulde bewegen sich nicht gleichförmig, sondern die eine Hälfte hat eine Voreilung. Im Retortenprofil I bei 3,0 m Länge können hier 200 kg Kohle geladen werden; trotz

<sup>1)</sup> Michel, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 267, 501. — <sup>2)</sup> Ebend. 1909, S. 44.

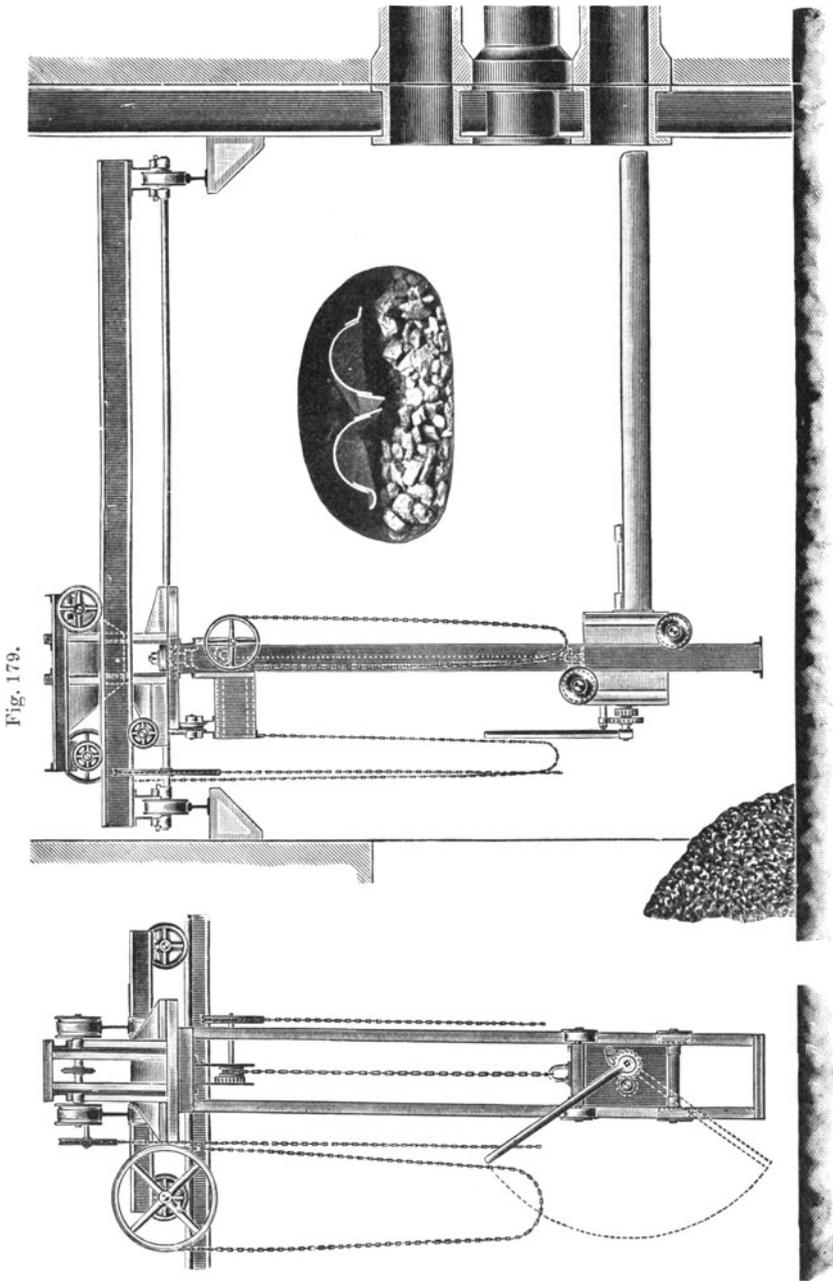


Fig. 179.

dieser verhältnismäßig großen Ladung ist das Ziehen des Kokes noch immer ein sehr bequemes, weil in der Mitte, wo der Ziehhaken eingeschoben wird, genügend Platz vorhanden ist. Es sind gegen die Franckesche Maschine Bedenken ausgesprochen worden, weil man meinte, daß die unteren Kanten

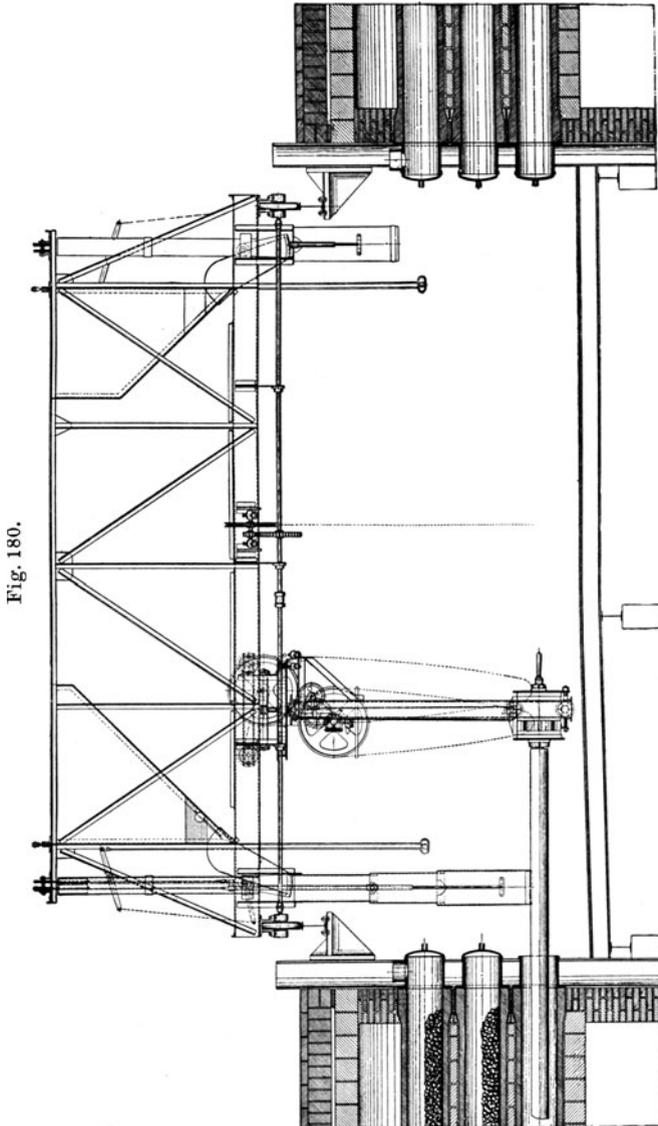


Fig. 180.

der beiden Muldenhälften, welche nach dem Entleeren der Kohlen in der Mitte der Retorte stehen, beim Herausziehen Kohle mit herausreißen würden. Dies ist jedoch durchaus nicht der Fall, weil eben die Kohle sich an die Wandungen der Retorte anlegt und in der Mitte ein genügend großer freier Platz bleibt, um das Herausziehen ohne Mitreißen von Kohle glatt bewirken zu

können. Sämtliche Lager sind bei der Franckeschen Maschine als Kugellager ausgebildet, die gänzlich gegen Staub geschützt sind, so daß sich auch die Bedenken als ungerechtfertigt erweisen, welche wegen des Staubes in den Ofenhäusern gegen die Kugellager ausgesprochen wurden<sup>1)</sup>. Die Lademulden bestehen bei der Franckeschen Maschine aus 10 mm starkem Blech, das sich während des kurzen Zeitraumes, während welchem sich die Mulden in der Retorte befinden, nur so wenig erwärmt, daß ein Verziehen desselben ausgeschlossen ist.

Ähnlich wie die Franckesche Lademaschine ist die Lademaschine Bamag<sup>2)</sup> konstruiert. Auch diese wirkt, indem die beiden Muldenhälften sich von innen nach außen bewegen. Jedoch erfolgt die Drehung ohne Voreilung gleichzeitig. In Eisenach wurden mit dieser Lademaschine günstige Resultate erzielt, indem die Ausbeute pro Arbeiterschicht von 501 m<sup>3</sup> auf 558 m<sup>3</sup> erhöht wurde.

Durch Anwendung der zweiteiligen Lademulde ist es gelungen, Retorten vom Profil I (S. 333) bei 3 m Länge mit 180 kg Kohle zu laden, und man konnte auch durchgehende Retorten, welche rückwärts eingemauert sind und mit dem Mauerwerk endigen, verwenden<sup>3)</sup>. Bei fünf Chargen pro Tag können dann mit einem 9er-Ofen 2800 m<sup>3</sup> erzeugt werden, während man früher nur 2300 m<sup>3</sup> täglich machte.

Van Riedschoten<sup>4)</sup> hat die Franckesche Handlademaschine mit einem Kohlenbunker am Laufkran versehen, wie dies Fig. 180 zeigt. Die Füllung reicht für alle Retorten, welche eine Lademaschine bei der Hin- und Rückfahrt zwischen zwei Ofenblocks passiert. Es werden dadurch zwei Personen nur durch 1¼ Minute pro Retortenladung beansprucht und es ergab sich in Schiedam eine Verringerung der Arbeiterstundenzahl für die Ladung der Retorten von 1656 auf 1138. Der Stromverbrauch für die Elektromotoren betrug pro 1 t Kohle 0,7 KW.

Um auch die schon bei Anwendung der Handlademaschine wesentlich vereinfachte Ladearbeit noch weiter zu vermindern, hat man Lademaschinen mit Motorantrieb konstruiert. Als motorische Kraft wurde verwendet: Druckwasser, Druckluft oder Elektromotoren. In neuerer Zeit wendet man letztere beinahe ausschließlich an. Wir wollen nicht alle die verschiedenen Konstruktionen besprechen, welche da oder dort praktisch angewendet worden sind, vielmehr nur jene, welche allgemeineren Eingang gefunden haben und die sich als durchaus zweckmäßig erwiesen haben.

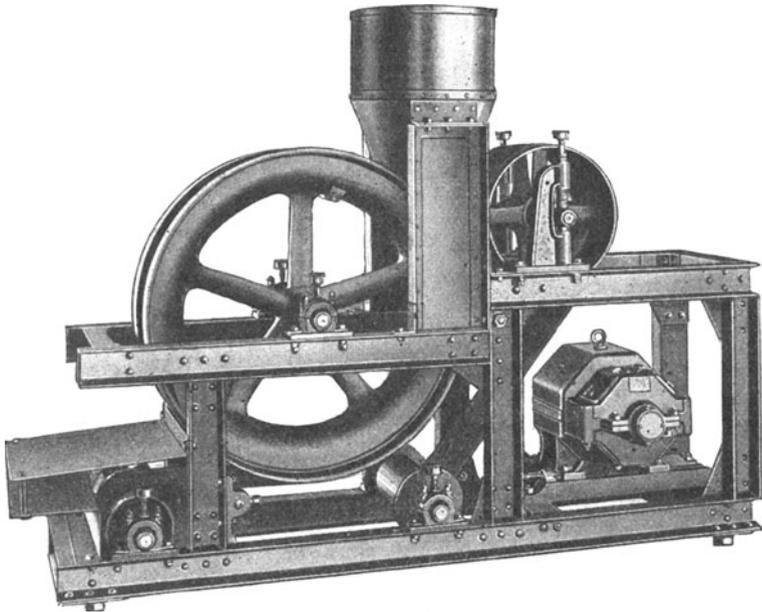
In erster Reihe steht hier die Lademaschine von de Brouwer Fig. 181. Sie beruht auf ganz anderem Prinzip als das Laden mit den Mulden. Sie ahmt vielmehr die Handarbeit nach, die ursprünglich durch die Arbeiter mit der Wurfschaufel geleistet wurde. Sie wirft die Kohle in die Retorte und füllt daher diese noch vollkommener an, als dies mit den Handlademaschinen mit der Mulde möglich ist. Das Hineinwerfen der Kohle erfolgt mit Hilfe eines rasch laufenden Lederbandes, auf welches die Kohle aufgebracht wird. Das Lederband ist in Gestalt eines Riemens um eine Anzahl von Rollen geführt, die mittels eines Elektromotors angetrieben werden. An dem Lederband anliegend bewegt sich ein größeres Rad, welches am Umfange eine Aus-

<sup>1)</sup> Bürgerhoff, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 543; Grossmann, ebend. 1909, S. 44, 501. — <sup>2)</sup> Weber, ebend. 1909, S. 596. — <sup>3)</sup> Widdel, ebend. 1911, S. 871. — <sup>4)</sup> Ebend. 1911, S. 1269.

nehmung besitzt, die mit dem Lederband einen großen Kanal bildet. In diesen Kanal fällt die Kohle durch einen Trichter. Sobald das Lederband die letzte Rolle unterhalb des großen Rades passiert und dadurch seine Richtung ändert, verläßt die darauf liegende Kohle mit großer Geschwindigkeit das Lederband, so daß sie 6 bis 8 m weit in die Retorte hineingeschleudert wird. Die Kohle soll dabei nicht über Faustgröße haben und soll daher vorher einen Kohlenbrecher passieren. Dieser ist entweder in einem Fahrgestell oder aufgehängt montiert, so daß er in verschiedener Höhe eingestellt werden kann. Die Einstellung erfolgt mittels eines Kettenzuges.

Krause<sup>1)</sup> hat gefunden, daß mit Hilfe der de Brouwerschen Lademaschine die Ausbeute pro 100 kg Kohle von 300 auf 320 m<sup>3</sup> gesteigert

Fig. 181.



werden konnte. Bei der Beladung von 6 m langen Retorten stellte sich seiner Mitteilung zufolge heraus, daß das Öffnen des hinteren Mundstückes erforderlich ist, wodurch große Verluste an Gas entstehen. Es ergab sich hier ein Rückgang in der Ausbeute von 325 auf 280 m<sup>3</sup> pro 1000 kg Kohle.

Teodorowicz<sup>2)</sup> berichtete, daß die Ladung einer Retorte mit der de Brouwerschen Maschine 15 bis 20 Sekunden währe, daß sich das Ladegewicht von 153 auf 244 kg erhöhte und daß die Heizwertzahl zufolge der größeren Ladungen von 134 000 bis 139 000 auf 140 000 bis 153 000 Kal. stieg. Der Koks war außerdem von besserer Qualität.

Über die Fiddes-Aldridge-Lade- und Stoßmaschine werden wir bei Besprechung der Stoßmaschinen (S. 388) berichten.

Bei schräg gestellten Retorten (Coze-Öfen) stellt sich das Beschicken mit Kohle viel einfacher. Es braucht dort nur ein kastenförmiges Gefäß, welches

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 261. — <sup>2)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 322; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 762.

gleichzeitig als Meßgefäß für die Kohle ausgebildet ist, vor die Retorte geschoben und durch eine Einsatzrinne mit dieser verbunden zu werden, wonach durch Öffnen eines Schiebers der Inhalt des Kastens in die Retorte hineinrieselt. Dieses Meßgefäß wird jedesmal von einem Kohlenbunker aus gefüllt. Derartige Konstruktionen sind angegeben worden von Drory und von Riegel.

Noch einfacher gestaltet sich das Füllen der Vertikalretorten. Es wird dort das Meßgefäß auf einen Wagen montiert und entleert sich direkt in die Retorten.

Zum Ziehen des Koks verwendet man seit jeher den Ziehhaken, d. i. eine starke Stange mit Handgriff, welche an einem Ende einen breiten Haken trägt, der oberhalb des Koks nach rückwärts geführt wird und, rückwärts in den Koks eingehakt, denselben herauszuziehen gestattet.

Beim Ziehen des Koks ist der Ersatz der Handarbeit <sup>1)</sup> durch maschinelle Arbeit nicht so wichtig wie beim Laden der Retorte, weil hier zwar Zeit gespart werden kann, aber durch die Handarbeit nicht so große Verluste bedingt werden, wie bei der Ladung der Retorte mit Kohle. Daher ist der einfache Ziehhaken auch heute noch bei den meisten Gaswerken zu finden. Die maschinellen Ziehvorrichtungen, die in England einigermaßen Eingang gefunden haben, haben sich auch deshalb bei uns nicht rasch Eingang verschaffen können, weil deren Konstruktion noch Mängel besaß. Die Bamag hat nun eine elektrisch betriebene Ziehmaschine eingeführt, bei welcher sich ein Ziehhaken an einer Kette befindet, die an einer Trommel aufgewickelt wird. Durch einen Hebel wird der Haken beim Einführen in die Höhe gehalten, dann aber in den Koks gedrückt, so daß er ihn beim Herausziehen mitnimmt. Der Kopf, welcher aus Stahlguß besteht, muß öfters erneuert werden. Das Ziehen beansprucht einen Mann durch 45 Sekunden pro Retorte.

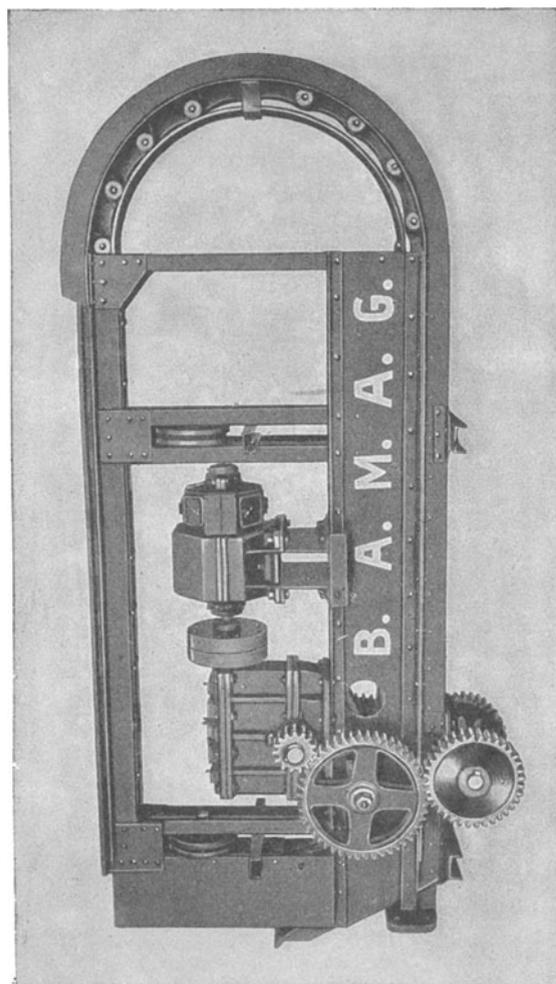
Auch von Beuthner wurde eine Ziehmaschine angegeben <sup>2)</sup>, bei welcher sich ein Haken an einer endlosen Kette befindet. Die ganze Maschine befindet sich an einem Kran und kann mittels Handkurbel betätigt werden. Der Haken klappt sich während des Einführens in die Höhe und setzt sich beim Herausziehen in dem Koks fest. Eine an einem Hebel angebrachte Rolle drückt sich während des Herausziehens an die obere Wandung der Retorte und verhindert das Ausweichen des Hakens nach oben. Diese Vorrichtung ist auch als Stoßmaschine brauchbar, wenn durchgehende Retorten vorhanden sind.

In England ist die Fiddes-Aldridge-Lade- und Stoßmaschine in häufiger Anwendung. Über diese berichtete Hepp <sup>3)</sup>. Sie bewirkt ein gleichzeitiges Stoßen des Koks und Laden der Retorte, indem eine Stoßplatte an einer Kette angebracht ist, welche den Koks hinausdrückt und gleichzeitig die Ladung der Retorte durch dieselbe Bewegung bewirkt. Beim Zurückziehen der Kette heben sich die Stoßplatten von selbst in die Höhe und die ganze Entleerung und Beschickung einer 6 bis 6 $\frac{1}{2}$  m langen Retorte dauert nur 1 Minute, einschließlich des Öffnens und Schließens der Verschlüsse und des Fahrens von Retorte zu Retorte. Ein Apparat vermag 200 Retorten 3 mal täglich zu beschicken. Auch bei dieser Maschine zeigte sich der Koks von besserer Qualität, was eben auf die stärkere Füllung der Retorte zurückzuführen ist. Die Unterhaltung der Maschine erfordert nur 5 ₤ pro Tonne vergaster Kohle.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 433. — <sup>2)</sup> Ebend. 1911, S. 871. — <sup>3)</sup> Ebend. 1911, S. 1157.

Viel besser als maschinelle Ziehvorrichtungen haben sich maschinelle Stoßmaschinen bewährt. Bei diesen müssen aber die Retorten auch auf der anderen Seite einen zu öffnenden Deckel besitzen, d. h. solche Maschinen können nur bei durchgehenden Retorten verwendet werden. Es kommen hier in Betracht: die Pariser Konstruktion, bei welcher ein teleskopartig

Fig. 182.



sich ausziehender Stempel in die Retorte hineingedrückt wird, ferner die Ausstoßmaschine von de Brouwer (Fig. 182). Bei dieser wird eine starke Gliederkette, die vorne einen Stempel besitzt, und um Platz zu sparen im rückwärtigen Teile der Maschine in einer Führung nach aufwärts gewickelt ist, von einem Elektromotor angetrieben, in die Retorte hineingestoßen. Die de Brouwersche Stoßmaschine wird zweckmäßig vereinigt mit der eben genannten Lademaschine auf einem gemeinsamen Gestell montiert, so daß das Ziehen des Koks und das Laden der Retorte rasch nacheinander erfolgen kann

## 26. Der Koks und der Kokstransport.

Der Koks ist das wichtigste Nebenprodukt des Gaswerksbetriebes und deshalb ist es notwendig, sowohl der Qualität als den Verwendungszwecken desselben besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Die Menge Koks, welche man aus 100 kg Kohlen erhält, beträgt etwa 65 bis 70 kg. Sie hängt natürlich von der Qualität der Kohle ab. Berücksichtigen wir, daß aus 100 kg Kohle ungefähr 33 m<sup>3</sup> Gas gewonnen werden können, so ergeben sich pro 100 m<sup>3</sup> erzeugten Gases 190 bis 210 kg Koks. Wir müssen jedoch bedenken, daß nicht aller Koks, der gewonnen wird, verkauft werden kann, weil ein Teil desselben als Unterfeuerungsmaterial zur Beheizung bei der Entgasung der Kohle verbrannt werden muß. Da diese zu verbrennende Menge mit 15 bis 20 kg angenommen werden kann, so bleiben von den 65 bis 70 kg Koks nur 45 bis 55 kg verkäuflich. Rechnen wir dies auf 100 m<sup>3</sup> erzeugten Gases aus, so ergeben sich 135 bis 165 kg Koks.

Für die Qualität des Kokses ist nicht nur die Kohlensorte, der Entgasungsapparat und die darin angewendeten Temperaturen, sondern auch die Behandlung des Kokses nach der Entgasung von besonderer Bedeutung <sup>1)</sup>.

Die Kohlensorte beeinflußt den Koks durch ihre Backfähigkeit und ihren Aschengehalt. Letzterer wird in den Kokereien durch das Waschen der Kohle verringert, was in den Gaswerksbetrieben nicht durchgeführt wird, so daß daraus ein höherer Aschengehalt des Gaskokses gegenüber dem Hüttenkoks resultiert.

Der Entgasungsapparat und die angewendeten Temperaturen beeinflussen den Koks einestheils durch den mechanischen Druck, welcher die Ausdehnung des Kokses während der Entgasung verhindert und eine geringere Porosität bedingt, andererseits durch die allmähliche Zersetzung des Teeres (S. 309), welche das Backen der Kohle bedingt und die Festigkeit des Kokses zufolge der Abscheidung von Kohlenstoff in den Poren desselben wesentlich beeinflußt, sowie durch den Grad der Entgasung des Kokses.

Die Behandlung des Kokses nach der Entgasung schließlich beeinflußt den Koks in seinem Wassergehalt, der durch das Löschen bedingt ist und möglichst gering gehalten werden soll <sup>2)</sup>, sowie in seiner Stückgröße, die sich in dem Maße verringert, als der Koks durch wiederholten Fall, sei es beim Ziehen aus den Retorten, sei es beim Transport, in kleinere Stücke zerschlagen wird, was zur erhöhten Grusbildung führt. So z. B. steigt der Grusgehalt des Kokses bei unvorsichtiger Behandlung über 20 Proz., während er bei Verwendung von Tragrinnen (S. 397) oder Hängebahnwagen (S. 399) zwischen 5 und 10 Proz. schwankt.

Die Dichte und Festigkeit des Kokses hängt von der Erzeugungsweise ab. Bekanntlich bläht sich die Kohle bei der Entgasung stark auf und um so stärker, je größer das Backvermögen der Kohle ist. Liegt nun die Kohle lose, so daß sie sich nach allen Seiten frei ausdehnen kann, so wird der Koks voluminös, und die entweichenden Gase hinterlassen starke Poren in demselben. Wird dagegen die Kohle entgast, nachdem man sie in eine Kammer eingepreßt hat, und ist dieselbe sehr dicht und in hohen Schichten gelagert,

---

<sup>1)</sup> Vgl. Göhrum, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1169. — <sup>2)</sup> Vgl. Körting, ebend. 1911, S. 647; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 351.

wie dies z. B. in den Koksöfen der Fall ist, so kann sich die Kohle während der Entgasung nicht ausdehnen und daher wird dichter, harter Koks erzeugt. Trotz aller Vorsichtsmaßregeln ist der Gaskoks stets leichter und poröser als der Hüttenkoks, schon wegen der verwendeten Kohlsorten, die ja in erster Linie viel und gutes Gas geben müssen; dafür ist aber auch der Gaskoks meistens um 20 Proz. billiger und seine Porosität ist für viele Verwendungszwecke sogar ein Vorteil (vgl. S. 402).

Für den Hüttenmann allerdings sind die Asche, der Wassergehalt, die Härte und die Dichte des Kokes maßgebend. Letztere sind gewöhnlich beim Gaskoks nicht in dem Maße vorhanden, daß dieser für Hüttenzwecke geeignet wäre. Die nachstehende Tabelle<sup>1)</sup> zeigt die Eigenschaften verschiedener Koksarten:

Art des Kokes	Wasser- aufnahme in Proz. des glühenden Kokes	Raum- gewicht des glühenden Kokes	Raum- gewicht des ersäuferten Kokes	Zwischen- räume	Porosität
	Gew.-Proz.			Vol.-Proz.	Vol.-Proz.
Zechenkoks . . . . .	25,0	384	850	55,0	44,0
Gießereikoks . . . . .	51,5	480	725	54,0	46,5
Horizontal-Kammerofenkoks . .	51,0	400	610	50,5	41,6
Koks aus 6 m-Retorten mit maschin. Betrieb von Stuttgart	57,5	350	550	53,5	43,4
Koks aus 3 m-Retorten mit Hand- betrieb von Stuttgart . . . . .	61,0	365	580	52,6	48,0

Von anderer Seite<sup>2)</sup> wird das Raumgewicht des Kokes verschiedener Qualität wie folgt angegeben:

Koks - Qualität	1 m <sup>3</sup> wiegt kg
Gasstückkoks aus älteren Öfen . . . . .	350
„ „ neueren Öfen . . . . .	420
Hüttenkoks . . . . .	460

Wichtig ist auch das Wasseraufnahmevermögen des Kokes. Je poröser der Koks ist, desto mehr Feuchtigkeit zieht er an, wenn er dem Regen oder anderer Feuchtigkeit ausgesetzt ist, und auch aus diesem Grunde ist die Qualität des Kokes eine bessere, wenn der Koks dichter, d. h. weniger porös ist. Das Wasseraufnahmevermögen kann man bestimmen<sup>3)</sup>, indem man kalten Koks von Naturgröße auf einer Wage tariert und eine halbe Stunde lang in kochendes Wasser eintaucht. Nach dem Herausziehen bestimmt man die Gewichtszunahme, die das Aufnahmevermögen des Kokes an Wasser darstellt. Es beträgt je nach Umständen etwa 17 bis 35 Proz. Strohmeier stellte Versuche über Koksporosität und Trockengewicht des Kokes an. Er gab in ein tariertes Gefäß frisch gedrückten, glühenden Koks und erhielt ein Koks-gewicht von 384 kg auf den Kubikmeter. Er löschte dann den Koks

<sup>1)</sup> Stahl und Eisen 1908, S. 800. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 968. — <sup>3)</sup> Stahl und Eisen 1909, S. 28; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1031.

und füllte so lange Wasser nach, bis alle Poren des leeren Kokes gefüllt waren. Dies ergab das Volumen der Zwischenräume zwischen den Koksstücken zu 54,9 Proz. Der ersoffene Koks zeigte 34 Proz. Wasseraufnahme. Im Koksolumen von 341 Liter blieben 150 Liter Wasser. Danach beträgt der Anteil des Porenvolumens im Koksolumen etwa 44 Proz. Das spezifische Gewicht der Koksstücke ergab sich zu 0,85 und das spezifische Gewicht der Kokssubstanz selbst zu 1,52. Rotglühender Koks vermag im kalten Wasser drei- bis viermal so viel Wasser aufzunehmen, als wenn man ihn im kalten Zustand unter heißem Wasser ersäuft.

Die Brennbarkeit des Kokes ist im wesentlichen abhängig von der Dichte desselben, denn je größer die Dichte ist, desto größer ist das Wärmeleitungsvermögen. Ist aber das Wärmeleitungsvermögen groß, so wird die an der Oberfläche des Kokes zunächst durch Verbrennung erzeugte Wärme rasch in das Innere transportiert, so daß der Koks sich an der Oberfläche rasch abkühlt und daher einen hohen Wärmearaufwand erfordert, um bis auf die Verbrennungstemperatur erhitzt zu werden. Aus diesem Grunde ist z. B. die Holzkohle, die so außerordentlich porös ist und daher ein schlechtes Wärmeleitungsvermögen besitzt, so leicht entzündbar, denn die an der Oberfläche bei der Entzündung erzeugte Wärme pflanzt sich nur so langsam in das Innere fort, daß die Entzündungstemperatur an der Oberfläche sehr rasch erreicht wird. Folglich ist auch der dichte Hüttenkoks von gutem Leitungsvermögen schwerer entzündbar als der porösere Gaskoks.

Die Festigkeit des Kokes wird nach einem von der Versuchsgasanstalt des Deutschen Vereins der Gas- und Wasserfachmänner in Karlsruhe angegebenen Verfahren erprobt, indem man den Koks von einer Arbeitsbühne etwa 3 m hoch auf den Boden des Generatorkellers fallen läßt. Er wird dann nach der Größe der erhaltenen Stücke sortiert und daraus auch die Festigkeit desselben geschlossen.

Die Zusammensetzung des Kokes schwankt innerhalb folgender Grenzen:

Kohlenstoff . . . . .	80—88 Proz.
Wasserstoff . . . . .	0,5—1,2 „
Sauerstoff . . . . .	0,8—3,3 „
Stickstoff . . . . .	0,9—1,5 „
Schwefel . . . . .	0,8—1,4 „
Wasser in vollständig lufttrockenem Koks . . . . .	1,0—3,0 „
Asche . . . . .	3—12 „
Brennbare Substanz . . . . .	86—94 „
Heizwert . . . . .	6700—7500 Kal.

Die Zusammensetzung einer beim Verbrennen des Kokes entstandenen Schlacke ist aus nachstehender Zusammenstellung ersichtlich:

Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) . . . . .	33—52 Proz.
Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) . . . . .	18—33 „
Eisenoxyd ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) . . . . .	11—26 „
Kalk ( $\text{CaO}$ ) . . . . .	2—21 „
Magnesia ( $\text{MgO}$ ) . . . . .	1—9 „

Von besonderer Bedeutung ist das Verhältnis zwischen den tonbildenden Substanzen: Kieselsäure und Tonerde gegenüber den anderen Substanzen: Eisenoxyd, Kalk und Magnesia. Je größer dieses Verhältnis ist, desto schwerer schmelzbar ist die Schlacke. Dieses Verhältnis ist für die ver-

schiedenen Kohlsorten charakteristisch und kennzeichnet somit die leichtere oder schwerere Schmelzbarkeit der Schlacke verschiedener Kohlen. Es beträgt bei:

Kohlensorte	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$
	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$
Sächsischer Koks . . . . .	1,0
Oberschlesischer Koks . . . . .	1,5
Englischer Koks . . . . .	2,4
Saarkoks . . . . .	4,2
Westfälischer Koks . . . . .	4,4
Böhmischer Koks . . . . .	5,5

Sächsischer Koks gibt also die am leichtesten schmelzbare Schlacke und böhmischer Koks die am schwersten schmelzbare.

Der Aschengehalt des Kokes läßt sich, wie erwähnt, im Gaswerksbetriebe nicht vermeiden, wohl aber könnte er durch Waschung der Kohle vermindert werden.

Wenn der Koks aus den Retorten oder Kammern herausgezogen ist, so muß er rasch abgekühlt werden, damit er an der Luft nicht weiter verbrennt. Zum Zwecke dieses Abkühlens dient das sogenannte Löschen. Die einfachste Art des Kokslöschens ist die, daß man auf den glühenden Kokshaufen Wasser aus einer Brause oder aus einem Eimer so lange gießt, bis derselbe nicht mehr glühend ist. Verwendet man dabei zu viel Wasser, so wird der Koks natürlich sehr stark feucht und der Käufer muß dann den Wassergehalt des Kokes mit als Brennmaterial bezahlen. Die Schwankungen im Wassergehalt sind beträchtliche; er liegt etwa zwischen 3 und 20 Proz. Verwendet man dagegen nur eine solche Menge Wasser, daß der Koks auch im Inneren des Haufens so weit abgelöscht ist, daß er nicht mehr von selbst weiter brennt, so werden zwar ebenfalls die äußeren Teile des Haufens mit Wasser übersättigt sein, aber die Hitze dieser Koksstücke im Inneren wird dann genügen, um hinterher den Wassergehalt des Kokes der äußeren Partien bis auf eine mäßige Grenze zu verdampfen. Man soll also den Koks rasch löschen und dann hinterher trocknen lassen.

Will man vollständig trockenen Koks erzeugen, so kann man den glühenden Koks durch Abschluß der Luft ersticken, z. B. indem man auf den glühenden Koks feine Kokslösche aufgibt. Dies hat jedoch den Nachteil, daß zufolge des hohen Aschengehaltes der Kokslösche auch der Aschengehalt des Kokes steigt <sup>1)</sup>.

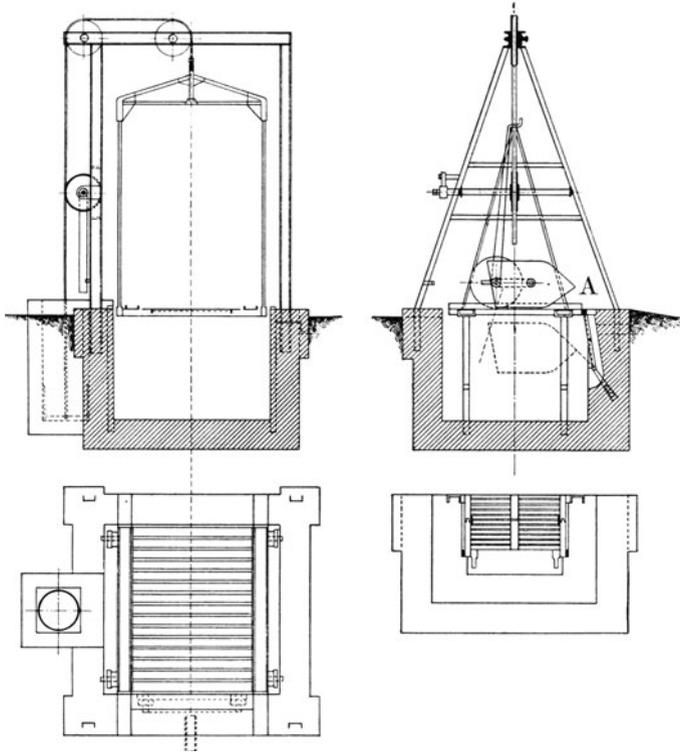
Beim Löschen des Kokes entwickelt sich natürlich eine große Menge von Wasserdampf. Dieser belästigt die Umgebung und wirkt namentlich dann störend, wenn es sich um größere Mengen von Koks handelt. Es wurde daher in neuerer Zeit eine Anzahl von Kokslöschvorrichtungen konstruiert, welche sowohl diesen belästigenden Umstand beseitigen, als auch einen möglichst trockenen Koks erzeugen.

Eine dieser Vorrichtungen ist die von Gülüch <sup>2)</sup> angegebene. Dieser Kokslöschturn besteht aus einem gemauerten Wasserbehälter mit Einfahr-

<sup>1)</sup> Göhrum, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1169. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 946.

raum und Abzugsschlot. Der aus der Retorte kommende Koks wird in einen Karren gegeben, welcher über dem Wasserbehälter eingefahren wird. Der Kokskorb wird dann durch einen einfachen Aufzug abgehoben und einige Sekunden ins Wasser getaucht. Ausgleichsgewichte verringern dabei die Last des Korbes mit dem Koks. Das Brennen des Kokes wird dabei erstickt, der Koks bleibt jedoch innen glühend und wird daher nach Herausziehen aus dem Wasser wieder soweit warm, daß er alles Wasser verdampft und vollständig trocknet. Das rasche Ablöschen verhindert jedoch ein zu starkes

Fig. 183.

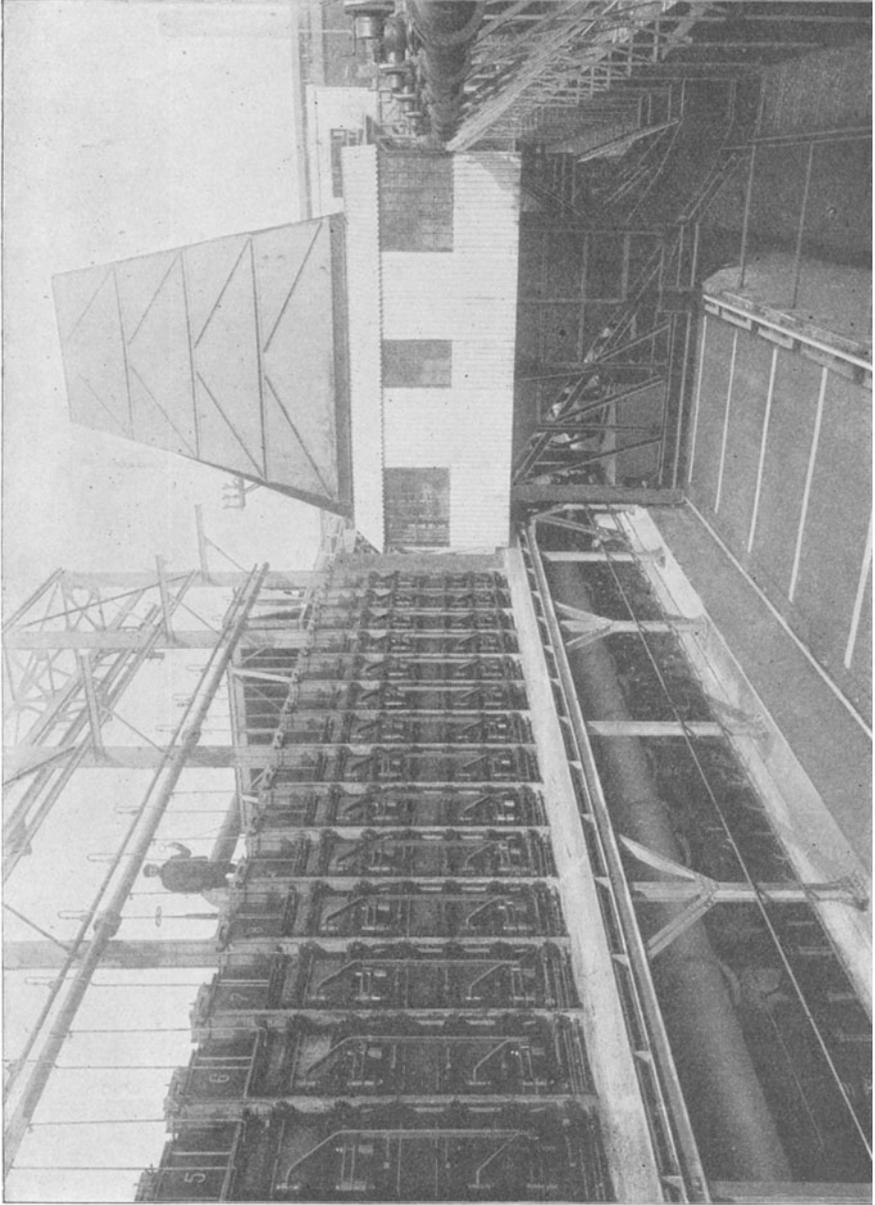


Verbrennen des Kokes, so daß der Aschengehalt desselben sich nicht erhöht und somit ein Koks von höherem Heizwert und auch eine höhere Koks- ausbeute erzielt wird. Eine solche Vorrichtung stellt daher gegenüber der üblichen rohen Art des Kokslöschens, wie sie namentlich in kleineren Gas- werken geübt wird, einen wesentlichen Fortschritt dar.

Bei der Löschvorrichtung von Schlemming<sup>1)</sup> wird das Koksfördergefäß mit seinem Inhalt auf eine Plattform geschoben, die durch Umlegen eines Hebels von Hand in ein Wasserbad getaucht und durch Zurücklegen bei großer Hubgeschwindigkeit wieder herausgehoben wird. Diese Vorrichtung ist in Fig. 183 dargestellt.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 915.

Fig. 184.



Göhrum<sup>1)</sup> beschreibt das in Stuttgart angewendete Untertauchsystem nach Illig. Es liefert einen festeren Koks als der handgelöschte. Es sollen jedoch nicht mehr als 300 kg Koks auf einmal eingetaucht werden, da sonst die Dampfentwicklung eine zu starke ist. Beim Illigschen Verfahren wird der Koks in Körben aus perforiertem Eisenblech zur Ablöschung gebracht. Der Kokskübel wird in ein darunter befindliches Wassergefäß gesenkt. Nachdem der Kübel in das Wasser eingesenkt ist, wird der Koks aus den Retorten gestoßen und fällt in den durch die Perforierung mit Wasser gefüllten Kokskorb. Der Koks bleibt dann bis zum Lager in ein und demselben Gefäß (vgl. S. 399). In Agram ist eine ähnliche Löschvorrichtung derart ausgeführt, daß das Wassergefäß durch einen hydraulischen Kolben von unten her über den Kokskorb gestülpt wird. Ebenso wird beim Löschturm, der in Berlin-Tegel angewendet ist, das Wassergefäß durch Seile von unten an den Kokskorb herangebracht.

Für die Löschung sehr großer Koksmengen, wie sie z. B. die Kammeröfen liefern, werden besondere Löschtürme verwendet. So z. B. besteht der Löschturm bei Riessschen Kammeröfen in München aus einem Löschbehälter, welcher den Inhalt einer ganzen Kammer bequem auffaßt und doppelwandig ist, so daß durch den Zwischenraum Wasser zirkulieren kann. Außerdem ist noch ein Brauserohr vorhanden, mit dem der Koks vorgelöscht wird. Der Koks wird dann durch eine fahrbare de Brouwer-Rinne (S. 397) nachgelöscht und die Rinne schüttet den Koks in einen Behälter.

Der Löschturm in Berlin-Tegel besteht aus einem Kokskorb, der behufs Entleerung seitlich fahrbar ist, ferner aus einem Wassergefäß, welches langsam emporgehoben wird. Dadurch wird zuerst nur mäßig viel Dampf entwickelt, welcher den darüber befindlichen Koks löscht. Der Kokskorb wird dann seitlich verfahren und automatisch in einen Koksbunker entleert. Beim Kokslöschturm in Leipzig-Connewitz stürzt der Koks in einen leeren Koksbehälter, in welchem eine Bebrausung von oben stattfindet. Gleichzeitig wird der Koks von unten in die Becher der stationären Transportkette gegeben, in welchen er weiter abgelöscht wird. Bei einem zweiten derartigen Löschturm (Fig. 184) läßt man Wasser von unten zutreten, wodurch die Löschung erfolgt. Ein derartiger Löschturm wird von einem einzigen Mann bedient. An motorischer Kraft sind dabei erforderlich: zum Heben der Deckel der Kammerverschlüsse ein 16-HP-Motor, für eine Saugpumpe ein 5-HP-Motor und für das Verfahren des ganzen Löschturmes ein 20-HP-Motor.

Zum Transport des Koks von den Retorten- oder Kammeröfen weg wurden ursprünglich nur Kokskarren verwendet. Diese bestehen gewöhnlich aus einem zweirädrigen Gestell, in welchem sich ein korbartig aus Eisenstäben gefertigtes Bett zur Aufnahme des Koks befindet. Die Verwendung von Blechgefäßen ist nicht geeignet, da das Blech von den scharfkantigen Koksstücken bald zerstört wird. Diese Karren sollen ein Kippen des Korbes ermöglichen, so daß der Koks ausgeleert werden kann, während das Gestell stehen bleibt.

Dieser Handtransport des Koks auf den Kokslagerplatz würde natürlich in großen Gaswerken eine große Zahl von Arbeitern benötigen. Mittlere und große Gaswerke verwenden daher zum Zwecke des Kokstransportes

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1172.

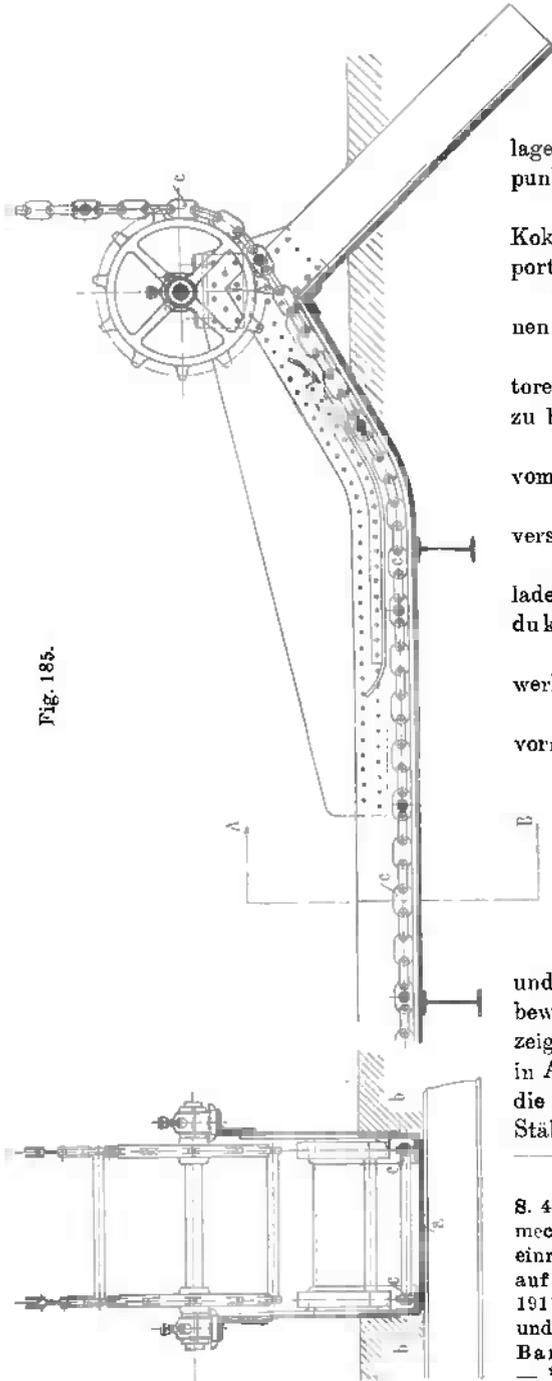


Fig. 185.

maschinene Vorrichtungen. Gewöhnlich wird dann die Löschrinne- und Transportvorrichtung kombiniert.

Für die Kokstransportanlagen sind nachstehende Gesichtspunkte maßgeblich<sup>1)</sup>:

1. Schonung des großstückigen Kokes beim Löschen und Transportieren.

2. Herstellung möglichst trockenen Kokes.

3. Die Möglichkeit, die Generatoren der Öfen mit glühendem Koks zu beschicken.

4. Ausscheidung des Feinkokes vom Grobkoks vor dem Brechen.

5. Sortierung des Kokes nach verschiedenen Korngrößen.

6. Genügende Größe der Verladebehälter für 24stündige Produktion.

7. Bequeme Verladung in Fuhrwerke, Säcke und Körbe.

Der erste, welcher Kokstransportvorrichtungen in größerem Maßstabe in die Praxis einführte, war de Brouwer<sup>2)</sup>. Er verwendet eine aus 10 mm starkem Blech hergestellte Rinne, welche sich vor den einzelnen Retortenöfen hinzieht. Diese ist 800 mm breit und auf deren Boden liegt eine bewegliche Kette, wie dies Fig. 185 zeigt. Einzelne Kettenglieder tragen in Abständen von etwa 600 mm über die ganze Breite der Rinne reichende Stäbe, welche bei Bewegung der Kette

<sup>1)</sup> Göhrum, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 425. Über die Anforderungen an mechanische Kokslöschrinne- und Verladeeinrichtungen siehe auch Thau, Glückauf 1911, S. 1361; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1139; ferner: Koksförder- und Aufbereitungsanlagen Liste der Bamag, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 801. — <sup>2)</sup> Über die Entwicklung von Kokstransporttrassen siehe Nachweh

Journ. f. Gasbel. 1909, S. 511.

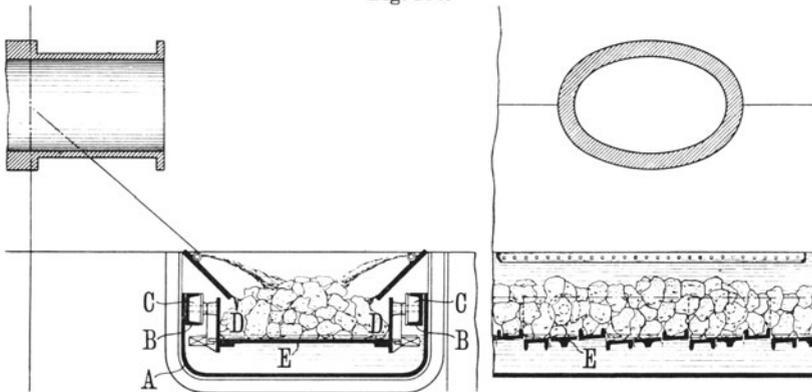
den Koks mit sich ziehen. Die Rinne wird mit Wasser berieselt, welches zum Teil vom Koks mitgenommen wird, jedoch zurückfließt, wenn der Koks im aufsteigenden Teil der Rinne nach oben steigt. An der obersten Stelle der Rinne angelangt, fällt der Koks auf einer Rutsche nach abwärts, während die Kette zurück zum Anfang der Rinne geleitet wird.

Am Ende der Kokslöschrinne befindet sich, wie dies auf der Zeichnung angedeutet ist, ein Abzugsschlot, welcher den beim Löschen des Kokes erzeugten Dampf nach oben über Dach entführt<sup>1)</sup>. Dadurch ist auch die Belästigung der Arbeiter zufolge der Dampfentwicklung vermieden.

Möllers<sup>2)</sup> verweist auf den Übelstand der de Brouwer-Rinne, daß hier der Koks während des Löschens dem Auge des Arbeiters entzogen ist, wodurch ein Schwanken des Feuchtigkeitsgehaltes eintritt.

Eine verbesserte Kokslösch- und Transportrinne von Eitle<sup>3)</sup> ist in Fig. 186 dargestellt. Sie besteht aus einer wasserdicht genieteten Blechrinne A,

Fig. 186.



die zur Aufnahme des zur Kühlung eines Transportbandes nötigen Wassers dient. Das Band besteht aus einzelnen im Querschnitt U-förmigen Brücken, deren Seitenwände *D* aus Stahlguß und deren Böden *E* aus Profileisen bestehen. Oben an den Seitenwänden sind die Rollen *C* angebracht, die das ganze Band tragen. Außen an den Seitenwänden befindet sich die Kette, die das ziehende Glied bildet. Der aus den Retorten kommende Koks bleibt auf dem Bande ohne jegliche Bewegung liegen, so daß keinerlei Abnutzung des Kokes sowohl wie auch der Rinne oder des Bandes stattfindet. Das Ablöschen erfolgt durch Brausen von oben. Ein Band von 110 m Länge, das im städtischen Gaswerk La-Chaux-de-Fonds in der Schweiz seit einiger Zeit arbeitet, verbraucht zum Antrieb 2,7 PS.

In neuerer Zeit sind die Kokslöschrinnen in mannigfacher Weise abgeändert worden. Wir können jedoch nicht auf alle diese Einzelheiten eingehen. Erwähnt sei nur eine von Bamag-Marshall eingeführte Vorrichtung, welche an Stelle der Kettenglieder einzelne Körbe trägt, welche eine zusammenhängende Kette bilden. Diese Körbe werden oberhalb der Retorten wieder an ihren Ausgangspunkt zurückgeführt.

<sup>1)</sup> Bamag, D. R.-P. Nr. 118 290; Journ. f. Gasbel. 1901, S. 783. — <sup>2)</sup> Ebend. 1911, S. 785. — <sup>3)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 432; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 572.

Für Vertikalöfen empfiehlt Körting<sup>1)</sup> eine abgeänderte de Brouwersche Rinne, welche das Wasser auf einer schiefen Ebene abfließen läßt, die große Abflußlöcher besitzt. Das Ablöschen erfolgt durch den Kokskuchen automatisch, indem derselbe eine Brause betätigt. Der Koks wird nur so weit abgelöscht, daß er einen glühenden Kern behält. Die Rinne liefert den Koks in Hunte, worin er stehen bleibt und trocknet.

Die de Brouwersche Kokslöschrinne ist natürlich nur dort zu empfehlen, wo ein großer Betrieb viele Arbeitslöhne zur Koksförderung erforderlich machen würde. In kleinen Betrieben kann sich eine solche maschinelle Vorrichtung wegen der immerhin vorkommenden Reparaturen und wegen der Verzinsung und Amortisation des Anlagekapitals nicht rentieren<sup>2)</sup>.

Ein Unterschied in der Qualität des Kokses, je nachdem derselbe mit der Hand oder in der Rinne gelöscht wird, besteht nicht. Höchstens kommt in letzterer durch ungenügende Achtsamkeit ein zu nasser Koks zustande, was bei der Löschung mit der Hand schon deshalb ausgeschlossen ist, weil der Arbeiter nie mehr Wasser trägt, als unbedingt notwendig ist<sup>3)</sup>.

Bei der de Brouwerschen Rinne wird der Koks durch die Glieder der Kette über den Boden der Rinne hinweggezogen. Dadurch leiden natürlich die Koksstücke durch Abreiben und Zerbröckeln. Man legt daher in neuerer Zeit Wert darauf, solche Vorrichtungen für den Kokstransport zu verwenden, die eine möglichste Schonung des Kokses ermöglichen. Der großstückige Koks ist besser zu verkaufen als der kleinstückige. In erster Linie geeigneter hierfür erscheint der Transport des Kokses in Gefäßen mittels Elektrohängebahnen. Wir haben solche bereits bei den Kohlentransportvorrichtungen (S. 300) kennen gelernt. Hier sei noch auf einige neue Konstruktionen hingewiesen, die speziell mit der Rücksicht auf den Koks, die Löschung und Aufbereitung desselben konstruiert worden sind.

Das Illigische Verfahren<sup>4)</sup>, von dem wir schon auf S. 396 gesprochen haben, besitzt ein Wassergefäß, in welches der der Retorte entnommene Koks zunächst eingetaucht wird. Dieses ist 5 m lang, so daß es den Koks aus drei nebeneinander liegenden Retortenreihen aufzunehmen vermag. Der Kasten wird durch eine Elektrohängebahn gehoben und zum Lagerplatz geführt. Das genannte große Wassergefäß ist in einem Kanal fahrbar, der mit einem endlosen Bande, in welches das Gefäß fest eingefügt ist, abgedeckt ist. Dieser Kanal zieht sich über die ganze Länge der Retortenöfen hin, so daß ein Gefäß für die Entleerung sämtlicher Öfen benutzt werden kann. Der Löschwasserverbrauch beträgt 60 Liter pro 100 kg Koks.

Jäckel<sup>5)</sup> stellt an den Kokstransport mittels der Elektrohängebahn nachstehende Anforderungen:

1. Der aus den Retorten gestoßene heiße Koks muß hinter den Öfen in dem Hängebahnkübel aufgefangen und abgelöscht werden.
2. Der beim Ablöschen entstehende Dampf muß nach oben abgeleitet werden.

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 351; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 647. —

<sup>2)</sup> Über einen Kostenvergleich des Handbetriebes und des Betriebes mit de Brouwer-Rinnen siehe Körting, Journ. f. Gasbel. 1907, S. 125. — <sup>3)</sup> Göhrum, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1169. — <sup>4)</sup> Feilitzsch, ebend. 1909, S. 1119; ferner Illig, ebend. 1910, S. 266. — <sup>5)</sup> Jäckel, ebend. 1911, S. 743.

3. Der gelöschte Koks muß von jeder Stelle des Ofenhauses nach der Koksauflbereitung und nach der Wassergasanlage befördert werden können und mit der gleichen Elektrohängebahn von der Koksauflbereitung oder dem Lagerplatz nach der Kesselanlage oder der Wassergasanlage gefördert werden.

In Plauen<sup>1)</sup> wird die ganze Förderung durch einen Hängebahnwagen bewirkt, ein zweiter befindet sich in Reserve. Die Laufkatzen wurden so ausgebildet, daß die Wagen sowohl im Kreis als auch im Pendelbetrieb arbeiten können.

Kommt der Wagen aus dem Ofenhaus heraus, so fährt er nach dem Lagerplatz und der Koksauflbereitung. Dabei wird er mittels eines verstellbaren Anschlages während der Fahrt an der gewünschten Stelle entleert. Der Wagen fährt ohne Unterbrechung und Richtungswechsel in das Ofenhaus zurück. Ist dagegen Koks vom Ofenhaus nach der Wassergasanlage zu fördern, so wird eine Weiche geöffnet, der Hängebahnwagen fährt dann vom Ofenhaus in die Wassergasanlage und trifft dort auf einen Anschlag, wodurch er sich entleert. Gleichzeitig wird durch einen weiteren Anschlag die Fahrtrichtung des Wagens selbsttätig umgeschaltet, so daß er sofort wieder automatisch in das Ofenhaus zurückkehrt.

Der auf diese Weise gewonnene Koks ist zufolge seiner geringen mechanischen Beanspruchung vortrefflich. In dem Wagen befindet sich zur Löschung etwas Wasser, die weitere Löschung hingegen erfolgt mit der Hand durch eine Brause. Alle Teile, die mit dem Dampf in Berührung kommen, insbesondere auch der Dampfabzugsschlot, sind verbleit, damit sie nicht rosten. Die Stromkosten betragen für 10 000 cbm Tagesleistung 3,6 bis 4 *M* täglich. Zur Bedienung von fünf Öfen sind vier Mann pro Schicht erforderlich.

Eine Kokstransportvorrichtung, bei welcher der Koks in einer Art von Kähnen, die in einem vor den Retorten oder Kammeröfen liegenden Kanal schwimmen, transportiert wird, ist von Storl<sup>2)</sup> vorgeschlagen worden. Die Wasserströmung, welche die Kähne befördert, wird durch ein Schaufelrad hervorgebracht. Die einzelnen Kähne werden durch einen fahrbaren Aufzug in die Höhe gezogen, auf einen Schrägrost entleert und dort abgelöscht, wonach der Koks auf den Lagerplatz fällt.

Während die hier beschriebenen Kokstransportvorrichtungen auch schon für mittlere Gaswerke rentabel erscheinen, sind große Transportvorrichtungen, welche dazu dienen, Lagerplätze zu bedienen, wobei man den Koks nicht nur dahin, sondern auch vom Lagerplatz fortführen kann, nicht immer rentabel<sup>3)</sup>. Es muß immer berücksichtigt werden, daß der Koks nicht hoch fallen darf, weil sonst eine Zerkleinerung und Entwertung des Kokses eintritt. Körting empfiehlt, an Stelle größerer Transportvorrichtungen zur Bedienung der Koks-lager Hochbehälter anzuordnen, von denen aus die Waggons mit Koks gefüllt werden können.

Für eine Hebung größerer Mengen von Koks in möglichst kontinuierlicher Weise und unter Schonung des Kokses hat Bueb eine geeignete Vorrichtung angegeben<sup>4)</sup>. Diese besteht aus einem Förderwagen, der an einer schrägen Ebene nach aufwärts gezogen wird. Er hängt an einer Kette oben und unten, die über zwei fliegende Räder geführt ist. Er wird somit durch die Kette abwechselnd nach oben und unten geführt. Ein zweiter Wagen ist

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 743. — <sup>2)</sup> Ebend. 1909, S. 1148. — <sup>3)</sup> Körting, ebend. 1908, S. 837. — <sup>4)</sup> Ebend. 1910, S. 713.

zur Entlastung des ersteren an derselben Kette befestigt, so daß er entgegengesetzt läuft. Er weicht bei der Begegnung mit dem ersteren dadurch aus, daß er unter demselben hinwegläuft. Die beiden Wagen sind in Geleisen von verschiedener Spurweite geführt. Füllung und Entleerung erfolgen selbsttätig. Die Wagen sind doppelwandig ausgeführt, wodurch die äußere Wand vor der Einwirkung der Hitze geschützt ist. Die Leistung beträgt 50 m<sup>3</sup> Koks in der Stunde und erfordert 10 HP.

Von größtem Interesse für den Gaswerksbetrieb ist es, eine möglichst vielseitige Verwendung des Kokes zu schaffen. Betreffs der Verwendungsarten haben wir zunächst zu unterscheiden: die Verwendung im Gaswerksbetriebe selbst und die Verwendung außerhalb desselben.

Betreffs der Verwendung im Gaswerksbetriebe selbst wollen wir von der Verwendung als Unterfeuerungsmaterial für die Entgasung absehen, da wir bei Berechnung der erzielbaren Koks menge jene Quantität, welche zur Beheizung bei der Entgasung erforderlich ist, bereits abgezogen haben (S. 390).

Eine wichtige Verwendung des Kokes im Gaswerksbetriebe selbst ist die Erzeugung von Wassergas. Das Wassergas kann in großem Prozentsatze dem Steinkohlengase beigemischt werden und daher kann man große Quantitäten von Koks auf diese Weise nutzbar verwerten. Je nachdem man mehr oder weniger Wassergas erzeugt, hat man es in der Hand, die Vorräte an Koks zu regulieren und dadurch auch einen Einfluß auf den Preis des Kokes zu nehmen. Näheres hierüber erfahren wir unter dem Kapitel 60 „Wassergas“. So läßt sich z. B. eine gründliche Lösung der ganzen Koksfrage durch vollständige Vergasung des Kokes erzielen, wie dies gemäß eines Berichtes von Andree<sup>1)</sup> in den Farbenfabriken von Bayer in Leverkusen geschieht. Dort wird im Steinkohlengaswerk die Kohle entgast und der ganze Koks gelangt zur Wassergasanlage, in welcher er in Wassergas verwandelt wird. Das Wassergas wird in einer vom Steinkohlengase getrennten Rohrleitung für die verschiedensten Zwecke abgegeben.

Auch die Erzeugung von Halbwassergas (Kraftgas) aus Koks erscheint für die Gaswerksbetriebe wichtig. Zwar läßt sich das stickstoffreiche und daher heizarme Halbwassergas nicht dem Steinkohlengas beimischen, da dadurch der Stickstoffgehalt desselben zu sehr erhöht würde, aber man kann das Kraftgas zum Motorenbetriebe verwenden und dadurch dem Gaswerksbetriebe nützlich machen. Allerdings ist der Kraftbedarf der Gaswerke selbst kein so hervorragender. Ist das Gaswerk jedoch einem Elektrizitätswerke oder einem Wasserwerke angegliedert, so ist der Kraftbedarf der beiden letzteren sehr geeignet, um als Koksabnehmer des Gaswerksbetriebes aufzutreten. Namentlich die Verwendung des Kokes im Betriebe des Elektrizitätswerkes ist von besonderer Wichtigkeit, weil die Erzeugung von Koks sowie der Verbrauch an Elektrizität in den Wintermonaten das Maximum erreichen. Beim Wasserwerksbetriebe ist das Gegenteil der Fall. Leider unterstehen Gaswerk und Elektrizitätswerk sehr häufig ganz getrennten Verwaltungen, die nicht die nötige Rücksicht aufeinander nehmen, so daß diese günstige Verbindung und die dadurch entstehenden Vorteile nicht entsprechend ausgenutzt werden. Es sei nur noch erwähnt, daß die Rauchplage, an der auch die Elektrizitätswerke Anteil haben, durch eine derartige Verbindung vermindert wird.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 785.

Eine weitere Verwendung des Koks im Gaswerksbetriebe ist in der Kesselfeuerung gelegen. Speziell die Verwendung des Grieskoks, der sonst zu sehr billigem Preise abgegeben werden müßte, ist bei der Kesselheizung durchführbar, da eigene Rostkonstruktionen oder die Verwendung von Unterluft die Kesselfeuerung mit Gries- und Staubkoks ermöglichen. In neuerer Zeit sind allerdings auch Generatoren konstruiert worden, welche die Umsetzung von Koksries und Koksstaub in Wassergas oder Kraftgas gestatten, worauf wir in dem Kapitel „Wassergas“ noch zu sprechen kommen werden.

Außerhalb des Gaswerksbetriebes kommt die Verwendung des Koks in Füllöfen, Backöfen, in Zentralheizungsanlagen und in Sauggasanlagen in Betracht. Namentlich solche Verwendungszwecke sind wichtig, bei denen öffentliche Gebäude oder Behörden als Abnehmerinnen erscheinen; deshalb legt die Gasindustrie auf die Verwendbarkeit des Koks zur Zentralheizung besonderen Wert. Der Bayerische Dampfkessel-Revisionsverein ließ vergleichende Untersuchungen über die Verwendung von Gas- und Hüttenkoks zur Zentralheizung anstellen<sup>1)</sup>. Es wurde dabei nachgewiesen, daß der verwendete Gaskoks dem Hüttenkoks im Heizwerte gleichwertig ist; auch bezüglich der Arbeit der Feuerbedienung und Rostreinigung ergab sich kein Unterschied. Die Wärmeausnutzung war im gußeisernen Gliederkessel mit Gaskoks um 4 Proz. geringer, was sich durch die stärkere Kohlenoxydbildung erklärt. Aber auch die Beheizung von Privatwohnungen mit den Dauerbrandöfen ist von großer Wichtigkeit, weil dadurch eine große Menge von Koks konsumiert wird. Ebenso schafft die Verwendung des Koks in Sauggasanlagen einen guten und namentlich gleichmäßigen Absatz, der sich auch während des Sommers erhält, während bei den anderen Verwendungsarten doch nur der Winterkonsum in Betracht kommt.

Die Festigkeit (Härte) des Koks ist nur von besonderer Bedeutung, wenn es sich um die Verwendung des Koks in großen Schichthöhen handelt. Je höher die Schicht in einer Feuerungsanlage ist, desto größer ist der Druck, welcher auf die unteren Teile des Brennmaterials ausgeübt wird, und der Koks muß daher fest sein, um diesen Druck aushalten zu können und nicht zu Pulver zermalmt zu werden. Daher ist in den Hochöfen der Hüttenwerke ausschließlich ein sehr harter Koks — also Hüttenkoks — zu verwenden. In allen Feuerungsanlagen mit niedriger Schichthöhe, wie z. B. Füllöfen, Zentralheizungen usw., spielt die Härte des Koks keine Rolle und ist nur dessen Heizwert maßgeblich. Häufig bietet die größere Porosität wegen des leichteren Anbrennens noch Vorteile.

## VIII. Gaswerkseinrichtungen.

### 27. Allgemeines.

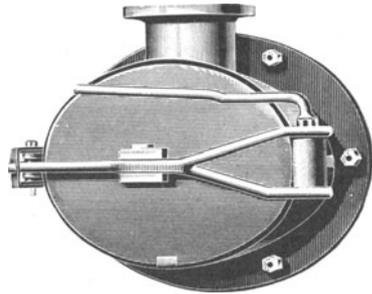
Nachdem wir im Anschlusse an die Besprechung der Entgasungsvorgänge bei der Erhitzung der Kohle die Apparate kennen gelernt haben, welche zur Entgasung der Kohle verwendet werden, wollen wir nun die übrigen Apparate einer Gaswerkseinrichtung besprechen. Wir wollen uns dabei

<sup>1)</sup> Mitteilungen der Zentrale für Gasverwertung: Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1048.

zunächst möglichst allgemein halten, ohne auf spezielle Gasarten Rücksicht zu nehmen, weil wir diese in den speziellen Kapiteln über die einzelnen Gasarten näher kennen lernen werden.

Ein wichtiges Einrichtungsstück aller Gaswerke ist der gasdichte und bequem zu öffnende Verschuß einer verhältnismäßig großen Öffnung. Es diente hierfür in früheren Zeiten ein gewöhnlicher schmiedeeiserner Deckel, der mit Schrauben an die betreffende Öffnung fest angezogen und mit Lehm verschmiert wurde. Jetzt verwendet man hierzu beinahe ausschließlich die sogenannten selbstdichtenden Mortontüren, wenn es sich um Verschußstücke handelt, die oft geöffnet werden müssen, wie z. B. die Verschlüsse der Retorten. Bei diesen Mortonverschlüssen handelt es sich darum, eine Türe an die abgeschliffene Ebene des Mundstückes anzupressen und dabei eine hin und her gehende Bewegung der Türe zu bewirken, um den an der Dichtfläche abgesetzten Schmutz: Teer, Kohlenstaub usw., durch das Hin- und Herschieben zu beseitigen. Die Mortontüre (Fig. 187) besitzt zu diesem Zwecke einen Exzenter, welcher mit einem Hebel verbunden ist. Dreht man den Hebel, so bewirkt der Exzenter einesteils das Anpressen der Türe an das Mundstück, andererseits gleichzeitig die seitliche Verschiebung und werden durch eine einzige Bewegung beide Anforderungen erfüllt. Der Druck, welchen der Exzenter ausübt, wird auf einen Hebel übertragen, der auf der anderen Seite durch eine entsprechende Sperrvorrichtung festgehalten wird, und an diesem Hebel sitzt in der Mitte der Deckel der Mortontüre, der an einer Gabel mit einer Schraube festgehalten ist. Diese Schraube besitzt ebenfalls wieder einen Exzenter und durch gelinde Drehung desselben kann die Entfernung des Deckels der Mortontüre von diesem Hebel beliebig geändert werden.

Fig. 187.



Um diese Schraube richtig einzustellen, schließt man die Mortontüre zunächst und stellt den Hebel derart, daß er schräg nach vorwärts steht; dann dreht man die mittlere Exzenter-schraube so weit, daß die Türe eben an das Mundstück anschließt, und nunmehr kann man durch Andrücken des seitlichen Hebels die Türe fest anpressen. Um stets den vollen Druck ausüben zu können, darf der Hebel niemals bis an die Türe des Mortonverschlusses selbst heranreichen. Es muß vielmehr der Verschuß schon dann ein dichter sein, wenn der Hebel noch nicht bis in seine äußerste Stellung gedreht ist. Ist dies nicht der Fall, so muß eben der mittlere Exzenter noch weiter gedreht werden, um einen besseren Verschuß zu bewirken. Bei Mortontüren, welche hohen Temperaturen ausgesetzt sind, setzt man im Inneren Rippen an, welche eventuell mit schlecht leitendem Material ausgefüllt werden. Manchmal bringt man auch in einer entsprechenden Fassung Schamottesteine im Inneren der Mortontüre an, um das Heißwerden derselben zu verhindern. Dies gilt namentlich für Wassergasgeneratoren. Bei Steinkohlengasretorten treten so hohe Temperaturen an den Verschlüssen nicht auf, so daß derartige Vorsichtsmaßregeln nicht notwendig sind, sondern eine entsprechende Entfernung der Türe vom Retortenende selbst genügt, um das übermäßige Heiß-

werden zu verhindern. Der ständig gebrauchte Exzenter der Mortontüre muß durch Schmierung beständig in gutem Gang erhalten werden. Dagegen wird der mittlere Exzenter an der Schraube nicht geschmiert, da er anderenfalls zu leicht geht und sich zu leicht verschieben würde. Die Schmierung erfolgt mit konsistenten Zylinderölen. Sehr zweckmäßig ist auch die automatische Schmierung. Bei dieser ist auf dem Exzenter ein Schmiergefäß angebracht, welches unten ein kleines Ventil besitzt, das bei jeder Betätigung der Mortontüre eine kleine Quantität des Öles in die Schmierkanäle fließen läßt.

Wenn das Gas die Erzeugungsstelle verläßt, so ist es gewöhnlich heiß und führt dampfförmige, flüssige und manchmal auch feste Produkte mit sich. Diese müssen beseitigt werden. Zu diesem Zwecke kühlt man das Gas zunächst und bewirkt dadurch die Kondensation der mitgeführten Dämpfe. Bei der Abkühlung scheiden sich die kondensierbaren Dämpfe in Form von feinen Flüssigkeitströpfchen ab, die später noch beseitigt werden müssen. Man wäscht daher das Gas mit Flüssigkeiten. Dadurch werden nicht nur die Flüssigkeitströpfchen, sondern auch etwa mitgerissene Staubteilchen entfernt und gleichzeitig lösen sich die löslichen Gase in der Waschflüssigkeit, so z. B. Ammoniak in dem Waschwasser. Nach der Wäsche erfolgt die Reinigung des Gases mit Hilfe fester Substanzen, wie z. B. die Reinigung des Steinkohlengases von Schwefelwasserstoff mit Hilfe der Reinigungsmasse. Dann muß das Gas gemessen werden und schließlich wird es in Gasbehältern aufgespeichert.

Um das Gas durch alle diese Apparate hindurchzuleiten, ist oft ein ziemlich beträchtlicher Druck erforderlich. Entsteht das Gas bei seiner Erzeugung selbst nicht unter genügend hohem Druck, so muß dieser künstlich erzeugt werden. Zu dieser künstlichen Druckgebung kann man Exhaustoren oder rotierende Gebläse verwenden. Bevor das Gas aus dem Gasbehälter in die Rohrleitung geschickt wird, muß noch der Druck desselben einer entsprechenden Regelung unterzogen werden. Man verwendet hierzu die Stationsdruckregler. Schließlich sind im Gaswerksbetriebe noch die Absperrvorrichtungen von besonderer Wichtigkeit. Wir werden daher auch diese in den folgenden Kapiteln besprechen.

## 28. Vorlagen.

Da das Gas beinahe bei allen Gaserzeugungsapparaten nicht in immer gleichbleibendem Strome entsteht, so daß die Gaserzeugung hie und da abgebrochen werden muß, um den Gaserzeuger mit neuem Material zu beschicken, so z. B. beim Laden der Retorten, muß dafür gesorgt werden, daß das in dem Behälter unter Druck stehende Gas beim Öffnen des Gaserzeugungsapparates nicht wieder nach rückwärts strömt und dann aus dem betreffenden Apparate austreten würde. Zu diesem Zwecke dienen die Vorlagen.

Im Wesen bestehen die Vorlagen aus einem in eine Flüssigkeit eintauchenden Rohre. Aus diesem muß das Gas in Blasenform durch die Flüssigkeit hindurch austreten, und dies kann nur erfolgen, wenn im Gaserzeuger ein höherer Druck vorhanden ist, als hinter der Vorlage. Wird jedoch der Gaserzeuger geöffnet, während hinter der Vorlage Behälterdruck herrscht, so wird durch diesen höheren Druck die Flüssigkeit in dem Rohre, welches vom Gaserzeuger kommt, in die Höhe getrieben, und bildet einen Ab-

schluß, so daß das Gas nicht nach rückwärts austreten kann. Die Vorlagen dienen aber ferner auch gleichzeitig zu einer rohen Ausscheidung der flüssigen Produkte, welche sich aus dem Gase kondensieren. Beim Steinkohlengas sind die Vorlagen durch die sogenannten Steigerohre mit den Gasretorten verbunden. Diese haben gewöhnlich einen lichten Durchmesser von 170 bis 175 mm. Die Verbindung zwischen dem Steigerohre und der eigentlichen Vorlage wird durch das sogenannte Sattelrohr (Fig. 188) bewirkt. Die einzelnen Teile der Steigerohre werden durch Muffen miteinander verbunden. Als Dichtungsmittel kann jedoch nicht Blei verwendet werden, da hier zu hohe Temperaturen herrschen, und das Blei schmelzen würde. Man verwendet daher gewöhnlich einen Kitt zur Dichtung. Als solcher kann empfohlen werden<sup>1)</sup> ein Kitt aus 3 kg Holzspänen, 1 kg Schamottmehl, 125 g ungebranntem feuerfesten Ton und 70 g Salmiak. Das Ganze wird zu einem

Fig. 188.

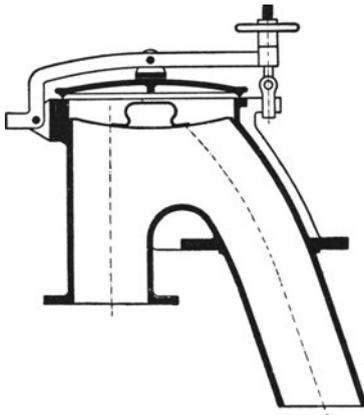
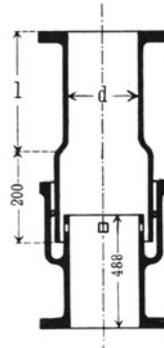


Fig. 189.



dicken Brei angerührt. Auch die Mundstücke der Retorten, welche aus Gußeisen bestehen, werden mit den Retorten selbst durch einen derartigen Kitt verbunden.

Es muß noch ferner darauf Rücksicht genommen werden, daß die Steigerohre beim Betriebe sehr heiß werden können. Sie würden sich dadurch in ihrer Länge ändern und es müssen daher entsprechende Ausgleichstücke eingebaut werden, wenn man diese Änderung nicht auf die Vorlage wirken lassen will. Es werden in die Steigerohre entweder kurze aus Wellblech bestehende Rohrstützen eingebaut oder man bringt bewegliche Muffen an, so z. B. die Burgmannmuffe (Fig. 189), bei welcher die Dichtung nicht mit Blei, sondern mittels eines Asbesttringes erfolgt. Dieser rollt sich bei der Dehnung des Rohres hin und her und die vollständige Abdichtung bewirkt sich von selbst durch Ansetzen von Teer oberhalb des Asbesttringes.

Die Tauchung in der Vorlage muß sich nach dem Drucke richten, welcher in dem Gaserzeugungsapparate herrschen soll. Bei Steinkohlengasretortenöfen verwendet man gewöhnlich eine Tauchung von 10 bis 50 mm und diese Höhe wird gewöhnlich auch bei anderen Gaserzeugungsmethoden eingehalten.

<sup>1)</sup> Gaskalender 1910, S. 68.

Sind mehrere Gaserzeuger, z. B. Retorten, an eine und dieselbe Vorlage angeschlossen, so müssen sämtliche Tauchrohre gleich tiefe Tauchung haben, damit in den Gaserzeugern gleicher Druck herrscht<sup>1)</sup>.

Unterhalb des Tauchrohres muß ein genügender Raum vorhanden sein, damit man etwaige feste Absätze, die sich in der Vorlage ablagern, bequem unterhalb des Tauchrohres hervorziehen kann.

Ferner ist zu berücksichtigen, daß der Zweck der Vorlage nur dann vollkommen erfüllt ist, wenn der von der anderen Seite her kommende Druck niemals ein Durchschlagen des Gases in die Steigerohre hinein hervorrufen kann. Die Tauchung muß daher so tief sein und das Querschnittsverhältnis zwischen den Tauchrohren und der ganzen Oberfläche der Vorlage muß ein derartiges sein, daß zufolge des Steigens der Flüssigkeitsspiegel in den Tauchrohren das Sinken des gesamten Flüssigkeitsspiegels nicht so stark wird, daß das äußere Niveau bis an das untere Ende des Tauchrohres gelangt. Gewöhnlich ist ein zehnfacher Querschnitt der gesamten Vorlage gegenüber der Summe der Querschnitte der einzelnen Tauchrohre genügend. Es ist schließlich darauf zu achten, daß die Unterlage genau horizontal stehen muß, wenn alle Tauchrohre die gleiche Tauchung besitzen sollen. Schließlich muß dafür gesorgt werden, daß das Niveau der Flüssigkeit in der Vorlage immer so hoch ist, daß die Tauchung wirklich erhalten bleibt. Zur Konstanthaltung des Niveaus wird ein Wasserzulauf verwendet, wenn nicht bei der Gaserzeugung selbst, wie z. B. beim Steinkohlengas, genügende Mengen von Flüssigkeiten durch Kondensation in der Vorlage abgesetzt werden. H. Schäfer benutzt zur Konstanthaltung des Niveaus das Mariotsche Prinzip, wonach aus einem geschlossenen Gefäß durch ein Rohr soviel Wasser nachfließt, daß eben immer das gleiche Niveau erhalten bleibt.

Der Teerabgang der Vorlage muß am Boden angebracht sein, damit der Teer sobald wie möglich die Vorlage verläßt und nicht Gelegenheit findet, sich zu verdicken. Da aber, wie schon erwähnt, die Tauchung immer eine bestimmte Höhe und daher das Niveau der Flüssigkeit immer auf einer bestimmten Höhe bleiben muß, so soll man mit dem Teerabgang zugleich auch die Höhe des Flüssigkeitsspiegels einstellen können. Dies ist aber nur möglich, wenn der vom Boden des Gefäßes entnommene Teer durch einen siphonartigen Abfluß austritt. Eine Vorrichtung, die diesen beiden Bedingungen entspricht, ist der Drorysche Teerschieber (Fig. 190). In diesem ist der Siphon mit dem Niveauschieber vereinigt. Es muß jedoch noch berücksichtigt werden, daß der Teer ein anderes spezifisches Gewicht hat als das Wasser. Der eine Schenkel des Siphons, der sich in der Zeichnung an der rechten Seite befindet, ist mit Teer gefüllt in der Höhe  $a-b$ . Der zweite linke Schenkel ist in der Höhe  $a-c$  mit Gaswasser gefüllt. Da nun der Teer schwerer ist, so wird die Höhe  $a-b$  geringer sein müssen, als die Höhe  $a-c$ .

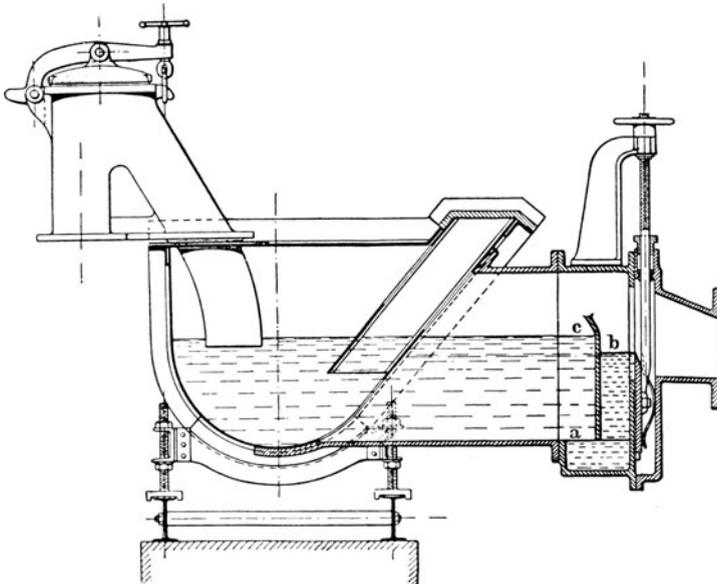
Der Teer hat, je nach der Art, wie die Kohle entgast wurde, verschiedenes spezifisches Gewicht. Die genannten Höhen werden also nicht immer gleiches Verhältnis haben. Trotzdem bleibt aber bei einer im regelmäßigen Betriebe stehenden Anlage das spezifische Gewicht des Teeres doch so weit konstant, daß nicht viele Regulierungen an dem Schieber vorgenommen werden müssen.

<sup>1)</sup> Colman, Journ. of Gaslighting 1908, S. 453; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 378.

Geringe Schwankungen im Spiegel sind ja mit Rücksicht auf die vorhandene Tauchung zulässig.

Um die Vorlage unter jedem Tauchrohr von dickem Teer reinigen zu können, muß sich an der gegenüberliegenden Seite eine kastenartige Tauchung befinden, welche es ermöglicht, die Vorlage an dieser Stelle zu öffnen, ohne daß Gas entweicht. Am Deckel dieses Kastens befindet sich daher gegenüber jedem Tauchrohr ein Verschuß, welcher ebenso konstruiert ist, wie der Verschuß am Sattelrohre, welches in der Zeichnung links oben gezeichnet ist. Öffnet man einen dieser Verschußdeckel, so entweicht aus diesem Kasten der Druck, und der Druck in der Vorlage treibt die Flüssigkeit in dem

Fig. 190.



Kasten entsprechend in die Höhe, ohne daß jedoch Gas entweicht. Man kann dann mit einer geeigneten Krücke die dicken Bestandteile von dem Boden der Vorlage entfernen.

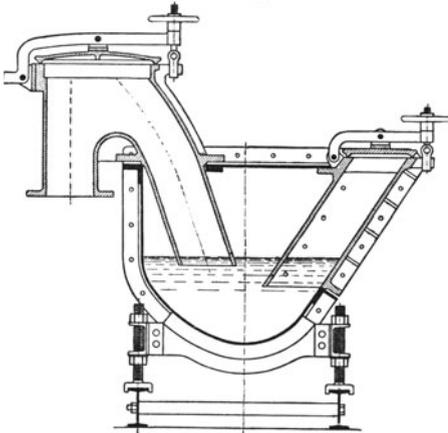
Durch das Steigen des Niveaus in dem Siphonkasten sinkt der Flüssigkeitsspiegel in der Vorlage. Ist dort hoher Druck vorhanden, so kann es vorkommen, daß dabei die Tauchung von einem der Steigerohre verloren geht. Es ist daher in neuerer Zeit empfohlen worden, den Siphonkasten durch Querwände in einzelne Abteilungen zu teilen, so daß sich der Flüssigkeitsspiegel nur in einer Abteilung und nicht längs der ganzen Vorlage heben kann.

Teerverdickungen entstehen namentlich dann, wenn bei der Erzeugung des Gases zu hohe Temperaturen angewendet wurden. Es finden dann, wie schon erwähnt, Abscheidungen von Kohlenstoff aus den Kohlenwasserstoffen und aus den Teerdämpfen statt, die sich in Form von Ruß zumeist auf der Oberfläche des Teeres in der Vorlage abscheiden. Gewinnt jedoch diese Rußschicht eine zu große Höhe, so sinkt sie in dem Teer hinab und bildet einen dicken Brei, der nur schwierig entfernt werden kann. Auch der Pechgehalt

des Teeres gibt zu Verdickungen Anlaß. Dies tritt namentlich dann ein, wenn ein Mangel an dünnflüssigen Produkten vorhanden ist. Bekanntlich geben Kohlen, die einen geringen Sauerstoffgehalt besitzen, verhältnismäßig wenig flüssige Produkte. Ist die Temperatur in der Vorlage so hoch, daß sich die leichter flüchtigen Produkte hier nicht ansammeln, sondern mit dem Rohgase weitergehen, so bleiben nur die schwerflüchtigen dickflüssigen Produkte in der Vorlage zurück. Der Pechgehalt derselben ist dann ein großer und es können Ausscheidungen von Pech stattfinden. Um dies zu verhindern, ist es das beste Mittel, die Entgasungsräume der Retorten oder Kammern möglichst stark mit Kohle zu laden, wie wir dies schon auf S. 312, 346 und 382 besprochen haben. Das Gas bleibt dann nur geringe Zeit in dem Entgasungsraume und hat wenig Gelegenheit, sich so zu zersetzen, daß Kohlenstoff abgeschieden wird.

Ein anderes Mittel ist auch die Kühlung der Steigerrohre. Sind die Steigerrohre sehr warm, so kondensiert sich in ihnen der schwerer flüchtige

Fig. 191.



Anteil der Teerprodukte, während die leichter flüchtigen Produkte mit dem Rohgas weitergehen. Es ergeben sich somit Ausätze von schmierigen Produkten an den Steigerrohren, welche zu Verstopfungen führen. Kühlt man dagegen das Steigerrohr, indem man Ammoniakwasser hineintropft, oder es mit einer Wasserkühlung von außen versieht, so kondensieren sich auch die leichter flüchtigen öligen Teerprodukte, welche den schmierigen dicken Teer auflösen, so daß keine Veranlassung zum Ansatz von schmierigen Produkten in den Steigerrohren gegeben ist. Da in diesem

Falle das Gas auch kühler in die Vorlage kommt, so kondensieren sich auch dort die leichter flüchtigen Produkte und tragen zur Auflösung des Peches bei <sup>1)</sup>.

Ein ähnliches Mittel zur Verhinderung der Teerverdickungen in der Vorlage besteht in dem beständigen Zufießenlassen von kaltem Ammoniakwasser in die Vorlage. Auch dies erhöht nur die Abscheidung flüchtigerer Produkte, die zur Lösung des dicken Teeres beitragen.

Ist einmal der Teer im dicken Zustande vorhanden, so muß dafür gesorgt werden, daß er möglichst rasch aus der Vorlage entfernt wird. Überhaupt ist es zweckmäßig, den Teer in möglichst starker Bewegung zu erhalten <sup>2)</sup>. Zu diesem Zwecke kann man eine injektorartige Vorrichtung anbringen, welche mit Ammoniakwasser bedient wird und den Teer in ständiger Bewegung erhält.

<sup>1)</sup> Eine praktische Vorrichtung zur Kühlung der Steigerrohre von außen wird von der Cölnischen Maschinenbauaktiengesellschaft ausgeführt. — <sup>2)</sup> Colman, Journ. of Gaslighting 1908, S. 453; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 378.

Die in Fig. 191 wiedergegebene Konstruktion der Vorlage ist die von Hasse angegebene. Die U-förmige Form der Vorlage ist durch die nötige Reinigung bedingt. Sie ist auch beinahe bei allen Vorlagenkonstruktionen beibehalten worden.

Die Tauchung in der Vorlage macht immerhin, wenn sie auch gering ist, einen bestimmten Druck in den Gaserzeugungsapparaten erforderlich. Um dies während des Laufes der Gaserzeugung zu vermeiden, arbeitet man manchmal auch mit sogenannten trockenen Vorlagen, d. h. man läßt die gesamte Flüssigkeit während des Betriebes aus der Vorlage ab. Dann muß man aber dafür sorgen, daß vor dem Öffnen der Retorten oder sonstigen Gaserzeugungsapparate die Tauchung hier wieder hergestellt wird, indem man rechtzeitig in die Vorlage Wasser bis zur gewünschten Tauchhöhe einführt.

## 29. Kühler.

Da die meisten Gase bei erhöhter Temperatur gewonnen werden, so müssen sie nach der Erzeugung gekühlt werden. Bei der Steinkohlengaserzeugung z. B. beträgt die Temperatur, bei welcher das Gas die Retorte verläßt, je nach den Umständen 150 bis 250°. Die Kühlung soll soweit getrieben werden, daß das Gas auf die tiefste Temperatur gebracht wird, die in den Rohrleitungen überhaupt vorkommen kann. Es ist dies im allgemeinen etwa 12 bis 15°. Diese Abkühlung ist erforderlich, damit nicht in den Rohrleitungen nachträglich Kondensationen entstehen. Namentlich die nachträgliche Ausscheidung von Naphtalin in den Rohrleitungen ist sehr unangenehm.

Die Mengen der Dämpfe verschiedener Substanzen, die noch im Gase verbleiben, wenn es auf eine gewisse Temperatur abgekühlt wird, gehen aus der nachstehenden Tabelle hervor <sup>1)</sup>.

Gehalt von 1 m<sup>3</sup> Gas an Dämpfen.

Temperatur C	Benzoldampf C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> g	Wasserdampf H <sub>2</sub> O g	Xyloldampf C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> g	Naphtalindampf C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> g
0	116	5	52	0,137
5	157	7	70	0,224
10	200	10	88	0,323
15	261	14	108	0,435
20	323	18	132	0,563
70	1995	249	712	24,050
Siedepunkt:	80°	100°	139°	218°

Diese Zahlen entsprechen der Tension der betreffenden Substanz bei der angegebenen Temperatur. Es ist aber zu berücksichtigen, daß dies nicht ganz der Wirklichkeit entspricht, weil die Substanzen in den Flüssigkeiten, die sich schon vorher ausscheiden, wieder auflösen; so z. B. ist das Naphtalin in anderen Teerbestandteilen löslich, so daß der Naphtalingehalt des Gases, wenn gleichzeitig Teerabscheidungen stattfinden, nicht der Dampftension und somit nicht der obigen Tabelle entspricht, sondern stets geringer ist.

<sup>1)</sup> Gaskalender 1910, S. 83.

Die Kühlung des Gases beginnt schon beim Passieren der Steigerrohre. Die Temperatur im Sattelrohr soll weniger als  $100^{\circ}$  betragen <sup>1)</sup>. Befinden sich Teeransätze in den Steigerrohren, welche schlechte Wärmeleiter darstellen, so wird dadurch die Kühlung des Gases verringert, einesteils weil durch Verengung des Querschnittes eine größere Geschwindigkeit des Gasstromes auftritt und anderenteils weil diese Ansätze als schlechte Wärmeleiter eine geringere Kühlung durch die umgebende Luft zulassen. Gelangt dann das Gas heiß in die Vorlage, so nimmt es dort Wasserdampf und auch Leichtöle auf, mit diesen verflüchtigt sich auch etwas Naphtalin und dies gibt dann zu Störungen Anlaß. Der Inhalt der Vorlage soll eine Temperatur von  $60$  bis  $65^{\circ}$  nicht überschreiten. Im weiteren Verlaufe soll das Gas nicht plötzlich gekühlt werden. Man muß dafür sorgen, daß sich Teer und Naphtalin zu gleicher Zeit ausscheiden und längere Zeit im Gase nebeneinander bleiben, wobei die Teertröpfchen das Naphtalin auflösen. Man muß also die Kühlung des Gases langsam vornehmen.

Sorgt man dafür, daß sich zunächst nur ein Teil der Kondensationsprodukte ausscheidet, während das Gas noch verhältnismäßig warm bleibt, und bewirkt man erst später eine allmähliche Abkühlung, so nennt man dies die „warme Kondensation“. Allerdings bestehen verschiedene Ansichten darüber, ob die warme Kondensation wirklich zweckmäßig ist. Wir werden darauf unter dem Kapitel „Naphtalinwäsche“ zu sprechen kommen.

Aber nicht nur die langsame Abkühlung des Gases ist notwendig, sondern außerdem noch eine geringe Geschwindigkeit des Gasstromes. Der Teer scheidet sich zunächst in Form sehr kleiner Tröpfchen im Gase ab, und wenn die Geschwindigkeit des Gases eine große ist, so werden diese Teertröpfchen mit fortgeführt. Ist dagegen der Gasstrom ein langsamer, so haben diese Teertröpfchen Gelegenheit, sich abzusetzen. Gibt man dann den Teertröpfchen die Möglichkeit, in einem großen Raume durch beträchtliche Höhe allmählich herabzufallen, so reinigen sie das Gas, indem sie während des Herabfallens das Naphtalin auflösen.

Diesem Bestreben entspricht der sogenannte Raumkühler, der zuerst von Klönne eingeführt worden ist <sup>2)</sup>. Der Klönnesche Raumkühler besteht aus einem  $10$  m hohen aus Schmiedeeisen gefertigten Zylinder von  $1,5$  m Durchmesser. Unten und in der Mitte befindet sich je ein Gaseintritt. Der Gasaustritt ist oben an dem Zylinder angebracht. Je nach der Temperatur der umgebenden Luft im Sommer oder im Winter wird das Gas entweder unten oder in der Mitte eingeleitet. Die Leistungsfähigkeit eines derartigen Kühlers beträgt  $5000$  m<sup>3</sup> pro Tag <sup>3)</sup>. Eine ähnliche Vorrichtung, welche Turmkühler genannt wurde, ist von der Bamag konstruiert.

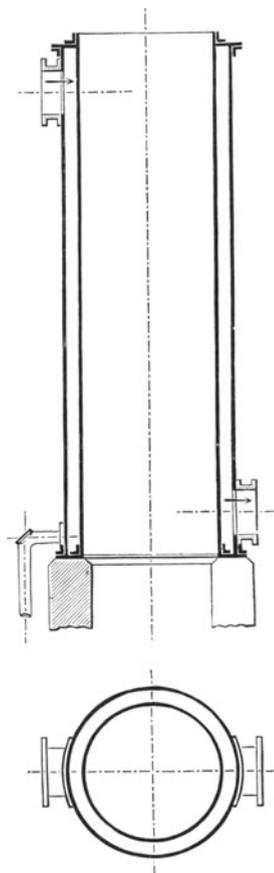
Der erste Kühler ist bereits im Jahre 1812 von Clegg <sup>4)</sup> verwendet worden. Er führte das Ableitungsrohr von der Vorlage in die viereckige Zisterne des Gasbehälters und in dieser zickzackförmig abwärts. Später verwandte man zur Kühlung des Gases im Freien stehende, also von der Luft gekühlte auf- und abgehende Rohrleitungen. Dieses Verfahren ist aber in den letzten Jahrzehnten vollständig verlassen worden. Viel zweckmäßiger ist

<sup>1)</sup> Bunte, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1105. — <sup>2)</sup> Vgl. Viehoff, ebend. 1906, S. 388. — <sup>3)</sup> Über den Klönneschen Raumkühler siehe auch Rutten: Het Gas 1908, S. 18; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 694 und S. 88. — <sup>4)</sup> Wolffram, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 299.

schon die Anordnung langer und weiter und nur wenig geneigter Betriebsrohrleitungen, wie man sie in Belgien und Frankreich häufig antrifft. Solche Rohrleitungen ersetzen zufolge ihres großen Volumens teilweise den oben genannten Klönneschen Raumkühler. Alle diese genannten Anordnungen wirken nur durch die Kühlung mit Hilfe der Außenluft. Da jedoch auf diese Weise eine verhältnismäßig geringe Fläche geschaffen werden kann, so dient hierzu besser der sogenannte Ringluftkühler (Fig. 192). Durch den inneren und äußeren Mantel wird hier in Apparaten von gleicher Größe etwa die doppelte mit der Luft in Berührung stehende Oberfläche geschaffen. Der ringförmige Zwischenraum bei den Ringluftkühlern wurde früher etwa 75 bis 100 mm gewählt. Zuzufolge der obigen Bemerkungen betreffs der Geschwindigkeit des Gasstromes ist es jedoch vorteilhafter, den Ringraum möglichst breit zu wählen und sollte derselbe nicht unter 200 mm Dicke haben <sup>1)</sup>. Die Kühlung bei einem Luftkühler hängt davon ab, wieviel Luft in der Zeiteinheit an der Fläche vorbeistreicht. Um nun im Inneren des Kühlers einen möglichst regen Luftwechsel hervorzurufen, kann man den unteren Teil des Luftkühlers durch einen Frischluftkanal mit der Außenluft verbinden und den Oberteil durch einen Schornstein über Dach führen, so daß zufolge der höheren Temperatur, welche die Luft im Inneren des Ringluftkühlers gegenüber der Außentemperatur besitzt, ein lebhafter Luftzug entsteht. Würde dagegen das Innere des Ringluftkühlers nur mit der Luft im Kühlerraum verbunden sein, so würde einerseits die geringe Höhe der Luftsäule, andererseits die geringe Temperaturdifferenz keinen so energischen Luftzug hervorrufen. Da man jedoch Mittel an der Hand haben soll, die Kühlung nach Bedarf zu regeln, so ist es dann erforderlich, in den Schornstein eine Drosselklappe einzubauen, durch welche man die Stärke des Zuges regeln kann.

Bei allen Kühlapparaten ist es von besonderer Bedeutung, den Gegenstrom möglichst genau einzuhalten. Das Gegenstromprinzip beruht darauf, daß das abzukühlende Gas an den Kühlflächen in entgegengesetzter Richtung vorbeistreicht, wie die Luft, welche abkühlend wirken soll. Läßt man zwei Gase in derselben Richtung an einer Scheidewand vorbeistreichen, von denen das eine Gas warm, das andere kalt ist, so wird zwar auch eine Wärmeübertragung vom warmen auf das kalte Gas stattfinden; die Endtemperatur der beiden Gase würde aber dann, wenn wir eine ganz vollkommene Wärmeübertragung annehmen, bei beiden Gasen gleich hoch sein. Wenn wir also z. B. annehmen, daß Gas von 100° und Luft von 0° nebeneinander an einer Kühlfläche vorbeistreichen und wenn wir weiter annehmen, daß die spezifische Wärme dieser

Fig. 192.



<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 384.

beiden Gase gleich hoch ist, so würde sich das Gas auf  $50^{\circ}$  abkühlen, während sich gleichzeitig die Luft auf  $50^{\circ}$  erwärmen müßte. Praktisch liegen die Verhältnisse etwas anders, weil die Wärmeübertragung keine vollkommene ist, und somit auch am Schlusse noch eine bestimmte Temperaturdifferenz vorhanden sein muß, so daß in der Praxis die beiden Gase auch bei Gleichstrom nicht die gleiche Temperatur haben, sondern das Gas wärmer entweicht als die abkühlende Luft. Läßt man hingegen die beiden Gase im Gegenstrom an der kühlenden Fläche vorbeistreichen, so ist die Sache wesentlich günstiger. Nimmt man hier eine vollkommene Wärmeübertragung an und setzen wir wiederum die Temperatur des Gases mit  $100^{\circ}$  beim Eintritt und die Temperatur der Luft zu  $0^{\circ}$  bei ihrem Eintritt, so könnte die Wärme des Gases vollständig auf die Wärme der Luft übertragen werden, wenn wir eben solche theoretisch vollkommen wirkende Kühlflächen annehmen würden. Es könnte dann das Gas beim Austritt mit  $0^{\circ}$  entweichen und die Luft beim Austritt die volle Temperatur des Gases angenommen haben, nämlich  $100^{\circ}$ . Auch hier würde also an allen Stellen die Temperatur der Luft und des Gases gleich hoch sein. In der Praxis jedoch tritt auch hier eine Temperaturdifferenz ein, d. h. das warme Gas wird auch bei seinem Austritt noch immer eine höhere Temperatur haben als die eintretende Luft und umgekehrt: es wird die Luft bei ihrem Austritte eine niedrigere Temperatur besitzen als das eintretende Gas. Jedenfalls aber kann man mit Hilfe des Gegenstromprinzips eine viel vollkommenere Wärmeübertragung von einem Gase auf das andere oder von einer Flüssigkeit auf die andere erzielen, als mit Hilfe des Gleichstromprinzips.

Die Temperaturdifferenz der beiden Gase, die auch beim Gegenstromprinzip noch vorhanden sein muß, um eine bestimmte Wärmeübertragung von einem Gase auf das andere zu ermöglichen, hängt von verschiedenen Umständen ab. Man nennt diese Temperaturdifferenzen das Temperaturgefälle. Die Wärmemenge, welche durch eine Kühlfläche hindurchtritt, nennt man die Wärmetransmission. Diese Wärmetransmission ist abhängig von der Temperaturdifferenz, und zwar ist sie dieser direkt proportional, ferner ist sie abhängig von dem Wärmetransmissionskoeffizienten. Dieser wieder ist gegeben durch den Leitungskoeffizienten des betreffenden Metalles, durch den Wärmeaufnahme- bzw. -abgabekoeffizienten der Oberfläche und durch den Grad der Bewegung der Luft und des Gases.

Das Wärmeleitungsvermögen im Metall und der Aufnahmekoeffizient der Oberfläche interessieren uns hier wenig, weil wir es ja doch ausschließlich nur mit Eisen zu tun haben, also folglich keine großen Schwankungen in diesen Ziffern eintreten können. Die Temperaturdifferenz, welche erforderlich ist, um die nötige Wärme durch die Kühlfläche hindurchzubringen, ist also abhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher das Gas und die Luft sich bewegen. Ein sehr rasch an einer Fläche vorbeistreichendes Gas gibt rascher seine Wärme an diese Fläche ab als ein langsam vorbeistreichendes.

Aus obigem geht hervor, daß man bei gegebener Kühlfläche bei Einhaltung des Gegenstromprinzips eine viel bessere Kühlung des Gases erzielen kann als beim Gleichstromprinzip. Die im Kühler erwärmte Luft hat das Bestreben, nach oben zu steigen, und wenn man das Gegenstromprinzip einhalten will, so muß man infolgedessen den Gasstrom nach abwärts leiten. Würde man dem Gasstrom die umgekehrte Richtung geben, so stände auch zu befürchten, daß das unten eintretende warme Gas zufolge seiner Wärme

sich rasch nach oben bewegt und somit sofort den Ausgang aufsucht, ohne den ganzen Querschnitt des Kühlers zu passieren. Wir hätten dann einen direkten Gasstrom vom Gaseintritt zum Gasaustritt und zufolge der in diesem Strome herrschenden Geschwindigkeit hätten die Teertröpfchen nicht genügend Zeit, sich abzusetzen<sup>1)</sup>.

Die Größe der Kühlfläche eines Ringluftkühlers berechnet sich nach Perrisini wie folgt<sup>2)</sup>.

Es bedeute:

$T_0$  die Temperatur des eintretenden Gases,

$T_1$  „ „ „ austretenden „

$\Theta$  „ „ der äußeren Luft,

$G$  das Gewicht des Gases in Kilogrammen, welches pro Stunde durch den Kühler geht,

$c$  den Transmissionskoeffizienten, welcher angibt, wie viele Kalorien pro Stunde und Quadratmeter Kühlfläche bei 1° C Temperaturdifferenz durch die Wandungen des Kühlers übertragen werden ( $c = 7$ ),

$F$  die Fläche des Kühlers in m<sup>2</sup>,

$\alpha = 0,6$ ,

$\beta = 0,06$ ,

$$F = \frac{G}{c} \left[ (\alpha + \beta \Theta) \cdot 2,3 \log \frac{T_0 - \Theta}{T_1 - \Theta} + \beta (T_0 - T_1) \right].$$

Für 1000 m<sup>3</sup> Gasproduktion in 24 Stunden berechnet sich hiernach die Luftkühlfläche zu 30 m<sup>2</sup>.

Der Wärmetransmissionskoeffizient ( $c = 7$ ) ist hier für mäßig bewegte Luft und mäßig bewegtes Gas angenommen. Für rasch bewegte Luft kann derselbe bis auf 10 steigen. Es ist jedoch sicherer, lieber den kleineren Transmissionskoeffizienten in die Rechnung einzusetzen.

Die Übertragung der Wärme von Luft durch Eisen auf Gas oder umgekehrt ist eine sehr geringe. Viel rascher erfolgt die Übertragung, wenn man nicht mit Luft, sondern mit Wasser kühlt. Man hat hier den Übergangskoeffizienten der Wärme von Gas durch Eisen auf Wasser in Rücksicht zu ziehen und dieser ist eben ein viel höherer. Bei Wasserkühlern kommt man also mit einer viel kleineren Kühlfläche für dieselbe Leistung aus.

Den üblichsten Wasserkühler zeigt Fig. 193. Er besteht ebenfalls aus einem zylindrischen Mantel, welcher jedoch unten und oben einen Wassersammelraum besitzt, und diese beiden Sammelräume sind durch eine größere Anzahl von Rohren, die vertikal stehen, miteinander verbunden. Das Wasser tritt in den unteren Sammelraum ein, durchstreicht die Rohre und tritt aus dem oberen Sammelraum wieder aus. Es ist hier wie beim Luftkühler die Bewegung des Wassers von unten nach oben empfehlenswert, weil das warme Wasser leichter ist als das kalte und daher keine Gegenströmungen entstehen, wenn man diese Stromrichtung anwendet. Zum Zwecke der Einhaltung des Gegenstromprinzips läßt man das Gas dann von oben eintreten und unten austreten. Da das Gas die Kühlrohre von außen umspült, setzen sich die teerigen Bestandteile außen an den Kühlrohren an. Ist die Schicht derselben zu dick, so würde dadurch die Wärmeleitung wesentlich vermindert und es

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 384. — <sup>2)</sup> Nach Schäfer, S. 341.

würde dann eine schlechtere Kühlung des Gases eintreten. Es muß daher zeitweise für die Reinigung dieser Rohre gesorgt werden, was durch zwei Mannlöcher, die im oberen und unteren Teile des Kühlers angebracht sind, bewirkt wird. Schließlich muß noch im unteren Teile des Gasraumes ein Ablauf für die Kondensationsprodukte (Teer- und Ammoniakwasser) ebenso vorgesehen sein, wie dies beim Ringluftkühler der Fall ist. Die äußere Mantel-

Fig. 193.

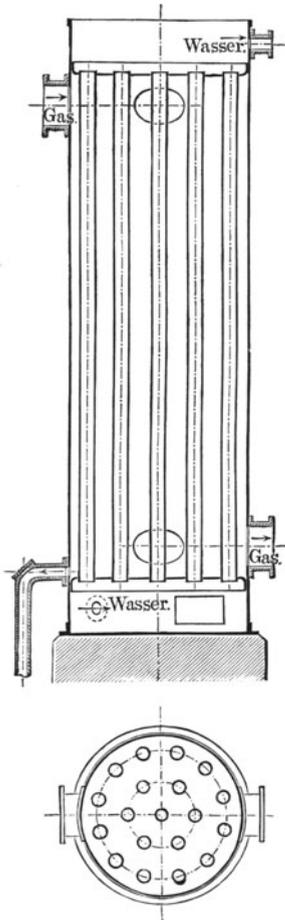
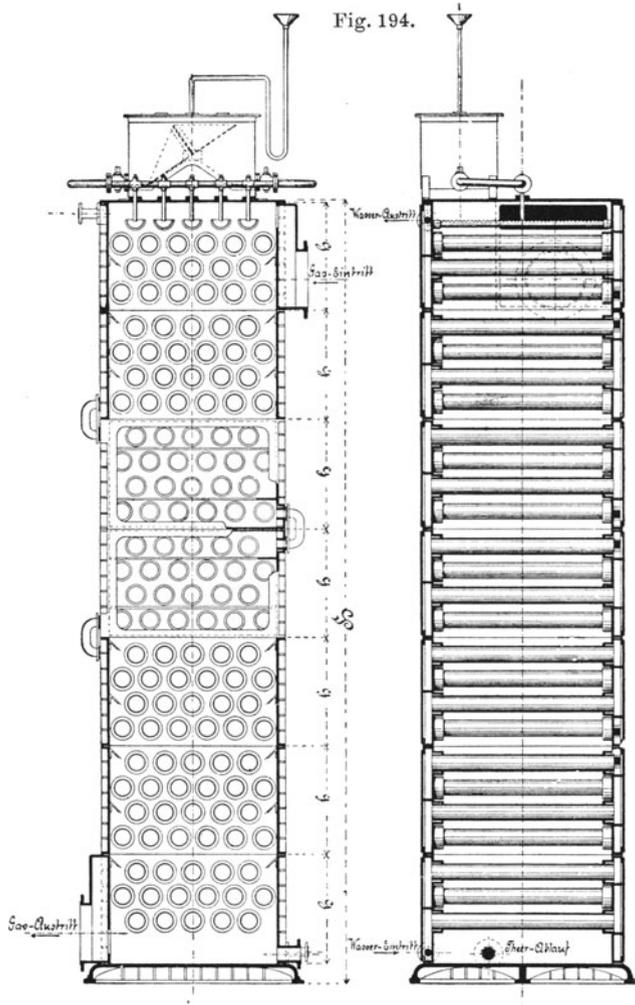


Fig. 194.



fläche des Kühlers ist naturgemäß von Luft umspült und dient daher gleichzeitig als Luftkühler. Diese Kühlwirkung ist jedoch mit Rücksicht auf die viel intensivere Wirkung des Wassers eine sehr geringe.

Zufolge des hohen Wärmetransmissionskoeffizienten des Wasserröhrenkühlers wird eine außerordentlich rasche Kühlung des Gases bewirkt, während im Luftkühler das Gas sich nur allmählich abkühlt. Da wir aber schon eingangs die Bedingung aufgestellt haben, daß das Gas, wie es aus dem Gaserzeugungsapparat kommt, zunächst nicht plötzlich abgekühlt werden soll, so

ist es nicht zweckmäßig, Wasserröhrenkühler direkt hinter die Vorlage zu stellen, sondern man tut besser, zuerst einen Luftkühler aufzustellen und das Gas erst dann durch einen Wasserröhrenkühler auf die gewünschte niedrige Temperatur zu bringen.

Um große Gasmengen in großen Gaswerken zu kühlen, muß man naturgemäß für große Kühlflächen sorgen. Die Kühler würden dann, wenn sie so, wie dies hier besprochen wurde, als einfache Wasserröhrenkühler mit stehenden Wasserrohren ausgeführt würden, außerordentlich groß werden. Man sucht daher die große Kühlfläche auf einen möglichst kleinen Raum zu konzentrieren, was zu erreichen ist, indem man die Kühlrohre horizontal legt. Dies ist im Reutterkühler Fig. 194<sup>1)</sup> durchgeführt. Der Reutterkühler besitzt außerdem den Vorteil, daß er ganz aus Gußeisen ist und daher nicht so leicht rostet wie Kühler aus Schmiedeeisen. Die einzelnen Enden je einer Gruppe von Rohren sind durch angeschlossene Endkammern zusammengefaßt, so daß das Kühlwasser partienweise ein Bündel von Rohren von rechts nach links durchstreicht, dann nach aufwärts gehend die nächste Rohrlage von links nach rechts und so weiter zickzackförmig hin und her gehend die einzelnen Rohrlagen durchspült, bis es oben wieder austritt. Das Gas tritt auch bei diesem Kühler oben ein und unten aus. Es ist hier der Gegenstrom insofern nicht ganz streng durchgeführt, als das Wasser in einzelnen Partien seitlich hindurchstreicht, während das Gas von oben nach unten geht. Aber im großen ganzen trifft doch im oberen Teile des Apparates schon vorgewärmtes Wasser mit dem warmen Gase zusammen, während das schon abgekühlte Gas durch das eintretende kalte Wasser gänzlich gekühlt wird. Es ist also doch auch hier ein teilweiser Gegenstrom vorhanden.

Eine sehr zweckmäßige Einrichtung ist auch die Berieselung der Rohre des Reutterkühlers mit Wasser. Dadurch werden die Teeransätze, die sich an den Rohren bilden, abgespült und die Kühlflächen bleiben immer in ihrer vollen Wirksamkeit erhalten.

Das Prinzip des Reutterkühlers ermöglicht, verhältnismäßig große Gasmengen auf einem recht kleinen Raume zu bewältigen. Ein Kühler von  $2 \times 2$  m Durchmesser mit 10 Abteilungen von Rohren kühlt 28 200 m<sup>3</sup> pro Tag. Auch Bolz hat einen dem Reutterschen ähnlichen Kühler konstruiert.

Die Berechnung der Kühlflächen des Wasserkühlers wird wie folgt vorgenommen<sup>2)</sup>.

Es bedeutet:

$t_1$  die Temperatur des eintretenden Wassers,

$t_0$  „ „ „ austretenden „

$F_1$  die Wasserkühlfläche,

$Q$  das Gewicht des pro Stunde nötigen Wassers,

$\alpha$  eine aus der folgenden Formel für  $F_1$  durch Versuche zu bestimmende Konstante ( $\alpha = 0,2$ ),

$$F_1 = \frac{\alpha \cdot G \cdot p (T_0 - T_1)}{(T_0 - t_0)(T_1 - t_1)}$$

oder

$$t_0 = T_0 - \frac{\alpha \cdot G \cdot p (T_0 - T_1)}{F_1 (T_1 - t_1)};$$

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1896, S. 186. — <sup>2)</sup> Schäfer, Einrichtung und Betrieb eines Gaswerkes, 3. Aufl., S. 341.

daraus berechnet sich

$$Q = T_0 - \frac{G \cdot p \cdot (T_0 - T_1)}{t_0 - t_1},$$

dabei ist  $p = \alpha + \beta$ ,  $T =$  spezifische Wärme des Gases.

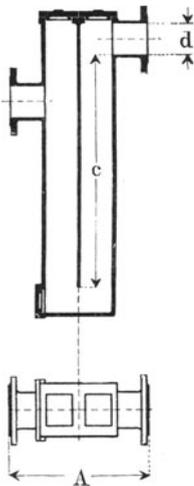
Im allgemeinen rechnet man erfahrungsgemäß für 100 m<sup>3</sup> Tagesproduktion 3 m<sup>3</sup> Kühlfläche bei Luftkühlung. Der Wasserverbrauch schwankt dabei zwischen 0,3 bis 0,5 m<sup>3</sup> in 24 Stunden.

Wird das Gas erst durch Luftkühler und dann durch Wasserkühler geschickt, so rechnet man für die Kühlfläche

bei Luftkühlung . . . . .	0,75 m <sup>2</sup>	}	pro 100 m <sup>3</sup> Tagesleistung
„ Wasserkühlung . . . . .	0,75 bis 1,25 „		

Da der Teerablauf bei jedem Kühler mit dem Gasraum kommuniziert, muß man dafür Sorge tragen, daß mit dem Teer nicht zugleich Gas aus dem Ablaufrohr austreten kann. Es wird dies am zweckmäßigsten durch Anschluß eines Siphonkastens bewirkt, wie er in Fig. 195 dargestellt ist. Man muß dafür sorgen, daß der Ablauf des Teeres stets sichtbar bleibt, so daß man die Funktion des Kühlers kontrollieren kann. Dies wird dadurch bewirkt, daß ein mit einer Überlaufschnauze versehenes Rohr mit einer Glasglocke bedeckt ist, so daß der Überlauf aus der Schnauze in das Ablaufrohr ständig sichtbar ist. Der Siphonkasten ist durch eine Scheidewand in zwei Teile geteilt, und der durch das Einlaufrohr eintretende Teer bildet selbst mit Hilfe dieser Scheidewand den Abfluß so, daß kein Gas durch den Überlauf austreten kann.

Fig. 195.



zur Kontrolle der Temperatur des Gases und der Wirksamkeit des Kühlers sind in dem Gasraum sowohl beim Eintritt des Gases als auch beim Austritt Thermometer einzusetzen. Ebenso soll der Kühler beim Eintritt wie beim Austritt Probehähne haben mit entsprechend weiten Bohrungen, um Gasproben entnehmen zu können. Sind die Bohrungen der Hähne zu klein, so verstopfen sich dieselben leicht mit Teer.

Zur Kontrolle der Temperatur des Gases und der Wirksamkeit des Kühlers sind in dem Gasraum sowohl beim Eintritt des Gases als auch beim Austritt Thermometer einzusetzen. Ebenso soll der Kühler beim Eintritt wie beim Austritt Probehähne haben mit entsprechend weiten Bohrungen, um Gasproben entnehmen zu können. Sind die Bohrungen der Hähne zu klein, so verstopfen sich dieselben leicht mit Teer.

### 30. Teerscheider und Staubreiniger.

Die Flüssigkeiten, welche sich aus dem Gase bei der Abkühlung kondensieren, namentlich der Teer, scheiden sich in Form kleiner Tröpfchen aus. Diese vereinigen sich allmählich zu größeren Tröpfchen und fallen zu Boden. Die Geschwindigkeit des Fallens ist um so größer, je größer das Gewicht der Tröpfchen ist. Im luftleeren Raume würden Tröpfchen der verschiedensten Größe alle mit gleicher Geschwindigkeit niedersinken. Im luft- oder gaserfüllten Raume ist dies jedoch anders. Hier wirkt der Luftwiderstand der Fallgeschwindigkeit entgegen und dieser hängt von der Oberfläche der Tröpfchen ab. Nun wächst aber die Oberfläche eines Kügelchens proportional dem Quadrate des Durchmessers, während das Gewicht der Tröpfchen proportional der dritten Potenz des Durchmessers wächst. Das Verhältnis zwischen Oberfläche und Gewicht ist also um so größer, je kleiner die Tröpfchen sind. Die Kraft also, welche die Tröpfchen nach unten zieht, ist bei kleinen Tröpfchen verhältnismäßig geringer,

wenn man berücksichtigt, daß der Luftwiderstand eben bei kleinen Tröpfchen ein verhältnismäßig größerer ist. Bewegt sich nun ein Gasstrom, welcher durch Kondensation entstandene Flüssigkeitströpfchen enthält, nach aufwärts, so wird eine Abscheidung der Tröpfchen nur dann stattfinden können, wenn die Strömungsgeschwindigkeit kleiner ist als die Fallgeschwindigkeit der Tröpfchen. Ist die Stromgeschwindigkeit eine größere, so werden die Tröpfchen nach oben geblasen, ist sie geringer, so fallen sie nach abwärts und gelangen zur Abscheidung in Form einer zusammenhängenden Flüssigkeit. Da nun aber stets eine gewisse Strömungsgeschwindigkeit vorhanden ist, so geht daraus ohne weiteres hervor, daß in dem durch Kondensation gereinigten Gase noch immer Tröpfchen, wenn auch von sehr geringem Durchmesser, im Gase vorhanden sein müssen. Auch wenn der Gasstrom nicht nach aufwärts gerichtet ist, kann keine vollkommene Abscheidung der kleinsten Tröpfchen stattfinden, weil die Zeit, während welcher das Gas durch die Kondensatoren und Leitungen strömt, nicht genügt, um bei der außerordentlich geringen Fallgeschwindigkeit dieser kleinsten Tröpfchen die Abscheidung zustande kommen zu lassen.

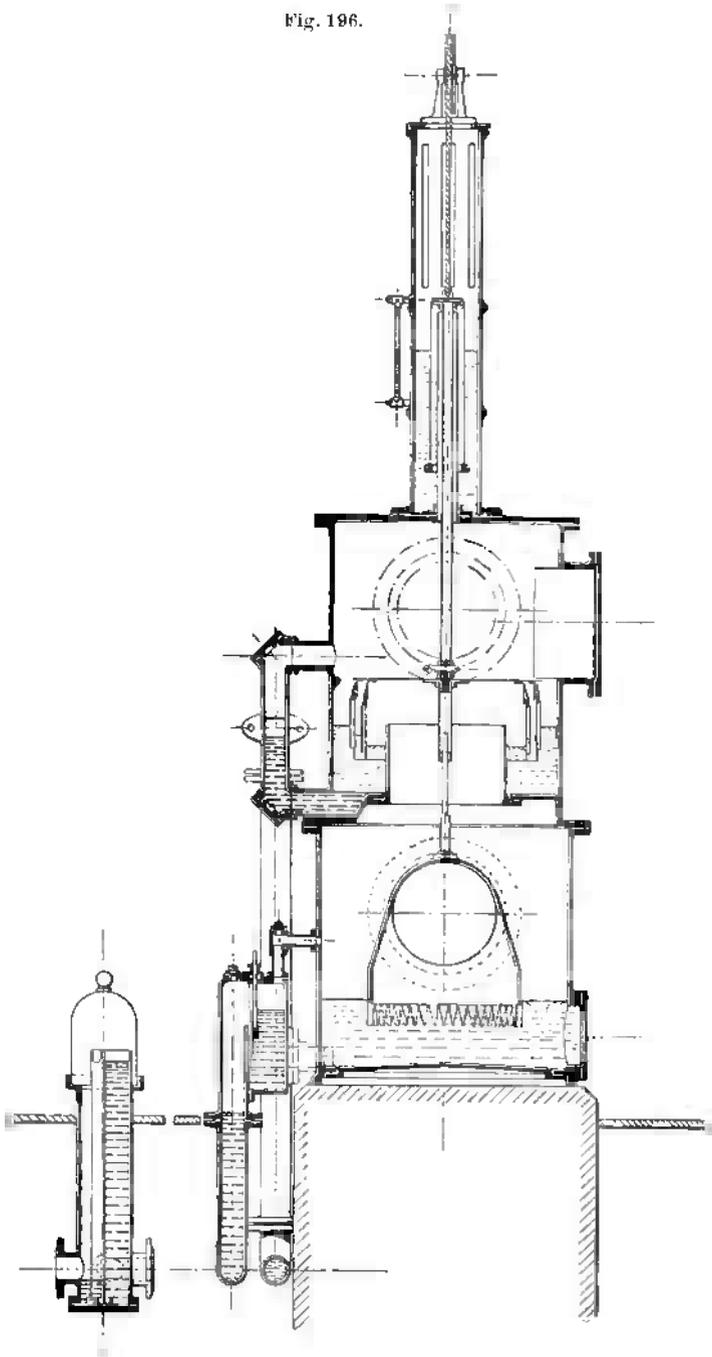
Der Wassergehalt, den ein die Kondensation verlassendes Gas besitzt, und der ebenfalls in Form von Tröpfchen vorhanden ist, spielt keine Rolle, hingegen ist ein Teergehalt stets nachteilig, schon deshalb, weil das Gas die Reiniger passieren muß, in welchen sich feste Reinigungsmasse befindet, die sich durch Ansatz von Teer bald derart verschmiert, daß sie für das Gas undurchlässig wird. Andererseits spielt aber ein Teergehalt des Gases auch insofern eine Rolle, als er in den Gasmessern der Konsumenten zu Verschmutzungen Anlaß gibt.

Aus obiger Erörterung geht hervor, daß man durch bloße Wäsche mittels Wasser oder anderen Flüssigkeiten die Teertröpfchen nicht entfernen kann. Dagegen besitzt man ein Mittel zur Entfernung des Teeres darin, daß man den Gasstrom mit einer großen Geschwindigkeit auf eine feste Fläche prallen läßt. Zuzufolge der großen Bewegungsgeschwindigkeit, welche die Tröpfchen erhalten, kleben dieselben an der festen Fläche an und werden dadurch aus dem Gase ausgeschieden. Allerdings kann auch diese Abscheidung des Teeres nie eine ganz vollkommene sein, jedoch ist sie wesentlich vollkommener als die Abscheidung durch einfache Kondensation oder durch Waschung.

Zum Zwecke, dem Gasstrom eine große Geschwindigkeit zu geben, wird derselbe durch kleine Öffnungen in einem Blech hindurchgeleitet. Gegenüber diesen Öffnungen befindet sich eine feste Platte, an welcher die Teertröpfchen haften bleiben. Durch Wahl eines entsprechenden Druckes, mit welchem das Gas durch diese Öffnungen hindurchgepreßt wird, kann die Geschwindigkeit des Gasstromes in den Öffnungen beliebig reguliert werden. Je größer die Geschwindigkeit ist, desto vollkommener ist die Abscheidung des Teeres.

Die ersten, welche dieses Verfahren der Teerabscheidung anwendeten, waren Pelouze und Audouin. Der Teerscheider nach diesem Prinzip, welchen man gewöhnlich schlechtweg „Pelouze“ nennt, ist von Drory verbessert worden und in Fig. 196 wiedergegeben. In den unteren Teil desselben tritt das Gas durch ein Rohr, welches senkrecht in der Ebene der Zeichnung gedacht ist, ein und gelangt durch eine am Rande zickzackförmig ausgeschnittene Glocke in Form von Blasen durch eine Wassertauchung. Hier wird ein Teil des Teeres durch das Wasser ausgewaschen. Das Gas strömt

Fig. 196.



dann nach oben in den oberen Teil des Apparates und gelangt hier unter eine Glocke, welche aus zwei konzentrischen Blechmänteln besteht. Der innere ist aus einem mit kleinen Löchern versehenen Blech gebildet, dem außen ein zweites Blech entgegensteht, das jedoch an der Stelle, wo das erste die Löcher trägt, feste Blechteile enthält. Der durch die engen Öffnungen austretende Gasstrom trifft auf diese festen Teile und scheidet hier den Teer ab. Dieser äußere Mantel besitzt an anderen Stellen geeignete Öffnungen, um das Gas nach außen streichen zu lassen. Dann kommt das Gas in eine zweite ebenso gestaltete Glocke, um die Abscheidung des Teeres zu vervollkommen, und hier tritt auch wieder das Gas durch den äußeren Glockenmantel aus in das Gehäuse des Apparates, um dann durch einen Rohrstutzen, in der Zeichnung nach rückwärts gerichtet, aus dem Apparat zu entweichen.

Die Teerscheiderglocke ist an einer Spindel an einem Stahlband aufgehängt und mit einem Gegengewicht entlastet, so daß sie sich ganz leicht auf- und abwärts bewegen kann. Zum Zwecke des gasdichten Abschlusses ist auf dem Deckel des Apparates ein Wasserabschluß vorgesehen, in den eine lange schmale Glocke, welche an der Spindel befestigt ist, in Wasser eintaucht. Durch Wahl geeigneter Entlastungsgewichte läßt sich innerhalb der Glocken ein beliebiger Druck herstellen. Dementsprechend ist auch die Geschwindigkeit, mit welcher der Gasstrom die Löcher passiert, eine genau einstellbare. Würde diese Geschwindigkeit zu klein, so würde die Teerscheidung eine unvollkommene sein; ist dagegen die Geschwindigkeit zu groß, so verursacht der Apparat einen zu großen Druckverlust. Nun können sich aber naturgemäß die verhältnismäßig kleinen Öffnungen in den Glocken durch Teer verstopfen. Dann wird die Geschwindigkeit in den verengten Löchern eine größere und dementsprechend auch der Druck unter der Glocke ein größerer. Da aber die Gewichtsentlastung so eingerichtet wurde, daß nur ein bestimmter Druck unter der Glocke herrschen kann, so wird die Glocke zufolge des Gasdruckes steigen, und es wird eine größere Fläche der Glockenwandung aus der Flüssigkeit, in welche sie eintaucht, herausgezogen werden. Dementsprechend erhält das Gas einen größeren Durchgangsquerschnitt, d. h. eine größere Anzahl von Löchern zur Ausströmung zur Verfügung. In dieser Weise stellt sich nur wieder jener Druck und jene Gasgeschwindigkeit her, welche eben von Anfang an eingestellt wurde.

Der Teerscheider wird bei der Inbetriebsetzung zunächst mit Ammoniakwasser gefüllt. Der am Boden des oberen Apparatteiles sich absetzende Teer fließt durch ein Überlaufrohr ab und vereinigt sich unten mit dem Ablauf aus dem unteren Gefäß. Zur Einstellung der Niveauhöhe befindet sich beim Ablauf ein aus der Zeichnung erkenntlicher Droryscher Schieber (vgl. S. 407), welcher den Teer schließlich durch einen Siphon entweichen läßt. Der Siphonabschluß ist durch eine Glasglocke bedeckt, damit man den Überlauf des Teeres beständig beobachten kann. Während des Betriebes wird der Teerscheider innen stets mit etwas Ammoniakwasser berieselt, um die Tauchung an beiden Stellen immer aufrecht zu erhalten.

Haben sich die Löcher der Glocke des Teerscheiders so verstopft, daß auch bei vollständig herauszogener Glocke ein zu hoher Druckverlust entsteht, so muß die Glocke gereinigt werden. Zu diesem Zwecke muß sie aus dem Oberteile des Apparates herausgenommen werden, der deshalb eine entsprechend große Öffnung besitzen muß. Es muß stets eine Reserveglocke

bereitgehalten werden, so daß die Auswechslung bei notwendiger Reinigung der Glocke nicht zu lange Zeit in Anspruch nimmt. Während der Auswechslung der Glocke läßt man das Gas durch ein Umgangsrohr strömen, ohne daß es den Teerscheider passiert.

Zur Beobachtung des Druckverlustes, welchen der Teerscheider hervorruft, dient am besten ein Differentialmanometer, welches am Apparate selbst angebracht ist, und dessen beide Schenkel mit dem Eingange und mit dem Ausgange des Teerscheiders verbunden sind. Um die Wirksamkeit des Teerscheiders zu kontrollieren, macht man öfters, mindestens täglich einmal Proben über den Teergehalt des Gases. Diese Erprobung erfolgt durch Ausströmenlassen des Gases aus einem Probierhahn auf ein weißes Blatt Papier und es gibt sich aus der Färbung des Papiers zu erkennen, wieviel Teer ungefähr im Gase enthalten ist. Zu diesem Zwecke muß natürlich stets ein Hahn von ganz bestimmter Bohrung verwendet werden und ebenso muß das Papier in einer konstanten Entfernung von der Ausströmungsöffnung gehalten werden. Ferner muß auch die Zeit des Ausströmenlassens immer die gleiche bleiben, damit man vergleichbare Resultate erhält. Drory hat zu diesem Zwecke einen eigenen Teerprobierhahn konstruiert, den wir bereits auf S. 270 besprochen haben.

Handelt es sich um die Verarbeitung sehr großer Gasmengen, wie dies z. B. in den Kokereien der Fall ist, so würden die Teerscheider sehr große Dimensionen erhalten, so daß man entweder auf die vollständige Abscheidung des Teeres ganz verzichtet, oder aber in den Fällen, wo eine vollständige Teerausscheidung geboten ist, andere Verfahren benutzen muß. In neuerer Zeit hat sich in den Kokereien die direkte Gewinnung des Ammoniaks aus dem Gase als schwefelsaures Ammoniak eingeführt. Es wird da das Gas direkt in Schwefelsäure geleitet, welche das Ammoniak absorbiert. Würde hier ein teerhaltiges Gas angewendet werden, so würde auch das gewonnene schwefelsaure Ammoniak teerhaltig und daher schwer verkäuflich sein. Um hier die vollständige Teerabscheidung zu bewirken, kann man nach Hilgenstock<sup>1)</sup> das Gas mit Teer waschen, welcher in Form eines fein verteilten Strahles eingespritzt wird. Der Teer soll jedoch dabei nicht wärmer als 80° sein. Es zeigte sich dann ein Teergehalt von nur 10 g in 100 m<sup>3</sup> Gas<sup>2)</sup>.

Erscheint es auch anfangs absurd, den Teer aus dem Gase durch Waschung mit Teer zu beseitigen, so wird ein solches Verfahren doch verständlich, wenn man bedenkt, daß man z. B. auch Wassertröpfchen durch Waschen mit Wasser beseitigen kann.

Es ist auch zu erwarten, daß es bei den jetzt schon ins riesenhafte wachsenden großen Gaswerksbetrieben nicht auf die Dauer bei der alten Methode der Teerscheidung bleiben wird. Die Verarbeitung so großer Gasmengen erfordert die Anwendung anderer Verfahren, um sowohl die Anlagekosten als auch die Bedienung zu vereinfachen. Ein Mittel, welches zweifellos geeignet erscheint, die Teerscheidung aus großen Gasmengen zu bewirken, ist das Zentrifugieren. Versetzt man eine Gasmenge in schnelle Rotation, so wird zufolge der Zentrifugalkraft der verhältnismäßig schwere Teer nach außen geschleudert. Man erhält denselben Effekt, wie wenn man das Gas

<sup>1)</sup> Stahl und Eisen 1909, S. 1644; Zeitschr. d. österr. Ingenieur- u. Architektenvereins, 22. Jahrg., S. 28; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 100. — <sup>2)</sup> Vgl. auch Journ. of Gaslighting 1910, S. 423; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 603.

längere Zeit sich selbst überlassen würde. In letzterem Falle scheiden sich die Teertröpfchen ab, indem sie durch die Schwerkraft allmählich nach unten gezogen werden. Die Wirkung der Zentrifugalkraft ist identisch mit einer verstärkten Wirkung der Schwerkraft. Daher erfolgt bei Anwendung derselben die Abscheidung der Teertröpfchen rascher als bei ruhigem Stehen des Gases. Gleichzeitig werden die Teertröpfchen nach außen geschleudert und bleiben an den Gehäusewandungen des Zentrifugalapparates kleben.

Theissen hat einen derartigen Reiniger konstruiert, bei welchem eine Anzahl von Schaufeln an einer gemeinsamen Welle sitzen und in rasche Rotation gebracht werden. Die Schaufeln werden mit Wasser gespült und saugen durch die Wirkung der Zentrifugalkraft gleichzeitig das Gas an. Das Wasser wird ebenfalls in kleine Tröpfchen zerteilt nach außen geschleudert, so daß der an den Wandungen angesetzte Teer von dem Wasser abgewaschen wird. Die Zufuhr des Gases erfolgt in der Mitte des Reinigers und die Abfuhr an dem Mantel. Da nun durch die Zentrifugalkraft auch der Druck des Gases sich erhöht, so verfolgt der Theissen-Reiniger nicht nur den Zweck der Reinigung, sondern er bewirkt auch gleichzeitig ein Ansaugen des Gases und Unterdrucksetzen desselben. Wir werden später bei Besprechung der Exhaustoren sehen, daß dies von Wichtigkeit ist, daß somit ein derartig konstruierter Reiniger die Funktion zweier Apparate, nämlich des Teerscheiders und des Exhaustors, gleichzeitig übernehmen kann. Dieses Verfahren hat jedoch bisher in Gaswerken noch keinen allgemeinen Eingang gefunden.

Ein Feldscher Zentrifugalteerscheider ergab nachstehende Resultate<sup>1)</sup>:

Gastemperatur ° C	g Teer im Gas pro m <sup>3</sup>	
	vor dem Wäscher	hinter dem Wäscher
90	30,04	0,206
60	23,30	0,100

In ähnlicher Weise, wie eben erwähnt, findet auch die Entfernung des Staubes aus Gasen statt. Dies hat namentlich bei der Verwertung der Hochofengase (Gichtgase) Bedeutung. Dieselben werden bekanntlich in den letzten Jahrzehnten vielfach zur Kraftleistung in Gasmotoren herangezogen; für diesen Zweck müssen dieselben jedoch vollständig staubfrei sein. Während man früher sich begnügte, die Gichtgase durch Staubsammler streichen zu lassen, in welchen sich der Flugstaub absetzen konnte, muß bei der Verwendung zum Motorenbetriebe eine gründlichere Reinigung vorgesehen werden, weil sonst die Motoren stark leiden. Man verwendet daher jetzt auch für diesen Zweck Zentrifugalreiniger.

Besondere Bedeutung hat auch die Entfernung des Staubes aus Wassergas. Bei der Erzeugung von unkarburiertem Wassergas bildet sich zufolge einer Zersetzung des Siliciumchlorids Kieselsäure, welche sich in außerordentlich feiner Form als Staub im Gase vorfindet. Dieser Staub setzt sich nur sehr allmählich aus dem Gase ab. Die Entfernung desselben erfolgt am besten durch Filtration durch Sägemehl. Man verwendet das Sägemehl auf

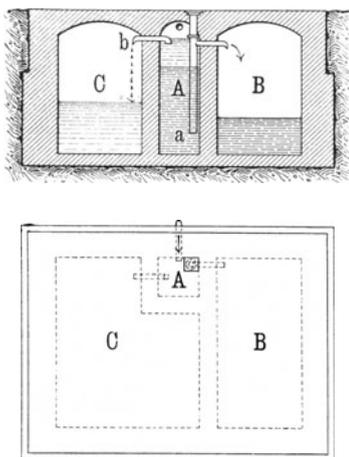
<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 33.

Horden ausgebreitet in den gewöhnlichen Gasreinigern. Es muß ausschließlich sehr feines Sägemehl verwendet werden, welches man nur aus hartem Holze gewinnen kann. Wir werden dies unter dem Kapitel „Reinigung des Wassergases“ noch genauer besprechen.

### 31. Teer- und Ammoniakwassergruben.

Der in den Vorlagen und Kondensatoren (Kühler) sich kondensierende Teer und das Ammoniakwasser müssen in entsprechenden Behältern aufgefangen werden. Bisher verwendete man hierzu beinahe ausschließlich Gruben, die mit Mauerwerk oder Beton flüssigkeitsdicht ausgefüttert wurden. Bevor man aber die Kondensate in den Gruben auffängt, muß man eine Trennung des Ammoniakwassers vom Teer herbeiführen. Dies geschieht in einer kleineren Scheidegrube, wie sie in Fig. 197 dargestellt ist. Diese hat einen Querschnitt von etwa  $1\text{ m}^2$  und besitzt eine Einrichtung, welche den Teer auf die eine Seite nach der Grube *B* und das Ammoniakwasser auf die andere Seite nach der Grube *C* abgibt.

Fig. 197.



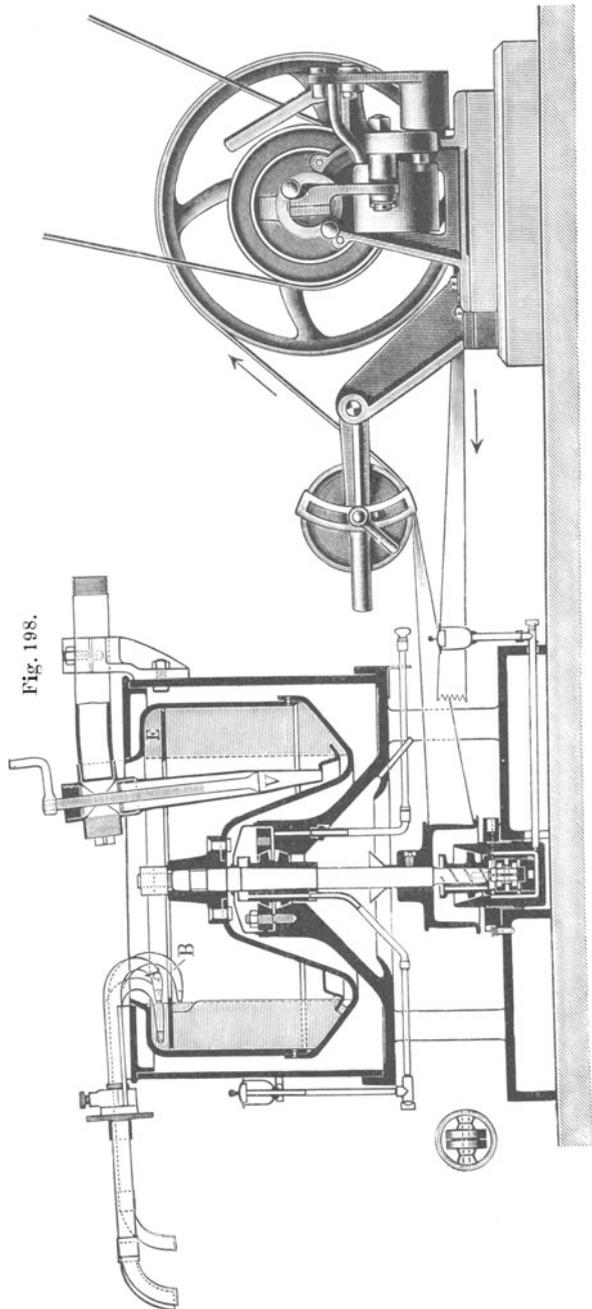
Der Teer hat bekanntlich ein höheres spezifisches Gewicht als das Ammoniakwasser. Das Verhältnis der beiden spezifischen Gewichte ist etwa  $1,2:1,0$ . Der Teer setzt sich also am Boden der Scheidegrube *A* ab, während das Ammoniakwasser obenauf schwimmt. Es ist nun in die Scheidegrube ein Rohr *a* eingeführt, welches bis auf den Boden derselben ragt. Fließt in die Scheidegrube beständig ein Gemisch von Teer- und Ammoniakwasser ein, so steigt in dem Rohre *a* nur Teer in die Höhe, da dieses Rohr ja nur in den

Teer eintaucht. Es muß aber berücksichtigt werden, daß in dem Rohre *a* die Flüssigkeit nicht so hoch in die Höhe steigt, wie das äußere Niveau in der Scheidegrube, weil eben das spezifische Gewicht des Ammoniakwassers geringer ist als das des Teeres und oberhalb der Trennungsfäche zwischen Teer und Ammoniak innerhalb des Rohres sich nur Teer befindet, während sich außerhalb des Rohres an dieser Stelle Ammoniakwasser befindet. Demzufolge muß der Überlauf aus dem Rohre *a*, der den Teer abführt, niedriger liegen als der Überlauf *b*, der das Ammoniakwasser in die Grube *C* leitet. Man gibt den beiden Rohren gewöhnlich eine Niveaudifferenz von etwa 100 mm. Der Stand der Flüssigkeit reguliert sich dann von selbst, indem sich die Grenze der beiden Flüssigkeiten entweder nach unten oder nach oben verschiebt. Das Rohr *a* muß vom Boden der Scheidegrube einigermaßen abstehen, weil sich hier im Laufe der Zeit Dickteer absetzt, und dieser würde das Ablaufrohr *a* verstopfen. Aus diesem Grunde ist auch mindestens alle zwei Jahre einmal eine Reinigung der Teergrube erforderlich.

Die Größe der Ammoniakwasser- und Teergruben ist derart zu bemessen, daß sie die maximale Monatsproduktion an Teer und Ammoniakwasser auf-

zunehmen vermögen. Dementsprechend ist die Ammoniakwassergrube etwa doppelt so groß auszuführen, wie die Teergrube.

Die gemauerten oder aus Beton hergestellten Teer- und Ammoniakgruben haben den Nachteil, daß sie schwierig dicht zu halten sind. Namentlich trifft dies bei verhältnismäßig großen Gruben zu. Man ist daher in neuerer Zeit dazu übergegangen, statt der gemauerten, tief liegenden Gruben schmiedeeiserne hochstehende Behälter anzuwenden. Solche werden am besten nach System Intze gebaut, indem die Behälter derart hoch gestellt werden, daß unter denselben noch ein genügender Raum, der als Vorratsmagazin dienen kann, freibleibt. Der Boden des Behälters wird dann als Kugelboden ausgebildet<sup>1)</sup>. Diese eisernen Behälter müssen oben geschlossen sein, weil der Sauerstoffgehalt der Luft im Vereine mit Ammoniaksalzen, welche in dem Ammoniakwasser enthalten sind, das Eisen stark angreifen. Aus dem gleichen Grunde verbindet man den oberen Raum des Behälters durch ein Rohr mit der Betriebsgasleitung, so daß sich oberhalb der Flüssigkeit nicht Luft, sondern stets Gas befindet. Das Gas tritt durch dieses Rohr nach Bedarf ein und aus, d. h. je nachdem ob Flüssigkeit aus dem Behälter



<sup>1)</sup> Peischer, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 105; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 119.

entnommen oder solche in diesen hineingepumpt wird. Dies bringt den weiteren Vorteil, daß der Behälter mit der Luft überhaupt nicht zu kommunizieren braucht und daher die unangenehmen Gerüche, welche Ammoniakwasser und Teer verbreiten, sich der Umgebung nicht mitteilen können.

Die Vorteile dieses Verfahrens sind vor allem absolute Dichtheit, die Zugänglichkeit an allen Stellen, um Reparaturen vornehmen zu können, die Billigkeit, die Möglichkeit, die Reservoirs so hoch zu stellen, daß sich das Ab-leeren aus denselben direkt in die Behälter der Waggons vollziehen kann, ferner die Möglichkeit, den noch nachträglich aus dem Ammoniakwasser abgeschiedenen Teer oder umgekehrt das aus dem Teer abgeschiedene Ammoniakwasser abtrennen zu können und schließlich nicht zum mindesten die Geruchlosigkeit der Umgebung.

Bei Anwendung solcher schmiedeeiserner Behälter legt man nur ganz kleine Teergruben an, die den Teer und das Ammoniakwasser zunächst aufnehmen, und von diesen aus versorgt man die Hochbehälter mittels Pumpen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Saugleitungen der Pumpen speziell beim Teer nur ganz kurze sein dürfen, weil zufolge der Zähflüssigkeit desselben eine Ansaugung auf eine längere Strecke nicht tunlich ist. Diese Saugleitungen müssen auch leicht zu reinigen und daher gut zugänglich sein.

Um eine vollständige Entwässerung des Teeres zu erzielen, verwendet man in letzter Zeit auch die sogenannten Teerschleudern. Eine solche ist in Fig. 198 dargestellt. Der Teer, welcher in die Zentrifuge tritt, muß vorher auf eine Temperatur von über  $30^{\circ}$  erwärmt werden, damit er die nötige Dünnflüssigkeit besitzt. Die Wirkung der Teerschleuder ist dieselbe, wie wir sie bei der Besprechung der Abscheidung des Teeres mit Zentrifugalkraft erörtert haben. Der schwerere Teer wird durch die Zentrifugalkraft an die Wand gedrückt und steigt dort in die Höhe, bis er die Scheidewand *E* überschreitet. An dieser Stelle befindet sich ein Ableitungsrohr *A*, welches den Teer fortleitet, während das Ammoniakwasser durch das Rohr *B* abgenommen wird. Auf diese Weise gelingt es, den Teer bis auf 2 bis 3 Proz. Wassergehalt zu entwässern.

### 32. Wäscher (Skrubber).

Die im rohen Zustande erzeugten Gase enthalten, namentlich wenn sie aus Steinkohlen erzeugt wurden, stets eine größere Menge von im Wasser löslichen Verunreinigungen. Hier kommt in erster Linie das Ammoniak in Betracht. Es ist dies eine Substanz mit hohem Verkaufswert, welche, wenn sie im Gase verbleibt, sowohl die Behälter und Gasmesser bei den Konsumenten schädigt als auch bei der Verbrennung durch Bildung von salpetriger Säure die Luft verunreinigt. In  $100\text{ m}^3$  rohem Steinkohlengase sind 500 bis 800 g Ammoniak enthalten. Andererseits bildet das Ammoniak, wenn es im verwertbaren Zustande gewonnen wird, ein wertvolles Nebenprodukt, und aus allen diesen Gründen muß man dafür sorgen, daß es möglichst vollständig aus dem Gase beseitigt und gewonnen wird.

Außer dem Ammoniak kommen beim Steinkohlengase als im Wasser lösliche verunreinigende Bestandteile noch in Betracht: Kohlensäure ( $\text{CO}_2$ ), Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ), Cyanwasserstoff (CNH). Diese drei Stoffe sind Säuren, während das Ammoniak eine Base ist. Sie bilden mit dem Ammoniak

zusammen Salze. Infolgedessen erscheinen in dem Waschwasser, welches zur Absorption dieser Gase dient, die verschiedenen Ammoniaksalze dieser Säuren, und zwar:

Ammoniumcarbonat . . . . .	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$
Saures Ammoniumcarbonat . . . . .	$\text{NH}_4\text{HCO}_3$
Schwefelammonium . . . . .	$(\text{NH}_4)_2\text{S}$
Ammoniumhydrosulphid . . . . .	$\text{NH}_4\cdot\text{HS}$
Ammoniumcyanid . . . . .	$\text{NH}_4\text{CN}$
Rhodanammonium . . . . .	$\text{NH}_4\text{CSN}$

Würden die Gase sich im Wasser lösen, ohne aufeinander chemisch einzuwirken, so würde sich jedes Gas seinem Partialdruck und seiner Lösungstension entsprechend im Wasser auflösen. Als Partialdruck bezeichnet man den Druck, welchen das betreffende Gas in dem Volumen, in dem es enthalten ist, ausüben würde, wenn es allein, d. h. ungemischt mit anderen Gasen vorhanden wäre. Wenn z. B. in einem Gase 2 Vol.-Proz.  $\text{CO}_2$  enthalten sind, so beträgt der Partialdruck der  $\text{CO}_2$  in diesem Gase bei einem Gesamtgasdruck von 760 mm Quecksilbersäule 2 Proz. von 760, d. i. 15,2 mm Quecksilbersäule. Als Lösungstension bezeichnet man hingegen den Druck, den die Lösung eines Gases in dem Lösungsmittel (z. B. Wasser) ausübt, wenn man diese Lösung in einen luftleeren Raum bringt, wobei der Druck des Wasserdampfes nicht mit eingerechnet ist. Diese Tension des in der Lösung enthaltenen Gases wächst mit zunehmender Konzentration der Lösung. Wird nun ein Gasgemisch mit irgend einem Lösungsmittel, z. B. Wasser, gewaschen, so wächst die Tension eines gelösten Gasbestandteiles in der Lösung in dem Maße, als sich dieser in dem Wasser auflöst, und dieses Anwachsen hält so lange an, bis die Tension des im Wasser gelösten Gasbestandteiles gleich dem Partialdrucke des betreffenden Gases in dem Gasgemenge ist. Es geht daraus ohne weiteres hervor, daß eine Flüssigkeit ein Gas aus einem Gasgemisch um so vollkommener aufzunehmen vermag, je weniger diese Flüssigkeit mit dem aufzunehmenden Gase gesättigt ist. So z. B. vermag reines Wasser Ammoniak aus dem Gase nahezu vollständig zu entfernen, wenn dafür gesorgt wird, daß das Gas wirklich immer mit reinem Wasser, d. h. mit solchem Wasser zusammengebracht wird, das noch kein Ammoniak aufgenommen hat. Bringt man dagegen umgekehrt ein ammoniakfreies Gas mit Wasser zusammen, welches bereits Ammoniak gelöst enthält, so tritt das umgekehrte ein, denn hier ist die Tension des Ammoniaks in der wässerigen Ammoniaklösung höher als die Tension des Ammoniaks im Gasgemisch, denn letztere ist ja in diesem Falle gleich Null. Es wird hier also so lange Ammoniak aus dem Wasser an das Gas abgegeben, bis der Partialdruck im Gase gleich der Tension der Ammoniaklösung ist.

Wenn man also ein Gas von einem löslichen Bestandteile vollständig reinigen will, so muß man dafür sorgen, daß das nahezu vollständig gereinigte Gas mit reinem Wasser zusammenkommt, während das rohe Gas mit dem zum Teil schon gesättigten Wasser in Berührung kommen kann, da das nahezu gesättigte Wasser aus dem unreinen Gas noch Stoffe aufzunehmen vermag. Hieraus ergibt sich also die Notwendigkeit, bei der Waschung des Gases das Gegenstromprinzip möglichst genau einzuhalten.

Verringert man die Tension des Gases in der Lösung durch irgend ein chemisches Mittel, indem man das Gas in der Lösung teilweise oder vollständig

chemisch bindet, so vermag nach obigem naturgemäß die Lösung eine unbeschränkte Menge so lange von dem Gase aufzunehmen, bis das Mittel erschöpft ist, welches man zur Absorption des Gases, d. h. zur chemischen Bindung verwendet hat.

Bilden sich also, wie oben erörtert, aus dem Ammoniak und den verschiedenen sauren Gasen (Kohlensäure, Schwefelwasserstoff und Cyanwasserstoff) Salze, so verringert sich die Tension der Kohlensäure, des Schwefelwasserstoffs und des Cyanwasserstoffs in der Lösung dadurch, daß diese Stoffe an Ammoniak gebunden werden, und demzufolge löst sich eine weit größere Menge von diesen Stoffen in dem ammoniakhaltigen Wasser auf.

Die Lösung ist aber auch hier keine vollkommene, denn diese Salze, die wir eben genannt haben, haben die Eigenschaft, sich leicht zu zersetzen, indem sie wieder freies Ammoniak, Kohlensäure und Schwefelwasserstoff bzw. Cyanwasserstoff liefern. Zufolge dieser Zersetzlichkeit haben auch diese Salze eine bestimmte Tension ihrer Lösung, d. h. es wird aus ihnen so viel Ammoniak bzw. Kohlensäure oder andere saure Gase frei, daß oberhalb der Flüssigkeit wieder ein bestimmter Partialdruck dieser Gase herrscht. Dieser Partialdruck ist aber viel geringer als der Partialdruck, welcher sich ergibt, wenn die obigen Gase mit reinem Wasser in Berührung sind. Aus dieser Überlegung ergibt sich, daß die genannten Gase um so vollkommener an das Ammoniakwasser gebunden werden, je geringer die Zersetzlichkeit ihrer Ammoniaksalze ist.

Da das Ammoniak zwar nahezu vollkommen durch reines Wasser ausgewaschen werden kann, aber dazu beträchtliche Mengen von Wasser erforderlich sind, so kann man auch bei der Ammoniakwäsche durch Verringerung der Ammoniak-tension in der Lösung bewirken, daß eine größere Menge Ammoniak durch eine geringe Menge von Flüssigkeit aufgenommen wird. Man muß eben auch das Ammoniak zu einem Salze binden, welches eine geringe Dampftension besitzt. Dies geschieht, wenn man dem Wasser Schwefelsäure zumischt; dann bindet sich das Ammoniak mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Ammoniak, dessen Zersetzungstension nahezu Null ist, und daher wird durch eine kleine Menge von Schwefelsäure eine große Menge von Ammoniak gebunden, so lange, bis alle Schwefelsäure in schwefelsaures Ammoniak verwandelt ist.

Dieses Verfahren wird in den Kokereien bereits vielfach angewendet, da in diesen große Mengen von Wasser notwendig wären, um die großen Mengen der dort abfallenden Gase von Ammoniak zu befreien bzw. das Ammoniak aus diesen zu gewinnen. Wir werden bei Besprechung des Koksofengases darauf zurückkommen (Kap. 52).

Man muß aber nicht unbedingt freie Schwefelsäure verwenden, um das Ammoniak zu binden. Man kann dasselbe auch durch ein schwefelsaures Salz binden, welches sich durch Ammoniak zersetzen läßt. Ein solches ist z. B. der schwefelsaure Kalk, auch „Gips“ genannt ( $\text{CaSO}_4$ ). Dieses Verfahren wurde neuerdings von Feld vorgeschlagen, worauf wir noch zu sprechen kommen werden.

Um eine möglichst vollständige Entfernung der verunreinigenden bzw. löslichen Gase durch das Waschmittel zu erzielen, ist es notwendig, das Gas in möglichst innige Berührung mit der Oberfläche der Flüssigkeit zu bringen. Die Aufnahme des Gases ist proportional der Zeit, während welcher das Gas

mit der Flüssigkeitsoberfläche in Berührung bleibt, wenn man annimmt, daß die Konzentration der Flüssigkeit und im Gase während dieser Zeit gleich bleibt. Um nun dem Gase möglichst große Oberflächen von Flüssigkeiten zu bieten, wendet man verschiedene Verfahren an, die wir im folgenden kennen lernen wollen. Bei allen diesen Verfahren soll immer das Gegenstromprinzip strenge eingehalten werden. Es ist daher oft zweckmäßig, nicht einen einzigen Absorptionsapparat, sondern zwei hintereinander geschaltete zu verwenden, davon den ersten mit reinem Wasser und den zweiten mit der Lösung zu beschicken, die aus dem ersten Wäscher gewonnen wurde.

Bei der Anwendung von Wasser ist darauf zu achten, daß man nicht Wasser mit zu hohem Kalkgehalt, also zu hartes Wasser verwendet. Dieses enthält bekanntlich Kalk an Kohlensäure und Schwefelsäure gebunden. Der kohlen-saure Kalk wird, da er als saurer kohlen-saurer Kalk vorhanden ist, zum Teil durch das Ammoniak zerlegt, indem sich neutraler kohlen-saurer Kalk bildet. Dieser ist aber in Wasser unlöslich und fällt daher als festes Produkt aus; auch der ausfallende schwefelsaure Kalk kann Verschmutzungen der Apparate, d. h. Inkrustationen hervorrufen, die oft unangenehm sind.

Zur Auswaschung des Ammoniaks aus dem Steinkohlengase werden pro 100 m<sup>3</sup> Gas 3 bis 5 Liter Wasser erfordert. Das Ammoniakwasser, welches bei dieser Reinigung gewonnen wird, besitzt zum Schluß eine Dichte von etwa 6 bis 8° Bé.

Die einfachsten Apparate, welche man zur Auswaschung des Gases mit Hilfe von Wasser benutzt, sind die sogenannten Skrubber. Es sind dies geräumige Zylinder aus Eisenblech, die oben und unten geschlossen sind und in welche man von oben das Waschwasser einfließen läßt, während unten ein geeigneter Ablauf, meist mit einem Siphonverschluß, vorhanden ist. Das Gas tritt dann im Gegenstrom unten ein und oben aus. Um das Gas eine gewisse Zeit lang mit dem Waschwasser in Berührung zu lassen, gibt man den Skrubbern einen solchen Raum, daß auf 100 m<sup>3</sup> Produktion in 24 Stunden 0,5 m<sup>3</sup> Rauminhalt entfallen. Das Gas bleibt 7 bis 8 Minuten lang in dem Skrubber mit dem Waschwasser in Berührung.

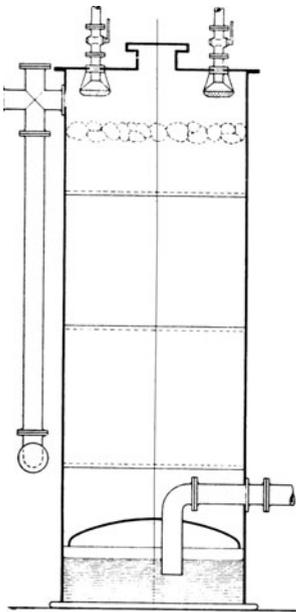
Hat das zu reinigende Gas bereits in der Vorlage einen Wasserabschluß passiert, so ist ein solcher in dem Skrubber nicht mehr notwendig. Dagegen wendet man einen Wasserabschluß am Boden des Skrubbers bei solchen Gaserzeugungsanlagen an, wo das Gas vorher keine Vorlage durchstrichen hat, wie z. B. beim Wassergas und beim Halbwassergas. Bei diesen taucht dann das Eingangsrohr, welches nach abwärts gewendet ist, wie dies Fig. 199 zeigt, in die am Boden des Skrubbers sich ansammelnde wässerige Lösung oder in das Waschwasser ein und das Gas tritt dort in Blasen aus.

Würde man das Wasser oben in den Skrubber in Form eines Strahles einfließen lassen, so würde sich dasselbe nach unten begeben, ohne genügend lange mit dem Gase in Berührung zu bleiben, und außerdem würde die Berührungsfläche zwischen Gas und Wasser eine sehr beschränkte sein. Man muß daher dem Skrubber ein Füllmaterial geben, das eine große Oberfläche darbietet, welche vom Wasser berieselt wird. Am einfachsten dient hierzu die Füllung des Skrubbers mit Koks. Es ist dabei zu beachten, daß nur harter Koks verwendet wird, und solcher in großen Stücken, damit durch die Verlegung des Querschnittes dem Gase nicht zu viel Widerstand entgegengesetzt wird. Verwendet man weichen, bröckligen Koks, so wird derselbe

durch die Last der auf ihn drückenden oberen Kokssäule zerdrückt und in kleine Stücke zerbröckelt. Läßt man dann große Wassermengen zufließen, so kann es vorkommen, daß das Wasser durch die kleinen Zwischenräume zwischen den Koksstücken nicht rasch genug durchfließen kann und daß das Wasser an einer Stelle des Skrubbers den ganzen Querschnitt zusammenhängend ausfüllt, so daß kein Gas mehr hindurchtreten kann. Die Anwendung von Koks hat den Vorteil, daß derselbe, wenn er durch Verschmutzung unrein geworden ist, einfach verfeuert werden kann und noch immer seinen Wert beibehält, so daß die Füllung eigentlich nichts kostet.

Viel vollkommener als die Koksfüllung wirkt jedoch die Füllung mit irgend welchen Einlagen, die besonders dazu hergerichtet sind, dem Gase sowie dem Wasser eine große Oberfläche darzubieten und dafür sorgen, daß das

Fig. 199.



Wasser gleichmäßig über die ganze Oberfläche des Wäschers verteilt wird. Man kann z. B. gelochte oder geschlitzte Bleche einbauen, die von oben mit Wasser berieselt werden, worüber v. Öchelhäuser im Jahre 1861 berichtete<sup>1)</sup>. Jedoch auch diese stellen kein sehr vollkommenes Füllmaterial für den Skrubber dar. Viel besser ist die Anwendung von Holzhornden. Man vereinigt eine große Anzahl von etwa 60 mm hohen und 10 mm breiten Holzlatten durch Zusammennageln derart zu einer Horde, die den ganzen Querschnitt des Skrubbers einnimmt, daß zwischen diesen einzelnen Latten bis zu 10 mm breite Schlitzte bleiben. Man legt diese einzelnen Horden aufeinander, indem man zwischen ihnen einen Zwischenraum von etwa 60 mm läßt, und kann infolgedessen in einem Skrubber, der einige Meter Höhe besitzt, eine sehr große Anzahl von solchen Horden hineinbringen und dem Gase daher eine sehr große Oberfläche zur Berührung mit Wasser darbieten. Man kann auf diese Weise pro 1 m<sup>2</sup> Grundfläche des Skrubbers etwa 10 m<sup>2</sup> berieselte Fläche erzielen. Zweckmäßig ist es, der unteren Kante jeder Latte zackenförmige Ausnehmungen zu geben. Bleibt nämlich diese untere Kante

gerade horizontal ausgebildet, so fließt das Wasser nicht über die ganze Breite der Latte gleichmäßig ab, sondern es sammelt sich an einem Punkte, der gerade der tiefstliegende ist, und fließt dort in einem Strahle nach abwärts. Es kann also auf diese Weise keine gleichmäßige Verteilung des auffließenden Wassers erzielt werden. Sind dagegen sogenannte Tropfnasen vorhanden, so tropft das Wasser an den einzelnen Zacken ab und kann sich nicht nach einer Richtung hin bewegen und an einer einzelnen Stelle der Latte abfließen.

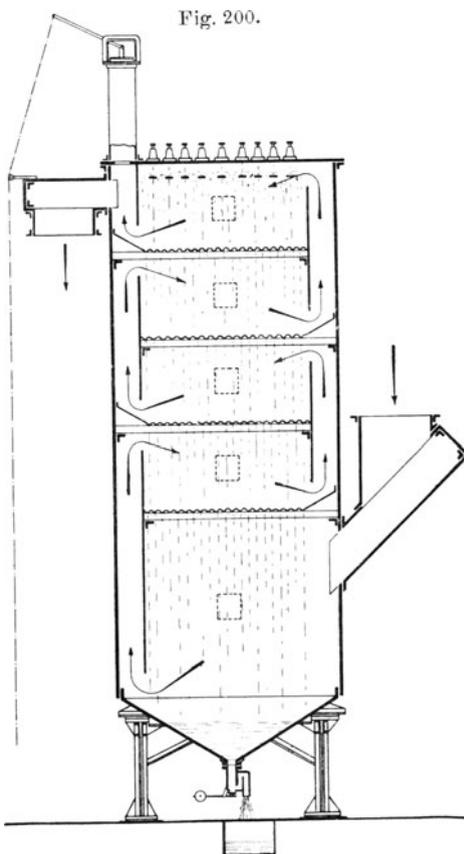
Bei dieser Art des Hordeneinbaues streicht das Gas parallel durch die einzelnen Latten hindurch und wird in seiner Richtung nicht geändert. Eine noch vollkommenere Absorption erzielt man jedoch, wenn das Gas senkrecht oder in einem spitzen Winkel gegen die mit Wasser benetzte Oberfläche auftritt. Es ist also zweckmäßig, den Gasstrahl zickzackförmig hin und her

<sup>1)</sup> Wolfram, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 299.

zu führen und die wasserbenetzte Fläche dem Gasstrahl bei jeder Zickzackwindung entgegenzustellen. Diesem Streben entspringt der Fleischhauersche Jalousiehordenskrubber. Bei diesem stehen die einzelnen Holzlatten nicht senkrecht, sondern geneigt zur Richtung des Gasstromes. Die einzelnen Horden werden rechtwinkelig gegeneinander gekreuzt gelegt, und die darüber befindliche hat die Neigung der einzelnen Latten in entgegengesetzter Richtung wie die darunter befindliche. Dadurch erfährt der Gasstrahl eine beständige Ablenkung und trifft im rechten Winkel gegen die benetzten Flächen. In neuerer Zeit ist auch Holzwolle vielfach als Füllmaterial für den Skrubber benutzt worden. Es ist zweifellos das billigste Material, saugt das aufgebrauchte Wasser sehr gut an, so daß alle Flächen befeuchtet sind, und bietet dem Gase eine außerordentlich große Oberfläche dar, wie sie mit Holzhordeinlagen gar nicht erreicht werden kann. Außerdem kann die Holzwolle, wenn sie verunreinigt ist, einfach weggeworfen oder verfeuert werden, während die Holzhorde gegen frische ersetzt werden müssen.

Einen einfachen Wäscher für kleine Gaswerke hat auch Brandt<sup>1)</sup> angegeben.

Borrmann berichtet über einen Gaswäscher, Patent Kubierschky, der in Fig. 200 dargestellt ist. Durch die Kühlung des Gases tritt eine Erhöhung des spezifischen Gewichtes ein. Das in einen Wäscher eintretende heiße Gas wird daher an der Eintrittsstelle rasch nach aufwärts steigen, wenn ihm keinerlei Widerstände in den Weg gelegt werden. Dadurch wird auch die Kühlfläche der gewöhnlichen Kühler ungünstig ausgenutzt. Der neue Wäscher ist daher durch Zwischenböden in einzelne Kammern geteilt und der Gasstrom geht in jeder Kammer im Gleichstrom mit der Flüssigkeit von oben nach unten. Die Böden der Kammern lassen wohl die Flüssigkeit hindurch, nicht aber das Gas. Ein Vorteil dieses Wäschers soll auch der sein, daß er vollständig widerstandslos arbeitet, weil das Gas keinerlei Flüssigkeitsverschlüsse und auch nicht den Widerstand des herabfallenden Wassers zu überwinden hat. Die Kühlung erfolgt nicht plötzlich, sondern stufenweise, wodurch die sonst eintretende Nebelbildung, die der Ausscheidung des Staubes hinderlich sein soll, vermieden wird.



<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1907, S. 1057.

Betreffs der Größe der Wäscher rechnet man für je  $100\text{ m}^3$  24 stündige Produktion 5 bis  $10\text{ m}^2$  berieselte Fläche je nach der Größe der betreffenden Apparate. Bei größeren Apparaten kann eine kleinere Fläche verwendet werden, während bei kleineren Apparaten eine verhältnismäßig größere Fläche pro Kubikmeter durchgegangenen Gases angewendet werden muß.

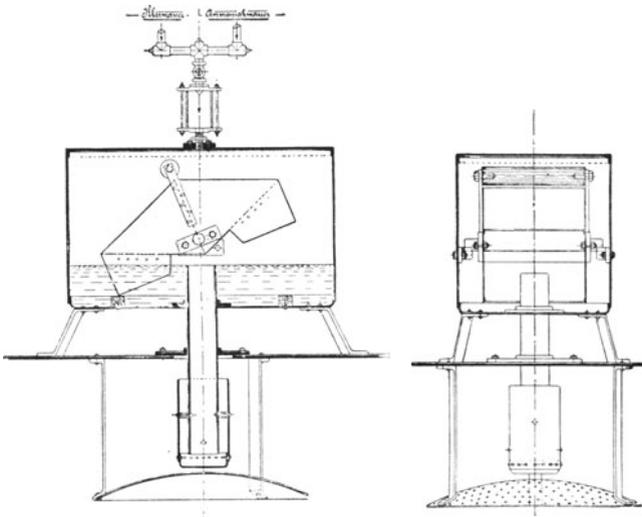
Auch die oberste Horde oder die oberste Schicht des Füllmaterials darf nicht von einem einfachen Wasserstrahl direkt getroffen werden, denn dann würde sich das Wasser von einem Punkte aus kegelförmig nach unten verbreiten, und die oberen Schichten würden nicht vollständig zur Reinigung des Gases herangezogen werden. Es ist also von besonderer Wichtigkeit, das Wasser derart aufzubringen, daß es schon die oberen Schichten möglichst gleichmäßig benetzt. Zu diesem Zwecke kann man das Wasser entweder durch eine Brause oder durch ein ringförmig gebogenes Rohr, welches eine Anzahl von schrägstehenden Löchern besitzt, einrieseln lassen. Es muß aber dann zwischen dieser Wasserzuführungsvorrichtung und der obersten Schicht des Füllmaterials genug Platz vorhanden sein, damit sich die einzelnen Wasserstrahlen über die ganze Breite des Skrubbers ausbreiten können. Diese Art der Wasserzufuhr hat den Nachteil, daß sich die Löcher in den Brausen bzw. in den Röhren schnell verstopfen, namentlich wenn es sich um teerhaltige Gase handelt, so daß dann das Wasser nicht mehr durch alle Öffnungen ausfließen kann.

Zschokke hat deshalb eine sehr zweckmäßig wirkende Vorrichtung zur Verteilung des Wassers konstruiert. Ein von 1 bis  $1\frac{1}{2}$  m Höhe herabfallender Tropfen zerstäubt, wenn er auf eine Platte fällt. Die dabei gebildeten kleinen Tröpfchen fliegen nach allen Seiten umher, so daß sie eine daruntergestellte Fläche in einem Kreise gleichmäßig befeuchten. Natürlich darf die Platte, auf welche der Tropfen auffällt, nicht sehr groß sein, damit sie nicht die Tröpfchen wieder auffängt. Am besten verwendet man eine etwa 50 mm im Durchmesser messende, etwas konvex nach oben gebogene runde Platte. Die Tropfen fallen durch ein auf den Deckel des Skrubbers aufgesetztes Rohr, welches oben einen Glasansatz trägt, so daß man die Tropfen innerhalb desselben beobachten kann. Ein Regulierhahn ermöglicht die Einstellung einer bestimmten Tropfenzahl pro Sekunde. Eine solche Tropfvorrichtung vermag nur einen Kreis von etwa  $\frac{1}{2}$  m Durchmesser zu befeuchten. Es muß daher eine größere Anzahl von Tropfvorrichtungen angewendet werden, wenn es sich um größere Querschnittflächen des Skrubbers handelt. Pro Quadratmeter Querschnittfläche rechnet man vier bis fünf Tropfvorrichtungen.

Eine andere Vorrichtung zur Zerstäubung des Wassers wendet Burge-meister an. Dieser läßt die Tröpfchen sich an Ringen ansammeln, von denen sie nach unten abtropfen. Diese Ringe sind in der Achse des Skrubbers angeordnet, und die Tropfen fallen von einem Ring auf den anderen, wo sie zerstäuben und nach allen Seiten im Skrubber herumspritzen, der kein weiteres Einlagematerial besitzt. Die sich an jedem Ringe wieder ansammelnde Wassermenge tropft weiter nach abwärts auf den nächsten Ring, der sich etwa 1 bis  $1\frac{1}{2}$  m tiefer befindet, und so fort, bis das ganze Wasser am Boden des Skrubbers angelangt ist. Dabei sind hauptsächlich die von jedem Ringe nach allen Seiten herumspritzenden kleinen Tröpfchen wirksam. Sie bieten dem Gase eine außerordentlich große Oberfläche dar, nur besteht ein Nachteil darin, daß sie zu rasch zu Boden fallen. Ein Vorteil liegt dagegen darin, daß ein solcher Wäscher dem Gasstrom nahezu keinerlei Widerstand entgegengesetzt.

Will man bei der Wäsche des Gases möglichst konzentrierte Lösungen erhalten, was immer dann der Fall ist, wenn man die betreffende gelöste Substanz als Nebenprodukt gewinnen will, wie z. B. das Ammoniak bei der Steinkohlengaserzeugung, so muß man dafür sorgen, daß eine möglichst geringe Wassermenge angewendet wird. Man hat also den Wert einer Berieselungsvorrichtung danach zu bemessen, daß dieselbe mit möglichst wenig Wasser eine möglichst große Fläche zu berieseln gestattet. Wir haben in obigem eine Anzahl solcher Vorrichtungen kennen gelernt. Ein anderes Verfahren jedoch, welches denselben Wert besitzt, ist, das Wasser nicht in einem gleichmäßigen Strome auffließen zu lassen, sondern mittels besonderer Vorrichtungen sturzweise größere Wassermengen auffließen zu lassen und dann den Wasserzuluß wieder längere Zeit auszusetzen. Man erreicht dadurch

Fig. 201.



eine gleichmäßige Verteilung über die ganze Fläche, ohne deshalb zu viel Wasser zu benötigen. Die beiden wichtigsten Apparate, die dies ermöglichen, sind die Kippvorrichtung und der Heber.

Die Kippvorrichtung besteht, wie Fig. 201 zeigt, aus einem durch eine Scheidewand in zwei Teile geteilten Gefäß, welches auf einer Achse lagert, die unterhalb des Schwerpunktes des ganzen Systems liegt. Das zweiteilige Gefäß ist daher im labilen Gleichgewicht und vermag nur nach der einen oder der anderen Seite umzukippen, ohne sich in der Mitte halten zu können. Läßt man nun von oben aus einen Wasserstrahl in das Gefäß einfließen, so füllt sich zunächst die eine Seite des Gefäßes vollständig an, und das Gefäß bekommt auf dieser Seite das Übergewicht und kippt um. In diesem Moment entleert sich die ganze Flüssigkeit aus dieser Abteilung, und der Wasserstrahl fließt gleichzeitig in die andere Seite des Kippgefäßes, bis dieses wieder gefüllt ist und wieder zum Umkippen gelangt. Es fließen also stoßweise größere Wassermengen aus. Um diese in den Skrubber zu leiten, müssen sie durch einen Siphon hindurchgehen, weil man dafür sorgen muß, daß nicht zugleich Gas aus dem Skrubber austreten kann. Dieser Siphonverschluß wird gewöhnlich

durch zwei konzentrisch ineinandergesetzte Rohre gebildet, wie dies die Zeichnung zeigt. Unterhalb des Einlaufes in den Wäscher befindet sich dann noch ein Verteiler in Form eines Kegels oder dergleichen, damit der herabfließende Wasserstrahl auf alle Teile des Querschnittes des Wäschers verteilt wird.

Die Hebevorrichtung wirkt in der Weise, daß sich ein Gefäß allmählich durch das einfließende Wasser füllt, so lange, bis das Wasserniveau die Überlaufhöhe des Hebers erreicht hat. Füllt sich dann der Heber mit Wasser, so fließt das ganze Wasser auf einmal aus, bis das Gefäß gänzlich entleert ist. Hiernach füllt sich das Gefäß von neuem und man erhält also auch hier einen periodisch zufließenden Wasserstrahl, der wieder durch eine geeignete Vorrichtung über die ganze Breite des Skrubbers verteilt wird.

Für kleine Werke ist es zweckmäßig, Kühler zu verwenden nach Art der Reutterschen Konstruktion (S. 414), welche horizontale Rohre haben, über die Wasser herunterrieselt. Diese Kühler dienen dann gleichzeitig als Wäscher, da das herunterrieselnde Wasser mit dem Gase in Berührung steht<sup>1)</sup>. Ein anderer Wäscher ist der von Klönne angegebene, bei welchem das Gas eine Anzahl von Kolonnen zu passieren hat. Jede Kolonne gibt 25 mm Druckverlust. Dieser Kühler ist daher nur für solche Gaswerke geeignet, welche einen Exhaustor anwenden.

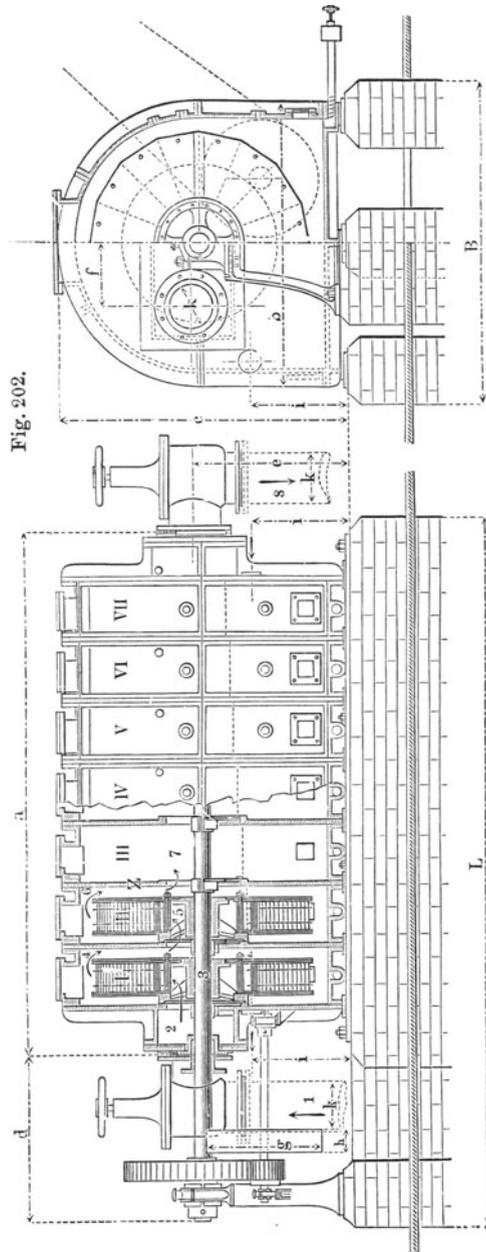
Bei allen bisher angegebenen Wäschern rieselt die Flüssigkeit auf die feststehenden Flächen der Einlagen. Eine andere Art von Wäschern geht vom umgekehrten Prinzip aus. Es werden bei diesen die zu benetzenden Flächen in die in einem Behälter befindliche Flüssigkeit eingetaucht und wieder herausgezogen, wonach der Gasstrom über diese Flächen streicht. Das erste Beispiel dieser Art gab Ledig in seinem Etagenwäscher. Bei diesem befindet sich in einer Anzahl von Etagen, die übereinander angeordnet sind, Flüssigkeit, welche in die oberste Etage einfließt und von dieser durch ein Rohr in die nächst untere und so weiter allmählich bis in die unterste gelangt. Die Flüssigkeit tritt in jeder Etage im untersten Teile ein und durch einen Überlauf im oberen Teile aus, so daß das Wasser jede Etage von unten nach oben passiert. In diese einzelnen Flüssigkeitsräume tauchen nun größere Bündel von eng nebeneinander gehängten Platten ein, die von der Flüssigkeit benetzt werden. Sie werden durch eine maschinelle Vorrichtung wieder aus der Flüssigkeit herausgezogen, und nun streicht das Gas an ihnen vorbei. Darauf werden die Platten wieder in die Flüssigkeit eingetaucht, wieder herausgezogen usw., so daß sie stets feucht erhalten werden und daß das sich an ihnen ansetzende Ammoniakwasser und die Ammoniumsalze immer wieder von der Flüssigkeit abgespült werden. Das Gegenstromprinzip ist bei diesen Wäschern insofern eingehalten, als das unreine Gas von unten in die Etagen eintritt, wo sich das bereits ausgenutzte Ammoniakwasser befindet, während in der obersten Etage das schon nahezu ganz gereinigte Gas mit Wasser in Berührung kommt. Die Benetzung der Flächen ist hier eine vollkommene und jedenfalls vollkommener als bei den früher erwähnten Wäschern; dagegen ist zum Betriebe derselben eine maschinelle Antriebskraft erforderlich, was bei den früher genannten Wäschern nicht der Fall war.

Auf ähnlichem Prinzip beruhen die rotierenden Wäscher. Bei diesen sind es nicht hin und her gehende Flächen, die abwechselnd in die Flüssigkeit ein-

<sup>1)</sup> Steuernagel, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 625.

tauchen und wieder herausgezogen werden, sondern die Eintauchkörper sind an einer Scheibe befestigt, welche sich in einem horizontal liegenden zylindrischen Gefäß, dessen untere Hälfte die Flüssigkeit enthält, im Kreise herumdreht. An der horizontalen rotierenden Achse sind mehrere solcher Scheiben angebracht, und zwischen diesen befinden sich Scheidewände, wodurch eine Anzahl von Kammern gebildet wird, die den Etagen beim Ledigschen Etagenwäscher entsprechen. Bei rotierenden Wäschern muß dafür gesorgt werden, daß die einzelnen Kammern und die Eintauchkörper leicht gereinigt werden können.

Der erste Wäscher dieser Art, welcher allgemeinen Eingang in größere Gaswerke fand, ist der sogenannte Standardwäscher (Fig. 202). Der horizontal liegende Zylinder dieses Wäschers besteht aus den Kammern I bis VII, die aus gußeisernen Elementen zusammengesetzt sind. In der Achse des Zylinders befindet sich eine Welle, welche durch ein Zahnradgetriebe angetrieben wird. An dieser sitzt eine Anzahl von Scheiben, welche an der einen Seite dicht an die Wand der Kammer anschließen, so daß dort kein Gas hindurchtreten kann. Das Gas tritt aus einem Rohre in der Richtung der Pfeile 1—1 zunächst in eine Vorkammer 2 und dann in die Kammer I. Hier findet es keinen anderen Weg als durch das Füllmaterial, welches sich an der Scheibe befindet und in der Zeichnung schraffiert angedeutet ist. Da die Welle in rotierender Bewegung ist, so werden die einzelnen Bündel des Füllmaterials stets in die im unteren Teile des Zylinders befindliche Flüssigkeit eingetaucht und dann, wenn die Welle



werden die einzelnen Bündel des Füllmaterials stets in die im unteren Teile des Zylinders befindliche Flüssigkeit eingetaucht und dann, wenn die Welle

weiter rotiert, wieder nach oben bewegt, wo sie in den Gasraum gelangen. Das Gas gibt somit einen Teil seiner absorbierbaren Bestandteile an die Flüssigkeit, die an dem Füllmaterial haftet, ab und gelangt dann in der Richtung des Pfeiles 4 wieder an der Wand der Kammer entlang zurück, bis in die Nähe der Welle. Dann tritt es durch eine Öffnung in der Scheidewand in die nächste Kammer II, wo es wieder denselben Weg wählt und so allmählich alle Kammern der Reihe nach passiert, indem es in jeder Kammer das Füllmaterial, welches sich an der Scheibe befindet und durch die Flüssigkeit befeuchtet ist, passiert. Schließlich verläßt das Gas den Reiniger nach Passierung eines Ventils in der Richtung des Pfeiles 8 nach abwärts. Die Flüssigkeit (Wasser) nimmt auch hier den umgekehrten Weg wie das Gas, um das Gegenstromprinzip aufrecht zu erhalten. Sie tritt auf der Zeichnung rechts ein, gelangt zunächst in die Kammer VII, dann VI usw. bis in die Kammer I, wo sie durch einen Überlauf austritt. Der Spiegel der Flüssigkeit in den einzelnen Kammern steht nicht überall gleich hoch. Es findet ja der Gasstrom in jeder Kammer zufolge der Notwendigkeit, das Füllmaterial zu passieren, einen bestimmten Widerstand. Deshalb steht der Flüssigkeitsspiegel in der Kammer I wesentlich tiefer als in der Kammer VII und dementsprechend müssen auch die Überläufe eingerichtet sein.

Der Standardwäscher vereinigt also die Vorzüge des Ledigschen Etagenwäschers, indem er das Füllmaterial durch gänzlichies Eintauchen in die Flüssigkeit immer vollständig wieder abwäscht und neu mit Wasser befeuchtet, mit der Einfachheit der rotierenden Bewegung, die leichter durchgeführt werden kann, als die auf und ab gehende Bewegung des Ledigschen Etagenwäschers. Das Füllmaterial besteht beim Standardwäscher aus einzelnen Bündeln aus Holzstäben, die so zusammengebunden sind, daß sie das Gas durchlassen, aber demselben eine möglichst große Fläche darbieten.

Beim Betriebe der Standardwäscher ist es wichtig, nicht zu sehr kalkhaltiges Wasser zu verwenden, da dieses, wie schon erwähnt, kohlen sauren Kalk absetzt und dieser Ansatz die Pakete gasundurchlässig macht. Besonders am Holz setzt sich der Kalk leicht ab. Weniger leicht findet eine Verschmutzung von gelochten Blechplatten durch Kalk statt, weshalb auch solche verwendet werden<sup>1)</sup>.

An den einzelnen Kammern sind zweckmäßig Probehähne und auch Ablaufhähne für die Flüssigkeit anzubringen, so daß sowohl die Flüssigkeit wie das Gas an jeder einzelnen Kammer untersucht werden kann. Ähnlich wie der Standardwäscher ist der Bürstenwäscher, System Holmes, eingerichtet<sup>2)</sup>. Bei diesem befinden sich an den Scheiben anstatt der Holzpakete Bürsten, die ebenfalls in die Flüssigkeit eintauchen und wieder herausgezogen werden und so dem Gase die denkbar größte Oberfläche darbieten. Diese Wäscher werden auch in vertikaler Anordnung mit einer vertikalen rotierenden Welle ausgeführt.

Zschokke verwendet beim rotierenden Wäscher an Stelle der oben genannten Einlagen Gefäße, die mit Kugeln gefüllt sind. Diese sind nicht befestigt, sondern liegen lose aneinander und reiben sich, wenn die Welle rotiert, beständig aneinander, so daß der Schmutz, welcher sich an den Kugeln absetzen

---

<sup>1)</sup> Geyer, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 1108. — <sup>2)</sup> Fabriziert von der Cölnischen Maschinenbau-Aktiengesellschaft.

kann, abgerieben wird. Bei diesem ist also eine gründliche Reinigung lange nicht so oft erforderlich, wie bei den oben genannten Wäschern mit anderem Einlagematerial. Immerhin muß bei allen diesen rotierenden Wäschern jede Kammer einzeln bequem zugänglich sein, so daß die Reinigung gut erfolgen kann, damit sich keine Verstopfungen bilden.

Die Umdrehungszahl soll je nach der Leistung des Wäschers 2 bis 7 pro Minute betragen. Erwärmungen des Wäschers sind zu vermeiden, weil sich dadurch leichter kohlenaurer Kalk abscheiden würde<sup>1)</sup>. Um diese Abscheidungen gänzlich zu vermeiden, kann man Kondenswasser anstatt gewöhnlichen Brunnenwassers verwenden<sup>2)</sup>. Im Falle sich kohlenaurer Kalk angesetzt hat, empfiehlt Blum die Reinigung mit verdünnter Salzsäure.

Ein wesentlich anderes Waschverfahren ist das von Feld angegebene<sup>3)</sup>. Beim Feldschen Reinigungsverfahren befindet sich eine Anzahl von rotierenden Trichtern an einer Welle übereinander angeordnet. Jeder Trichter taucht in die Flüssigkeit ein, und zufolge der Rotation wird die Flüssigkeit nach oben und auswärts geschleudert, während der Gasstrom den Wäscher von unten nach oben passiert und von der Flüssigkeit bzw. den Flüssigkeitströpfchen durchdrungen wird. Dieses Verfahren ist bisher nur versuchsweise zur Anwendung gelangt, und zwar speziell für die Auswaschung von Ammoniak mit Hilfe einer Aufschlammung von Gips (vgl. S. 426).

### 33. Naphtalinwäsche.

Naphtalin entsteht, wenn man Kohlenwasserstoffe auf höhere Temperaturen erhitzt. Deshalb tritt es bei der Entgasung von Kohle in beträchtlichen Mengen auf, wenn das Gas über hoch erhitzte Flächen geleitet wird, wie wir dies bereits in dem Kapitel „über Entgasung der Kohle“ (S. 306 bis 318) besprochen haben. Das bei gewöhnlicher Temperatur feste Naphtalin bildet große, blätterige Kristalle vom Schmelzpunkt 79° und vom Siedepunkt 218°. Zuzolge dieses hohen Siedepunktes ist die Dampftension des Naphtalins bei gewöhnlicher Temperatur eine sehr geringe. Dementsprechend ist auch im Gase bei gewöhnlicher Temperatur eine geringe Menge von Naphtalin enthalten, während sich eine größere Menge gelegentlich der Abscheidung des Teeres mitkondensiert und aufgelöst im Teer vorhanden ist. Im Teer findet sich 20 mal so viel Naphtalin wie im gleichzeitig gebildeten Gase. Trotz der geringen Menge ist das Naphtalin eine sehr lästige Unreinigkeit im Gase, weil es bei Abkühlung des Gases in Form großer, blätteriger, schneeartiger, sich zusammenballender Kristalle zur Abscheidung gelangt, und diese kristallinen Abscheidungen sind so voluminös, daß sie die Rohrleitungen, seien es Betriebsrohrleitungen oder die Rohrleitungen in den Straßen, verstopfen. Dazu kommt noch, daß das Naphtalin außerordentlich leicht sublimiert. Werden nämlich die Naphtalinkristalle auch nur gering erwärmt, so verdunsten sie und scheiden sich an kälteren Stellen der betreffenden Apparate oder Rohrleitungen wieder in fein verteilter Form ab. Daher kommt es, daß die Naphtalinabscheidung in Rohrnetzen, welche nicht überall dieselbe Temperatur haben, von Ort zu Ort wandert und die Verstopfungen somit oft an Stellen auftreten, wo man sie nicht von vornherein vermuten kann.

<sup>1)</sup> Geipert, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 837. — <sup>2)</sup> Blum, ebend. — <sup>3)</sup> Kobbert, ebend. 1907, S. 781.

Wäre das Naphtalin in einer Menge im Gase enthalten, welche seiner Dampfspannung entspricht, so könnte man aus der jeweiligen Temperatur des Gases ohne weiteres auf dessen Naphtalingehalt schließen, wenn man die Tabelle auf S. 318 betrachtet. Die Dampfspannung des Naphtalins wird jedoch verändert, wenn bei der Abscheidung desselben gleichzeitig Teer vorhanden ist. Denn der Teer löst so viel Naphtalin auf, bis die Tension des Naphtalindampfes aus der Teerlösung gleich groß ist wie der Partialdruck des Naphtalindampfes im Gase. Über die Bestimmung des Naphtalingehaltes im Gase haben wir bereits auf S. 269 ausführlich gesprochen.

Die Ausscheidung des Naphtalins aus dem Gase erfolgt am zweckmäßigsten durch entsprechende Kühlung des Gases. Wir haben schon wiederholt gehört, daß Teer Naphtalin löst, und wenn somit die Teertröpfchen bei der Kondensation des Gases sich ausscheiden, so nehmen diese auch gleichzeitig Naphtalin auf. Es ist eine Anzahl von Stoffen im Teer enthalten, welche lösend auf das Naphtalin wirken, so z. B. Benzol, Toluol, Xylol<sup>1)</sup>, Cumol usw. Auch die Abkömmlinge des Phenols lösen Naphtalin auf. Elery<sup>1)</sup> hat das Lösungsvermögen verschiedener Stoffe in bezug auf Naphtalin festgestellt. Es löst:

Kreosotöl. . . . .	3,1 Proz.
Gasöl . . . . .	5,8 „
Teeröl . . . . .	9,74 „
Ölgasteer. . . . .	23,5 „
Benzol . . . . .	24,9 „

Das Lösungsvermögen des Teers ist ein sehr verschiedenes, je nachdem an welcher Stelle der Teer bei der Kondensation des Rohgases gewonnen wird. Natürlich scheiden sich aus diesem zunächst die schwer flüchtigen und dann erst die leichter flüchtigen Produkte ab. Die schwerer flüchtigen Produkte, so z. B. der Vorlagenteer, enthalten bereits mehr Naphtalin aufgelöst, können infolgedessen wenig Naphtalin auflösen. Der Vorlagenteer ist daher ein schlechteres Lösungsmittel für Naphtalin als wie der Teer, welcher sich z. B. aus den Klönneschen Raumkühlern oder an anderen entfernter gelegenen Stellen der Betriebsrohrleitung aus dem Gase abscheidet.

Wie schon unter dem Kapitel „Kühler“ erwähnt (S. 410), ist die langsame Kühlung des Gases stets von Vorteil für die Naphtalinausscheidung. Ob dabei die Kondensation stattfinden soll, während das Gas noch warm ist, oder ob man gleichzeitig eine möglichst kräftige Kühlung des Gases einleiten soll, ist derzeit noch nicht einwandfrei festgestellt. Ein Teil der Fachmänner befürwortet die warme Kondensation<sup>2)</sup>, weil warmer Teer mehr Naphtalin aufzulösen vermag als kalter Teer. Außerdem scheidet sich bei rascher Abkühlung des Gases das Naphtalin in Form eines im Gase suspendierten feinen Pulvers aus, und staubförmige Substanzen werden bekanntlich aus Gasen von Lösungsmitteln nicht so leicht aufgenommen wie gasförmige Stoffe<sup>3)</sup>. Aber andererseits ist auch zu berücksichtigen, daß die warme Lösung des Naphtalins im Teer eine höhere Dampftension hat<sup>4)</sup>. Wenn aber auch die Mei-

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 583; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1055; Journ. of Gaslighting 1910, vom 15. März. — <sup>2)</sup> Diese ist in Bremen schon im Jahre 1884 von Salzenberg eingeführt worden und noch heute im Gebrauch. (Wolffram, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 299.) — <sup>3)</sup> K. Bunte, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1105. — <sup>4)</sup> Rutten, Het Gas 1908, S. 18; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 694 u. 88; vgl. ferner Pannertz, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 912.

nungen über die warme Kondensation noch geteilt sind, so ist es doch zweifellos, daß die langsame Kondensation für die Entfernung des Naphthalins von Vorteil ist, weil dadurch das Rohgas längere Zeit mit den abgeschiedenen Teertröpfchen in Berührung bleibt. Deshalb stellte die Einführung des Klönneschen Raumkühlers einen wesentlichen Fortschritt in der Naphthalinbeseitigung dar. Letzterer besteht, wie wir schon unter dem Kapitel „Kühler“ (S. 410) kennen gelernt haben, aus einem 30 m hohen Turm von 3 m Durchmesser, in welchem sich das Gas lange Zeit aufhält, so daß die dort sich abscheidenden Teertröpfchen nach den Angaben Ruttens<sup>1)</sup> je nach Umständen 64 bis 20 Proz. des im Gase enthaltenen Naphthalins aufnehmen. Klönne empfiehlt betreffs der Anordnung der Apparate, daß nach dem das Naphthalin abscheidenden Raumkühler sofort der Teerscheider angeordnet wird, und zwar vor den Wasserkühlern, damit der Teerscheider dünnen Teer erhält, der leicht von den Teerscheiderglocken (vgl. S. 417) abfließt. Nach diesem Vorschlage ist die Anordnung der Apparate folgende: Vorlage, Raumkühler, Sauger, Teerscheider, Wäscher.

Wir haben oben bereits erfahren, daß eine ganze Reihe verschiedener Substanzen auf Naphthalin lösend wirken. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, das Naphthalin mittels irgend einer Waschflüssigkeit aus dem Gase auszuwaschen. Es ist jedoch zu beachten, daß die meisten Öle, welche Naphthalin lösen, auch Benzol aufzunehmen vermögen, daß daher die Leuchtkraft des Gases wesentlich sinkt, wenn man ein solches Gas mit dem betreffenden Öl wäscht. So z. B. fand Bayer<sup>2)</sup> bei Verwendung eines leichten Teeröles nachstehende Zusammensetzung vor und nach der Verwendung zur Naphthalinwäsche, wobei auf 10 000 m<sup>3</sup> Gas 60 kg Öl verwendet wurden:

Bestandteil	Gewichtsprozente	
	vorher	nachher
Benzol . . . . .	0,4	14,9
Wasser . . . . .	0,0	5,2
Leichtöle . . . . .	67,6	2,7
Mittelöle . . . . .	25,0	15,4
Naphthalin . . . . .	3,9	19,1
Schweröle . . . . .	3,1	42,7
Summe . . . . .	100,0	100,0

Es wurde also aus dem Gase außer Naphthalin auch Benzol absorbiert, dagegen wurden an das Gas Leicht- und Mittelöle abgegeben. Will man die Aufnahme von Benzol vermeiden, so muß man das betreffende Öl von vornherein mit so viel Benzol versetzen, daß die Tension des Benzoldampfes aus der Lösung gleich dem Partialdruck ist, welchen der Benzoldampf im Gase besitzt. Auf Grund dieser schon von H. Bunte und von Young angegebenen Ideen hat Bueb einen Naphthalinwäscher konstruiert. Bueb wäscht das Rohgas mit Teerölen, das sind Öle, welche durch fraktionierte Destillation des Teers gewonnen werden. Besonders kommt hier das Anthracenöl in Betracht. Dieses stellt die über 270° siedende Fraktion des Teers dar. Da der

<sup>1)</sup> Siehe oben. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 496.

Siedepunkt des Naphtalins bei 218° gelegen ist, so kann man bei einem solchen Öl sicher sein, daß hierin kein Naphtalin mehr enthalten ist. Und dies ist ja natürlich maßgeblich, wenn es sich darum handelt, daß das Öl möglichst viel Naphtalin aufnehmen soll. Wie schon erwähnt, wird diesem Anthracenöl ein Zusatz von Benzol gemacht, um zu verhindern, daß dasselbe Benzol aus dem Leuchtgase aufnimmt. Übrigens ist der Verlust an Leuchtkraft, den das Gas durch die Absorption des Benzoldampfes erfährt, ein sehr geringer<sup>1)</sup>. Auf alle Fälle aber darf das Anthracenöl nur wenig Naphtalin enthalten. Ein gutes Öl darf bis zu 120° nur 3 bis 4 Proz. Destillate ergeben. Von 120 bis 200° sollen höchstens 3 Proz. und von 200 bis 270° höchstens 4 bis 8 Proz. überdestillieren<sup>2)</sup>. Die Fraktion des Öles, welches zwischen 200 bis 270° übergeht, ist die schädlichste, weil diese eben den Anteil des Öles darstellt, der am meisten Naphtalin enthält<sup>3)</sup>. Diese Fraktion soll außerdem bei halbstündigem Stehen bei -5° C keinen festen Absatz geben. Ein solcher würde darauf hinweisen, daß diese Fraktion hauptsächlich aus Naphtalin besteht.

100 g eines guten Waschöles lösen 25 g Naphtalin auf. Hierbei ist noch keine vollkommene Sättigung mit Naphtalin erreicht, denn es können bis zu 40 g aufgenommen werden. Praktisch aber werden aus dem Gase nicht mehr als 25 g gelöst. Ein Phenolgehalt des Öles wirkt eher günstig als schädlich.

Pannertz<sup>4)</sup> empfiehlt, zur Prüfung eines Öles 30 bis 40 Liter Gas pro Stunde durch einen mit Naphtalin lose gefüllten Zylinder gehen zu lassen und das mit Naphtalin gesättigte Gas durch etwa 20 cm<sup>3</sup> des zu prüfenden Öles zu leiten und den Naphtalingehalt, welcher im Gase verbleibt, in Pikrinsäure auf bekannte Weise aufzufangen und zu bestimmen. Es sollen dann bei 18° nicht mehr als 2 g Naphtalin in 100 m<sup>3</sup> Gas verbleiben.

Leichtere Waschöle sind den schweren vorzuziehen, weil letztere sich leicht mit Wasser bedecken, was die Berührung mit dem Gase verhindert<sup>5)</sup>.

Paraffinöl ist nicht gut zur Naphtalinwäsche zu gebrauchen, dagegen hat sich Wassergasteer vorzüglich für die Naphtalinwäsche geeignet erwiesen. Man hat ja schon früher bei der Errichtung von Wassergasanlagen, die ölcariuriertes Wassergas abgaben, bemerkt, daß die Naphtalinabsätze in den Rohrnetzen allmählich verschwanden. Dies kann wohl zum Teil daher rühren, daß das Wassergas verdünnend auf das Gas einwirkt und daher etwas Naphtalin mit aufnimmt, aber eine viel wesentlichere Wirkung hat zweifellos die geringe Teermenge, die im Wassergase enthalten ist, und die sehr stark lösend auf das Naphtalin einwirkt. Ellery<sup>6)</sup> hat nun praktisch nachgewiesen, daß sich mit Wassergasteer das Naphtalin sehr gut aus dem Gase auswaschen läßt. Die Ursache, warum Wassergasteer ein so vorzügliches Lösungsmittel für Naphtalin darstellt, liegt darin, daß das Wassergas bei verhältnismäßig geringer Temperatur von etwa 700 bis 750° caruriert wird und bei dieser Temperatur keine Bildung von Naphtalin eintritt. Man hat hier also ölige Substanzen, welche Naphtalin lösen und selbst kein Naphtalin enthalten, und diese sind eben zur Verwendung als Waschmittel für Naphtalin sehr zweckmäßig.

Bei Besprechung der Vertikalöfen (S. 354) haben wir gehört, daß auch der Vertikalofen einen Teer liefern soll, welcher zufolge der geringen Über-

<sup>1)</sup> Barth, Journ. f. Gasbel. 1906, S. 496. — <sup>2)</sup> Pannertz, ebend. 1907, S. 569. — <sup>3)</sup> Ebend. 1908, S. 48. — <sup>4)</sup> Ebend. 1911, S. 912. — <sup>5)</sup> Ebend. 1911, S. 496; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 559. — <sup>6)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 583; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1055; Journ. of Gaslighting 1910, Heft v. 15. März.

hitzung weniger Naphtalin enthält als der sonstige Steinkohlengasteer; daher ist auch der Vertikalofenteer ein gutes Waschmittel für Naphtalin<sup>1)</sup>, wenn sein Naphtalingehalt wirklich gering ist, was nicht immer der Fall ist<sup>2)</sup>.

Aus obigem geht hervor, daß es sehr wichtig ist, die Waschöle, welche zur Naphtalinwäsche verwendet werden, regelmäßig auf ihren Naphtalingehalt zu untersuchen. Zu diesem Zwecke werden 100 cm<sup>3</sup> des Waschöles einer Probedestillation unterworfen. Man erwärmt zunächst langsam auf 200° C, dann beginnt die Fraktion mit dem Naphtalingehalt zu destillieren. Man läßt dann das Wasser aus dem Kühler ab, weil sonst das Naphtalin in den Kühlrohren erstarren würde. Man destilliert weiter von 200 bis 270°. Es sollen dabei etwa 20 bis 30 cm<sup>3</sup> übergehen. Man wägt das erstarrte Destillat und seine Menge drückt, in Prozenten umgerechnet, den Naphtalingehalt des Waschöles aus.

Einen handlichen Apparat zur Naphtalinbestimmung im Öle hat Hahn<sup>3)</sup> angegeben.

Die Tension des Naphtalindampfes in der Lösung des Waschöles ist, wie erwähnt, noch nicht bestimmt worden, aber sie ist für die Auswaschung vom Naphtalin aus dem Gase maßgebend, und es ist daher zu hoffen, daß bald darüber Bestimmungen gemacht werden.

Das mit Naphtalin gesättigte Waschöl, welches aus dem Naphtalinwäscher austritt, läßt man in die Teergrube laufen, da gewöhnlich das naphtalinhaltige Waschöl keinen höheren Verkaufspreis hat als der Steinkohlengasteer.

Nach dem Naphtalinwäscher enthalten 100 m<sup>3</sup> Steinkohlengas gewöhnlich 1,0 bis 1,5 g Naphtalin. Zur Reinigung von 100 m<sup>3</sup> sind 0,6 bis 0,9 kg Anthracenöl erforderlich. Der Verbrauch an Öl für die Reinigung beträgt danach 14 bis 20 ♂ pro 100 m<sup>3</sup>.

Pannertz<sup>4)</sup> kommt mit 0,2 kg pro 100 m<sup>3</sup> aus, wobei der Naphtalingehalt des gereinigten Gases 4 g pro 100 m<sup>3</sup> beträgt.

Als Wäscher für die Anwendung des Waschöles werden beinahe ausschließlich rotierende Wäscher in der Art der Standardwäscher verwendet. Es haben sich jedoch auch gewöhnliche Skrubber zum Auswaschen des Naphtalins als zweckmäßig erwiesen. Zu Anfang der Einführung der Naphtalinwäsche wurde der Naphtalinwäscher häufig mit dem Cyanwäscher vereinigt. Es hat sich dies jedoch als nicht zweckmäßig erwiesen, da es besser ist, jeden Apparat besonders behandeln zu können.

Sehr zweckmäßig erscheint für kleinere Gaswerke die Vereinigung eines Reutterkühlers mit einem Naphtalinwäscher zu einem einzigen Apparat<sup>5)</sup>.

Eine einfache Art der Entfernung des Naphtalins mit Hilfe von Wassergasteer in gewöhnlichen Skrubbern hat Gill angegeben. Er entfernt das Naphtalin dabei bis zu 0,6 g in 100 m<sup>3</sup>. Auch Pannertz<sup>6)</sup> empfiehlt eine einfache Art der Beseitigung des Naphtalins in kleinen Gaswerken, indem die Reutterkühler (S. 415) mit Teer aus den Teerscheidern berieselt werden; dieser enthält wenig und löst daher viel Naphtalin.

Eine ähnlich lösende Wirkung wie Anthracenöl oder dünne Teeröle besitzt auch das Xylol auf Naphtalin. Dieses ist wohl zu teuer, um im Gas-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 191 u. 837. — <sup>2)</sup> Vgl. z. B. Albrecht und Müller, ebend. 1911, S. 592. — <sup>3)</sup> Ebend. 1911, S. 1249. — <sup>4)</sup> Ebend. 1911, S. 912. — <sup>5)</sup> Ausgeführt von Bamag. — <sup>6)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 912.

werk zur Waschung des Gases zu dienen. Es leistet jedoch vorzügliche Dienste, wenn es sich darum handelt, in Rohrleitungen vorhandene Naphthalinverstopfungen zu beseitigen. Man verdampft dann das Xylol und setzt den Dampf dem Gase zu. Der Dampf kondensiert sich zu kleinen Tröpfchen, die sich an den Naphthalinkristallen ansetzen und dieselben rasch auflösen. Diese Reinigung von Rohrleitungen von Naphthalinverstopfungen werden wir unter dem Kapitel „Rohrleitungen“ näher kennen lernen.

### 34. Cyanwäsche.

Das Cyan ist in Form von Blausäure (Cyanwasserstoff: CNH) im Rohgase enthalten und bleibt ein großer Teil desselben an Ammoniak gebunden, wie auf S. 426 erwähnt, bei der Wäsche des Gases im Waschwasser gelöst. Ein beträchtlicher Teil des Cyans wird jedoch erst in der Reinigungsmasse der trockenen Massereiniger zurückgehalten. Es bilden sich dort Verbindungen des Cyans mit dem Eisen, sogenanntes Berlinerblau, doch wird auch hier nicht alles Cyan aufgenommen, so daß das gereinigte Gas noch beträchtliche Mengen von Cyan enthält.

Das Cyan ist ein wertvolles Nebenprodukt, weil es in chemischen Fabriken auf Ferrocyankalium (gelbes Blutlaugensalz),  $K_4Fe(CN)_6$ , verarbeitet wird. Das Cyan, welches im Gase verbleibt, stellt somit einen Verlust dar. Außerdem wirkt es aber auch nachteilig, weil es stark giftig ist und somit die ohnedies giftige Wirkung des Kohlenoxydgases im Leuchtgase wesentlich unterstützt; ferner aber, und dies ist noch wichtiger, weil es schmiedeeiserne Apparate, so z. B. die Bleche der Gasbehälter und die Gasmesser angreift, namentlich dann, wenn Sauerstoff zugegen ist. Es bilden sich dann eben auch an diesen Stellen Verbindungen des Cyans mit dem Eisen, die das Eisen korrodieren. Es ist also von Wichtigkeit, das Cyan möglichst vollständig aus dem Gase herauszuwaschen.

Die Absorption, welche in der Reinigungsmasse vor sich geht, werden wir später (S. 459) bei Besprechung des Reinigungsprozesses kennen lernen. Wird die Reinigungsmasse durch Cyan stark in Anspruch genommen, so kann sie natürlich für die Schwefelabsorption nicht soviel leisten; auch aus diesem Grunde ist die vorherige Entfernung des Cyans zweckmäßig.

Als ein Beispiel, wie sich der Cyangehalt des Gases an den verschiedenen Stellen bei der Reinigung stellt, sei die nachfolgende Tabelle angeführt<sup>1)</sup>.

Die möglichst vollständige Entfernung des Cyans wurde schon von Knublauch<sup>2)</sup> 1886 angestrebt und auch ein Verfahren hierzu ausgearbeitet. Aber erst durch Bueb ist ein solches Verfahren in der Praxis eingeführt und so ausgebildet worden, daß es im größeren Maßstabe angewendet wurde. Wir beschränken uns hier auf die Beschreibung des Buebschen Verfahrens, und verweisen betreffs der anderen Cyanreinigungsverfahren auf die Zusammenstellung, welche Barber<sup>3)</sup> in übersichtlicher Weise gegeben hat.

Das Buebsche Verfahren<sup>4)</sup> besteht darin, daß das Rohgas mit einer Lösung von Eisenvitriol in der Konzentration von 19 bis 20° Bé gewaschen wird. Eine solche Lösung enthält 28 Proz. kristallisierten Eisenvitriols,

<sup>1)</sup> Leyboldt, Journ. f. Gasbel. 1890, S. 336. — <sup>2)</sup> Wolfram, ebend. 1911, S. 299. — <sup>3)</sup> Journ. of Gaslighting 1908, S. 834; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 269. — <sup>4)</sup> Journ. f. Gasbel. 1899, S. 469 und 1900, S. 747.

## Cyan im Gase.

Gasprobe	Cyan- wasserstoff in 100 m <sup>3</sup> Gas	Cyan- wasserstoff Vol.-Proz.	Berlinerblau auf 100 m <sup>3</sup> Gas	Verteilung des Cyanwasserstoffs	
				Es sind ab- geschieden aus 100 m <sup>3</sup> g	in Prozenten
Aus der Vorlage . .	265,9	0,217	470,5	10,0	3,76
Nach der Kühlung .	255,9	0,209	452,8	4,3	1,62
„ dem Skrubber .	251,6	0,205	445,2	119,9	45,09
„ „ 1. Reiniger	131,7	0,117	233,1	48,4	18,20
„ „ 2. „ .	83,3	0,067	147,4	21,7	8,16
„ „ 3. „ .	61,6	0,050	109,0	20,4	7,67
Im Behältergas . . .	41,2	0,033	72,9	41,2	15,50
				265,9	

(FeSO<sub>4</sub> + 7 H<sub>2</sub>O), oder 15 Proz. trockenes Eisensulfat. Feld<sup>1)</sup> empfiehlt eine verdünnere Lösung, mit nur 20 Proz. Eisenvitriolgehalt. Schwefelwasserstoff allein würde im Eisenvitriol keine Fällung hervorrufen, aber zufolge des Ammoniakgehaltes des Gases wird durch gleichzeitige Einwirkung des Schwefelwasserstoffs Schwefeleisen aus der Eisenvitriolmasse gefällt, und dieses wird durch weiteres Ammoniak unter gleichzeitiger Einwirkung des Cyans in unlösliche Eisencyanammoniumverbindungen übergeführt, die dann in Form des sogenannten Cyanschlammes zum Verkauf gelangen.

Ein ähnliches Verfahren ist im Haag schon seit 1900 im Betriebe. Es besteht in der Waschung des Gases mit Eisencarbonat und Alkali. Ein von Leyboldt, Schmidt und Heynold ausgearbeitetes Verfahren, wobei ammoniakfreies Gas mit Eisenvitriol und Kalk gewaschen wird, ist von Wolfram<sup>2)</sup> beschrieben worden.

Zur Auswaschung des Cyans werden Apparate nach Art der Standardwäscher benutzt. Gewöhnlich verwendet man Wäscher mit vier Kammern. In die ersten drei Kammern wird das in der vierten Kammer gewonnene Fällungsprodukt eingefüllt, während in die vierte Kammer frische Eisenvitriollösung kommt. Das Gas enthält in der vierten Kammer noch genügend Ammoniak und noch eine genügende Menge an Schwefelwasserstoff, so daß sich dort eine vollständige Ausfällung des Eisens durch Bildung von Schwefeleisen vollzieht. Gleichzeitig bildet sich aus dem Schwefelsäuregehalt des Eisenvitriols und dem Ammoniakgehalt des Gases schwefelsaures Ammoniak, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Das Schwefeleisen (FeS) scheidet sich als schwarzer Niederschlag aus und muß daher, um Verstopfungen der Leitungen zu verhüten, ständig in lebhafter Bewegung gehalten werden. Dies geschieht durch Ketten, die sich in dieser Kammer befinden und die ein Absetzen des Niederschlages von Schwefeleisen verhindern. Aus dieser Kammer wird das Produkt in die dritte Kammer des Wäschers übergepumpt, sobald die Zersetzung des Eisenvitriols eine vollkommene ist. Würde eine nicht vollkommen ausgefällte Lösung in die vorderen Absorptionskammern gelangen, so würde sich die Ausfällung durch das Ammoniak und den Schwefelwasserstoffgehalt des Gases schon in

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1904, S. 132. — <sup>2)</sup> Ebend. 1911, S. 305.

diesen Kammern vollziehen und dies wäre sehr nachteilig, weil sich dann leicht Verstopfungen bilden würden. Die ersten drei Kammern des Standardwäschers, der als Cyanwäscher ausgebildet ist, müssen nämlich zum Zwecke der vollständigen Absorption des Cyans die bekannten Einlagen aus Holzstäben oder dergleichen erhalten, und diese verstopfen sich leicht. Man muß also, bevor man das Überpumpen aus der vierten Kammer in die dritte besorgt, sicher sein, daß dort kein gelöstes Eisensulfat mehr enthalten ist, was man vor dem Überpumpen durch eine Prüfung der Flüssigkeit erfährt.

Diese Prüfung geschieht, indem man einen kleinen Teil der Flüssigkeit filtriert und zur klaren Lösung etwas Gaswasser, welches Schwefelammonium ( $\text{NH}_4\text{SH}$ ) enthält, zusetzt. Es darf sich dabei keine schwärzliche Trübung ergeben; diese würde andeuten, daß Schwefelammonium, welches ja im Rohgase enthalten ist, noch eine Fällung von Schwefeleisen hervorrufen kann. Bleibt jedoch die Lösung nach Zusatz von Gaswasser vollständig klar, so kann das Überpumpen erfolgen.

Das Gas darf, wenn es in den Cyanwäscher gelangt, nicht zu kalt sein. Es soll mindestens  $35^\circ\text{C}$  besitzen. Daher wird bei der Anordnung eines Cyanwäschers von der Aufstellung eines Wasserkühlers vor demselben abgesehen und nur ein Luftkühler vor dem Teerscheider verwendet. Die Reihenfolge ist also folgende: Nach der Vorlage passiert das Gas einen Gassauger, dann einen Teerscheider und dann direkt den Cyanwäscher. Erst hinterher wird der Wasserkühler und der Ammoniakwäscher gesetzt und dann erst gelangt das Gas in die Reinigung. Der Cyanwäscher kann nicht so eingerichtet werden, daß die Absorptionsflüssigkeit, welche ja eine beträchtliche Menge eines festen suspendierten Stoffes enthält, von selbst im Gegenstrom durch die einzelnen Kammern fließt. Es muß vielmehr ein Umpumpen der Flüssigkeit vorgenommen werden. Man besorgt dies in der Art eines Gegenstromes, indem man die zum Teil ausgebrauchte Flüssigkeit von der dritten in die zweite und von der zweiten in die erste Kammer pumpt und die ausgebrauchte Flüssigkeit aus der ersten Kammer, in welche das Rohgas eintritt, abpumpt und zum Verkauf bringt. Dieses Umpumpen besorgt man dann, wenn man findet, daß das Gas, welches den Cyanwäscher verläßt, schon geringe Mengen von Cyan enthält. Die Prüfung des Cyangehaltes des Gases erfolgt, indem man aus der betreffenden Kammer Gas absaugt und durch konzentrierte Kalilauge leitet, welche durch Zusatz von etwas Eisenvitriol eine Aufschlammung von Eisenoxydulhydrat [ $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ] enthält. Nach dem Durchleiten des Gases säuert man mit Salzsäure an, wodurch sich das Eisenoxydulhydrat auflöst. Man setzt dann etwas Eisenchlorid ( $\text{FeCl}_3$ ) zu. War Cyan im Gase enthalten, so bildet sich eine blaue Trübung oder ein Niederschlag von Berlinerblau.

Das Umpumpen der einzelnen Kammern erfolgt etwa alle 18 bis 24 Stunden. Die einzelnen Kammern besitzen Wasserstandsgläser, welche erkennen lassen, wie hoch die Flüssigkeit in der betreffenden Kammer steht. Diese müssen jedoch sorgfältig rein gehalten werden, da sie leicht verschmutzen und sich auch leicht verstopfen können, ebenso müssen die Ventile öfter gewechselt werden, weil sie sich durch den Schlamm leicht verstopfen.

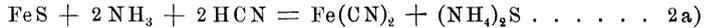
Nach ausführlichen Untersuchungen von Feld<sup>1)</sup> gehen in dem Buebschen Cyanwäscher stufenweise nachstehende Reaktionen vor sich: In der

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1904, S. 132.

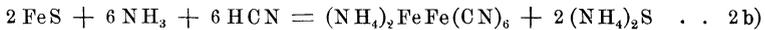
vierten, also letzten Kammer, welche die frische Eisenvitriollösung enthält, wird durch den Ammoniak- und Schwefelwasserstoffgehalt des Rohgases Eisen-  
vitriol unter Bildung von Schwefeleisen und Ammoniumsulfat zersetzt nach  
der folgenden Gleichung:



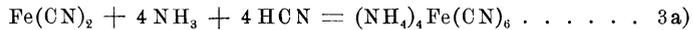
In den anderen Kammern wird das in der vierten Kammer gebildete Schwefel-  
eisen unter der Einwirkung eines weiteren Ammoniakgehaltes des Rohgases  
und des Gehaltes an Cyanwasserstoff unter Bildung von Cyaneisen in Ammo-  
niumsulfid zerlegt nach der Formel:



Dabei findet aber eine Nebenreaktion statt, indem sich eine andere Eisen-  
ammoniumverbindung bildet, nach der Formel:



In der dritten Stufe wird dann das nach der Formel 2a) gebildete Cyaneisen  
mit Ammoniak und weiterem Cyanwasserstoff umgesetzt in unlösliches Ammo-  
niumferrocyanid nach der Gleichung:



Das gleiche unlösliche Ammoniumferrocyanid entsteht auch aus der vorher  
genannten Eisencyanammoniumverbindung, welche bei der Nebenreaktion 2b)  
gewonnen wurde nach der Gleichung:



Alle diese komplizierten Verbindungen, welche sich hier bilden, entsprechen  
in ihrer Formel dem Typus des gelben Blutlaugensalzes: Kaliumferrocyanid  
[K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>]. Beim Ammoniumferrocyanid ist das Kalium durch die Ammo-  
niumgruppe ersetzt. Bei der oben genannten komplizierteren Eisencyan-  
ammoniumverbindung sind nur 2 Atome Kalium durch 2 Ammoniumgruppen,  
die anderen 2 Atome Kalium durch 1 Eisenatom ersetzt. Indessen bildet  
sich auch unlösliches Eisencyanür nach der Formel Fe<sub>2</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>, bei welchem  
die 4 Kaliumatome des gelben Blutlaugensalzes durch 2 Eisenatome ersetzt  
sind.

Nach Feld ist somit das Endprodukt, welches entsteht, ein Gemisch von  
1/3 löslichem Ammoniumferrocyanid [(NH<sub>4</sub>)<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>], 1/3 unlöslichem Eisen-  
cyanür [Fe<sub>2</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>] und 1/3 einer unlöslichen Eisencyanammoniumverbindung  
[(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>FeFe(CN)<sub>6</sub>]. Nach Felds Untersuchungen sind somit nicht alle Cyan-  
ammoniumverbindungen, welche hier auftreten, unlöslich; indessen bildet der  
Cyanschlamme, welcher hier entsteht, im ganzen ein Produkt, das an chemische  
Fabriken verkauft werden kann. Er enthält, auf Berlinerblau umgerechnet,  
etwa 12 bis 13 Proz. Der Gewinn, welcher aus dem Verkauf von Cyan-  
schlamme resultiert, ist allerdings ein bescheidener. Leider wird mit diesem  
auch das gebundene Ammoniak verkauft, welches hier einen billigeren Preis  
erzielt, als wenn es als solches gewonnen würde. Die Entfernung des Cyans  
aus dem Gase mit Hilfe des Cyanwäschers ist daher nicht immer ohne weiteres  
als ein rentables Unternehmen zu betrachten. Wohl aber bringt es die schon  
erwähnten Vorteile, daß sowohl Gasbehälter als Gasmesser bei Entfernung  
des Cyans aus dem Gase wesentlich geschont werden.

Die Entfernung des Cyans, die mit Hilfe dieses Verfahrens ausgeführt werden kann, ist eine höchst vollkommene. So z. B. wurden nachstehende Resultate erzielt<sup>1)</sup>:

Vor dem Cyanwäscher . . . . .	2,5	Proz. als Blau berechnet,
Nach " " . . . . .	0,315	" " " "

Es wurde vielfach empfohlen und auch durchgeführt, den Cyanwäscher mit dem Naphthalinwäscher zu einem einzigen Standardwäscher zu vereinigen. Dies hat jedoch praktische Nachteile, da es vorteilhafter ist, wenn man jeden dieser Apparate besonders behandeln kann.

Wie schon erwähnt, wird der Cyanschamm ebenso wie die ausgebrauchte Reinigungsmasse, die ja einen großen Teil des Cyans enthält, von den chemischen Fabriken auf gelbes Blutlaugensalz (Kaliumferrocyanür) verarbeitet. Stavorius<sup>2)</sup> hat deshalb ein Verfahren zusammengestellt, nach welchem direkt gelbes Blutlaugensalz gewonnen werden kann. Er läßt das Gas nämlich auf eine Lösung von Kaliumcarbonat (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) einwirken, welches basisches Eisen-carbonat und Eisenhydroxydul [Fe(OH)<sub>2</sub>] enthält. Mittels dieser Verfahrens sollen 98 bis 100 Proz. Cyan absorbiert und direkt in gelbes Blutlaugensalz übergeführt werden können.

### 35. Reinigung.

Unter „Reinigung des Gases“ sollte man eigentlich die Entfernung aller Unreinheiten bezeichnen. Gewöhnlich versteht man jedoch unter dem Worte Reinigung des Gases nur die Entfernung des Schwefelwasserstoffs. Ein Teil des im Gase enthaltenen Schwefelwasserstoffs wird schon durch die Berieselung des Skrubbers mit Wasser entfernt. Wir haben ja gehört, daß die Gase eine bedeutende Menge von Ammoniak enthalten, welches sich teilweise im Skrubberwasser auflöst, und dieses Ammoniak nimmt auch einen Teil des Schwefelwasserstoffs mit heraus, indem sich dabei Ammoniumsulfid bildet. Durch Erhöhung des Ammoniakgehaltes des Gases ist es daher auch möglich, einen größeren Teil von Schwefelwasserstoff aus dem Gase herauszuwaschen, als dies sonst möglich ist. Derartige Vorschläge wurden schon 1877 von H. Bunte<sup>3)</sup> und von Young<sup>4)</sup> gemacht. Da jedoch das Ammoniumsulfid ein zersetzliches Salz ist, infolgedessen eine gewisse Tension des Ammoniaks und des Schwefelwasserstoffs besitzt, so ist es nicht möglich, auf diese Art sämtliche Reste des Schwefelwasserstoffs aus dem Gase auszuwaschen.

Livesey<sup>5)</sup> hatte schon früher Versuche angestellt, den Schwefelwasserstoff aus dem Gaswasser mittels der Kohlensäure der Abgase auszutreiben und dieses dann wieder zur Reinigung zu verwenden. Es stellten sich aber unvermeidliche Ammoniakverluste ein<sup>6)</sup>. Claus empfahl 1880 ebenfalls die Sättigung des Gaswassers mit CO<sub>2</sub>, wobei H<sub>2</sub>S frei wurde, der mit Luft gemischt in Oxydkästen zu Schwefel umgesetzt wurde. Das von CO<sub>2</sub> durch Erhitzen auf 77 bis 94° befreite Ammoniak wurde dem Rohgase wieder zugeführt. Joly<sup>7)</sup> berichtete, daß nach diesem Verfahren bei der Reinigung

<sup>1)</sup> Gaskalender 1910, S. 92. — <sup>2)</sup> Journ. of Gaslighting Nr. 2238, S. 40. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1877, S. 25. — <sup>4)</sup> Journ. of Gaslighting 1909, S. 87 und Journ. f. Gasbel. 1909, S. 314. — <sup>5)</sup> Journ. f. Gasbel. 1866, S. 277 und 1869, S. 640. — <sup>6)</sup> Wolfram, ebend. 1911, S. 323. — <sup>7)</sup> Ebend. 1887, S. 1033.

von  $1000 \text{ m}^3$  Gas 90 bis 95 Proz. des Schwefelwasserstoffs in Form reinen Schwefels erhalten würden. Es war jedoch eine komplizierte Apparatur nötig.

Es ist von besonderer Wichtigkeit, auch die letzten Spuren des Schwefelwasserstoffs so vollkommen wie möglich aus dem Gase zu entfernen. Der Schwefelgehalt des Gases bringt mannigfache Übelstände mit sich. So entsteht bei der Verbrennung schwefelhaltiger Gase schweflige Säure — ein Gas, welches zufolge seiner Fähigkeit, Sauerstoff aufzunehmen, reduzierend auf mancherlei Stoffe, insbesondere Farbstoffe wirkt. Ferner geht dieses Gas durch Oxydation, d. h. durch Sauerstoffaufnahme in Schwefelsäure über, auch bildet es mit einem geringen Rest von Ammoniak, welches aus dem Gase stammt, saures schwefelsaures Ammoniak von der Formel  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ . Sowohl die Schwefelsäure wie das saure schwefelsaure Ammoniak sind als Säuren aufzufassen, welche organische Stoffe zu zerstören vermögen. Aus diesen Gründen leiden Pflanzen oder Gewebe oder auch Metalle, die sich in den Räumen befinden, welche mit unreinem Gas beleuchtet sind, unter der Einwirkung dieser Säure.

Nun ist es allerdings nicht der Schwefelwasserstoff allein, welcher den Schwefelgehalt des Gases hervorruft. Es gibt auch noch andere Verbindungen, so z. B. Schwefelkohlenstoff ( $\text{CS}_2$ ) und andere organische Schwefelverbindungen, welche ebenfalls bei der Verbrennung schweflige Säure liefern. Diese Stoffe sind jedoch nur mit großen Schwierigkeiten aus dem Gase zu entfernen, während der Schwefelwasserstoff sich unschwer entfernen läßt. Man soll also dafür sorgen, das Gas möglichst schwefelfrei zu machen, indem man den Schwefelwasserstoff vollständig entfernt.

Zur Aufnahme des Schwefelwasserstoffs dient heute ausschließlich das Eisenoxydhydrat von der Formel  $\text{Fe}_2(\text{OH})_6$ . Allerdings sind auch andere Oxyde oder Hydroxyde der Schwermetalle imstande, Schwefelwasserstoff aufzunehmen, indem sich dabei Metallsulfide bilden. Aber keines dieser Oxyde ist so bequem und billig und in geeigneter Form zu beschaffen, als gerade das Eisenhydroxyd. Dieses kommt in der Natur als Raseneisenerz vor, oder es kann auch künstlich billig erzeugt werden, und es hat außerdem noch die Eigenschaft, daß es sich leicht regenerieren läßt. Wenn nämlich das Eisenhydroxyd Schwefelwasserstoff aufnimmt, so bildet sich Schwefeleisen von der Formel  $\text{Fe}_2\text{S}_3$ , und wenn die Reinigungsmasse auf diese Weise aufgebraucht ist, so ist es möglich, das Schwefeleisen unter Einwirkung von Feuchtigkeit durch den Sauerstoffgehalt der Luft wiederum in Eisenhydroxyd zu verwandeln, wobei sich Schwefel abscheidet. Wir werden auf S. 448 darauf zu sprechen kommen.

Auch die Oxyde der alkalischen Erden, z. B. gebrannter Kalk ( $\text{CaO}$ ), sind imstande, Schwefelwasserstoff aufzunehmen, indem sich dabei Schwefelcalcium bildet. Dieses zersetzt sich jedoch leicht an der Luft, indem sich dabei wieder Schwefelwasserstoff abspaltet, und daher verursacht das Schwefelcalcium, nachdem man es aus dem Reinigungsapparat herausgenommen hat, einen unangenehmen Geruch, der sich in der Umgebung verbreitet, so daß man dieses Mittel heute nur mehr selten zur Entfernung des Schwefelwasserstoffs verwendet.

Ein Gemisch von Eisenhydroxyd und Kalk wurde früher in der Gasindustrie vielfach zur Reinigung verwendet. Es ist dies die sogenannte Lamingsche Masse. Diese wurde so lange angewendet, als man die natürlichen

Eisenerze nicht kannte, die das Gas viel vollkommener reinigen als diese Masse. Die Lamingsche Masse wurde gewonnen, indem man Eisenvitriol-lösung ( $\text{FeSO}_4$ ) mit Kalk zusammenbrachte. Der Kalk verbindet sich dabei mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Kalk (Gips), während Eisenhydroxyd ausfällt. Sowohl das ausgeschiedene Eisenhydroxyd als auch der überschüssige Kalk vermögen nach oben Gesagtem Schwefelwasserstoff aufzunehmen, und daher rührt die Wirksamkeit dieser Masse. Um dieselbe für Gas möglichst durchlässig zu machen, mischte man dieselbe gewöhnlich mit Sägemehl. Aber heute ist diese Masse durch die natürlichen oder anderen künstlichen Reinigungsmassen überholt.

Wir wollen nun die chemischen Vorgänge betrachten, die sich bei der Reinigung des Gases vom Schwefelwasserstoff vollziehen <sup>1)</sup>.

Die heute zur Reinigung verwendeten Gasreinigungsmassen bestehen, wie erwähnt, beinahe ausschließlich aus Eisenhydroxyd. Dieses absorbiert den Schwefelwasserstoff, indem sich Schwefeleisen und Wasser bildet nach der Formel:



Diese Formel drückt gleichzeitig aus, daß sich 214 g Eisenhydroxyd mit 102 g Schwefelwasserstoff zu 208 g Eisensulfid verbinden, wobei 108 g Wasser frei werden. Es entwickelt sich dabei eine Wärmemenge, die pro 1 g-Mol. 14,9 Kal. ausmacht. Da nun nach dieser Formel 3 Mol. Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) in Reaktion treten und das Volumen eines Grammoleküls immer 22,3 Liter beträgt (siehe S. 43), so würde bei der Reaktion, die 1 m<sup>3</sup> Schwefelwasserstoff hervorruft, eine Wärmemenge frei, welche sich berechnet nach der Formel:

$$\frac{1000}{3 \cdot 22,3} \cdot 14,9 = 223 \text{ Kal.}$$

Die Wärmemenge, welche bei dieser Reaktion entsteht, ist verhältnismäßig gering. Würden wir selbst annehmen, daß 2 Vol.-Proz. Schwefelwasserstoff im Rohgas enthalten sind, so würden pro 1 m<sup>3</sup> des Gases nur 4,46 Kal. entstehen. Rechnen wir nun die spezifische Wärme des Gases zu 0,3 pro 1 m<sup>3</sup>, so ergibt sich daraus eine Temperatursteigerung des Gases von 14,9°. Dies wäre der Fall, wenn sich die ganze Wärmemenge nur auf das Gas übertragen würde. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß auch die Reinigungsmasse selbst und die Apparate, d. h. die Reinigungskästen, in denen sich die Masse befindet, erwärmt werden, so daß die effektive Erwärmung des Gases, die bei der Absorption von Schwefelwasserstoff eintritt, wesentlich geringer ist. Ferner wird ja auch noch ein Teil des Wassers, welches sich bei der Reaktion bildet, in Dampfform verwandelt, und auch dies verursacht eine Verminderung der Erwärmung.

Wie alle chemischen Reaktionen braucht auch diese Reaktion eine gewisse Zeit, bis sie vollkommen beendet ist. Es ist also notwendig, das Gas mit der Reinigungsmasse eine gewisse Zeit lang in Berührung zu lassen. Die unter den Gasfachmännern noch sehr weit verbreitete Meinung, die Dimensionierung der Reiniger müßte sich ausschließlich nach der Geschwindigkeit des Gasstromes berechnen, wurde neuerdings durch Bössner widerlegt <sup>2)</sup>. Die Versuche des letzteren zeigten, daß der Reinigungseffekt ausschließlich

<sup>1)</sup> Siehe H. Bunte, Journ. f. Gasbel. 1903, S. 709. — <sup>2)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 73; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 777.

von der Zeit abhängt, während welcher das Gas mit der Reinigungsmasse in Berührung bleibt, wie dies ja auch bei anderen chemischen Reaktionen der Fall ist. Ähnliches zeigten ja auch schon die Versuche von Merz. Man kann daher einen Reiniger durch Stromteilung nicht auf größere Leistung in bezug auf den Reinigungseffekt bringen, sondern nur auf geringeren Widerstand.

Die Stromteilung wurde bei neueren Reinigerkonstruktionen häufig angewendet, um eine geringere Geschwindigkeit des Gases in der Reinigermasse zu erzielen. Bössner zeigte auch, daß der freie, nicht durch Holzhorde verlegte Querschnitt für die Reinigung nicht maßgeblich ist, durch Versuche in einem U-Rohre, in welchem eine dreiteilige Querschnittsverminderung von 85 Proz. durch eingelegte durchlochte Holzscheiben hervorgebracht wurde. Man hatte nämlich angenommen, daß, wenn die Reinigungsmasse auf Holzhorde ausgebreitet ist, und das Gas von unten durch diese Horde hindurchtritt, die Reinigungsmasse, welche direkt auf den Holzstäben aufliegt, nicht mit zur Reaktion käme. Bei den Bössnerschen Versuchen zeigte sich hingegen beim Durchleiten von schwefelwasserstoffhaltigem Gas durch die genannten U-Rohre mit diesen Querschnittsverminderungen die Reinigungsmasse genau ebenso leistungsfähig wie in einem gleichen U-Rohr, das mit Reinigungsmasse ohne jede Einschnürung gefüllt war. Dagegen ist, wie schon erwähnt, zu berücksichtigen, daß der Widerstand, welcher die Reinigungsmasse dem Gasstrom entgegensetzt, ein wesentlich geringerer wird, wenn die Geschwindigkeit des Gasstromes eine kleinere wird. Man kann annehmen, daß sich der Widerstand umgekehrt proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit des Gasstromes ändert. Die Anwendung des geteilten Gasstromes, welcher die Geschwindigkeit des Gasstromes verhindert, wirkt also in dem Sinne, daß der Widerstand, den die Reinigungsmasse bietet, wesentlich geringer wird, und dies ist auch ein wesentlicher Vorteil. Wir werden auf derartige Konstruktionen später zu sprechen kommen.

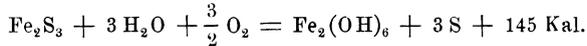
Damit die Aufnahme des Schwefelwasserstoffs im Eisenhydroxyd nach der oben (S. 446) angegebenen Formel stattfindet, ist es notwendig, daß das Gas Spuren von Ammoniak enthält, was beim Steinkohlengase stets der Fall ist. Ist hingegen das Gas frei von Ammoniak, wie dies z. B. bei der Reinigung von uncarburiertem Wassergas der Fall ist, so wird ein Teil des Eisenhydroxyds in der Weise von Schwefelwasserstoff angegriffen, daß sich nicht das oben genannte Eisensulfid, sondern Einfach-Schwefeleisen (FeS) bildet und sich dabei ein Teil des Schwefels schon bei der Aufnahme von Schwefelwasserstoff abscheidet nach der Formel:



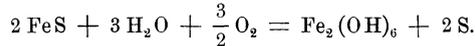
Bei der hierbei eintretenden Erwärmung bildet sich sekundär auch etwas Eisendisulfid ( $\text{FeS}_2$ ). Während nun das Eisensulfid ( $\text{Fe}_2\text{S}_3$ ) und das Einfach-Schwefeleisen (FeS) sich durch den Sauerstoff der Luft bei Gegenwart von Wasserdampf leicht wieder in Eisenhydroxyd verwandelt, ist dies beim Eisendisulfid nicht der Fall. Die Bildung desselben muß daher möglichst vermieden werden. Man muß also dafür sorgen, daß die Aufnahme von Schwefelwasserstoff in der Reinigungsmasse immer unter Gegenwart von Alkali vor sich geht. Ist kein Ammoniak im Gase, so soll die Reinigungsmasse selbst etwas Alkali enthalten<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Gedel, Journ. f. Gasbel. 1905, S. 428.

Die Regenerierung der Masse erfolgt, wie schon erwähnt, durch Zusammenbringen derselben mit Luft. Der Sauerstoffgehalt der Luft bewirkt bei Gegenwart von genügend viel Wasser die Oxydation des Eisensulfids derart, daß sich der Schwefel abscheidet und sich wieder Eisenhydroxyd bildet nach der Formel:



Wurde aber bei der Aufnahme von Schwefelwasserstoff nicht das Eisensulfid ( $\text{Fe}_2\text{S}_3$ ), sondern Einfach-Schwefeleisen ( $\text{FeS}$ ) gebildet, so erfolgt die Regeneration nach der Formel:



Wie aus der ersteren Gleichung hervorgeht, ist die Wärmemenge, welche sich bei der Regeneration des Schwefeleisens zu Eisenhydroxyd bildet, eine wesentlich größere als jene Wärmemenge, welche bei der Aufnahme von Schwefelwasserstoff in der Reinigungsmasse entsteht. Rechnen wir diese Wärmemenge wieder auf  $1 \text{ m}^3$  aufgenommenen Schwefelwasserstoffgases um, so erhalten wir, da nach obiger Gleichung zur Bildung von 1 Mol. Schwefeleisen 3 Mol. Schwefelwasserstoff notwendig waren:

$$\frac{1000}{3 \cdot 22,3} \cdot 145 = 2160 \text{ Kal.}$$

Es wird also bei der Regeneration zehnmal soviel Wärme gewonnen, wie bei der Bildung von Schwefeleisen. Rechnet man dies auf  $1 \text{ m}^3$  Sauerstoff, so ergibt sich

$$\frac{1000}{\frac{3}{2} \cdot 22,3} \cdot 145 = 4320 \text{ Kal.}$$

Es tritt nämlich hier nur die Hälfte der Moleküle des Sauerstoffs in Reaktion wie vorher an Schwefelwasserstoff, und daher verdoppelt sich die Anzahl Kalorien pro  $1 \text{ m}^3$  Sauerstoff. Da wir jedoch die Regeneration nicht mit reinem Sauerstoff, sondern mit Luft vornehmen, so müßten wir, wenn wir berechnen wollten, wie weit sich die Luft erwärmen würde, wenn sich die ganze Reaktionswärme auf die zugeführte Luft verteilen würde, wie folgt vorgehen. Der Sauerstoff würde aus der Luft vollständig absorbiert, wenn wir die Luft genügend lange mit der Reinigungsmasse in Berührung lassen würden. Es würden dann pro  $1 \text{ m}^3$  Sauerstoff  $\frac{79}{21} \text{ m}^3$  Stickstoff übrig bleiben. Rechnen wir die spezifische Wärme des Stickstoffs zu 0,3, so würde sich daraus eine Temperaturerhöhung des Stickstoffs von  $4870^0$  ergeben. Eine solche Temperaturerhöhung kann natürlich niemals eintreten. Es verteilt sich ja auch bei der Regeneration die Wärme nicht nur auf den Stickstoff, sondern auch auf die Reinigungsmasse, und hauptsächlich muß ja ein großer Überschuß an Luft angewendet werden, um die Regeneration überhaupt durchzuführen. Diese Berechnung zeigt also nur, daß eine ganz bedeutende Wärmemenge bei der Regeneration entsteht.

Theoretisch würde 1 kg gebildetes Schwefeleisen ( $\text{Fe}_2\text{S}_3$ ) 770 Liter Luft zur Regeneration gebrauchen. Praktisch ist jedoch ein Vielfaches dieser Luftmenge erforderlich. Die gelieferte Wärmemenge wird auch zum großen Teil aufgebraucht zur Verdampfung von Wasser. Wie aus der obigen Reaktionsgleichung hervorgeht, ist ja Wasser für die Reaktion erforderlich. Es muß

aber ein beträchtlicher Überschuß da sein, damit eben die Temperatur nicht zu hoch steigt und infolgedessen sich nicht Eisenoxyd bilden kann. Würde die Temperatur eine gewisse Grenze übersteigen, so würde das Eisenoxydhydrat in Eisenoxyd übergehen, und dieses könnte dann keinen Schwefelwasserstoff mehr aufnehmen.

Die Masse wird also durch eine Überhitzung unbrauchbar. Es sind aber auch noch andere Gründe vorhanden, warum eine Überhitzung der Masse während der Reaktion nicht stattfinden darf. Bei höheren Temperaturen wirkt nämlich der Sauerstoff der Luft auch auf den Schwefel derart ein, daß, bevor er sich noch entzündet, schon Schwefelsäure gebildet wird. Diese vereinigt sich dann zum Teil mit dem Eisenoxydhydrat zu schwefelsaurem Eisenoxydul, und außerdem wird die Masse durch freie Schwefelsäure sauer, so daß sie bei der Aufnahme von Schwefelwasserstoff auch Eisendisulfid bildet, wie wir dies auf S. 447 besprochen haben. Dieses ist aber nicht mehr regenerierbar, und dadurch wird die Masse minderwertig. Die Erhitzung bei der Regeneration kann so weit gehen, daß die Masse sogar zum Erglühen kommt und daß sich, wenn genügend überschüssige Luft vorhanden ist, der Schwefel entzündet. Dabei schmilzt der Schwefel und backt derart mit der Masse zusammen, daß letztere überhaupt unbrauchbar wird. Außerdem aber zersetzen sich durch die Überhitzung die Cyanverbindungen, die ja den Wert der ausgebrauchten Reinigungsmasse bedingen, und es bilden sich an Stelle von Berlinerblau Rhodanverbindungen, welche wertlos sind.

Der übermäßigen Hitze während der Regeneration kann man vorbeugen, wenn man die Masse entsprechend weit ausbreitet in etwa 20 bis 30 cm Schichthöhe und durch häufiges Umschaukeln und Aufspritzen von Wasser für eine genügende Kühlung der Masse sorgt.

Kommt die Masse im ausgebrauchten Zustande aus dem Reiniger heraus, so hat sie eine schwarze bis blauschwarze Farbe, die von dem Schwefeleisen herrührt. Die Regeneration muß so lange erfolgen, bis die Masse wieder ihre ursprüngliche helle Farbe angenommen hat. Ist die Masse ganz frisch, so ist dieselbe rotbraun, ist sie dagegen schon häufig gebraucht, so erscheint sie zufolge des ausgeschiedenen Schwefels grau. Enthält sie durch Aufnahme von Cyan viel Berlinerblau, so erscheint sie blaugrau.

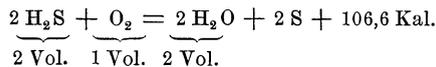
Die Wirksamkeit der Masse ist gewöhnlich bei der ersten Verwendung eine geringere, als wenn sie bereits einmal regeneriert wurde. Die Regeneration hat nämlich eine Auflockerung der einzelnen Teilchen des Hydroxyds zur Folge, so daß die Masse dadurch poröser wird und das Gas besser in die einzelnen Körnchen eindringen kann.

Gemäß der obigen Gleichungen könnte nun eine Reinigungsmasse beliebig oft verwendet werden, denn das gebildete Schwefeleisen wird ja immer wieder bei der Regeneration in Eisenhydroxyd verwandelt. Praktisch ist jedoch die wiederholte Anwendung der Reinigungsmasse eine begrenzte, weil sie allmählich ihre Wirksamkeit verliert. Dies rührt daher, daß die einzelnen Teilchen von Eisenhydroxyd sich allmählich mit Schwefel umhüllen, so daß das Gas nicht mehr in innige Berührung mit den Eisenhydroxydteilchen kommen kann. Außerdem nimmt ja auch der ausgeschiedene Schwefel ein bestimmtes Gewicht im Raume eines Kubikmeters Masse ein, und in den gleichen Reinigerkasten gelangt infolgedessen nicht mehr soviel Eisenoxydhydrat, wenn die Masse bereits öfter gebraucht war. Sehr rasch verliert

die Masse jedoch an Wirksamkeit, wenn sich Eisendisulfid zufolge Überhitzung derselben gebildet hat. Normal kann eine Masse 10- bis 14 mal wieder verwendet werden, doch steigt dann der Schwefelgehalt oft bis über 60 Proz.

Es ist früher auch vorgeschlagen worden, die Regenerierung der Reinigungsmasse durchzuführen, ohne dieselbe aus dem Kasten herauszunehmen. Man kann ja, nachdem der Gasstrom abgeschlossen ist, Luft durch den Reinigungskasten hindurchsaugen und so die Masse regenerieren. Allerdings muß man dann so viel Dampf hinzufügen, daß der Wasserbedarf der Reaktion gedeckt wird. Praktisch stößt ein derartiges Verfahren jedoch auf mannigfache Schwierigkeiten. Die Masse erwärmt sich im Kasten naturgemäß viel stärker als beim Aufbreiten auf den Regenerierböden, andererseits kann die Regenerierung nicht genügend überwacht werden, da die Masse im Kasten nicht zugänglich ist, und schließlich kann eine übermäßige Überhitzung schon zur Entzündung des Schwefels im Kasten führen, was natürlich die dort vorhandene Reinigungsmasse gänzlich unbrauchbar macht. Auf alle Fälle tritt durch die Überhitzung ein Zusammenbacken und Erhärten der Masse ein, so daß dieselbe nicht mehr so reaktionsfähig bleibt.

Dagegen hat sich vorzüglich das zuerst von Halon und Hunt empfohlene Verfahren des Luftzusatzes zum Rohgase bewährt. Setzt man dem Gase eine solche Sauerstoffmenge zu, daß die Regenerierung des zuerst gebildeten Schwefeleisens sofort wieder durch die Sauerstoffaufnahme erfolgen kann, so wird eine Oxydation von Schwefelwasserstoff ohne Bildung des Schwefeleisens bewirkt, indem sich als Endprodukte Wasser und Schwefel bilden gemäß der Gleichung:



Es treten also 2 Vol. Schwefelwasserstoff mit 1 Vol. Sauerstoff zusammen, indem sich 2 Vol. Wasserdampf bilden. Da sich letzterer kondensiert, würden bei Zusatz von Sauerstoff keinerlei Verunreinigungen im Gase auftreten. Der Zusatz von Sauerstoff ist jedoch zu kostspielig, um praktische Verwendung zu finden. Man setzt daher anstatt Sauerstoff Luft zu. Es muß aber berücksichtigt werden, daß die Luft zum großen Teile aus Stickstoff besteht und daß daher, um 1 Vol. Sauerstoff zu erhalten,  $\frac{100}{21}$ , das ist 4,77 Vol. Luft zugesetzt werden müssen, oder pro 2 Vol. Schwefelwasserstoff werden  $\frac{79}{21}$ , das ist 3,77 Vol. Stickstoff ins Gas gelangen.

Für je 1 Vol.-Proz. Schwefelwasserstoff, welches im Gase enthalten ist, wären also nach obiger Gleichung  $4,77 : 2$ , das ist 2,38 Vol.-Proz. Luft erforderlich.

In der obigen Gleichung kommt das Eisenhydroxyd überhaupt nicht vor, da es nur als Sauerstoffüberträger dient. Man kann hier das Eisenhydroxyd als katalytische Substanz bezeichnen, welche die Reaktion zwischen Schwefelwasserstoff und Sauerstoff beschleunigt, ohne direkt daran beteiligt zu sein. Die Wärmemenge, welche bei dieser Reaktion entsteht, ist natürlich noch größer als die Wärmemenge bei der Regenerierung allein, weil ja hier doch die Wärmemenge, welche bei der Bildung des Schwefeleisens frei wird, hinzukommt. Gemäß obiger Gleichung berechnet sich dieselbe, da hier 2 Mol. Schwefelwasserstoff in Reaktion treten, pro  $1 \text{ m}^3$  Schwefelwasserstoff auf

$$\frac{1000}{2 \cdot 22,3} \cdot 106,6 = 2380 \text{ Kal.}$$

Würde sich diese ganze Wärme auf das zur Anwendung gelangte Gas verteilen, so würde das letztere bei einem Gehalte von 2 Vol. Schwefelwasserstoff eine Temperatur von  $159^{\circ}$  annehmen müssen. Praktisch ist die Temperatur, die dabei erreicht wird, niemals so hoch, weil eine wesentliche Menge von Wasser verdampft, die eine große Wärmemenge mit fortführt. Normal ist eine Erwärmung von 10 bis  $20^{\circ}$ . Es ist jedoch Temperatursteigerung bis zu  $30^{\circ}$  beobachtet worden.

Eine höhere Erwärmung der Reinigungsmasse bringt wieder mancherlei Störungen mit sich, wie sie schon bei der Regenerierung der Reinigungsmasse besprochen wurden<sup>1)</sup>. Eine wichtige Störung liegt schon in der Austrocknung, welche die Masse erfährt, wenn sich dieselbe zu sehr erhitzt. Es muß ja berücksichtigt werden, daß bei der Temperaturerhöhung, welche hier eintritt, von  $100\text{ m}^3$  Gas 2 kg Wasser mit fortgeführt werden können. Durch eine solche Austrocknung wird die Masse allmählich unwirksam. Ist dann aber die Masse sehr trocken, so findet nicht mehr die Wärmeabfuhr durch verdampfendes Wasser statt, und die Erhitzung erfolgt daher so weit, daß der Schwefel teilweise schmilzt und die Masse zum Zusammenbacken bringt.

Ist die Masse, wie sie in den Kasten gebracht wurde, sehr feucht gewesen, so wird zufolge der Wärmeentwicklung bei der Schwefelwasserstoffaufnahme so viel Wasser verdampft, daß sich dasselbe im nächsten Kasten am Boden absetzt. Dieser Übelstand tritt jedoch nicht mehr auf, wenn die Masse nur 30 Proz. Wasser enthalten hatte. Die Masse ist immerhin so hygroskopisch, daß sie dann nach längerer Benutzung immer noch 10 bis 12 Proz. Wasser enthält.

Wenn auch das Verfahren des Luftzusatzes eine direkte Umsetzung des Schwefelwasserstoffs in Schwefel ermöglicht, so ist es doch nicht notwendig, den Luftzusatz genau immer so einzurichten, wie es der Schwefelwasserstoffgehalt des Gases verlangt. In diesem Falle wäre ja notwendig, daß man beständig Untersuchungen des Gases auf seinen Schwefelwasserstoffgehalt vornähme. Das Rohgas ändert ja, wie wir auf S. 314 bei Besprechung des Entgasungsprozesses gesehen haben, seinen Schwefelwasserstoffgehalt ganz beträchtlich, und somit wäre auch ein beständiger Wechsel des Luftzusatzes erforderlich. Dies ist jedoch nicht notwendig, weil die Reinigungsmasse gewissermaßen einen Akkumulator für den Sauerstoff darstellt. Enthält die Mischung verhältnismäßig mehr Schwefelwasserstoff als Sauerstoff, so bildet sich in der Reinigungsmasse Schwefeleisen, während im umgekehrten Falle, wenn der Luftgehalt des Gases größer ist, als es der Schwefelwasserstoff bedingen würde, Schwefeleisen durch den Sauerstoff in Eisenhydroxyd verwandelt wird. Erst wenn die ganze Masse in Schwefeleisen verwandelt ist, würde theoretisch ein Überschuß von Schwefelwasserstoff aus dem Gase entweichen. Praktisch stellt sich die Sache allerdings etwas anders dar, weil die Bindung des Schwefelwasserstoffs an das Eisenhydroxyd rascher vonstatten geht, als die Regenerierung desselben. Würde man daher im Durchschnitt den Luftgehalt so einrichten, daß er genau dem Schwefelwasserstoffgehalt des Gases entspricht, so würde ein Teil des Sauerstoffs unverbraucht durchgehen. Denn das Eisenoxyd nimmt den Schwefelwasserstoff rascher auf, als das Eisensulfid den Sauerstoff aufnimmt, und somit bliebe ein Teil des

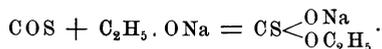
<sup>1)</sup> Vgl. Grothe, Journ. f. Gasbel. 1902, S. 467.

Sauerstoffs unverbraucht und andererseits würde die Masse allmählich in Schwefeleisen verwandelt, trotzdem ein Überschuß von Sauerstoff aus dem Reiniger entweicht. Ein Sauerstoffgehalt im Gase ist jedoch, wie wir schon wiederholt erörtert haben, sehr nachteilig. Man muß also dafür sorgen, daß nicht so viel Luft zugesetzt wird, als dem Schwefelwasserstoffgehalt des Gases entspricht, sondern weniger. Das im Reinigerkasten gebildete Schwefeleisen muß dann durch die gewöhnliche Regenerierung außerhalb des Kastens in Eisenhydroxyd verwandelt werden.

Es ist ohnedies erforderlich, daß die Masse manchmal aus dem Kasten herausgenommen wird, obwohl dies theoretisch bei Luftzusatz zum Gase nicht erforderlich wäre. Der Grund hierzu liegt schon darin, daß die Masse allmählich austrocknet und nach zu langer Verwendung selbst bei Bespritzen kein Wasser mehr aufnehmen würde und infolgedessen nicht wieder regenerierbar wäre. Durch einen allzu hohen Luftzusatz würde außerdem nach dem Austrocknen der Masse auch eine zu starke Erwärmung derselben eintreten, so daß der Cyangehalt der Reinigungsmasse zersetzt würde, wobei sich Rhodanverbindungen bilden würden. Außerdem würde der Sauerstoffüberschuß im Vereine mit den geringen Mengen von Cyanwasserstoff, welche im Gase auch hinter dem Reiniger noch enthalten sind, Gasbehälter und Gasmesser gefährden, indem die Eisenbestandteile derselben angegriffen würden.

Der Luftzusatz soll sich stets nach dem Gehalt an Schwefelwasserstoff richten, soll aber im allgemeinen 1,5 Proz. nicht übersteigen. Bei höherem Luftzusatz treten die schon genannten Übelstände ein, die namentlich durch eine zu große Überhitzung der Reinigungsmasse hervorgerufen werden.

Ein übermäßig großer Luftzusatz kann unter Umständen zu großen Betriebsstörungen führen, so z. B. zur Bildung von Kohlenoxysulfid (COS). Schon Funk<sup>1)</sup> hatte die Bildung von Kohlenoxysulfid beobachtet, jedoch war dieselbe noch nicht mit Sicherheit nachgewiesen<sup>2)</sup>. Einen interessanten Fall der Bildung dieser Kohlenstoffschwefelverbindung, die sonst nicht im Leuchtgas vorkommt, beobachtete Kramers<sup>3)</sup>. Es war durch die Reinigungsanlage zufällig zuviel Luft hindurchgesogen worden, wodurch der Schwefel in Brand geriet und sich mit dem Kohlenoxyd des Leuchtgases zu COS vereinigte. 6 m<sup>3</sup> Leuchtgas enthielten 1044 cm<sup>3</sup> dieser Verbindung. Die Entfernung gelang durch eine Lösung von 20 kg Ätznatron in 14 Litern Spiritus, welche in einer Abteilung eines Wäschers verwendet wurde, und welche die 8000 m<sup>3</sup> vollständig reinigte. Die Aufnahme erfolgt gemäß der Gleichung:



Aus dieser Verbindung läßt sich das Kohlenoxysulfid durch Schwefelsäure wiedergewinnen.

Alle diese Übelstände, welche durch zu reichlichen Luftzusatz entstehen, haben in manchen Städten derart große Schwierigkeiten hervorgerufen, daß man den schon eingeführten Luftzusatz zum Rohgas wieder aufgegeben hat. Dies ist jedoch ungerechtfertigt, denn man hätte zweifellos günstige Resultate erzielt, wenn man den Luftzusatz in den vorgeschriebenen bescheidenen Grenzen gehalten hätte.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1903, S. 711. — <sup>2)</sup> Vgl. Bunte, ebend. — <sup>3)</sup> Het Gas 1908, S. 244; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 228.

Der Zusatz der Luft erfolgt entweder mit Hilfe eines Gebläses durch einen Dampfstrahlinjektor, oder mit Hilfe des Exhaustors, welcher dazu dient, das Gas aus den Retorten anzusaugen und unter Druck zu setzen, indem man denselben mit stärkerer Saugwirkung arbeiten (etwa 10 mm Wassersäule) und durch eine geeignete Öffnung Luft ansaugen läßt. Auf alle Fälle muß die Luft, welche dem Gase zugesetzt wird, gemessen werden, so daß man stets darüber informiert ist, wieviel Prozente Luft man zugesetzt hat. Als Meßvorrichtungen für die Luft kann entweder ein Gasmesser dienen oder ein Rotamesser<sup>1)</sup> oder schließlich der statische Meßapparat von Helck. Dieser ermittelt die Druckdifferenz, welche vor und hinter einer Drosselung entsteht, wenn die Luft hindurchstreicht, derart, daß man an einem Manometer stets die Luftmenge ablesen kann.

Betreffs der Stelle, wo der Zusatz der Luft stattfinden soll, sind die Meinungen noch geteilt; fügt man die Luft zu dem rohen Steinkohlengas vor der Kondensation hinzu, so hat dies den Vorteil, daß die Luft schwere Kohlenwasserstoffe aus dem Teer mit aufnimmt. Der Luftzusatz vor der Wäsche bewirkt, daß die Luft gleichzeitig möglichst mit Wasserdampf angereichert wird. Bueb<sup>2)</sup> hingegen befürwortet den Luftzusatz erst unmittelbar vor dem Reiniger, weil sonst die Cyanausbeute wesentlich geringer wird.

Betreffs der Bedienung der Reiniger ist zu beachten, daß dieselben nicht zu kalt stehen dürfen, denn bei sehr niedriger Temperatur ist die Reaktion der Aufnahme des Schwefelwasserstoffs in der Reinigungsmasse eine zu langsame. Ferner muß, wie schon erwähnt, die Reinigungsmasse etwas feucht sein, weil die Reaktion Wasserdampf erfordert. Man bespritzt die Masse, bevor man sie in den Reinigerkasten einbringt, mit etwas Wasser derart, daß sie sich mit der Hand eben noch zusammenballen läßt, ohne daß die Hand dabei feucht wird. Die Reinigungsmasse wird auf Holzhornden oder dgl., die wir später kennen lernen werden, eingebracht und auf eine Schichthöhe von 200 bis 300 mm aufgeschüttet. An den Rändern der Hornden, wo die Reinigungsmasse an den eisernen Wandungen des Reinigers anliegt, befinden sich häufig Stellen, wo Gas ungereinigt hindurchtreten kann. Es ist deshalb vorteilhaft, die Ränder durch festeres Eindrücken der Reinigungsmasse besser zu packen, so daß dort Gas nicht hindurchtreten kann und alles Gas gezwungen ist, in der Mitte durch die Reinigungsmasse hindurchzugehen.

Um eine vollständige Entfernung des Schwefelwasserstoffs aus dem Gase zu erzielen, ist es stets notwendig, eine größere Anzahl von Reinigern zu verwenden; nur bei ganz kleinen Anlagen ist es möglich, mit einem einzigen Reiniger das Auslaugen zu finden. Dies kann jedoch nur bei kleinen Fabrikanlagen vorkommen, wo gänzliche Unterbrechungen in der Gasproduktion eintreten dürfen. Alle Anlagen, die einen kontinuierlichen Betrieb erfordern, müssen zumindest zwei Reiniger haben, schon aus dem Grunde, um beim Ausräumen der Reinigungsmasse des einen Reinigers den anderen mittlerweile einschalten zu können, so daß niemals ungereinigtes Gas in den Behälter oder in die Konsumleitung abgegeben wird. Aber auch mit zwei Reinigern können nur die kleinsten Gaswerke das Auslaugen finden. In allen Anlagen, die einen kontinuierlichen Betrieb erfordern, z. B. in städtischen Beleuchtungsanlagen,

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 645. — <sup>2)</sup> Ebend. 1903, S. 734.

wenn sie auch von der kleinsten Art sind, sind mindestens drei Reiniger zweckmäßig. Die Leitungen und Absperrventile müssen derart eingerichtet sein, daß es möglich ist, die Reiniger in beliebiger Reihenfolge hintereinander einzuschalten. Bezeichnen wir die drei Reiniger mit den Nummern I, II und III, so müssen diese geschaltet werden können in der Reihenfolge

$$\begin{array}{c} \text{I — II — III} \\ \text{II — III — I} \\ \text{III — I — II} \end{array}$$

Ferner muß jeder der drei Reiniger ausschaltbar sein, so daß die anderen beiden allein arbeiten, während der eine mit frischer Masse beschickt wird.

Durch diesen Wechsel wird erreicht, daß gerade so wie beim Gegenstromprinzip die schon zum Teil ausgebrauchte Reinigungsmasse mit dem rohen Gas in Berührung kommt, während das schon möglichst gereinigte Gas in die frische Reinigungsmasse eintritt, um vollständig von Schwefelwasserstoff befreit zu werden. Hat man z. B. die Reiniger nach der Reihenfolge I—II—III geschaltet und sämtliche drei Reiniger mit Reinigungsmasse beschickt, wie dies beispielsweise bei der Inbetriebsetzung eines Gaswerkes der Fall ist, so wird der Reiniger I am meisten mit Schwefelwasserstoff gesättigt werden, während in den Reiniger II schon etwas reineres Gas eintritt, welches hier vollständig von Schwefelwasserstoff befreit wird, so daß in den Reiniger III überhaupt kein Schwefelwasserstoff mehr gelangt und somit dort reines Gas ein- und austritt. Man arbeitet nun so lange, bis beim Eingange des dritten Reinigers Schwefelwasserstoff im Gase zu bemerken ist (vgl. S. 265). Nun schaltet man den Reiniger I gänzlich aus und läßt das Gas durch die anderen beiden Reiniger in der Reihenfolge II, III hindurchtreten. Währenddessen wechselt man die Reinigungsmasse im Reiniger I. Danach befindet sich also im ersten Reiniger die frischeste Masse, während im zweiten Reiniger die am längsten gebrauchte und im dritten Reiniger eine nur zum Teil angegriffene Masse vorhanden ist. Die Wiedereinschaltung des Reinigers I ist also an letzter Stelle vorzunehmen, so daß die Schaltung II—III—I stattzufinden hat. Nun ist also Nr. II der Reiniger, welcher das rohe Gas zunächst empfängt und der am meisten angegriffen wird. Kann man jetzt geringe Mengen von Schwefelwasserstoff beim Eingang zum Reiniger I wahrnehmen, so muß man den Reiniger II gänzlich ausschalten, um ihn mit frischer Masse zu beschicken, und läßt nun die anderen beiden in der Reihenfolge III—I arbeiten. Nach Neubeschickung von Nr. II arbeiten dann die Reiniger in der Reihenfolge III—I—II, wie oben erwähnt. Nunmehr ist der dritte Reiniger an erster Stelle, er empfängt also das Rohgas und wird daher am meisten angegriffen. Er muß ausgeschaltet werden, wenn der Eingang des Reinigers II unreines Gas zeigt, und kann nach Neubeschickung mit frischer Reinigungsmasse an letzter Stelle wieder eingeschaltet werden, so daß jetzt die Schaltung I—II—III vorhanden ist, also dieselbe Schaltung wie zu Anfang der Periode, wie wir sie oben erläutert haben.

Durch das allmähliche Austrocknen der Reinigungsmasse und das Zusammenbacken derselben wird die Masse allmählich weniger durchlässig für Gas, und das Gas erfährt daher durch die ältere Reinigungsmasse einen höheren Druckverlust. Dieser Druckverlust wird ein beträchtlicher, wenn man mit Luftzusatz zum Gase arbeitet, weil die Masse, wie schon erwähnt, allmählich austrocknet. Schon aus diesem Grunde ist es trotz des Luft-

zusatzes nicht möglich, die Reiniger unbegrenzte Zeit mit derselben Reinigungsmasse beschickt zu lassen, wie dies eigentlich theoretisch möglich wäre. Die Masse muß vielmehr nach einiger Zeit herausgenommen, zerkleinert und mit Wasser wieder befeuchtet werden.

Auf eine wichtige diesbezügliche Neuerung hat Allner<sup>1)</sup> hingewiesen. Im Gaswerk in Christiania wurde eine Art der Reinigerschaltung angewendet, welche wesentliche Vorteile bietet und sowohl von Lux als von der Deutschen Kontinental-Gasgesellschaft<sup>2)</sup> am Kontinent eingeführt wurde. Danach werden die Reiniger je nach der Produktion alle 24 oder 48 Stunden umgeschaltet. Bei Anwendung von vier Reinigern dienen die ersten beiden zur Aufnahme des Schwefelwasserstoffs unter gleichzeitiger Regenerierung durch die zugeführte Luft, während sich in den letzten beiden Kästen nur wesentlich der Regenerierungsprozeß vollzieht. Die Geschwindigkeit der Schwefelaufnahme durch die Masse ist größer als die Reaktionsgeschwindigkeit des Regenerierungsvorganges (vgl. S. 451). Der anfänglich zuerst geschaltete Kasten, welcher die Hauptmenge des Schwefels entfernt hatte und beim Schalten an letzter Stelle kommt, nimmt nun im wesentlichen den Sauerstoffgehalt aus dem Gase auf. Die Prüfung des Gases erfolgt stets hinter dem zweiten Reiniger. Ist das Gas unrein, so muß der Reiniger mit der längsten Betriebszeit ausgeschaltet und umgepackt werden. Der mit neuer Masse wieder beschickte Reiniger ist dann an vierter Stelle in das System einzuschalten. Die kleine Menge von Schwefelwasserstoff, welche der letzte Reiniger beim Umschalten doch erhält, wird durch einen Nachreiniger vollkommen entfernt. Die Masse soll beim Eintragen etwa 30 Proz. Wasser enthalten, das Anfeuchten soll 24 Stunden vor dem Eintragen erfolgen, und es soll das Wasser von der Masse vollständig aufgesogen sein. Durch diese Reinigerschaltung bleiben die einzelnen Masseteilchen in steter Reaktion und backen nicht so leicht zusammen. Es ist dabei zweckmäßig, den Luftzusatz zum Rohgas bereits vor dem Ammoniakwäscher zu bewirken. Die Luft sättigt sich dann gleich mit Wasserdampf. Zweckmäßig ist es auch, den Inhalt des Reinigerkastens bei der Regenerierung nach Schichten zu trennen. Man kann dann die bereits stark schwefeldurchsetzte Schicht entfernen. Der Hauptvorteil dieses Verfahrens des Umschaltens der Reinigerkästen liegt jedenfalls darin, daß die Masse, welche in dem einen Kasten austrocknet, stets den nächstfolgenden durch den abgegebenen Wasserdampf wieder anfeuchtet, so daß auch beim theoretischen Luftzusatz kein Austrocknen und Zusammenbacken stattfindet, daher bleibt die Masse dann viel längere Zeit brauchbar.

Das Gas muß, bevor es zu den Reinigern tritt, vollständig teerfrei und genügend gekühlt sein, weil sonst die Masse entweder durch Wassertröpfchen oder durch Teerteilchen verschmiert. Sie würde sonst gasundurchlässig und würde einen hohen Widerstand gegen den Durchtritt des Gases hervorrufen. Auch kein zu hoher Ammoniakgehalt darf im Gase vorhanden sein, weil sonst an Stelle von Cyanaufnahme eine Zerstörung des gebildeten Blaus stattfindet, indem sich Rhodanverbindungen bilden.

Welche vorzügliche Resultate diese tägliche Umschaltung bei richtigem Vorgehen liefert, zeigt eine Mitteilung des Gaswerkes Oppeln, wonach bei

---

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 733. — <sup>2)</sup> Allner, ebend. 1911, S. 582; vgl. auch Journ. f. Gasbel. 1910, Nr. 32.

1,5 Proz. Luftzusatz bei Vergasung von „Königin-Luise“-Kohlen und Anwendung von vier Reinigern mit geteiltem Strom in Dreierschaltung seit vielen Monaten nach Durchgang von 1,5 Millionen Kubikmeter noch kein Reiniger geöffnet werden mußte.

Beim Herausnehmen der Masse aus den Reinigern muß vor allem darauf geachtet werden, daß sie nicht auf höheren Haufen längere Zeit liegen bleibt, weil sonst leicht Selbstentzündungen stattfinden können. Dies ist eine Folge der großen Wärmemenge, welche sich bei der Regenerierung entwickelt wegen der leichten Entzündbarkeit des Schwefels. Die Masse muß daher nach dem Herausnehmen sofort mit Wasser bespritzt und auf großen Flächen ausgebreitet werden. Dies erfolgt auf den sogenannten Regenerierböden. Diese sind möglichst in der Nähe des Reinigerraumes entweder neben oder über demselben anzuordnen. In letzterem Falle muß ein geeigneter Aufzug für die Reinigungsmasse vorhanden sein.

Jedoch auch die bereits regenerierte gebrauchte Masse darf man nicht zu lange liegen lassen, da auch sie sich durch Oxydation des Schwefels allmählich erwärmt, wodurch die Cyanverbindungen teilweise zerstört werden und ein Rückgang des Wertes der Reinigungsmasse stattfindet. Es kann auch die Oxydation des abgeschiedenen Schwefels in regenerierter Reinigungsmasse zu Selbstentzündungen führen.

Um die Wirksamkeit der Reinigungsmasse auf das Gas zu prüfen, bedient man sich eines sehr einfachen Verfahrens (vgl. S. 265 bis 267). Bekanntlich werden Bleisalze durch Schwefelwasserstoff außerordentlich leicht zersetzt, indem sich Schwefelblei bildet ( $PbS$ ), das schwarz gefärbt ist und somit leicht den Schwefelgehalt des Gases anzeigt. Es genügt, einen Papierstreifen mit einer Lösung eines Bleisalzes — gewöhnlich essigsäures Blei (Bleizucker, Bleiacetat) — zu tränken und dieses Papier eine Zeitlang mit dem Gasstrom zu bespülen. Das mit der Bleilösung befeuchtete Papier wird einem Probehahn gegenübergehalten, aus welchem das Gas in vollem Strahle auströmt. Man läßt das Gas mindestens eine Minute lang auf das Papier einwirken, um stets ungefähr dieselbe Gasmenge zur Einwirkung zu bringen. Bei hohem Schwefelwasserstoffgehalt des Gases färbt sich das Papier sofort schwarz, bei geringem Gehalt nach längerer Zeit braun. Will man sicher sein, daß die Reinigungsanlage vollständig ordnungsgemäß funktioniert, so darf das Gas vor dem Eintritt in den letzten Reiniger das Bleipapier nicht färben. Der letzte Reiniger dient dann zur Sicherheit. Die Prüfung mit dem Bleipapier ist nur dann eine sichere, wenn das Bleipapier angefeuchtet wird. Man erhält mit Bleilösungen getränkte Papiere im Handel, die jedoch trocken sind und erst angefeuchtet werden müssen, wenn man eine scharfe Reaktion erzielen will. Ist das Gas ein wenig ammoniakhaltig, oder hält man das Papier vor Ausführung der Probe eine Zeitlang über eine Flasche mit Ammoniakwasser, so ist die Reaktion eine außerordentlich empfindliche. Es wird dann bereits ein Zehnmillionstel an Schwefelwasserstoffgehalt des Gases angezeigt<sup>1)</sup>.

Erfüllt die zeitweise Prüfung des Gases mit Bleipapier auch ihren Zweck bei der Reinigungsanlage genügend, so ist es beim fertig gereinigten Gase doch notwendig, eine genauere Dauerprobe vorzunehmen. Im fertigen Gase

<sup>1)</sup> Carpenter, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 979.

dürfen auch nicht die geringsten Spuren von Schwefelwasserstoff enthalten sein. Man verwendet zu diesem Zwecke kontinuierliche Schwefelprüfer, in denen ein Streifen von mit Bleilösung getränktem Papier dauernd im Gasstrom bleibt, das Papier wird an einem Haken in einem vertikal stehenden Glasrohre aufgehängt und taucht mit seinem unteren Ende in ein kleines Näpfchen mit Wasser, so daß es beständig befeuchtet bleibt. Der Gasstrom wird durch einen unterhalb des vertikalen Glasrohres angebrachten Regler konstant gehalten und entweicht oben aus einer kleinen Spitze. Hier bringt man dann gewöhnlich noch eine Probeflamme an, aus deren Höhe man auf die sonstige Beschaffenheit des Gases einen Schluß ziehen kann. Das Gas, welches zur Abgabe bestimmt ist, muß so rein sein, daß sich der Papierstreifen während 24 Stunden nicht bräunt. Der Streifen wird daher alle 24 Stunden ausgewechselt. Eine Aufbewahrung dieser Streifen zur etwaigen späteren Kontrolle ist zwecklos, weil das entstehende Bleisulfid sich mit der Zeit durch den Sauerstoffgehalt der Luft zu Bleisulfat oxydiert, welches weiß ist, wodurch also die dunkle Färbung des Papiers verschwindet.

In neuerer Zeit werden auch kontinuierlich registrierende Schwefelprüfer verwendet, welche darauf beruhen, daß ein Papierstreifen, der mit Bleilösung getränkt ist, durch ein Uhrwerk dauernd an einem Gasstrom vorbeigezogen wird. Auf dem Papierstreifen wird gleichzeitig die Zeit markiert, so daß man urteilen kann, zu welcher Zeit eine Unreinheit im Gase aufgetreten ist<sup>1)</sup>. Raupp hat den Vorschlag gemacht, den Gang der Reinigung selbsttätig ständig kontrollieren zu lassen, indem die Eigenschaft des Selens, den elektrischen Strom bei Belichtung weit besser zu leiten als im Dunkeln, benutzt wird. Wird eine Selenzelle hinter einem Streifen von Bleipapier angebracht, welcher mit dem Gasstrom in Berührung steht, so wird die Leitungsfähigkeit des Selens so lange gut bleiben, als das Gas rein ist. In dem Momente jedoch, wenn sich das Papier schwärzt, was ja durch den Schwefelwasserstoffgehalt des Gases hervorgerufen wird, wird das Selen nicht mehr so gut belichtet sein, wird also einen höheren Widerstand annehmen, und dadurch kann man ein elektrisches Relais auslösen und somit ein Glockensignal erhalten, wenn die Reinigung nicht wirkt<sup>2)</sup>.

Das Aufnahmevermögen der Reinigungsmasse ist sehr verschieden, je nach dem Zustande, in welchem sich dieselbe befindet. Raseneisenerz läßt sich so oft regenerieren, daß pro  $1\text{ m}^3$  Masse etwa 10 000 bis 15 000  $\text{m}^3$  Gas gereinigt werden können. Luxmasse ist noch wirksamer, indem damit 15 000 bis 25 000  $\text{m}^3$  Gas von Schwefelwasserstoff befreit werden können. Eine noch größere Leistungsfähigkeit besitzt die Reinigungsmasse, wenn man dem Gase, wie auf S. 450 erwähnt, Luft zusetzt. Es werden dann Reinigungseffekte von 20 000 bis 30 000  $\text{m}^3$  pro  $1\text{ m}^3$  Masse erzielt. Wendet man die tägliche Umschaltung der Reiniger an (S. 454), so können über 100 000  $\text{m}^3$  pro  $1\text{ m}^3$  Masse gereinigt werden. Natürlich hängt diese Zahl von dem Schwefelgehalte des betreffenden Gases ab. Aus englischer Kohle wird ein viel schwefelreicheres Gas erzielt als aus den deutschen Kohlensorten, und somit hält bei den deutschen Kohlen die Masse länger an.

Für den Reinigungseffekt und die Kosten, welche die Gasreinigung hervorruft, ist die Wahl einer geeigneten Masse von besonderer Bedeutung. Der

<sup>1)</sup> Solche Apparate werden z. B. von der Firma Elster geliefert. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1906, S. 60.

wirksame Bestandteil jeder Gasreinigungsmasse ist das Eisenhydroxyd. Die früher vielfach benutzte Lamingsche Masse, welche durch Mischen von Eisenvitriollösung mit Kalk und Sägespänen erzeugt wurde, wird heute wegen der Geruchbelästigung, welche dabei entsteht, indem sich Calciumsulfide bilden, gar nicht mehr angewendet. Man verwendet heute beinahe ausschließlich die natürlichen Eisenerze mit großem Gehalt an Eisenhydroxyd, welche in Form von Raseneisenerz oder Brauneisenstein vorkommen, oder künstliche Reinigungsmassen, unter denen besonders jene von Lux in der letzten Zeit umfangreiche Verwendung gefunden hat.

Das Raseneisenerz ist ein Gemenge von Eisenhydroxyd mit organischen Substanzen. Letztere bestehen aus Pflanzenresten, welche durch eisenhaltiges Wasser mit einer Schicht von Eisenhydroxyd überzogen sind. Da das Raseneisenerz an sich keine alkalische Reaktion besitzt, so findet die Aufnahme von Schwefelwasserstoff erst dann in energischer Weise statt, nachdem durch den geringen Ammoniakgehalt des Gases die Masse etwas alkalisiert ist. Diese Masse wirkt daher bei dem ersten Einbringen in den Reiniger nicht sofort mit voller Kraft, sondern erst nach der zweiten Regenerierung. Man muß darauf sehen, daß die Masse frei von harten Knollen ist, und daß sie locker und porös ist, damit das Gas mit jedem einzelnen Teilchen der Masse in innige Berührung kommen kann. Die Masse darf auch nicht viel Sand und Ton enthalten, was bei schlechten Massen oft der Fall ist. Ein Kubikmeter dieser Masse wiegt etwa 800 bis 850 kg.

Die Luxsche Reinigungsmasse besteht aus einem alkalisierten Eisenhydroxyd. Sie wird bei der Verarbeitung von Bauxit auf Aluminiumoxyd gewonnen. Der Bauxit wird mit Soda behandelt, wobei sich eine Verbindung mit dem Natriumcarbonat bildet. Diese Verbindung, in welcher das Eisenoxyd als Säure und das Natron als Base aufzufassen ist, wird durch Wasser zerlegt, indem sich Eisenhydroxyd in besonders fein verteilter Form ausscheidet. Dieses Produkt enthält stets noch eine geringe Menge von Natron, so daß es also an sich schon alkalisch ist und nicht erst durch den Gehalt des Gases alkalisch gemacht werden muß. Die Luxsche Masse ist daher besonders zur Reinigung solcher Gase geeignet, welche kein Ammoniak enthalten, wie z. B. das Wassergas.

Die Frage, ob die Luxmasse auch bei der Reinigung von Steinkohlengas der natürlichen Raseneisenerzmasse vorzuziehen sei, hat zu einem lebhaften Meinungswechsel geführt. Terneden<sup>1)</sup> hob hervor, daß der Wert einer Reinigungsmasse nicht vom Eisengehalt derselben, sondern von der Form abhängt, in welcher das Eisen enthalten ist. Deshalb besitzt die Luxmasse, die besonders eine ganz gleichmäßige Zusammensetzung aufweist, gegenüber dem Raseneisenerz wesentliche Vorzüge. Dieselbe nimmt namentlich beim ersten Gebrauch viel Schwefel auf, bringt es überhaupt zu einem höheren Schwefelgehalt als bei Raseneisenerz. Es ergaben sich dadurch z. B. in Amsterdam Ersparnisse von 18 Proz. an Löhnen für die Auswechslung der Masse. Die Luxmasse hat jedoch den Nachteil, leicht in Brand zu geraten, weil sie außerordentlich rasch Sauerstoff aus der Luft aufnimmt. Sie muß daher nach dem Öffnen des Reingigers stark befeuchtet werden. Beim Einbringen in den Kasten darf sie hingegen nicht zu naß sein, weil sie sonst

---

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 858.

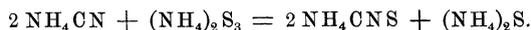
sehr zusammenbackt und dann einen hohen Druckverlust verursacht. Lux<sup>1)</sup> betont, daß auch Raseneisenerz sich manchmal bei der Regenerierung entzündet und empfiehlt die Zumischung von Sägemehl zur Luxmasse, welches auch bei der Verarbeitung der ausgebrauchten Reinigungsmasse vorteilhaft sei, da es die Filtration der Lauge erleichtere. Becker<sup>2)</sup> empfiehlt eine Mischung von  $\frac{3}{4}$  Raseneisenerz mit  $\frac{1}{4}$  Luxmasse ev. (bei besonders kalten Regenerierräumen) die Mischung gleicher Teile<sup>3)</sup>, ohne Zusatz von Sägemehl, weil die lebhaftete Erhitzung der Luxmasse den Blaugehalt der Reinigungsmasse zurücksetzt; die Zumischung von Sägemehl wirkt preisdrückend auf den Verkauf. Gewöhnlich wird eine Mischung von 1 Tl. Luxmasse mit 2 bis 3 Tln. Raseneisenerz angewendet. Allerdings muß auch berücksichtigt werden, daß die alkalische Reaktion der Luxmasse die Bildung des Blaugehaltes etwas zurückhält. Es ist dies jedoch namentlich jetzt bei den geringeren Preisen, die für Cyan bezahlt werden, nicht von besonderer Bedeutung. Jedenfalls ist die Luxmasse außerordentlich reaktionsfähig und überall dort zuzusetzen, wo ein zu langsames Angreifen der Gase durch den Schwefelgehalt stattfindet.

Wenn auch die Cyanabsorption heute nicht mehr die große Rolle spielt, wie vor wenigen Jahren, so ist sie doch schon deshalb von Bedeutung, weil dadurch der Wert der zu verkaufenden ausgebrauchten Reinigungsmasse bedingt wird. Der Wert der cyanhaltigen Produkte der ausgebrauchten Reinigungsmasse ist auch heute noch ein so hoher, daß dadurch nicht nur die ganzen Kosten der neuen Reinigungsmasse gedeckt werden, sondern noch ein Überschuß erzielt wird. Die ausgebrauchte Reinigungsmasse wird in chemischen Fabriken auf gelbes Blutlaugensalz verarbeitet. Dieses wird dann in Cyankalium verwandelt, welches namentlich nach Transvaal zur Extraktion von Gold aus den Golderzen in großen Mengen verkauft wird.

Das Cyan tritt in der Reinigungsmasse hauptsächlich in Form von Berlinerblau,  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ , und von Rhodanammionium ( $\text{CNSNH}_4$ ) auf, ferner findet sich etwas Ferrocyanammionium und Cyanammionium ( $\text{CNNH}_4$ ) vor.

Von dem gesamten Cyanwasserstoffgehalt des Gases wird nur ein geringer Teil vom Gaswasser aufgenommen. 50 bis 70 Proz. desselben werden von der Reinigungsmasse absorbiert, 10 bis 20 Proz. bleiben im Gase, wenn man nicht einen eigenen Cyanwäscher (S. 441) anwendet.

Betreffs der Vorgänge bei der Aufnahme des Cyans in der Reinigungsmasse ist zu berücksichtigen, daß das Eisenhydroxyd,  $\text{Fe}_2(\text{OH})_6$ , nicht direkt Cyan absorbiert. Es wird vielmehr zunächst durch den Schwefelwasserstoffgehalt des Gases in Eisenhydroxydul,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , verwandelt und dieses absorbiert den Cyanwasserstoff unter Bildung von Eisencyanür,  $\text{Fe}(\text{CN})_2$ ; dies ist eine unlösliche Eisencyanverbindung. Ein Gemisch von Eisenhydroxyd und Eisenoxydul absorbiert dagegen direkt den Cyanwasserstoff unter Bildung jener Doppelsalze, die man als Berlinerblau bezeichnet. Schwefeleisen ( $\text{FeS}$ ) absorbiert Cyanwasserstoff nur dann, wenn gleichzeitig Sauerstoff vorhanden ist<sup>4)</sup>. Hierbei bilden sich aber gleichzeitig Rhodanverbindungen besonders dann, wenn die Temperatur hoch ist (vgl. S. 451), also z. B., wenn sich die Reinigungsmasse erhitzt, ebenso bei Gegenwart von Ammoniak, nach der Formel:



<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 858. — <sup>2)</sup> Ebend. 1908, S. 492. — <sup>3)</sup> Ebend. 1908, S. 858. — <sup>4)</sup> Feld, ebend. 1902, S. 935.

Leybold empfiehlt zum Zwecke, eine möglichst günstige Blaubildung zu erzielen, die Anwendung sehr großer Reiniger, damit die Gasgeschwindigkeit eine geringe ist. Ebenso empfiehlt er eine gute Befreiung von Ammoniak<sup>1)</sup>.

Bei der Untersuchung neu angelieferter Reinigungsmassen muß hauptsächlich berücksichtigt werden, daß der Wirkungsgrad derselben nicht vom Gehalt der Masse an Eisen allein abhängt, sondern besonders von dem Zustand, in welchem sich das Eisen vorfindet, und hauptsächlich auch von der physikalischen Beschaffenheit der Masse selbst. Grobe Knollen in der Masse sind auf alle Fälle schlecht, da diese auch nach der Zerteilung nicht mehr die volle Wirksamkeit besitzen. Es ist eben vornehmlich die organische Substanz, welche im Raseneisenerz eine Auflockerung derart bewirkt, daß das Gas in innige Berührung mit dem Eisenoxyd gelangen kann. Die Porosität einer guten Reinigungsmasse soll 75 Proz. betragen, d. h. nur ein Viertel des Raumes, welchen die Reinigungsmasse einnimmt, soll durch die Massekörnchen beansprucht werden.

In chemischer Beziehung ist nur das Eisenhydroxyd,  $\text{Fe}_2(\text{OH})_6$ , wirksam und dieses läßt sich quantitativ durch chemische Mittel nicht bestimmen. Ein Gehalt der Reinigungsmasse an Sand und Ton ist zweifellos ungünstig. Man kann diese Unreinheiten einigermaßen erkennen, wenn man die Reinigungsmasse in Wasser aufschlämmt. Sand und Ton setzen sich rasch zu Boden und können so erkannt werden.

Eine saure Reaktion der Reinigungsmasse ist auf alle Fälle schädlich, da diese erst durch den Ammoniakgehalt des Gases beseitigt werden muß (vgl. S. 447).

Einen Anhalt über die Aufnahmefähigkeit der Reinigungsmasse an Schwefelwasserstoff kann man nur durch eine Sättigung der Masse mit Schwefelwasserstoff erzielen. Derartige im Laboratorium ausgeführte Proben geben zwar meist viel höhere Werte, als sie in der Praxis erzielt werden, aber dies schadet nicht, denn eine Laboratoriumsprobe soll ja immer zeigen, wie ein Prozeß verläuft, wenn er in der vollkommensten Weise durchgeführt wird.

Zur Untersuchung einer Reinigungsmasse werden gewöhnlich die nachstehenden Proben vorgenommen.

Die grobe Feuchte nennt man jenen Wassergehalt der Reinigungsmasse, welcher durch mehrtägiges Trocknen der Masse im ausgebreiteten Zustande an der Luft abgegeben wird. Eine vollkommenerere Trocknung erzielt man, wenn man die Reinigungsmasse auf 110° einige Stunden hindurch erhitzt. Es ist jedoch unsicher, ob bei dieser Art des Trocknens nicht auch Hydratwasser verloren geht. Die hierbei erzielten Resultate sind daher durchwegs höher. Die grobe Feuchte kann bis 45 Proz. betragen.

Von der lufttrockenen Substanz wird eine Durchschnittsprobe genommen, indem dieselbe sehr fein pulverisiert wird. Man bestimmt dann das Hydratwasser und den Anteil anorganischer Substanz, indem man 1 bis 2 g der Masse in einem Tiegel glüht. Dabei verbrennen die organischen Substanzen und das Eisenoxydhydrat geht in Eisenoxyd ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) über.

<sup>1)</sup> Im Gaswasser wird der Cyanwasserstoff unter Bildung von Rhodanammonium aufgenommen, indem sich zuerst Cyanammonium bildet und dann, wie schon die vorgenannte Gleichung ausdrückt, dieses mit Polysulfiden des Ammoniaks, unter gleichzeitiger Anwesenheit von Sauerstoff, Rhodanverbindungen liefert. (Nauss, Journ. f. Gasbel. 1902, S. 953.)

Den Gehalt an Sand und Ton findet man, indem man etwa 2 g der Masse in 10 cm<sup>3</sup> konzentrierter Salzsäure löst und mit dieser zur Trockene eindampft. Dann benetzt man den Rückstand mit etwas Salzsäure und löst ihn in heißem Wasser auf, wodurch alle Eisenoxyde in Lösung gehen, während Sand und Ton ungelöst bleiben.

Die Bestimmung des Eisengehaltes erfolgt in der wie oben genannt gewonnenen salzsauren Lösung, indem man dieselbe zunächst durch etwas Salpetersäure kochend oxydiert; man kann jedoch das Eisen in der Lösung nicht titrimetrisch bestimmen, weil organische Substanzen vorhanden sind, welche das Resultat beeinträchtigen würden. Man muß daher zunächst das Eisen als Eisenhydroxyd mittels Ammoniak fällen und den Niederschlag nach Abfiltrieren wieder in Salzsäure lösen. Man reduziert dann das Eisenoxyd zu Eisenoxydul durch Zusatz von Zinnchlorür und entfernt den Überschuß des Zinnchlorürs durch Quecksilberchlorid. Man setzt dann Mangansulfat zu und titriert schließlich mit Kaliumpermanganat auf gewöhnliche Weise.

Zum Zwecke der gewichtsanalytischen Bestimmung des Eisens fällt man nicht mit Ammoniak, sondern mit überschüssigem Kali; dabei bleibt Aluminiumoxyd gelöst und man kann das gefällte Eisenhydroxyd nach Abfiltrieren und Glühen in Eisenoxyd verwandeln und wägen. Der Eisengehalt wird stets auf Eisenhydroxyd umgerechnet angegeben, obwohl dies nicht ausschließlich dem Zustande entspricht, in welchem das Eisen in der Reinigungsmasse enthalten ist.

Zum Zwecke der Bestimmung, wieviel Schwefelwasserstoff eine Reinigungsmasse aufzunehmen vermag, welche Bestimmung wohl die wichtigste für die Beurteilung des Wertes der Masse ist, gibt man 25 g der Masse, mit etwa 3 g Sägemehl und 10 cm<sup>3</sup> Wasser gemischt, in einen kleinen Trockenturm, hinter den man noch einen zweiten, mit Chlorcalcium gefüllten Trockenturm schaltet. Letzterer hat den Zweck, den Wasserdampf zurückzuhalten, welcher bei der Einwirkung des Gases auf die Reinigungsmasse mit fortgeführt wird. Man wiegt beide Trockentürme und leitet dann getrocknetes Schwefelwasserstoffgas darüber. Vorher sorgt man jedoch durch Einleiten von Leuchtgas in die beiden Türme, daß sich kein Sauerstoff mehr in diesen befindet, weil ja dadurch der Schwefelwasserstoff bei Gegenwart der Reinigungsmasse in Schwefel umgesetzt würde. Man leitet Schwefelwasserstoffgas so lange durch, bis keinerlei Aufnahme desselben mehr stattfindet, und wägt nach Verdrängen des Schwefelwasserstoffs durch Leuchtgas wieder. Die Gewichtszunahme gibt ohne weiteres die Aufnahme an Schwefelwasserstoff an. Es wurde auch empfohlen, Kohlensäure an Stelle von Leuchtgas zur Verdrängung der Luft zu verwenden. Dies ist jedoch nicht ratsam, weil manche Reinigungsmassen auch Kohlensäure absorbieren.

Als Beispiele der Zusammensetzung verschiedener Reinigungsmassen wollen wir einige von Witzeck<sup>1)</sup> gefundene Zahlen geben (s. Tab. a. f. S.).

Die Zusammensetzungen der Reinigungsmassen sind derartigen Schwankungen unterworfen, daß selbst Lieferungen, die zu gleicher Zeit eintreffen und von demselben Lieferanten stammen, verschiedene Zusammensetzung besitzen. Es muß daher jeder angelieferte Waggon Reinigungsmasse besonders untersucht werden.

---

<sup>1)</sup> Schäfer, Einrichtung und Betrieb eines Gaswerkes, 3. Aufl., S. 545.

Bestandteil	Rasenerz	Luxmasse	Andere künstliche Massen
Wasserabgabe bei 110° . . . . .	10—24 Proz.	14 Proz.	3— 4 Proz.
Glühverlust . . . . .	29—56 „	23 „	15—25 „
Sand und Ton . . . . .	6—28 „	9 „	8—19 „
Eisenhydroxyd, auf Eisen berechnet	47—81 „	65 „	51—90 „
Schwefelwasserstoffaufnahme pro 100 g Masse . . . . .	18—34 g	30 g	10—30 g
Schwefelwasserstoffaufnahme, be- rechnet aus Eisengehalt pro 100 g	22—39 g	31 g	24—43 g

Komplizierter als die Untersuchung der frischen Reinigungsmasse ist die Untersuchung der ausgebrauchten Masse. In dieser wird der Schwefel bestimmt, weil der Schwefelgehalt zeigt, bis zu welchem Grade die Ausnutzung der Reinigungsmasse erfolgt ist. Die Bestimmung des Cyangehaltes gibt Aufschluß über den Verkaufswert der Reinigungsmasse. Ferner gibt der Cyangehalt in Verbindung mit dem Rhodangehalt und dem Ammoniakgehalt einen Aufschluß über die richtige Betriebsführung der Reinigung. Der Ammoniakgehalt gibt ferner noch einen Anhaltspunkt über den Wert der Masse als Düngemittel. Allerdings ist für diesen der Gesamtstickstoffgehalt maßgebender als der Ammoniakgehalt allein.

Zum Zwecke der Entnahme einer richtigen Durchschnittsprobe der Reinigungsmasse muß von jedem Korbe oder jeder Karre, wie sie vom Regenerierboden abgeführt wird, eine Schaufel entnommen werden. Diese werden auf einen Haufen geworfen und gut durchmischt, dann, so wie bei der Entnahme einer Kohlendurchschnittsprobe (vgl. S. 278), eine kleinere Probe entnommen und diese fein pulverisiert und abermals gemischt. Dieses Gemisch stellt dann die Durchschnittsprobe dar. Die Entnahme der Durchschnittsprobe muß sehr rasch erfolgen, damit der Feuchtigkeitsgehalt der Masse sich nicht ändern kann. Die Feuchtigkeit ist ja beim Verkauf der Masse von Wichtigkeit, weil bei der Gewichtsbestimmung der Masse die Feuchtigkeit mit gewogen wird. Die Proben müssen daher in sorgfältig verstöpselten Gläsern aufbewahrt werden, und sind die Stöpsel am besten mit Paraffin zu vergießen. Für den Betrieb ist die Bestimmung der Feuchtigkeit von geringerer Wichtigkeit, da man hier alle Zahlen auf trockene Masse berechnet, weil nur diese Zahlen Anhaltspunkte über die richtige Behandlung der Reinerer gewähren.

Die Bestimmung der groben Feuchtigkeit, welche beim mehrtägigen Trockenlassen an der Luft entweicht, ist bereits S. 460 beschrieben. Das Erwärmen der ausgebrauchten Masse zum Zwecke des Austreibens des Wassers ist unzulässig, weil dadurch Cyanverluste entstehen<sup>1)</sup>.

Die Bestimmung des Schwefels erfolgt in der bei 100° getrockneten Reinigungsmasse. Das Trocken ist hier unschädlich, weil ja die Veränderung des Cyangehaltes bei der Schwefelbestimmung keine Rolle spielt. Außerdem ist es aber nötig, weil sich der Schwefel mit Schwefelkohlenstoff nicht extrahieren läßt, wenn die Masse feucht ist. Zur Bestimmung werden 10 bis 25 g der Masse am besten in einem Tollenschen Extraktionsapparat mit Schwefel-

<sup>1)</sup> Feld, Journ. f. Gasbel. 1903, S. 562.

kohlenstoff ( $\text{CS}_2$ ) extrahiert<sup>1)</sup>. Die vom Teergehalt der Reinigungsmasse etwas dunkel gefärbte Lösung des Schwefels in Schwefelkohlenstoff wird abdestilliert und der zurückbleibende Schwefel, nachdem er erkaltet und erstarrt ist, mit etwas Äther gewaschen, um den Teer möglichst zu beseitigen, dann durch Durchleiten eines Luftstromes getrocknet und der ausgeschiedene Schwefel direkt gewogen.

Elliot<sup>2)</sup> bestimmt den Schwefel in der Reinigungsmasse durch Verbrennung. Eine Glasflasche ist mit zwei Drähten versehen, von denen einer bis auf den Boden reicht. Er trägt eine Verbrennungsschale. Der andere, kürzere, ist mit einem Eisendraht verbunden, der durch einen elektrischen Strom geschmolzen werden kann. In die Verbrennungsschale legt man ein Stück trockene Watte, welche durch einen baumwollenen Docht mit dem Eisendraht verbunden wird. Auf die Watte streut man ein Gemisch von 1 g trockener Reinigungsmasse mit 1 g einer Mischung von Kaliumchlorat und -nitrat (1:1). Der Boden der Flasche wird mit destilliertem Wasser bedeckt und die Luft durch Sauerstoff verdrängt. Dann erfolgt die Entzündung. In die Lösung wird nachher Natriumsuperoxyd eingeführt und die Schwefelsäure mittels Chlorbaryum gefällt.

Die Cyanbestimmung, wie sie gewöhnlich ausgeführt wird, gibt keine genauen Resultate. Es ist daher notwendig, daß zum Zwecke der Wertbestimmung zwischen Käufer und Verkäufer der gebrauchten Reinigungsmasse die Methode vereinbart werde, nach welcher die Cyanbestimmung erfolgen soll. Bisher hatte man meistens die Knublauchsche Methode angewendet, obwohl dieselbe nicht sehr genau ist, doch entspricht sie am meisten der Art der Verarbeitung der Reinigungsmasse in den chemischen Fabriken. Diese Methode<sup>3)</sup> muß genau eingehalten werden, wenn man einigermaßen übereinstimmende Resultate erzielen will. Anderenfalls findet auch leicht eine Umsetzung des Cyans in Rhodan statt, wodurch zu geringe Resultate erhalten werden<sup>4)</sup>.

Nach der Knublauchschen Methode wird die Masse zunächst mit Kalilauge ausgelaugt, wodurch die Cyanverbindungen als Ferrocyanium in Lösung gehen, die Lösung dann mit Salzsäure angesäuert und mit Eisenchlorid gefällt. Das Cyan fällt dabei als Berlinerblau aus. Dieses wird abfiltriert, neuerdings in Kalilauge gelöst und dann mit Kupfersulfat titriert. Betreffs der Einzelheiten dieser Methode muß auf die Originalabhandlung verwiesen werden.

Da, wie schon erwähnt, die Knublauchsche Methode häufig zu geringe Resultate gibt, hat Feld eine andere Methode der Cyanbestimmung ausgearbeitet<sup>5)</sup>. Danach wird das Cyan durch kalte Kalilauge aufgeschlossen, weil beim Erhitzen mit Kali schon Umwandlungen des Cyans in Rhodanverbindungen stattfinden. Vor dem Erhitzen wird dann durch Magnesiumchlorid die Kalilauge unschädlich gemacht, durch Kochen Schwefelwasserstoff ausgetrieben und dann durch Zusatz von Quecksilberchlorid das Cyan in Cyanquecksilber übergeführt. Dieses wird mittels Schwefelsäure zersetzt und die Blausäure abdestilliert, indem man sie in Natronlauge auffängt. Da

<sup>1)</sup> Drehschmidt, Journ. f. Gasbel. 1892, S. 269. — <sup>2)</sup> Ebend. 1910, S. 806. — <sup>3)</sup> Ebend. 1889, S. 450. — <sup>4)</sup> Feld, ebend. 1903, S. 664. — <sup>5)</sup> Ebend. 1903, S. 561 und 1904, S. 545.

bei der Destillation etwas Schwefel mitgeht, so wird dieser durch Zusatz von Bleicarbonat aufgenommen, abfiltriert und in der Lösung die Cyanwasserstoffsäure durch Silbernitrat titriert. Will man auch die in der Reinigungsmasse enthaltenen Alkalicyanide in die Cyanbestimmung mit einbeziehen, so wird vor dem Aufschließen mit Kali Eisenvitriol zugesetzt, so daß Ferrocyanide entstehen.

Eine Vereinfachung der Feldschen Cyanbestimmungsmethode hat Schäfer<sup>1)</sup> angegeben. Nach dieser Vereinfachung ist die Cyanbestimmung im Zeitraum von 1 bis  $1\frac{1}{2}$  Stunden ausführbar.

Bei der Bestimmung von Ammoniak in der Reinigungsmasse hat man zu unterscheiden die Bestimmung des wasserlöslichen Ammoniaks und die Gesamtammoniakbestimmung.

Zur Bestimmung des löslichen Ammoniaks laugt man 25 g der Reinigungsmasse mit Wasser aus, indem man zum Zwecke der leichteren Filtrierbarkeit etwas Magnesiumchlorid zusetzt. Das Auslaugen muß mindestens einen Tag lang unter Umschütteln erfolgen. Die Lösung wird mit Kaliumhydroxyd destilliert, das dadurch frei gemachte Ammoniak in Normalsäure aufgefangen und titriert.

Zum Zwecke der Bestimmung des Gesamtammoniaks werden 5 g der Reinigungsmasse direkt mit Ätznatronlauge destilliert und ebenfalls in Normalsäure aufgefangen und titriert.

Die Differenz zwischen dem Gesamtammoniak und dem löslichen Ammoniak stellt das an Ferrocyanverbindungen gebundene Ammoniak dar.

Die Bestimmung der Rhodanwasserstoffsäure, oder schlechtweg Rhodan genannt, in der Reinigungsmasse erfordert eine verhältnismäßig umständliche Methode. Am besten erfolgt sie nach dem von Feld<sup>2)</sup> angegebenen Verfahren. Nach diesem setzt man der Masse zunächst etwas Quecksilberchlorid und Magnesiumchlorid zu, damit Thiosulfate zersetzt werden, wobei der Schwefelgehalt derselben zum Teil an Quecksilber als Quecksilbersulfid, zum Teil an Magnesia als schwefelsaure Magnesia gebunden wird. Die Rhodanverbindungen werden dann durch Destillation mit Salzsäure und Aluminiumspänen in Schwefelwasserstoff zersetzt. Diese Reduktion erfolgt, indem der gesamte Stickstoff der Rhodanverbindungen in Ammoniak bzw. Chlorammonium überführt wird, während der Kohlenstoff sich als solcher ausscheidet. Der Schwefel wird, wie erwähnt, vollständig in Schwefelwasserstoff übergeführt. Der entweichende Schwefelwasserstoff wird durch Titration mit Jod bestimmt. Vor Beginn des Austreibens des Schwefelwasserstoffs muß die Luft aus dem Glase durch Kohlensäure verdrängt werden, da anderenfalls ein Teil des Schwefelwasserstoffs durch Oxydation unter Abscheidung von Schwefel zersetzt werden könnte.

Die Bestimmung des Gesamtstickstoffs in der Reinigungsmasse wird ausgeführt, wenn es sich um die Anwendung der Masse zu Düngezwecken handelt. Die Bestimmung kann nicht nach der sonst üblichen Methode von Kjeldahl erfolgen, weil dabei die Cyanverbindungen nicht vollständig in Ammoniak verwandelt werden. Nach Jodlbauer<sup>3)</sup> versetzt man 1 g der Reinigungsmasse mit 20 cm<sup>3</sup> konzentrierter Schwefelsäure und 2,5 cm<sup>3</sup> einer Phenol-schwefelsäure, die durch Auflösen von 50 g Phenol in 100 cm<sup>3</sup> Schwefelsäure

<sup>1)</sup> Einrichtung und Betrieb eines Gaswerkes, 3. Aufl., 1910, S. 557, Oldenbourg. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1903, S. 561. — <sup>3)</sup> Schäfer, Einrichtung und Betrieb eines Gaswerkes, 3. Aufl., S. 564, München.

von 66° Bé erhalten wurde. Man setzt dann 2 bis 3 g Zinkstaub zu und 5 Tropfen einer Platinchloridlösung, welche in 1 cm<sup>3</sup> 0,04 g Platin enthält. Man erhitzt bis zur vollständigen Entfärbung und destilliert wie bei der Kjeldahlschen Methode ab.

Die nachstehenden von Knublauch ausgeführten Analysen zeigen, innerhalb welcher Grenze die einzelnen Bestandteile der ausgebrauchten Reinigungsmasse wechseln können.

Bestandteil	Bei geringem Ammoniakgehalt des Gases	Bei hohem Ammoniakgehalt des Gases
Ammoniak . . . . .	0,6 Proz.	6 Proz.
Blau . . . . .	14,0 "	3 "
Rhodanwasserstoffsäure . . . . .	0,06 "	14 "
Schwefelsäure . . . . .	1,7 "	11 "
Schwefel . . . . .	30,0 "	42 "

Diese Zahlen zeigen gleichzeitig, wie sehr der Gehalt an Blau bei hohem Ammoniakgehalt des Gases abnimmt und wie der Rhodangehalt entsprechend zunimmt.

Vom gesamten Cyangehalt der Reinigungsmasse erschienen bei diesen Proben an Ferrocyan bei geringem Ammoniakgehalt 99,6 Proz., bei hohem Ammoniakgehalt dagegen nur 23 Proz. Umgekehrt betrug die Menge an Rhodan bei geringem Ammoniakgehalt nur 0,4 Proz., bei hohem Ammoniakgehalt dagegen 77 Proz. des gesamten Cyangehaltes der Reinigungsmasse.

Abgesehen von der Verwertbarkeit der ausgebrauchten Reinigungsmasse zur Gewinnung von Ferrocyanalkalium, käme auch die Wiederverwendung der Reinigungsmasse in Betracht, wenn man ein einfaches Mittel hätte, den in derselben abgeschiedenen Schwefel zu beseitigen. Ein diesbezüglicher Vorschlag von Tysoe<sup>1)</sup> geht dahin, die Reinigungsmasse durch Abröstung des Schwefels wieder verwendbar zu machen. Der Schwefel verbrennt dabei zu schwefliger Säure, und wenn man nach dem Abbrennen desselben die zurückbleibende Masse mit siedendem Wasser ablöscht, um die letzten Reste von Schwefelsäure daraus zu entfernen, so erhält man einen Rückstand, den man, mit 25 Proz. Sägemehl gemischt und gut befeuchtet, wieder zur Gasreinigung verwenden kann. Allerdings setzt die gute Wirkung erst nach einmaliger Reaktion ein, weil die Masse etwas sauer ist und daher durch einen geringen Ammoniakgehalt des Gases neutralisiert oder alkalisch gemacht werden muß. Außerdem ist diese Masse sehr entzündlich.

Zum Zwecke der Verarbeitung der ausgebrauchten Reinigungsmasse auf Ferrocyanalkalium wird in den chemischen Fabriken zunächst das Rhodan ammonium und das Ammoniumsulfat durch warmes Wasser ausgelaugt und dann das Ferrocyan durch Ätzkali in lösliche Cyansalze überführt. Der Rückstand wird durch Verbrennen auf schweflige Säure verarbeitet. Bei diesem Vorgehen ist darauf zu achten, daß bei zu niedriger Temperatur das Ferrocyan nicht vollkommen aufgenommen wird, weil sich unlösliche Doppelverbindungen von Ferrocyan ammonium mit Berlinerblau bilden. Bei zu hoher

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 186.

Temperatur bilden sich dagegen durch den Schwefelgehalt der Reinigungsmasse Rhodanide, wodurch der Cyaneisengehalt verringert wird. Es ist daher die Einhaltung ganz bestimmter Temperaturen nötig.

Die chemische Fabrik Griesheim-Elektron<sup>1)</sup> schlug vor, zur Verarbeitung der Reinigungsmasse zunächst den Schwefel zu extrahieren. Die Reinigungsmasse würde dann wieder zur Reinigung verwendbar sein und somit könnte eine weit größere Anreicherung von Cyan in der Reinigungsmasse stattfinden. Zur Extraktion des Schwefels verwendet man am besten das technische Orthodichlorbenzol, welches aus einem Gemisch von 75 Proz. Ortho- mit 25 Proz. Paradichlorbenzol besteht, bei 125° siedet, einen Entflammungspunkt von 75° besitzt und bei gewöhnlicher Temperatur nur 3,5 Proz. Schwefel löst, dagegen bei 100° 50 Proz. Schwefel auflöst. Bei 115° löst das Orthodichlorbenzol sogar das Dreifache seines Gewichtes an Schwefel. Bei 100° ist noch keinerlei Schädigung der Reinigungsmasse wahrzunehmen. Die große Löslichkeitsdifferenz des Schwefels im Orthodichlorbenzol verursacht, daß sich der Schwefel bei der Abkühlung der Lösung kristallinisch ausscheidet. Da die ausgebrauchte Reinigungsmasse nicht mehr als 45 Proz. Schwefel besitzt, sind Temperaturen in der Nähe von 100° vollständig genügend, um den Schwefel bequem extrahieren und gewinnen zu können. Die wertvollen Bestandteile der ausgebrauchten Masse werden bei dieser Extraktion nicht verändert.

Wir wollen nun die Apparate besprechen, welche zur Aufnahme der Reinigungsmasse und zur Durchführung der Reinigung des Gases von Schwefelwasserstoff dienen.

### 36. Reiniger.

Man verwendet die Reinigungsmasse in den sogenannten Reinigerkästen, in welchen die Reinigungsmasse schichtweise auf Holzhorden oder dgl. aufgelegt ist, so daß das Gas gezwungen ist, die Masse zu passieren (vgl. S. 453). Wichtig ist dabei, die Geschwindigkeit des Gasstromes so zu halten, daß kein zu hoher Druckverlust zufolge der Querschnittverringering durch die Reinigungsmasse stattfindet. Die günstigste Geschwindigkeit ist eine solche von 5 mm pro Sekunde. Dies entspricht einem Querschnitte des Reinigerkastens von 0,23 m<sup>2</sup> pro 100 m<sup>3</sup> Leistung in 24 Stunden. Zur Reinigung großer Gasmengen pro Tag sind daher ausgedehnte Flächen erforderlich. Bei der Dimensionierung der Größe der Reiniger ist noch zu berücksichtigen, daß pro 1000 m<sup>3</sup> Tagesleistung etwa 4 m<sup>3</sup> Reinigungsmasse erforderlich sind. Selbst beim Bau kleiner Gaswerke sollten die Reiniger nicht zu klein gewählt und womöglich immer drei Kästen angewendet werden (vgl. S. 453). Besser ist es aber, zwei große anstatt drei zu kleine vorzusehen<sup>2)</sup>.

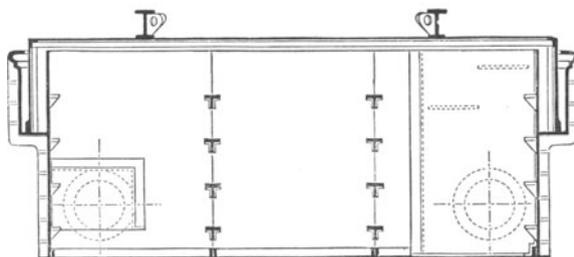
Um die Geschwindigkeit des Gasstromes zu verringern und trotzdem nicht gar zu große Flächen für die Reinigerkästen anwenden zu müssen, ist man in neuerer Zeit vielfach dazu übergegangen, den Gasstrom in dem Reiniger zu teilen, so daß ein Teil desselben nach oben, ein anderer Teil nach unten durch die Reiniger hindurchgeht, und somit jeder dieser beiden Gasströme nur die Hälfte der Geschwindigkeit des ganzen Stromes besitzt.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 137. — <sup>2)</sup> Steuernagel, ebend. 1908, S. 628.

Bei dieser Art werden noch immer horizontale Horden verwendet, indem die Masse in horizontalen Lagen aufgeschichtet wird. Will man jedoch an Grundfläche sparen, so ist es zweckmäßiger, die Reinigungsmasse in vertikalen Schichten vom Gase passieren zu lassen. Man kann dann die Reiniger höher bauen und dementsprechend bringt man eine größere Menge von Reinigungsmasse auf einer geringeren Grundfläche unter. Dies hat schließlich auch zur Konstruktion der Hochreiniger geführt, die wir ebenfalls besprechen wollen.

Zur Herstellung der Reiniger werden ausschließlich gußeiserne Platten benutzt. Schmiedeeisen ist für diesen Zweck nicht geeignet, da es viel zu leicht durchrostet. Die gußeisernen Platten werden gegeneinander verschraubt und durch Kitt abgedichtet. Der Boden der Reiniger wird häufig mit Zement ausgegossen, um die Dichtungsleisten, die am Boden hervorstehen, auszugleichen. Ist der Reiniger mit horizontalen Horden ausgerüstet, so verwendet man dafür gewöhnlich vier Lagen von Horden, die mit etwa 120 bis 150 mm hohen Schichten von Reinigungsmasse überdeckt werden. Die Horden werden

Fig. 203.



aus Holzplatten zusammengezimmert, wie wir dies bereits auf S. 428 erörtert haben. Fig. 203 zeigt den Schnitt durch einen solchen Reinigerkasten, in dem die Horden herausgenommen und nur die Ansätze an den Wänden, welche als Träger für die Horden dienen, ersichtlich sind. Der Gaseintritt befindet sich in der Zeichnung links durch einen Kreis gekennzeichnet, dieser ist überdeckt durch einen kastenförmigen Ansatz, welcher verhindert, daß durch Beschickung eines Reinigers die Masse in das Eingangsrohr fällt. Durch diesen Kasten wird das Gas unter die unterste Horde geleitet, durchstreicht dann sämtliche vier Horden bis nach oben und muß von oben aus abgeleitet werden. Da man jedoch den Eintritt und den Austritt des Gases bei derartigen Apparaten am besten in gleiche Höhe bringt, so wird das Gas innerhalb des Reinigers durch einen Ausgangskasten, der auf der Zeichnung rechts ersichtlich ist, von oben wieder heruntergeleitet, und hier tritt das Gas durch den Ausgangsstutzen in derselben Höhe aus, in welcher sich der Eingangsstutzen befindet.

An dem Oberteil des Reinigers befindet sich eine 500 bis 600 mm tiefe Tasse, welche mit Wasser gefüllt wird, und welche zum Abschluß des in diese Tasse eingesetzten Deckels dient. Diese Tassen werden etwa 150 bis 160 mm breit gemacht. Sie ermöglichen, den Reinigerdeckel jederzeit bequem abheben und wieder schließen zu können, wobei zufolge des hydraulischen Abschlusses stets vollkommene Dichtigkeit erzielt wird.

Zufolge des Wasserabschlusses bei den Reinigerkästen ist es notwendig, den Raum, in welchem sich die Reiniger befinden, zu heizen, damit im Winter

kein Einfrieren des Wasserverschlusses stattfindet. Will man die Heizung vermeiden, oder gar die Reiniger im Freien aufstellen, wie dies in neuerer Zeit in einigen Gaswerken mit gutem Erfolge geschehen ist<sup>1)</sup>, so läßt man durch die Reinigungskästen warmes Wasser zirkulieren, so z. B. das zum Kühlen des Gases dienende Wasser, welches sich in den Kühlern auf die nötige Temperatur erwärmt hat, oder man füllt die Tassen mit Glycerin oder einem Gemenge von Glycerin und Wasser, welches nicht mehr gefrierbar ist.

Um den Wasserverschluß zu umgehen, namentlich auch bei starken Drucksteigerungen, wie sie z. B. in den Kokereien vorkommen, nicht das Ausschlagen der Wassertassen befürchten zu müssen, hat man auch trockene Dichtungen angewendet. Man kann z. B. den oberen Rand der Reinigerkästen mit einer Nut versehen, die mit Weißmetall ausgegossen ist, und dem Deckel eine scharfe Schneide geben, welche durch Schrauben fest auf die Weißmetallnut aufgepreßt wird. Auch mit Hilfe eines Gummiwulstes kann man vollständige Abdichtung der Reinigerdeckel erzielen. Jedoch alle diese Konstruktionen sind nur dort empfehlenswert, wo es sich um so hohe Drucke handelt, daß ein Heraus-schleudern des Wassers aus dem Kasten zu befürchten ist. In allen anderen Fällen ist die hydraulische Dichtung vorzuziehen, weil sie eben wesentlich einfacher zu handhaben ist, und weil mit dieser stets und unbedingt vollkommene Dichtigkeit erzielt wird.

Eine Heizung des Reinigerraumes ist übrigens auch zweckmäßig, damit Kondensate aus dem Gase vermieden werden. Würden die Reiniger sehr kalt stehen und demgemäß das Gas hier eine weitere Abkühlung erfahren, so würde sich Wasser in der Reinigungsmasse kondensieren und würde diese schmierig machen, so daß das Gas einen hohen Widerstand in der Reinigungsmasse erfahren würde. Außerdem aber ist eine bestimmte Temperatur erforderlich, um die Aufnahme des Schwefelwasserstoffs in der Reinigungsmasse möglichst rasch zu bewirken. Sehr kalte Masse absorbiert nur sehr langsam. In kalten Räumen verwendet man daher auch hauptsächlich Luxmasse, da diese eben rascher den Schwefelwasserstoff aufnimmt (vgl. S. 458).

Gewöhnlich wird das Gas von unten nach oben durch die Reinigungsmasse geleitet. Dabei kann es vorkommen, daß, wenn die Masse schon ziemlich zusammengebacken ist und einen hohen Druckverlust hervorruft, durch die entstehende Druckdifferenz unterhalb und oberhalb der Massenschicht die Masse in die Höhe gehoben wird und an einer Stelle aufbricht. Das Gas bekommt dann an dieser Stelle einen Kanal, durch den es hindurchtreten kann, ohne gereinigt zu werden. Um dies zu vermeiden, kann man den Gasstrom anstatt von unten nach oben in umgekehrter Richtung von oben nach unten durch die Masse schicken, dann ist ein solches Vorkommnis ausgeschlossen, weil die Druckdifferenz die Masse auf die Horde festdrückt. Dagegen tritt bei diesem Verfahren leichter ein höherer Druckverlust ein, weil die Masse durch die Druckdifferenz beständig zusammengedrückt wird.

Zwischen den einzelnen Lagen von Reinigungsmasse läßt man einen Spielraum von etwa 50 bis 100 mm, damit sich das Gas dort gleichmäßig verteilen kann. Manchmal gibt man der Oberfläche der Schicht der Reinigungsmasse durch Darüberstreichen eines ausgezackten Brettchens eine zickzackförmig profilierte Oberfläche, was, wie man glaubte, eine größere Oberfläche

<sup>1)</sup> Wie z. B. in den Gaswerken Wien-Simmering und Wien-Leopoldau.

und dadurch innigere Berührung der Reinigungsmasse mit dem Gas hervorruft. Dies ist jedoch irrtümlich, denn das Gas wird ja nicht an der Oberfläche einer Schicht der Reinigungsmasse gereinigt, sondern es wird beim Hindurchtreten durch die Masse selbst, also an der Oberfläche jedes einzelnen Körnchens der Reinigungsmasse gereinigt. Eine Vergrößerung der äußeren Oberfläche der ganzen Schicht hat also keinen Zweck.

Wie schon S. 466 erwähnt, läßt man das Gas in den Reinigern nicht immer von unten nach oben durch alle Masseschichten hindurchtreten. Bei den neueren Reinigerkonstruktionen verwendet man häufig den geteilten Gasstrom, indem man das Gas in der Mitte zwischen den einzelnen Reinigerschichten einleitet, und einesteils nach unten, anderenteils nach oben gehen läßt, so daß es allerdings nur die Hälfte der Anzahl der Schichten zu passieren hat, dafür aber nur mit halber Geschwindigkeit durch diese hindurchtritt. Die Berührungsdauer zwischen Masse und Gas ist also in beiden Fällen vollständig gleich. Geändert ist nur die Geschwindigkeit pro Flächeneinheit und daher der Druckverlust. Der Druckverlust bei geteiltem Gasstrom ist wesentlich geringer. Berücksichtigen wir, daß derselbe proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit ist, so wird bei der hier herrschenden Geschwindigkeit, die nur halb so groß ist, der Druckverlust nur ein Viertel betragen. Da nun der Druckverlust andererseits proportional der Höhe der Schicht ist, welche das Gas zu durchstreichen hat, so kann man die Schichthöhe auf einer Horde viermal so groß machen, ohne deshalb mehr Druckverlust zu erhalten, als wie beim gewöhnlichen Gange des Gasstromes von unten nach oben.

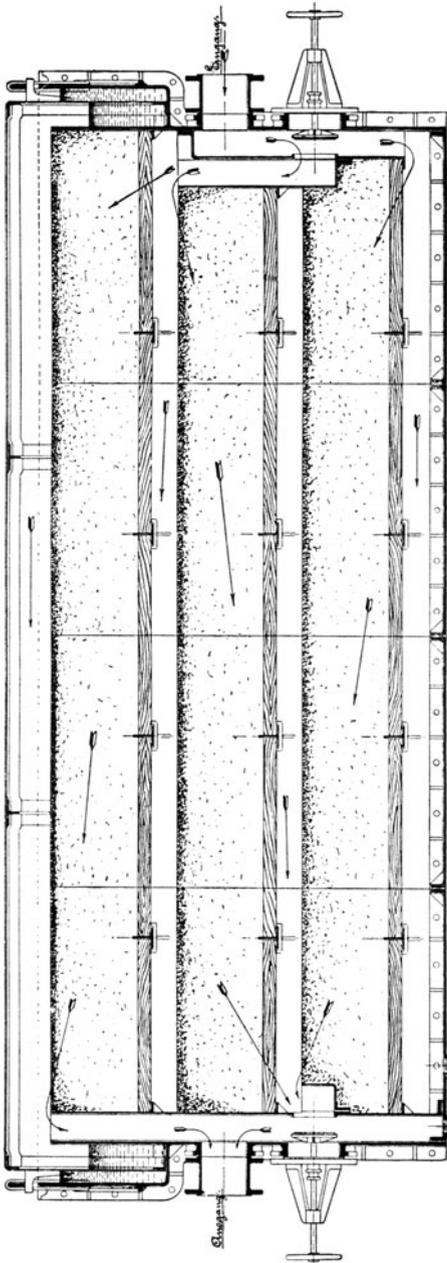
Demzufolge kann man den ganzen Inhalt des Reinigerkastens sozusagen vollständig mit der Masse anfüllen und dies ermöglicht die Unterbringung einer größeren Menge von Reinigungsmasse in einem Kasten, also eine viel größere Leistungsfähigkeit einer Füllung des Kastens.

Klönne hat einen derartigen Reiniger konstruiert (Fig. 204), bei welchem der Gasstrom beliebig geführt werden kann, entweder durch eine einzelne Schicht oder in geteiltem Strom durch zwei oder drei Schichten. Diese Umschaltung erfolgt durch die Betätigung der in der Wandung des Reinigers unten befindlichen Ventile.

Bei Beginn des Betriebes des frisch eingesetzten Reinigers wird zunächst das in der Zeichnung links stehende Ventil geschlossen und das in der rechten Wandung befindliche geöffnet. Das Gas tritt von rechts in den Reinigerkasten ein und kann jetzt nur durch die oberste Schicht der Reinigungsmasse hindurchtreten, wo es sich nahe unter dem Deckel sammelt und zum Ausgange strömt. Durch die unterste und mittlere Schicht kann in diesem Falle kein Gas hindurchtreten, da sich der Ausgang des Gases aus diesen beiden Schichten in der Mitte zwischen denselben, also dort befindet, wo eben das linke Ventil abgesperrt ist. In dieser Weise wird der Reiniger betrieben, bis sich ein zu hoher Druckverlust einstellt. Dann werden die beiden Ventile umgestellt, indem das linke geöffnet und das rechte geschlossen wird. Nun kann das Gas nicht durch die oberste Schicht treten, sondern zufolge des geschlossenen rechten Ventiles begibt sich das Gas vom Eintritt des Stützens aus unter die unterste Horde und durchstreicht diese, indem es zwischen der untersten und der mittleren Horde in dem Sammelraume nach links zum Ausgange entweicht. In diesem Falle ist also nur die unterste Horde in Betrieb. Stellt sich nun auch hier ein zu hoher Druckverlust ein, so werden nun beide Ventile ge-

öffnet. Die Folge ist, daß der Gasstrom sich in drei Teile teilt. Er geht nämlich, vom Eingange herkommend, sowohl in den Zwischenraum zwischen

Fig. 204.



mittlerer und oberer Horde, teilt sich hier, indem ein Teil durch die oberste Schicht zum Ausgange streicht, ein zweiter durch die mittlere Horde in den Sammelraum zwischen der mittleren und der untersten Horde und durch das linke Ventil hinaus zum Ausgange geht, während ein dritter Teil schließlich unter die unterste Horde durch diese hindurch und ebenfalls in den Sammelraum zwischen unterster und mittlerer Horde nach dem Ausgange geht. Diese Teilung des Stromes wird aber nicht sofort nach dem Umschalten eintreten. Wir hatten ja angenommen, daß sowohl die oberste Horde als auch die unterste schon einen hohen Druckverlust gibt, d. h. verhältnismäßig wenig Gas hindurchläßt; dagegen ist die mittlere noch vollständig frisch und somit wird zunächst der Gasstrom nicht durch alle drei Horden gleichmäßig, sondern im wesentlichen nur durch die mittlere Horde hindurchtreten, bis auch diese einen so hohen Druckverlust ergibt wie die beiden anderen Horden und dann erst wird die gleichmäßige Teilung des Stromes in der Weise stattfinden, wie wir dies eben geschildert haben.

Ein Reiniger mit geteiltem Gasstrom wird auch von der Bamag ausgeführt. Die Teilung ist bei diesem allerdings nicht dreifach, sondern nur zweifach, ohne Umschaltung, so daß von Anfang an die Teilung des Gasstromes stattfindet. Eine Spezialität dieses Reinigers ist die eigen-

tümliche Ausbildung der Horden. Die gewöhnlichen Reinigerhorden enthalten große Massen von Holz, und es wird dadurch ein Teil des Reiniger- raumes von dem Holz in Anspruch genommen, während er sonst für die Reinigungsmasse

zur Verfügung stehen könnte. Die einzelnen Stäbe der Bamaghorden besitzen derart abgeschrägte Flächen, daß sich die Reinigungsmasse zwischen diesen gewölbeartig auflegt, so daß trotz der großen Hohlräume, die sich zwischen den einzelnen Stäben befinden, das Durchfallen der Masse verhindert wird.

Der erste, welcher eine Änderung in der Anordnung der Horden der Reiniger durchführte, war Jäger<sup>1)</sup>. Er führte nicht nur den geteilten Gasstrom in die Praxis ein, sondern bei seiner Reinigerkonstruktion ist auch das eben genannte Prinzip durchgeführt, weniger Holz für die Horden der Reiniger zu verwenden, um den Raum für Masse verwenden zu können. Jäger läßt das Gas nicht durch horizontal gelagerte Schichten hindurchtreten, sondern durch vertikal gelagerte. Um die Masse in vertikalen Schichten zu halten, befinden sich aus Latten gebildete Kanäle, innerhalb der Massenschichten derart, wie dies die Fig. 205 zeigt. Diese vertikalen Kanäle, die über die ganze Länge des Reinigers gehen, werden abwechselnd zum Eintritt und zum Austritt des Gases verwendet. Solche Kanäle, aber nur von halber Stärke, befinden sich auch längs

Fig. 205.

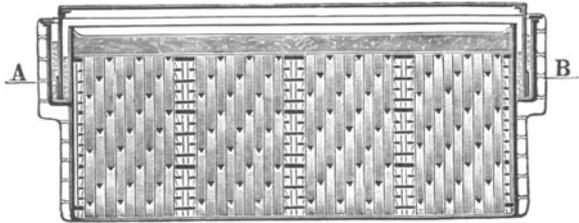
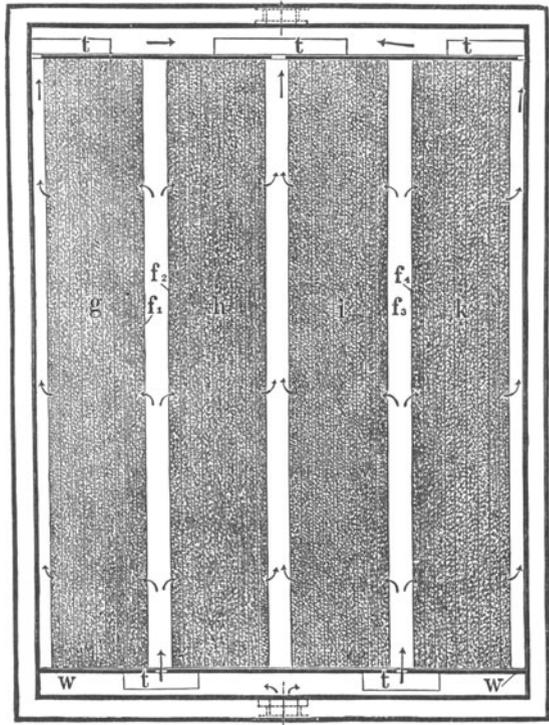


Fig. 206.



der Wandungen des Reinigers. Fig. 206 zeigt, in welcher Weise die Verteilung des Stromes stattfindet. Diese Figur stellt den Grundriß des Reinigers dar. Das eintretende Gas verteilt sich zufolge einer eingebauten Verteilungswand über die ganze Breite des Reinigers und tritt durch den zweiten und vierten Kanal ein. Von diesen Kanälen geht es nach rechts und links gleichzeitig durch die Massenschichten hindurch und sammelt sich im ersten Kanal

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1902, S. 261.

an der linken Wandung, ferner in dem mittleren Kanal und schließlich im letzten Kanal längs der rechten Wandung. An der anderen Seite befindet sich wieder eine Verteilungswand, so daß das Gas sich dort zum Ausgangsrohre hinbegeben kann. An dem Ende der Kanäle sind Taschen *t* eingebaut, welche verhindern, daß Reinigungsmasse in den Gasein- oder -austritt gelangt.

Würde nun aber die Masse zwischen diesen einzelnen Kanälen ohne besonderes Auflockerungsmittel einfach eingefüllt, so würde zufolge der hohen Schicht der untere Teil der Reinigungsmasse zusammengedrückt und daher gasundurchlässig werden, während sich allmählich im oberen Teil freie Räume bilden würden, durch die das Gas ungereinigt hindurchtreten könnte. Um dies zu verhindern, baut Jäger Entlastungsstäbe in den ganzen Raum des Reinigers ein, die derart gegeneinander gesetzt sind, wie dies die Zeichnung zeigt. Jeder derartige Stab trägt einen Teil der Masse und wenn sich auch auf dem Stabe eine festere Schicht ansetzt, und unterhalb eines jeden Stabes die Masse locker liegt, so kann doch der in horizontaler Richtung hindurchtretende Gasstrom nicht durch Hohlräume hindurchgehen, weil sich in der nächsten Vertikalschicht schon wieder fester gelagerte Masse befindet, so daß der Gasstrom auf seiner ganzen Breite überall gleichartig verteilte Reiniger-masse vorfindet. Der Querschnitt dieser Stäbe ist dreieckig, um möglichst wenig Raum einzunehmen. Im Oberteile des Reinigers sind sämtliche Horden durch eine Schicht von Reinigungsmasse, die möglichst festgestampft wird, bedeckt, so daß auch hier kein ungereinigtes Gas hindurchtreten kann.

Trebst<sup>1)</sup> berichtet, daß seit Einführung der Jägerhorden jeder der drei vorhandenen Kästen von  $3 \times 4$  m Grundfläche und 1,5 m Höhe rund 300 000 m<sup>3</sup> Gas reinigt und dabei nur einen Druckverlust von 5 mm ergibt, während letzterer früher 20 mm betrug.

Durch solche Reiniger mit geteiltem Gasstrom wurde die Leistung der Reinigungsanlagen pro Quadratmeter Grundfläche ganz wesentlich erhöht. Durch die Teilung des Gasstromes namentlich in der Art, wie dies Jäger durchgeführt hat, ist der Druckverlust soweit vermindert worden, daß sehr dicke Schichten von Reinigungsmasse angewendet werden können. Die Höhe der Schicht ist aber bei der Jägerschen Ausführung unbegrenzt, da ja der Druckverlust hier nicht von der Höhe, sondern von der Breite der Schicht abhängt. Man kann daher beim Einbau der Jägerschen Reinigungshorden einen Reiniger bedeutend höher ausbilden, und tatsächlich ist dies in vielen Fällen geschehen, indem vorhandene Reinigungskästen entsprechend erhöht wurden. Dadurch kommt man bei der gleichen Grundfläche auf die doppelte Leistung. Doch auch der Reinigungseffekt pro Kubikmeter Masse ist ein günstigerer, weil dieselbe gleichmäßiger ausgenutzt wird<sup>2)</sup>.

Noch weiter betreffs der Erhöhung der Reinigerkästen geht der zuerst von Schmiedt in Aschaffenburg eingeführte Hochreiniger. Derselbe lagert die Masse in hohen Kästen von  $4 \times 1,5$  m Grundfläche und 6 m Höhe<sup>3)</sup>. Es ergibt sich dadurch eine wesentliche Verringerung der für die Reinigeranlagen nötigen Grundflächen. Es muß jedoch dafür gesorgt werden, daß die Druckverluste in einem derartigen Reiniger nicht zu hohe werden, und ist dementsprechend die Führung des Gasstromes und die Lagerung der Masse einzurichten.

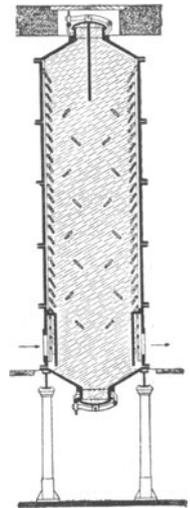
<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 484. — <sup>2)</sup> Ebend. 1906, S. 958. — <sup>3)</sup> Ebend. 1910, S. 31.

Schon die oben angedeuteten Änderungen zielen darauf hin, in die Kästen möglichst viel Reinigungsmasse zu bringen, und eine lockere Schichtung zu erzielen, wie dies z. B. bei den Jägerhorden der Fall ist, und durch Stromteilung den Druckverlust zu verringern. Ferner ist aber auch der Arbeitsaufwand bei der Bedienung der gewöhnlichen Reiniger ein verhältnismäßig hoher. Schmiedt richtete daher seinen Hochreiniger ein, wie Fig. 207 zeigt. Der Gaseintritt erfolgt durch Jalousien an der Flachseite des Reinigers und der Gasaustritt durch ähnliche Vorrichtungen an der anderen Seite. Durch in der Mitte eingelegte schräg gestellte Bretter wird der Druck der Masse aufgenommen, so daß die unteren Teile der Masse nicht zu sehr zusammengepreßt werden. Außerdem befindet sich oben vom Deckel her eine Scheidewand, die in die Masse eintaucht, um das Durchgehen ungereinigter Gase in der Höhe der Füllöffnung zu vermeiden. Die Füllung dieses Reinigers erfolgt durch einen Mortonverschluß von oben und die Entleerung durch einen Mortonverschluß am Boden. Ein- und Ausgang des Gases sind mit Kappen vor Verunreinigung durch hineinfallende Masse geschützt.

In Aschaffenburg sind drei derartige Reinigerkästen hintereinander geschaltet. Bei den dort ausgeführten Versuchen nahm der erste 99,4 Proz. des zugeführten Schwefelwasserstoffs auf, der zweite reinigte das Gas bereits vollkommen, der Druckverlust in jedem Reiniger betrug 60 bis 80 mm, dieser kann jedoch durch eine Teilung des Gasstromes verringert werden. Bei diesen Versuchen zeigte sich auch, daß die Masse unten und oben stets gleichmäßig angegriffen war und ebenso zeigte sich deutlich der auflockernde Einfluß der aufgehängten Stützbretter. Vier Arbeiter besorgen dort die Entleerung eines Reinigers in 2 Stunden 40 Minuten. Der Arbeitsaufwand beträgt pro  $1 \text{ m}^3$  Masse 25 Arbeiterminuten. Die Vorbereitung für die Neufüllung eines Reinigers dauert 15 Minuten, und die Füllung 17 Arbeiterminuten pro  $1 \text{ m}^3$  Masse. Der ganze Wechsel eines Reinigers nahm 4 Stunden 10 Minuten in Anspruch. Der Arbeitsaufwand bei Hochreinigeranlagen ist daher erheblich geringer als bei Flachreinigern. Ebenso ist der Platzbedarf bei ersteren weit geringer. Die Kosten stellen sich nicht wesentlich höher als bei Flachreinigern. Für die Reinigung von  $50\,000 \text{ m}^3$  pro Tag in vier Kästen mit zusammen  $200 \text{ m}^3$  Masse ist der Raumbedarf der Flachreiniger im Grundriß des Hauses  $200 \text{ m}^2$ , bei Hochreinigern dagegen nur  $164 \text{ m}^2$ . Die Baukosten eines Flachreinigerhauses stellen sich auf  $81\,000 \text{ M}$  — die eines Hochreinigerhauses dagegen nur auf  $36\,900 \text{ M}$ . — Außer der Verringerung an Arbeitslöhnen und dem Wegfall der Wasserverschlüsse ist auch noch der Vorzug hervorzuheben, daß die Krane zur Hebung der Reinigerdeckel entfallen.

Bei den gewöhnlichen Reinigerkästen muß dafür gesorgt werden, daß die schweren Deckel mittels entsprechender Hebevorrichtungen gehoben und nach seitwärts geschoben werden können. Zum Zwecke des Herausnehmens der Reinigungsmasse müssen die Arbeiter in die Reiniger hineinsteigen, und es müssen daher entweder die Deckel so hoch gehoben werden, daß die Leute unter denselben bequem Platz finden, oder es muß, wie dies gewöhnlich geschieht, der Deckel nach seitwärts geschoben werden. Man benutzt dazu

Fig. 207.



gewöhnliche Flaschenzüge, die mit Laufrollen versehen sind und an einer Traverse nach seitwärts verschoben werden können. Die Aufhängung des Deckels an dem Flaschenzuge erfolgt gewöhnlich mittels vier Ketten oder vier Stangen, die an den vier Eckpunkten des Reinigerdeckels angreifen und in der Mitte an einem gemeinsamen Haken angehängt sind.

Anstatt eines Flaschenzuges, der an einer Laufrolle hängt, kann eventuell auch ein drehbarer Arm angeordnet sein, welcher an seinem Ende einen Flaschenzug trägt. Man kann dann den Reinigerdeckel mittels eines Flaschenzuges in die Höhe ziehen und durch Drehung des Armes nach seitwärts bewegen. Solche Vorrichtungen sind jedoch nur dort anzuordnen, wo nur zwei Reiniger vorhanden sind, da die Bewegung des Dreharmes nur eine beschränkte Seitwärtsverschiebung gestattet.

Bei der Bedienung großer Reiniger sind zum Heben und Seitwärtsführen der Deckel vollständige Laufkräne erforderlich, die gewöhnlich auf zwei Schienen laufen, welche an den beiden Seitenwänden des Reinigerhauses in gehöriger Höhe angebracht sind.

Ganz große Reinigerdeckel von mehr als 100 m<sup>2</sup> Fläche werden manchmal auch mittels hydraulischer Hebevorrichtungen gehoben <sup>1)</sup>.

Die Reinigerdeckel müssen mittels besonderer Vorrichtungen in den Tassen niedergehalten werden. Anderenfalls würde der Gasdruck die Deckel wie eine Gasbehälterglocke aus dem Wasser herausheben. Bei ganz kleinen Reinigerdeckeln kann man an der Reinigertasse an den vier Eckpunkten vier drehbare kleine Hebel anbringen, welche nach Einsetzen des Reinigerdeckels vorgedreht werden, so daß sich derselbe nicht herausheben kann. Da jedoch der Druck, welchen das Gas auf den Reinigerdeckel ausübt, ein ganz beträchtlicher ist, so muß bei größeren Reinigern von einigen Quadratmetern Fläche eine sicherere Niederhaltung angeordnet werden. Man versteift dann den Reinigerdeckel durch Auflegen einer oder zweier T-Träger und hält dieselben nach Darüberschieben eines Bügels, der an den Reinigerkasten angebracht ist, mit Hilfe einer niederzudrehenden Schraube fest.

Vor dem Abheben des Reinigerdeckels zum Zwecke des Auswechslens der Masse muß natürlich der Gaszugang sowohl wie der Gasabgang des Reinigers abgesperrt werden, damit kein Gas in den betreffenden Reiniger eintreten kann. Dann werden die Niederhaltungen losgenommen und nun muß man eine genügend große Öffnung schaffen, welche das Innere des Reinigers mit der Luft in Verbindung bringt, denn beim Heben des Reinigerdeckels muß beträchtlich viel Luft nachströmen, bis der Deckel den Wasserverschluß verlassen hat. Anderenfalls würde eine Luftverdünnung im Reinigerkasten eintreten, welche das Abheben des Deckels vollständig unmöglich machen würde und bei größeren Reinigern zu einem Eindringen des Reinigerdeckels führen kann. Da es sich um verhältnismäßig große Volumina handelt, ist es notwendig, diese Öffnung ausreichend zu dimensionieren. Bei kleinen Reinigern macht man sie etwa 100 mm im Durchmesser, bei großen Reinigern bis zu 300 mm. Der Verschluß dieser Öffnung muß natürlich ein vollständig gasdichter sein, er muß aber auch bequem zu öffnen sein und wendet man am besten einen mittels einer Schraube niedergehaltenen scharfkantig aufgedichteten Deckel an.

<sup>1)</sup> Z. B. im Gaswerke Wien-Simmering.

Am Boden des Reinigerkastens sind Hähne anzubringen, um eventuell dort angesammeltes Wasser ablassen zu können. Ferner sind Probierhähne anzubringen, welche es gestatten, das den Reiniger verlassende Gas mittels Bleipapier zu prüfen. Diese Probierhähne werden häufig am Deckel des Reinigerkastens angebracht. Es ist dies jedoch nicht korrekt, weil sich dort oft tote Räume befinden, in welchen sich eine Gasmenge ansammelt, die längere Zeit stehen bleibt und somit nicht dem Gasstrom entspricht, welcher den Reinigerkasten verläßt. Diese Probierhähne sind daher unbedingt in die Ausgangsleitung des betreffenden Reinigers einzusetzen <sup>1)</sup>.

Wie schon auf S. 453 erwähnt, ist es in den seltensten Fällen möglich, in einer Gaswerksanlage mit einem einzigen Reiniger auszukommen. Auch kleine Anlagen benötigen zwei Reiniger, damit man das Gas auch im gereinigten Zustande abgeben kann, während die Reinigungsmasse in einem der Reiniger gewechselt wird. In größeren Anlagen verwendet man vier Reiniger, wovon einer stets in Reserve steht. Man kann nun die Reinigerkästen entweder parallel schalten, oder hintereinander. Bei der Parallelschaltung tritt das Gas in sämtliche Eingänge aller Reinigungskästen gleichzeitig ein und ebenso aus allen Ausgängen gereinigt aus und sammelt sich in einem gemeinsamen Rohre. Bei der Hintereinanderschaltung dagegen tritt das Gas zunächst in einen Reiniger, von hier aus in den zweiten, in den dritten, und schließlich tritt es gereinigt in den vierten Reiniger. Wie nun schon auf S. 454 erläutert, ist es notwendig, daß man die Reiniger in beliebiger Reihenfolge hintereinander schalten kann, damit man auch hier das Gegenstromprinzip einhält, so daß das gereinigte Gas den frischesten Reiniger, d. h. den zuletzt mit frischer Masse beschickten Reiniger verläßt, während das rohe Gas mit ziemlich ausgebrauchter Masse in Berührung kommt.

Um diese beliebige Schaltung bequem durchführen zu können, verwendet man am besten die Anordnung, wie sie Fig. 208 zeigt. Wir sehen hier eine Eingangshauptleitung, ferner eine Ausgangshauptleitung und die verschiedenen Umgangsleitungen. Die Eingangshauptleitung  $E$  ist mit jedem Eingang jedes Reinigers verbunden. Die Ausgangshauptleitung  $A$  ist andererseits wieder mit jedem Ausgang jedes Reinigers verbunden. Die Umgangsleitungen verbinden den Ausgang des ersten Reinigers mit dem Eingang des zweiten, den Ausgang des zweiten mit dem Eingang des dritten und schließlich den Ausgang des dritten Reinigers mit dem Eingang des vierten. Außerdem ist aber noch eine große Umgangsleitung vorhanden, welche den Ausgang des vierten Reinigers mit dem Eingang des ersten verbindet. Verwendet man als Abschlußorgan gewöhnliche Eckventile oder Schieber, so muß jeder Reiniger einen Eingangsschieber, einen Ausgangsschieber und einen Umgangsschieber in der Umgangsleitung besitzen. Zweckmäßiger ist jedoch die Anordnung von Dreiwegventilen. In der genannten Zeichnung sind solche Dreiwegventile angedeutet. Wie der eine Vertikalschnitt zeigt, liegt die Eingangshauptleitung  $E$  tiefer als die Eingangsstutzen der Reiniger. Die Eingangshauptleitung ist dann mit jedem Reinigereingangsventil durch einen nach oben gehenden Krümmer verbunden. Der immer offen stehende Stutzen jedes Dreiwegventiles ist mit dem Reiniger in Verbindung. Eine direkte Verbindung zwischen der Haupteingangsleitung  $E$  und der Hauptausgangsleitung  $A$

<sup>1)</sup> Steuernagel, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 628.

besteht nicht. Die große Umgangsleitung, welche den Ausgang des vierten Reinigers mit dem Eingange des ersten Reinigers verbindet, liegt gemäß der Zeichnung oberhalb der Hauptausgangsleitung. Die Hauptausgangsleitung ist mit dem unteren Stutzen der Dreiwegventile sämtlicher Reinigerausgänge verbunden.

Will man nun die Reinigeranlage derart schalten, daß das Gas zuerst in den ersten Reiniger eintritt, dann in den zweiten, dritten und vierten und von dort in die Ausgangsleitung austritt, so hat man die Schaltung wie folgt vorzunehmen. Man bringt das Dreiwegventil des ersten Reinigereinganges in gehobene Stellung; dadurch ist die Umgangsleitung, welche vom Ausgang des vierten Reinigers kommt, abgesperrt, dagegen der Eingang von der Haupteingangsleitung des Reinigers I geöffnet. Das Dreiwegventil des Ausganges des ersten Reinigers bringt man in gesenkte Stellung. Dadurch ist der Austritt des Gases von dem ersten Reiniger in die Hauptausgangsleitung verhindert, dagegen der Umgang zum Eintritt des zweiten Reinigers geöffnet. Ebenso ist das Dreiwegventil beim Eingang des zweiten Reinigers in gesenkter Stellung. Dadurch ist der Eingang von der Haupteingangsleitung geschlossen und ebenfalls der Umgang zum dritten Reiniger geöffnet. Auch das

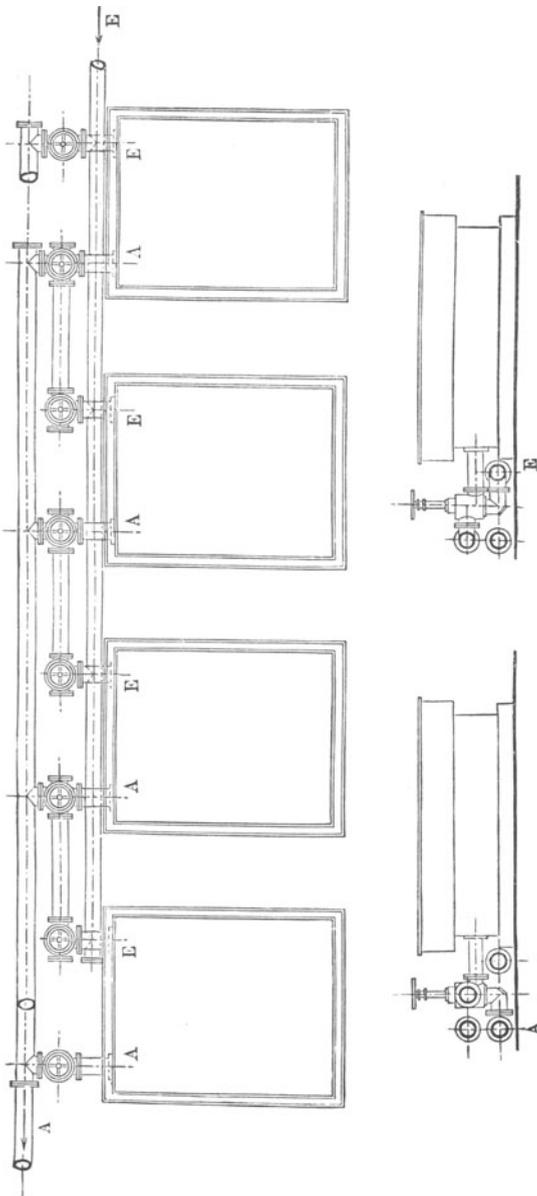


Fig. 208.

Eingangsventil des dritten Reinigers, ebenso das Ausgangsventil desselben und das Eingangsventil des vierten Reinigers befinden sich in gesenkter Stellung. Ebenso, wie vorher erörtert, stehen also alle diese Reinigerkästen weder mit der Eingangsleitung noch mit der Ausgangshauptleitung durch

diese Ventile in Verbindung. Dagegen befindet sich das Ausgangsventil des vierten Reinigers in gehobener Stellung, wodurch das Gas aus dem vierten Reiniger in die Ausgangshauptleitung austreten kann. Die gehobene Stellung des vierten Reinigerausgangsventiles schließt aber gleichzeitig die große Umgangsleitung vom vierten zum ersten Reiniger ab. Das Gas kann somit hier nur den vorgeschriebenen Weg durch alle vier Reiniger durchmachen.

Soll nun der erste Reiniger, welcher am meisten von dem unreinen Gas in Anspruch genommen ist, neu beschickt werden, so muß derselbe gänzlich ausgeschaltet werden, während die anderen drei Reiniger in der angegebenen Reihenfolge II, III, IV miteinander verbunden bleiben. Zu diesem Zwecke wird das Eingangsventil des ersten Reinigers gesenkt, so daß der Eingang desselben von der Eingangshauptleitung abgeschlossen ist. Durch das Senken dieses Dreiwegventiles wird allerdings die Verbindung des Reinigereinganges des ersten Reinigers mit der Umgangsleitung, welche zum vierten Reiniger führt, hergestellt. Trotzdem aber kann vom vierten Reiniger her kein Gas herübertreten, weil ja das Ausgangsventil des vierten Reinigers in gehobener Stellung ist und somit diesen Umgang abschließt. Ferner ist das Eingangsventil des zweiten Reinigers in gehobene Stellung zu bringen, so daß von der Eingangshauptleitung *E* her das Gas direkt in den zweiten Reiniger eintreten kann. In dieser gehobenen Stellung ist auch gleichzeitig wieder die vom Reiniger-I-Ausgang herkommende Umgangsleitung abgeschlossen, so daß also der Reiniger I vollständig von allen Reinigern und von allen Leitungen abgeschlossen ist, so daß er mit frischer Masse beschickt werden kann. Die anderen drei Reiniger II, III, IV befinden sich in derselben Reihenfolge, die für den Weg des Gases vorgeschrieben ist, so daß das Gas beim zweiten Reinigereingang eintritt und beim vierten Reinigerausgang austritt.

Ist nun der Reiniger I frisch beschickt, so muß derselbe als letzter hinter dem Reiniger IV geschaltet werden. Das Gas soll also jetzt die Reiniger passieren in der Reihenfolge II, III, IV, I. Zu diesem Zwecke wird das Ausgangsventil des vierten Reinigers in gesenkte Stellung gebracht und das Ausgangsventil des ersten Reinigers in gehobene Stellung. Das von der Haupteingangsleitung *E* herkommende Gas kann nun nicht in den Eingang des Reinigers I eintreten, weil ja dieses Ventil gesenkt ist. Es tritt vielmehr beim Ventil des Reinigers II ein, das noch von der vorherigen Schaltung gehoben ist. Das Gas passiert dann, wie vorher genannt, die Reiniger II, III, IV und am Ausgange von IV kann es nicht durch das Ausgangsventil in die Ausgangshauptleitung treten, weil dieses Ventil gesenkt ist und der Umgang hiermit geöffnet erscheint. Durch den Umgang gelangt das Gas zum Eingang des Reinigers I, welcher freigegeben ist, weil das Dreiwegventil dort gesenkt ist; durch den Reiniger I gelangt nun das Gas vollständig gereinigt in den Ausgang des Reinigers I und dort durch das gehobene Dreiwegventil in die Ausgangshauptleitung, wobei gleichzeitig der Umgang durch das Dreiwegventil gegen den Eingang des Reinigers II hin abgeschlossen erscheint.

In ganz analoger Weise geht man vor, wenn der Reiniger II vollständig ausgebraucht ist; man schaltet ihn dann erst durch Senken beider Ventile ab, um die Masse auswechseln zu können, benutzt also die Reiniger in der Reihenfolge III, IV, I und bei Wiedereinschaltung des zweiten Reinigers stellt man die Ventile so, daß das Eingangsventil des dritten Reinigers und das Ausgangsventil des zweiten Reinigers gehoben erscheint, während alle

anderen Ventile in gesenkter Stellung sind. Das Gas geht dann den Weg III, IV, I, II. Dann wird der dritte Reiniger in gleicher Weise ausgeschaltet und die Schaltung der Reiniger IV, I, II, III vorgenommen, indem der Eingang des vierten Reinigers und der Ausgang des dritten Reinigers gehoben sind, alle anderen Ventile aber gesenkt bleiben, und zum Schluß nach Auswechseln der Masse im Reiniger IV wird wieder die alte Stellung hervorgerufen, die dem Gasstrom die Reihenfolge der Reiniger I, II, III, IV vorschreibt.

Bei dieser Anordnung der Ventile erhält man sehr rasch Übersicht über die richtige Schaltung der Reiniger, wenn man berücksichtigt, daß stets das Eingangsventil desjenigen Reinigers sich in gehobener Stellung befinden muß, in welchem das Gas zuerst eintreten soll, und das Ausgangsventil desjenigen Reinigers, aus welchem das Gas zuletzt austreten soll.

Zu diesem Zwecke müssen natürlich die betreffenden Dreiwegventile alle steigende Spindeln besitzen, so daß die Ventilstellung aus der Stellung des Handrades ohne weiteres erkannt werden kann.

Verwendet man anstatt der Dreiwegventile gewöhnliche Gasschieber, so bringt man je einen Schieber direkt an den Reinigerein- und -ausgängen an. Ferner setzt man je einen Schieber in die Umgangsleitungen vom ersten zum zweiten, vom zweiten zum dritten, vom dritten zum vierten und vom vierten zum ersten Reiniger. Es sind also dann an Stelle von 8 Dreiwegventilen 12 einfache Schieber erforderlich. Der Vorteil der Dreiwegventile gegenüber den einfachen Schiebern liegt in der größeren Übersichtlichkeit, der Nachteil hingegen darin, daß man bei auftretenden Undichtheiten der Dreiwegventile nicht so leicht abhelfen kann, wie bei einfachen Gasschiebern.

Oft zentralisiert man die ganze Umschaltungsanlage, indem man einen Zentralwechsler (z. B. den Weckschen) anwendet. Dieser besitzt sämtliche Dreiwegventile in einem runden Kasten vereinigt. Der Vorteil liegt darin, daß man die ganze Umsteuerungsanlage außerhalb des Reinigerhauses errichten kann, so daß bei etwa eintretenden Gefahren im Reinigerraum niemand diesen betreten muß, sondern die Umsteuerung von außen erfolgen kann. Nachteilig ist jedoch wieder die noch schwierigere Reparatur bei vorkommenden Undichtheiten. Bei größeren Reinigeranlagen ist es sehr zweckmäßig, an Stelle der gewöhnlichen Schieber oder Tellerventile hydraulische Ventile anzuwenden. Diese verbürgen einen vollständig dichten Abschluß, was bei großen Anlagen von Wichtigkeit ist, weil auch bei verhältnismäßig kleinen Undichtheiten des Ventiles gelegentlich des Auswechselns der Reinigungsmasse, wenn der Reiniger geöffnet ist, große Gasmengen entweichen, welche die im Reiniger beschäftigten Arbeiter gefährden können. Diese hydraulischen Ventile besitzen einen ringförmigen Raum, der mit Wasser gefüllt ist, in welches eine Glocke eintaucht. Die Glocke wird mit der Spindel ebenso in die Höhe geschraubt, wie bei dem gewöhnlichen Tellerventil. Solche Ventile bieten aber nur dann Sicherheit, wenn sie betreffs der richtigen Wasserfüllung kontrolliert werden. Es muß zu diesem Zwecke natürlich eine Wasserzu- und -ablaufleitung vorhanden sein, und außerdem ist ein Wasserstandsglas erforderlich, welches ständig den Wasserstand zu kontrollieren gestattet. Fehlt in einem dieser Ventile das Wasser oder ist nur zu wenig davon vorhanden, so ist die Gefahr, die ein solches Ventil bietet, noch viel größer als die, welche durch die kleinen Undichtheiten der Schieber oder Tellerventile entstehen können. Eine sorgsame tägliche Kontrolle ist hier also sehr am Platze.

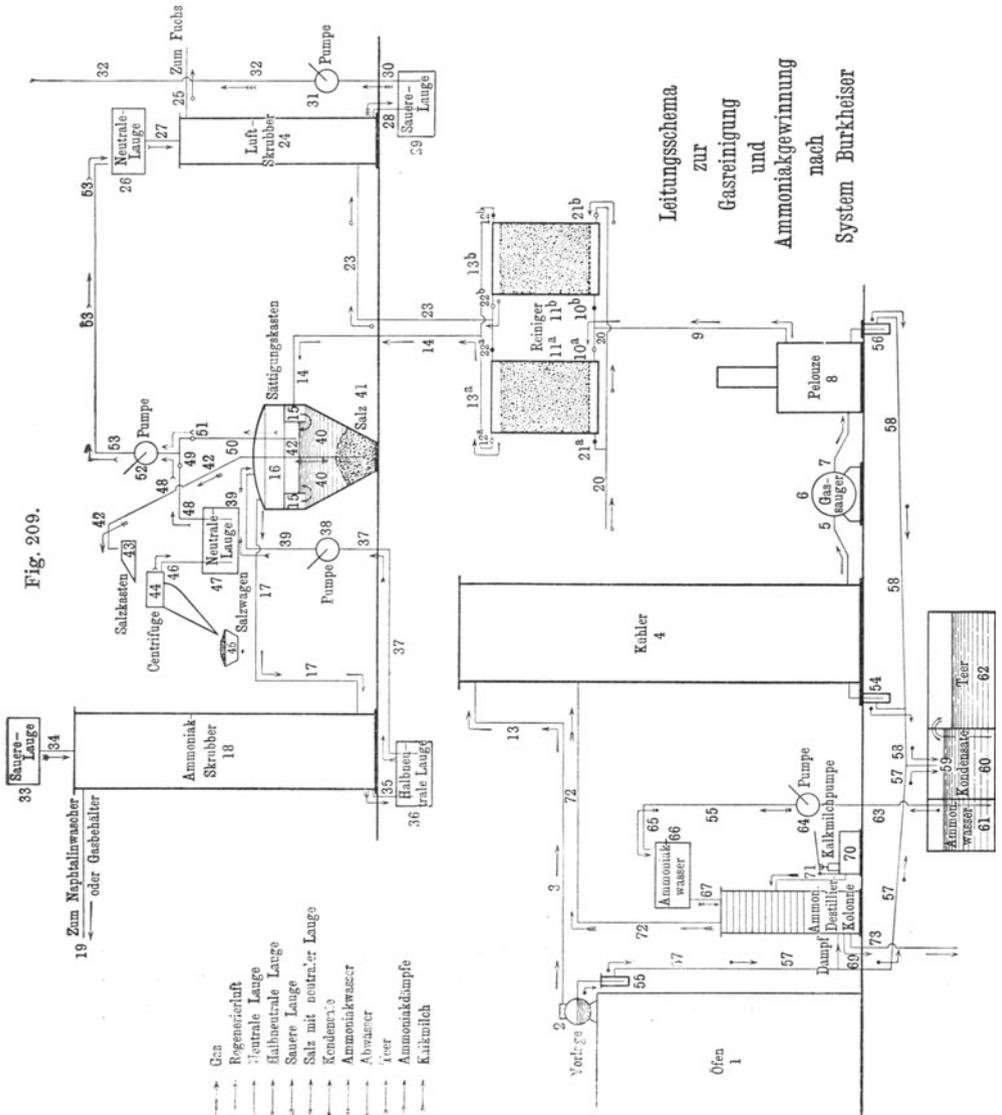
Neben der oben geschilderten Vervollkommnung der Reinigung des Gases sind in neuester Zeit auch ganz neue Verfahren der Gasreinigung aufgetaucht. Es sind dies das Feldsche und das Burkheisersche Reinigungsverfahren. Beide streben die Überführung des im Gase enthaltenen Schwefels und des Ammoniaks in schwefelsaures Ammonium an und bei beiden soll nicht mehr die große Grundfläche erforderlich sein, welche die gewöhnliche Gasreinigung erfordert.

Bei dem Burkheiserschen Verfahren wird die Reinigungsmasse nicht in dem Zustande verwendet, wie sie gewöhnlich in den Reinigern zur Anwendung gelangt, sondern in einer körnigen Abart, die schon früher angewendet worden ist<sup>1)</sup>. Sie wird vor ihrer Anwendung durch Ausglühen porös gemacht. Es verbrennen dabei die organischen Substanzen des Raseneisenerzes (vgl. S. 462), andererseits erfolgt die Reinigung bei einer höheren Temperatur. Durch beide Umstände wird die Geschwindigkeit der Schwefelaufnahme aus dem Gase derart erhöht, daß eine ganz wesentlich höhere Geschwindigkeit des Gases verwendet werden kann; während man in den gewöhnlichen Reinigern nur 5 bis 10 mm Geschwindigkeit anwendet, kann man bei diesem Burkheiserschen Reiniger auf 200 mm gehen. Demzufolge brauchen nicht die Reinigerkästen mit großen Grundflächen verwendet zu werden<sup>2)</sup>, sondern man kann das Gas durch vertikal stehende zylindrische Gefäße, in denen sich die Reinigungsmasse befindet, streichen lassen. Dabei soll sich in derselben Weise Schwefeleisen bilden, wie bei den gewöhnlichen Reinigern. Das gebildete Schwefeleisen wird jedoch nicht auf gewöhnliche Weise regeneriert, sondern es wird durch Verbrennen in Schwefeldioxyd ( $\text{SO}_2$ ) oxydiert, dieses wird in Wasser aufgefangen, das ja bekanntlich schweflige Säure sehr lebhaft absorbiert. Die wässrige Lösung von schwefliger Säure wird dann verwendet, um das Ammoniak aus dem Gase auszuwaschen<sup>3)</sup>. Dieses Verfahren wurde zuerst versuchsweise in Hamburg angewendet. Ebenso ist eine größere Versuchsanlage für 8000 m<sup>3</sup> Tagesleistung in Berlin-Tegel errichtet.

Burkheiser stellte fest, daß beim Erhitzen des körnigen Erzes unterhalb 600° das Eisenoxydhydrat in ein wasserarmes Hydrat übergeht, wahrscheinlich von der Formel  $\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{H}_2\text{O}$ . Diese Verbindung besitzt ein hohes Aufnahmevermögen für Schwefelwasserstoff. Die Bildung dieser Verbindung ist äußerlich durch den Übergang von der gewöhnlich gelbbraunen in eine tief dunkelrote Farbe gekennzeichnet. Wir wollen dieses Verfahren an Hand der Fig. 209 erläutern. Das vom Ofen 1 kommende Gas geht zuerst zum Kühler 4 und dann in den Pelouze 8. Das in der Grube 61 gesammelte Gaswasser wird in den Ammoniakabtreibapparat 68 geleitet. Der Abdampf wird direkt in den Kühler 4 eingeführt. Das vom Pelouze 8 kommende, sämtliches Cyan, Ammoniak und allen Schwefelwasserstoff enthaltende Gas geht in den Burkheiser-Reiniger 11a. Das Gas gibt hier allen seinen Schwefelwasserstoff- und Cyangehalt an die Masse ab und geht in den Sättigungskasten, läßt hier den größten Teil des Ammoniaks zurück und entweicht in den Ammoniakskrubber. Das Gas verläßt diesen vollständig rein. Sobald ein Reinigungs-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1862, S. 337; Lieferanten: Dittmar & Co. in Flensburg. — <sup>2)</sup> Zins, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 359. — <sup>3)</sup> Vgl. Bertelsmann, Chem.-Ztg. 1910, S. 986; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 510; D. R.-P. Nr. 217315; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 708; D. R.-P. Nr. 215 907; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 607; ferner Krause, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 261.

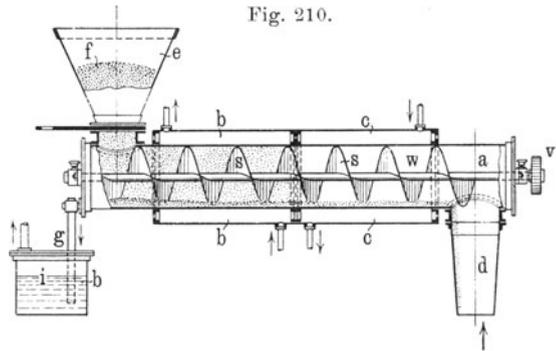
kasten vollständig mit Schwefelwasserstoff gesättigt ist, wird ein Luftstrom eingeführt. Dies erfolgt bei einer Temperatur, bei der das Schwefeleisen direkt zu schwefliger Säure verbrennt. Diese geht nach dem Luftskrubber 24, in dem der gesamte Säuregehalt an die vom Behälter 26 kommende Lauge



abgegeben wird. Die saure Lauge fließt zum Ammoniakskrubber 18 und nach Aufnahme des noch im Gase enthaltenen Ammoniaks als halbneutrale Lauge in den Sammelkasten 36, um sich dann in 15 vollständig mit Ammoniak zu sättigen. Die hierdurch neutralisierte Lauge geht nach dem Säurewäscher 24, um daselbst wieder Schwefeldioxyd aufzunehmen. Sobald die Sättigungsgrenze erreicht ist, fällt der Überschuss des schwefligsauren Am-

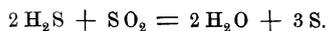
moniak in 15 als Salz aus. Dieses Ammoniumsulfid muß dann in Ammoniumsulfat übergeführt werden, weil das Sulfid bereits bei ziemlich niederen Temperaturen etwas flüchtig ist. Mit Hilfe des in Fig. 210 wiedergegebenen Apparates soll die völlige Oxydation des Sulfites in Sulfat herbeigeführt werden können. Das lange Rohr *a* ist an seinem vorderen Teile mit einem Kühlmantel *b* und im hinteren Teile mit einem Heizmantel *c* umgeben. Das Salz *s* wird im Rohre *a* in dünnen Schichten von links nach rechts gefördert und der entgegengesetzten Luftströmung ausgesetzt. Letztere wird durch *d* angesaugt. Das in *a* unverändert gebliebene Sulfid sublimiert an den heißen Wandungen von *c*. Die Sulfiddämpfe werden an den gekühlten Wandungen *b* als ein Gemisch von Sulfid und Sulfat kondensiert. Das Salz wird abgekratzt und wieder nach rechts zur weiteren Oxydation und Trennung gefördert. Das schließlich durch *d* herausfallende Fördergut besteht nur noch aus reinem Ammoniumsulfat  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

Bei der Regeneration der Masse werden vermutlich infolge örtlicher Überhitzung kleine Mengen von schwefelsaurem Eisenoxyd gebildet. Vor Wiederverwendung ist erforderlich, daß das Reinigungsmaterial mit Wasser gewaschen wird, um dieses schwefelsaure Eisenoxyd zu entfernen. Nachher muß diese Masse wieder getrocknet werden. Bei den Versuchen in Hamburg soll die Regeneration Schwierigkeiten bereitet haben. In letzter Zeit soll es Burkheiser allerdings gelungen



sein, das Verfahren so abzuändern, daß diese Schwierigkeit behoben ist. — Die Vorzüge des Burkheiserschen Verfahrens sind: Überführung des Schwefels, der sonst in der Reinigungsmasse nahezu wertlos ist, in Schwefelsäure, so daß direkt schwefelsaures Ammoniak gewonnen werden kann, ohne Schwefelsäure ankaufen zu müssen; die Gewinnung eines festen Salzes in reiner Form, ohne dabei irgend welche Wärmemengen zur Verdampfung des Wassers aufwenden zu müssen; ferner die geringe Raumbeanspruchung, die höchstens ein Drittel des heutigen Reinigersystems beträgt.

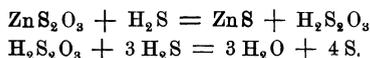
Das Verfahren von Feld<sup>1)</sup> beabsichtigt eine vollständige Aufhebung der Trockenreinigung, es strebt die Umsetzung des Schwefelwasserstoffs mit schwefliger Säure zu Wasser und Schwefel an, wobei die schweflige Säure durch Verbrennung aus dem Schwefel gewonnen werden kann. Diese Umsetzung würde nach der Formel erfolgen:



Da jedoch diese Reaktion zu langsam verlaufen würde, fügt Feld eine Zwischenreaktion ein, und verwendet als Reaktionsüberträger Zinksalze oder Eisensalze<sup>2)</sup>.

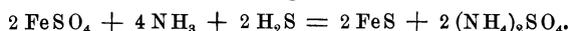
<sup>1)</sup> Stavorinus, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 705. — <sup>2)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, S. 729; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 787.

Löst man z. B. Zinkoxyd mit schwefliger Säure zu Zinksulfit und wäscht damit das Gas, so bildet der Schwefelwasserstoff aus letzterem Schwefelzink ( $\text{ZnS}$ ). Setzt man der dem Wäscher verlassenden Flüssigkeit wieder schweflige Säure in Gasform zu, so geht das Zinksulfit in Lösung unter Bildung von Zinkthiosulfat ( $\text{ZnS}_2\text{O}_3$ ). Dieses wird dann neuerdings zur Waschung verwendet, wobei Schwefelwasserstoff neuerdings Zinksulfit fällt und die frei gemachte Thioschwefelsäure sich mit neuen Mengen von Schwefelwasserstoff in Schwefel umsetzt. Diese Vorgänge sind ausgedrückt durch die Formeln:

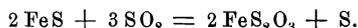


Zur Regeneration wird das Schwefelzink durch neuerlichen Zusatz von schwefliger Säure wieder als Thiosulfat gelöst, und sobald die Flüssigkeit etwa 5 Proz. Schwefel enthält, wird der letztere durch Filterpressen entfernt und soweit als möglich zu schwefliger Säure verbrannt, die wie oben genannt verwendet wird.

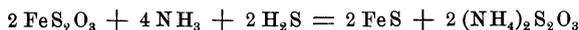
Feld hat sich schließlich auch ein kombiniertes Verfahren zur gleichzeitigen Auswaschung von Schwefelwasserstoff und Ammoniak patentieren lassen. Bei diesem wird das Rohgas durch Eisenvitriollösung gewaschen. Dabei bildet sich zufolge des Ammoniak- und Schwefelwasserstoffgehaltes des Gases Schwefeleisen nach der Gleichung:



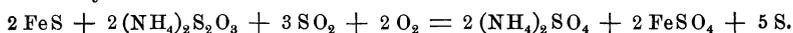
Die Flüssigkeit wird durch Einleiten von schwefliger Säure und Luft regeneriert, dann wieder zur Gaswaschung verwendet usw. Die Regeneration erfolgt nach der Gleichung:



Bei der folgenden Gaswaschung entsteht Ammoniumthiosulfat nach der Formel:



und die Oxydation bildet Ammoniumsulfat:



Wenn der Gehalt an Ammonsalz auf 30 bis 40 Proz. gestiegen und durch Einleiten von erhitzter Luft oxydiert ist, wird der Schwefel abgepreßt, das Eisen als Schwefeleisen gefällt, durch Filtrieren abgeschieden und die Ammonsalzlösung eingedampft. Der Preßkuchen von Schwefeleisen geht wieder in den Betrieb zurück. Auf je 100 Teile Ammoniak werden 135 Teile Schwefelwasserstoff entfernt.

In Königsberg ist dieses Verfahren von Haaren durchgearbeitet worden<sup>1)</sup>. Das Gas wird dort hinter dem Pelouze so lange mit Eisenvitriol gewaschen, bis alles Eisen als Schwefeleisen gefällt ist. Die gewonnene Lauge wird mit schwefliger Säure behandelt, und der hierzu nötige Schwefel soll später aus dem Verfahren gewonnen werden. Es entsteht Eisentetrathionat nach der Formel:



Dieses zerfällt in Eisenvitriol, schweflige Säure und Schwefel nach der Formel:



<sup>1)</sup> Hurdelbrink, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 956; siehe auch Wolffram, ebend. 1910, S. 614; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 523.

Die Regeneration der Lauge konnte jedoch im Großbetriebe noch nicht durchgeführt werden. Der Betrieb wird manchmal durch Ausscheidung von Eisendisulfid ( $\text{FeS}_2$ ) gestört, welches sich in einer inaktiven, in Säure unlöslichen Form abscheidet. Um dies zu vermeiden, soll an Stelle von Eisenvitriol Zinkvitriol verwendet werden. Doch ist die geringere Löslichkeit des Zinkammoniumsulfatdoppelsalzes weniger zweckmäßig.

Auch beim Feldschen Verfahren wird somit der Schwefelgehalt des Gases in Schwefelsäure überführt, um dann als Ammoniumsulfat gewonnen zu werden. Das Verfahren ermöglicht jedoch nach Hurdelbrinks Ansicht keine vollständige Entfernung des Schwefelwasserstoffs, sondern nur eine Entlastung der trockenen Schwefelreinigung. Außerdem sind die Wäscher mit Eisensalzlösung leistungsfähiger als beim Betriebe mit Wasser. Jedenfalls dürfte dieses Verfahren eine ausführliche chemische Kontrolle erfordern und daher nur für große Werke geeignet sein.

### 37. Die Entfernung des Schwefelkohlenstoffs aus dem Gase.

Die in dem früheren Kapitel besprochene Reinigung des Gases bezieht sich nur auf die Entfernung des Schwefelwasserstoffs. Außerdem ist aber der Schwefel im Gase noch in Form verschiedener Verbindungen mit Kohlenstoff, den sogenannten organischen Schwefelverbindungen enthalten. Der überwiegende Teil dieser Schwefelverbindungen ist der Schwefelkohlenstoff ( $\text{CS}_2$ ). Die Menge desselben ist abhängig von der Temperatur, bei welcher das Gas erzeugt wurde, derart, daß bei höherer Temperatur mehr Schwefelkohlenstoff gebildet wird, und außerdem vom Schwefelgehalt der Kohle. Schwefelwasserstoff ist in der Hitze zersetzlich, indem Schwefel abgeschieden und Wasserstoff gebildet wird. Umgekehrt nimmt Kohle in der Glühhitze Schwefel auf unter Bildung von Schwefelkohlenstoff. Es ist daher nur natürlich, daß eine höhere Temperatur eine Verringerung des Schwefelwasserstoff- und eine Steigerung des Schwefelkohlenstoffgehaltes bewirkt.

Die Menge des im Gase enthaltenen Schwefelkohlenstoffs sowie der anderen organischen Schwefelverbindungen ist außerordentlich gering. Samtleben<sup>1)</sup> fand den Schwefelgehalt des gereinigten Gases pro 100 m<sup>3</sup>:

Bei westfälischer Kohle zu . .	38,6 g
Bei Durhamkohle zu . . . . .	79,6 „
Bei Yorkshirekohle zu . . . . .	90,1 „

Dieser geringe Schwefelgehalt des gereinigten Gases ist bei Beleuchtung geschlossener Räume weder durch den Geruch noch durch den Geschmack bemerkbar. Es können jedoch Fälle vorkommen, in denen auch dieser geringe Schwefelgehalt Nachteile mit sich bringt. Nach wie vor wird von vielen Seiten darauf hingewiesen, daß es für die Anwendbarkeit des Gases von großer Wichtigkeit wäre, auch die so geringen Mengen von Schwefel zu entfernen. Oft werden zwar den Verbrennungsprodukten des Gases Schäden zugeschoben, die andere Ursachen haben, trotzdem aber bleibt die Frage der vollständigen Entfernung der Schwefelverbindungen aus dem Gase für die Gasindustrie außerordentlich wichtig. Gebrauchsgegenstände, die für schweflige Säure sehr empfindlich sind, leiden unter dem geringen Gehalt an schwefliger Säure,

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 117.

welche die Luft besitzt, wenn größere Mengen von Gas in dieser verbrennen. Die bei der Beleuchtung mit Gas entstehenden Mengen von schwefliger Säure sind allerdings so gering, daß sie kaum in Betracht kommen. Wenn jedoch Räume mit Gas beheizt werden, und besonders dann, wenn die Gasheizöfen keine Abzüge für die Verbrennungsgase besitzen, entstehen doch so wesentliche Mengen von schwefliger Säure, daß manche Gebrauchsgegenstände leiden können <sup>1)</sup>).

Selbst ein Gehalt von nur 6 g Gesamtschwefel in 100 m<sup>3</sup> Gas kann unter besonderen Umständen schädlich sein. Besonders empfindlich sind die Farbstoffe, so daß z. B. Tuchrollen, welche längere Zeit mit den Verbrennungsprodukten des schwefelhaltigen Steinkohlengases in Berührung bleiben, darunter leiden können. Jedoch nicht nur die schweflige Säure ist es, welche durch ihre reduzierende Wirkung Nachteile mit sich bringen kann, sondern sie verwandelt sich bei Anwesenheit von Feuchtigkeit und Sauerstoff in Schwefelsäure und auch diese kann Schaden bringen. Funk <sup>2)</sup> hat nachgewiesen, daß die schwarze Flüssigkeit, welche sich an oberen Teile des Zylinders mancher Lampen ansammelt, aus konzentrierter Schwefelsäure besteht, welche die darauffallenden organischen Substanzen verkohlt. Auch setzt sich an den den Verbrennungsgasen ausgesetzten Metallteilen von Beleuchtungskörpern Schwefelsäure ab, was namentlich bei Invertlicht in Betracht kommt und auch zu Verstopfungen der Düsen führen kann.

Auch die blutroten Flecke, welche manchmal an den Glasbirnen beim Invertlicht auftreten, sind dem Schwefelgehalt des Gases zuzuschreiben. Von den Brennerrohren herunterfallende Teilchen werden in schwefelsaures Kupfer verwandelt, welches von der reduzierenden Gasflamme zu Kupferoxydul reduziert wird. Dieses löst sich dann in dem erwärmten Glase zu einer roten Kupferoxydulsilikatverbindung <sup>3)</sup>. Auch der weiße flockige Beschlag an kupfernen Brennerbestandteilen besteht aus wasserfreiem schwefelsauren Kupfer.

Andererseits muß auch darauf hingewiesen werden <sup>4)</sup>, daß die Decken und Wände der Räume schweflige Säure aufnehmen und deshalb in der Luft eines Raumes, in dem Gas brennt, nicht so viel schweflige Säure enthalten ist, als dem Schwefelgehalt des Gases entspricht. Auch die natürliche Ventilation mag dazu beitragen.

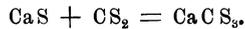
In Deutschland gilt 1 g Schwefel in 100 m<sup>3</sup> Gas als unbedenklich zulässiger Schwefelgehalt.

Oft werden auch allerdings Schäden den Verbrennungsgasen zugeschoben, die eine andere Ursache haben; so z. B. wurden in einer Bibliothek die Leder einbände der Bücher zerstört und es konnte nachgewiesen werden, daß die Zerstörung auf einen Schwefelgehalt zurückzuführen war. Später stellte sich jedoch heraus, daß das Leder selbst einen hohen Gehalt an Schwefel hatte und dort aus diesem die Schwefelsäure entstanden war und nicht aus den Verbrennungsprodukten des Gases <sup>5)</sup>. Gegenüber diesem großen Schwefelgehalt des Leders waren die Schwefelsäuremengen, welche aus der Gasbeleuchtung entstanden waren, vollkommen zu vernachlässigen.

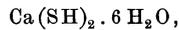
<sup>1)</sup> Vgl. Dott & Dougal, Journ. of Gaslighting 1908, S. 833; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 269. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 869. — <sup>3)</sup> Killing, ebend. 1911, S. 160. — <sup>4)</sup> Bedson, Journ. of Gaslighting 1910, S. 928; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 622. — <sup>5)</sup> Journ. de l'usine à Gaz 1909, S. 326; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 20.

Der Gehalt des Gases an Schwefelkohlenstoff spielt in England eine weit größere Rolle als in Deutschland oder Österreich-Ungarn. Die englischen Kohlen enthalten so viel Schwefel, daß dadurch ein höherer Schwefelgehalt auch in schwefelwasserstofffreiem Gase auftritt, und es sind daher dort besondere Vorsichtsmaßregeln erforderlich. Gesetzlich ist dort der Schwefelgehalt des gereinigten Gases auf 45 g pro 100 m<sup>3</sup> festgesetzt. Daher ist in England die Entfernung des Schwefelkohlenstoffs, wenigstens der Hauptmenge nach, erforderlich. In Deutschland und Österreich-Ungarn dagegen ist der Schwefelgehalt des Gases ohnedies so gering, daß diesbezüglich keine besonderen Vorsichtsmaßregeln getroffen werden müssen. Trotzdem aber sollte auch hier die Gasindustrie bestrebt sein, diesen letzten kleinen Mangel, der ihr anhaftet, zu beseitigen.

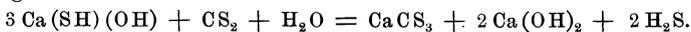
In England verwendet man zur Entfernung des Schwefelkohlenstoffs die Kalkreinigung. Das Gas wird dort erst von Kohlensäure befreit, dann wird der Schwefelwasserstoff von gelöschtem Kalk unter Bildung von Calciumhydrosulfid aufgenommen und der Rest wird durch Eisenreiniger entfernt. Das Calciumhydrosulfid läßt man an der Luft liegen, wobei sich ein Polysulfid bildet, das dann zur Absorption des Schwefelkohlenstoffs hinter der Eisenreinigung verwendet wird. Zum Schluß wird dann nochmals ein Eisenreiniger eingefügt, um den während der Schwefelkohlenstoffentfernung gebildeten Schwefelwasserstoff aufzunehmen. Die Absorption des Schwefelkohlenstoffs entspricht der Formel:



Nach Ross und Race<sup>1)</sup> wird durch die Einwirkung des Schwefelkohlenstoffs auf Kalk zunächst bei Gegenwart von Schwefelwasserstoff und Wasser die Verbindung gebildet:



und wenn mehr Wasser zugegen ist, die Verbindung Ca(SH)·(OH). Leitet man dagegen Schwefelwasserstoff über erwärmtes Calciumhydroxyd, so bildet sich Schwefelcalcium (CaS), welches sich mit Wasser zu der vorher genannten Verbindung zersetzt. Schwefel reagiert mit dem Calciumsulphydrat [Ca(SH)(OH)] unter Bildung von Polysulfiden, die sich in Gegenwart von Sauerstoff zu Thiosulfaten umsetzen. Schwefelcalcium (CaS) ist auf Schwefelkohlenstoff ohne Einwirkung. Dagegen reagiert das genannte Sulphydrat nach folgender Gleichung:



Die Anwesenheit von Kohlensäure ist dabei schädlich, weil sie das Sulphydrat zerstört. Nach einem Vorschlage von Hunt wird Luft zugesetzt, wodurch aus Calciumsulphydrat ein Calciumoxysulphydrat (CaO·OH·SH) gebildet wird, welches die Fähigkeit haben soll, den Schwefelkohlenstoff leichter aufzunehmen. Dagegen hat Dougan festgestellt, daß das Leuchtgas ohne jegliche Luftbeimengung die Sulfidreiniger passieren soll und erst zur Wiederbelebung Luft angewendet werden soll. Hood und Salamon haben gefunden, daß bei höherer Temperatur die Aufnahme von Schwefelkohlenstoff rascher erfolgt.

Die Gasreinigung mit Schwefelcalcium hat den großen Nachteil, daß die mit Schwefelkohlenstoff gesättigten Massen einen außerordentlich unangenehmen

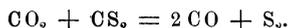
<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 878.

Geruch besitzen und die Nachbarschaft arg belästigen. Aus diesen Gründen konnte man sich bisher in Deutschland zu diesem Verfahren nicht entschließen, da es außerdem auch umständlich und kostspielig in der Bedienung ist. Man ist daher in Deutschland lebhaft bestrebt, andere Verfahren zur Entfernung des Schwefelkohlenstoffs ausfindig zu machen und sind diesbezüglich die mannigfachsten Vorschläge gemacht worden. Wir wollen dieselben mit Rücksicht auf die Wichtigkeit der Sache im nachstehenden kurz besprechen.

Eine Anzahl von Vorschlägen bezieht sich darauf, den Schwefelkohlenstoff durch den Wasserdampfgehalt des Gases oder unter Zusatz von Wasserdampf in Schwefelwasserstoff zu zerlegen, oder durch Metalle oder Oxyde diese Zerlegung hervorzurufen oder zu beschleunigen.

Hall<sup>1)</sup> hat in Portland Versuche angestellt nach den von Vernon-Harcourt vor 50 Jahren gemachten Vorschlägen, das Gas nach der Reinigung in Backsteinöfen auf 700 bis 900° zu erhitzen, wobei der Schwefelkohlenstoff durch den Wasserdampfgehalt des Gases in Schwefelwasserstoff übergeführt wird, und diesen mit Eisenoxydhydrat zu entfernen. Der Gehalt an organischen Schwefelverbindungen soll dabei von 135 auf 39 g zurückgehen, die Kosten der Erhitzung sollen nur 4 ₤ pro 100 m<sup>3</sup> betragen<sup>2)</sup>. Browditsch<sup>3)</sup> leitete das Gas bei 215° über Kalk, andere empfehlen die Verwendung von glühendem Eisen in Retortenöfen. Funk hat gefunden, daß bei Verwendung von Eisenoxyd Temperaturen von 150° ausreichen, um den Schwefelkohlenstoff zu zersetzen. Die Geschwindigkeit des Gasstromes dürfte dabei jedoch 15 mm pro Sekunde nicht übersteigen. Die Reinigung ist allerdings auch dann noch keine vollkommene. Matwin<sup>4)</sup>, der eine Übersicht über die verschiedenen Methoden der Entfernung des Schwefelkohlenstoffs gibt, erwähnte das Überleiten des Gases über erhitztes fein verteiltes Nickel, welches den Schwefelkohlenstoff ebenfalls in Schwefelwasserstoff verwandelt. Bei einer Temperatur von 300° und Anwendung von Nickelasbest wurde der Schwefelgehalt auf 16 g pro 100 m<sup>3</sup> herabgedrückt. Auch fein verteiltes Eisen vermindert denselben bei 300 bis 400° auf 20 g. Der Teer und Kohlenstaub bewirkt jedoch sehr bald eine Herabsetzung der Wirkung, so daß das Verfahren auf die Dauer nicht brauchbar ist. Hellrot glühender Bimsstein wirkt ebenfalls zerstörend auf den Schwefelkohlenstoff, indem sich Kohlenstoff auf den Bimsstein niederschlägt. Letzterer kann durch Ausglühen regeneriert werden. Es ergab sich hierbei eine Herabsetzung des Schwefelgehaltes auf 21,8 g. Auch Witzeck<sup>5)</sup> hat gezeigt, daß die Entfernung des Schwefelkohlenstoffs bei höherer Temperatur tatsächlich möglich ist, daß aber die Erhitzung des Gases auf mehrere hundert Grade Schwierigkeiten macht.

Meyer und Schuster<sup>6)</sup> befürworten die pyrogene Umsetzung von Kohlensäure mit Schwefelkohlenstoff zu Schwefelwasserstoff, welche nach der Gleichung vor sich geht:

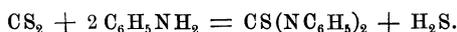


(Der Schwefel setzt sich nachträglich offenbar mit Wasserdampf zu Schwefelwasserstoff um.)

<sup>1)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, S. 99; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 295. — <sup>2)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, S. 583; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 367. — <sup>3)</sup> Funk, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 868. — <sup>4)</sup> Ebend. 1909, S. 602. — <sup>5)</sup> Ebend. 1903, S. 21. — <sup>6)</sup> Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1911, S. 1931; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 917.

Alle Verfahren, welche bei höherer Temperatur den Schwefelkohlenstoff durch Metalle oder Oxyde, eventuell unter Beimischung von Wasser, zu zersetzen suchen, leiden an der geringen Reaktionsgeschwindigkeit. Es sind daher vielfach andere Verfahren vorgeschlagen worden. So z. B. wollten Lue und Lees das Gas durch Beimischung von 1 bis 2 Proz. Luft bei 250° von Schwefelkohlenstoff befreien. Beim Verfahren von Cooper wird den Kohlen etwa 10 Proz. Ätzkalk zugesetzt, wodurch bei der Destillation ein Teil des Schwefels als Schwefelcalcium zurückgehalten wird. Dadurch leidet allerdings die Qualität des Kokes und auch des Gases, ebenso geht auch die Teerausbeute zurück, während die Ammoniakausbeute gesteigert wird. Claus und Hill setzen dem teerfreien Rohgas Ammoniak zu, wodurch Sulfid entsteht, welches einen Teil des Schwefelkohlenstoffs bindet. Auch dieses Verfahren ist nicht in den Großbetrieb eingeführt worden. Die Zuckerraffinerie in Rossitz suchte das Gas mit einem Öl zu waschen, das bei Destillation der Melasseschlempe gewonnen wird. Young wollte die Waschung mit Schieferölen vornehmen. Sicher ist jedenfalls, daß Öle verschiedener Art Schwefelkohlenstoff zu absorbieren vermögen.

Ein vielfach besprochenes Verfahren zur Entfernung des Schwefelkohlenstoffs ist das von Pippig und Trachmann<sup>1)</sup> angegebene. Dieses beruht auf der Absorption des Schwefelkohlenstoffs in alkoholischer Anilinlösung gemäß der Formel:



Von Witzeck<sup>2)</sup> ausgeführte Kontrollversuche ergaben eine zu geringe Verminderung des Schwefelgehaltes bei diesem Verfahren. Derselbe wurde nämlich von 78,3 auf 58,3 g reduziert. Alkoholische Lösungen sind auch praktisch kaum verwendbar. Das Pippig-Trachmannsche Verfahren könnte auch nur dann verwendet werden, wenn das resultierende Sulfocarbanilid eine praktische Verwendung finden könnte, da anderenfalls zufolge der Verwendung des Anilins die Anwendung dieses Verfahrens zu teuer kommen würde.

Witzeck und Frank änderten daher das Verfahren dadurch, daß sie das Anilin in hochsiedenden Teerbasen lösten und Schwefel zusetzten. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß die erzielten Erfolge auf eine Absorption des Schwefelkohlenstoffs durch Teerbasen zurückzuführen sind. Mayer und Fehlmann<sup>3)</sup> beschleunigen die Umsetzung des Anilins mit Schwefelkohlenstoff zu Thioharnstoff durch Zusatz von Metalloxyden oder Superoxyden. Bei Anwendung von Quecksilberoxyd ist die Reaktion außerordentlich energisch. Die Wirkung beruht auf der sofortigen Absorption des gebildeten Schwefelwasserstoffs. Sie haben bei Zimmertemperatur außerordentlich günstige Reinigungserfolge erzielt. So entfernte z. B. Anilin bei Zusatz von:

Raseneisenerz bei Zimmertemperatur . . . . .	80,2	Proz. CS <sub>2</sub>
"          "          40° . . . . .	62,3	" "
Bleioxyd bei Zimmertemperatur . . . . .	89,8	" "
Mennige "          " . . . . .	95,9	" "
Bleisuperoxyd bei "          " . . . . .	88,5	" "
"          "          40° . . . . .	85,5	" "

Man erzielt also durchaus günstige Resultate und jedenfalls günstigere als nach dem gewöhnlichen Pippig-Trachmannschen Verfahren. Noch günstigere

<sup>1)</sup> D. R.-P. Nr. 119 884. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1903, S. 21. — <sup>3)</sup> Ebend. 1910, S. 523 u. 553; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 295.

Resultate wurden bei Anwendung von Xylidin an Stelle von Anilin erzielt, da hierbei eine größere Gasgeschwindigkeit angewendet werden konnte. Bei einer Berührungsdauer von 12,9 Sekunden wurde ein Reinigungserfolg von 70 Proz. und bei 73,1 Sekunden 85,8 Proz. erzielt. Durch Erhitzen des Thiocarbanilids mit Eisenoxydhydrat wird Anilin regeneriert, wobei sich Eisensulfid, Kohlensäure und Schwefel bilden. Auf diese Weise konnten durch Regeneration 70 bis 80 Proz. des Anilins wiedergewonnen werden. Verluste an Anilin sind aber auch hier nicht zu vermeiden, schon wegen der Verdunstung desselben im Gasstrom; letzteres könnte jedoch durch verdünnte Schwefelsäure wiedergewonnen werden. Nach den Angaben von Mayer und Fehlmann würde der Anilinverlust bei Reinigung von  $20\,000\text{ m}^3$  Gas etwa 30 kg betragen. Danach wäre also das Verfahren nicht zu teuer, doch ist es in die Praxis noch nicht eingeführt worden.

Ein ähnliches Absorptionsmittel, welches jedoch noch teurer ist als das Anilin, hat Samtleben vorgeschlagen. Es ist das Phenylhydrazin. Dieses bildet mit dem Schwefelkohlenstoff phenylsulfocarbazinsäures Phenylhydrazin. Eine Lösung von 75 Proz. Phenylhydrazin in Chinolin absorbierte 81,7 Proz. des im Gase enthaltenen Schwefels. Auch bei Zusatz von 3 Tln. Anthracenöl wurden bei einem Dauerversuch 54 Proz. Schwefel absorbiert. Samtleben zweifelt daran, daß sich billigere Verfahren finden lassen und meint, zufolge des geringen Schwefelkohlenstoffgehaltes des Gases sei eine weitere Diskussion dieser Frage überflüssig, namentlich da durch die Einführung der Vertikalöfen der Schwefelkohlenstoffgehalt noch weiter vermindert worden sei. Dem kann man jedoch nicht vollinhaltlich zustimmen. Die Auffindung eines geeigneten Mittels zur Entfernung des Schwefelkohlenstoffs erscheint weder ausichtslos noch unnötig.

Andere Lösungsmittel für Schwefelkohlenstoff wurden wie folgt vorgeschlagen.

Frank<sup>1)</sup> hat Mischungen von Anthracenöl, Schwerbenzol und hochsiedenden Basen, die 5 Proz. Anilin enthalten und denen 0,25 Proz. Schwefel zugesetzt ist, vorgeschlagen. Kontrollversuche, die von Witzeck<sup>2)</sup> ausgeführt wurden, ergaben die Verminderung von 71,7 auf 49,2 g, also eine zu geringe Wirkung. Nicht viel bessere Resultate zeigte Chinolin. Trimethylamin,  $\text{N}(\text{CH}_3)_3$ , verbindet sich nach Blennard mit Schwefelkohlenstoff zu einer Additionsverbindung, jedoch wurden auch hiermit keine günstigen Resultate erzielt. Funk<sup>3)</sup> empfiehlt die Waschung mit dünnflüssigem Steinkohlenteeröl. Jedoch kann auch diese keine befriedigende Entfernung des Schwefelkohlenstoffs bewirken.

Die größte Beachtung verdient dagegen der Vorschlag Matwins<sup>4)</sup>, den Schwefelkohlenstoff durch Holzkohle zu absorbieren. Diese hat die Eigenschaft, die Stoffe mit hohem Molekulargewicht stärker zu absorbieren, als solche mit niederem. Schwefelkohlenstoff ist ein solcher Stoff mit hohem Molekulargewicht. Daraus resultiert die Eigenschaft der Holzkohle, den Schwefelkohlenstoff in großen Quantitäten aufzunehmen. Hierbei wird der Heizwert des Gases nicht merklich herabgesetzt und die Leuchtkraft nur in der ersten Zeit der Einwirkung vermindert. 1 kg Fichtenholzkohle reinigte  $10\text{ m}^3$  Gas bei

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1903, S. 488. — <sup>2)</sup> Wie oben. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 868. — <sup>4)</sup> Ebend. 1909, S. 602.

einem Versuch bis auf 25,8 g und bei einem zweiten Versuch bis auf 29,2 g Schwefel in 100 m<sup>3</sup>. Die Regenerierung erfolgt durch Überblasen von Luft oder durch Evakuieren nur unvollkommen. Dagegen ist die Kohle durch Tränkung mit Wasser und Trocknung bei 50° regenerierbar. Ausglühen würde auch zum Erfolge führen, wäre aber zu teuer. Am besten wirkt leichte, poröse Holzkohle. Interessant ist, daß der Geruch des Gases durch Behandlung mit Holzkohle verändert wird, da derselbe eben von jenen organischen Schwefelverbindungen herrührt, die in der Holzkohle absorbiert werden. Bei diesem Verfahren wird also nicht nur der Schwefelkohlenstoff allein, sondern es werden sämtliche organische Schwefelverbindungen entfernt, so daß das Gas nachher tatsächlich schwefelfrei ist.

Aus obigem ist ersichtlich, daß eine endgültige Lösung der Frage der Entfernung des Schwefelkohlenstoffs bis jetzt noch nicht erreicht ist. Mit Rücksicht auf die vielseitige Verwendung des Gases zu Beheizungs Zwecken sollte aber energischer daran gegangen werden, diese Frage einer endgültigen Lösung zuzuführen.

### 38. Gasbehälter.

Die Gasindustrie hat vor ihrer Schwesterindustrie, der Elektrizität, das eine voraus, daß sie das von ihr erzeugte Produkt leicht und auf billige Weise in großen Mengen aufspeichern kann. Die Elektrizität wird auch in den Akkumulatoren aufgespeichert, jedoch ist diese Art der Aufstapelung eine außerordentlich teure, so daß die Elektrizitätswerke gewissermaßen gezwungen sind, von der Hand in den Mund zu leben, d. h. das Produkt immer dann zu erzeugen, wenn es verbraucht wird. Allerdings ist auch das Gas ein Produkt von so großem Volumen, daß nicht unbegrenzte Quantitäten wie andere Waren beliebig aufgestapelt werden können, sondern man kann nur die Produktion eines Tages als Vorrat aufheben. Dies ist aber gerade genug, um eben die Ungleichmäßigkeiten des Tageskonsums ausgleichen zu können. Könnte man die Gasbehälter so groß machen, daß eine ganze Jahresproduktion aufgespeichert würde, so würden dadurch auch die Ungleichmäßigkeiten des Sommer- und Winterbetriebes verschwinden. Dies ist aber leider nicht möglich. Somit bleibt für die Gasindustrie nur der ungleiche Sommer- und Winterkonsum, welcher bedingt, daß ein großer Teil der Apparate im Sommer stillstehen muß, während sie für den Winterbetrieb vorhanden sein müssen. Aber die großen Reserven, die für den Elektrizitätsbetrieb notwendig sind, entfallen hier, weil man eben wenigstens eine Tagesproduktion bequem aufspeichern kann.

Allerdings wählt man die Gasbehälter nicht so groß, daß sie die 24stündige Produktion aufzunehmen vermögen, denn man muß ja während der Abendstunden, in denen großer Konsum herrscht, den Konsum nicht nur vom Behälter aus decken, sondern man kann ja auch während dieser Zeit noch das Gas produzieren, so daß nur ein Teil der Tagesproduktion an Behälterraum benötigt wird. Man wählt daher je nach der Sicherheit, welche man im Betriebe haben will, den Gasbehälter in der Größe von 50 bis 80 Proz. des Maximaltageskonsums. Bei kleinen Werken, wo die Unregelmäßigkeiten des Betriebes größere sind, wählt man lieber einen größeren Behälter, bei großen Werken, wo sich die Unregelmäßigkeiten schon durch die große Anzahl der vorhandenen Öfen ausgleichen, genügen verhältnismäßig kleinere Behälter.

Wo Wassergasanlagen vorhanden sind, welche stets betriebsbereit stehen und sofort das Gas liefern können, wenn man solches wünscht, kann man mit einem kleineren Behälter auskommen, als wenn keine Wassergasanlage vorhanden ist (vgl. Kapitel 60 „Wassergas“). Bei der Erweiterung von Gaswerken steht man daher häufig vor der Wahl, ob man entweder eine Wassergaszusatzanlage bauen oder einen neuen Behälter beschaffen soll, und es müssen die örtlichen Verhältnisse berücksichtigt werden, um die Entscheidung in dem einen oder anderen Sinne zu treffen.

Das Wesen der Aufspeicherung des Gases besteht ausschließlich darin, daß man ein zylindrisches, einseitig geschlossenes Gefäß, die Gasglocke genannt, derart in Wasser tauchen läßt, daß der Inhalt dieser Glocke durch den Wasserspiegel abgeschlossen erscheint. Das Gewicht der Glocke sucht dieselbe nach abwärts zu drücken, ein Heruntergleiten der Glocke ist jedoch nur dann möglich, wenn Gas aus derselben entweicht. Zur Entnahme von Gas ist daher ein Rohr vorhanden, welches in das Innere des Gasraumes des Behälters reicht. Man kann dieses Rohr sowohl zum Hineinbringen des Gases als auch zur Ableitung desselben benutzen. Aus praktischen Gründen wird jedoch für den Eingang des Gases gewöhnlich ein anderes Rohr als für den Ausgang gewählt. Das Hineinbringen des Gases erfolgt dadurch, daß dem Gase in dem Zuleitungsrohr ein bestimmter Druck erteilt wird. Dieser Gasdruck hebt die Glocke aus dem Wasser in die Höhe und schafft sich dadurch selbst den nötigen Raum. Der Druck, welcher erforderlich ist, um die Gasbehälterglocke zu heben, hängt vom Gewicht und von der Fläche derselben ab.

Betreffs der Ausführung der Gasbehälter unterscheidet man freistehende (offene) oder umbaute (geschlossene) Behälter. Je nachdem wie das Wasserbassin, welches das Sperrwasser für die Glocke aufnehmen soll, ausgeführt ist, unterscheidet man gemauerte Bassins, betonierte oder Bassins in Eisenbeton ausgeführt (alle diese werden ganz oder zum Teil unter die Erde versenkt), oder aber schmiedeeiserne Bassins, deren Boden im Erdniveau oder noch höher auf einem Fundament steht. Je nach der Ausführung der Glocke unterscheidet man einfache Glocken oder teleskopierte.

Während man in früheren Zeiten vornehmlich umbaute Behälter ausführte, da man die Einflüsse der Witterung zu sehr fürchtete, errichtet man heute beinahe nur mehr freistehende Gasbehälter. Die Ursache liegt darin, daß man heute gelernt hat, die Gasbehälter so sicher zu konstruieren, daß sie auch den Unbilden der Witterung standzuhalten vermögen. Die Kosten der freistehenden Behälter sind aber natürlich ganz wesentlich geringere, da eben der ganze Bau um die Behälterglocke herum vollständig entfällt. Der Nachteil der freistehenden Behälter liegt nur darin, daß eine größere Wärmemenge erforderlich ist, um das Sperrwasser vor dem Einfrieren zu schützen, während in umbauten Behältern die Heizung nur eine ganz geringe zu sein braucht. Natürlich sind die Glocken der freistehenden Behälter auch dem Wind- und Schneedruck ausgesetzt, jedoch sind die heutigen Konstruktionen diesen Einflüssen gewachsen, so daß sich dieser Übelstand nur in den höheren Kosten ausdrückt, die jedoch noch lange nicht so hoch anwachsen wie die Kosten der Umbauung.

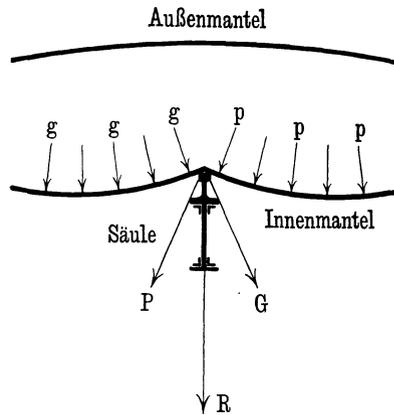
Die Bassins zur Aufnahme des Sperrwassers wurden früher ausschließlich in Mauerwerk ausgeführt und unter das Erdniveau verlegt. Eine solche Aus-

führung setzt jedoch einen vollständig tragfähigen Grund voraus, da die großen Gewichte des Mauerwerks, die hier in die Erde versenkt werden, bei nicht genügend tragfähigem Grunde leicht Senkungen erfahren, wodurch Undichtheiten entstehen, so daß beträchtliche Mengen des Behälterwassers verlorengehen können. Auch verursacht der Erdaushub beträchtliche Kosten, so daß man heute meist schmiedeeiserne Behälter anwendet, welche meist billiger sind. Die Wandstärken, welche bei den gemauerten oder betonierten Bassins in Betracht kommen, sind recht beträchtliche. So z. B. muß ein gemauerter Behälter von 10 m Durchmesser und 4,0 bis 4,5 m Höhe oben eine Wandstärke von 300 bis 450 mm und unten eine solche von 900 bis 1000 mm besitzen. Handelt es sich um größere Behälter von 50 m Durchmesser, so beträgt die Höhe 7,0 bis 8,0 m und die Wandstärke oben 900 bis 1100 mm und unten sogar 3,5 bis 4,0 m.

In neuerer Zeit kommt auch die Ausführung der Behälterbassins in Eisenbeton in Erwägung. Auch hierbei stellt man aber die Bassins unter das Erdniveau, weil eine freistehende Mauer größeren Druck nach außen auszuhalten hat und stärker konstruiert sein müßte als eine unter der Erde befindliche, weil der Erddruck einen Teil des Wasserdruckes aufnimmt. Im übrigen sind aber hochstehende Behälter zweckmäßiger, weil Undichtheiten des Bassins dann leichter beseitigt werden können.

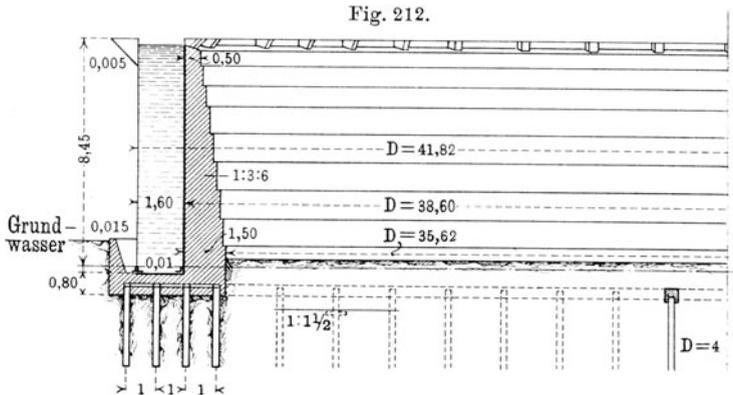
Bei der Ausführung der Behälterbassins in Schmiedeeisen hat man früher ausschließlich nur die zylindrische Form mit flachem Boden benutzt. In letzter Zeit ist man jedoch zu mancherlei anderen Bodenformen gelangt, welche besondere Vorzüge besitzen. Der erste, welcher hier bahnbrechend vorging, war Intze. Er war der erste, welcher den Behälter auf eine Ringmauer stellte und den Boden nach oben wölbte, so daß die Wassermenge, welche zum Abschluß der Behälterglocke diente, eine geringere wurde. Dafür wird auf diese Weise unterhalb des Behälterbodens ein Raum geschaffen, welcher vorzüglich als Lagerstätte oder zu anderen Zwecken benutzt werden kann. Später sind dann auch von anderen kugelförmige Böden angewendet worden und schließlich ist man auch dazu übergegangen, die Wandungen der Glocke nur in ein ringförmiges Wasserbassin eintauchen zu lassen. Da bei einem solchen die innere Wandung auf Druck beansprucht wird, so ist es zweckmäßig, dieselbe in einzelne Segmente zu teilen, welche zwischen senkrechten Säulen senkrechte Tonnengewölbe besitzen, wie dies z. B. bei einem in letzter Zeit ausgeführten Gasbehälter von 100 000 m<sup>3</sup> Inhalt in Amsterdam, Wester-Gasfabrik gemäß Fig. 211 der Fall ist, oder man kann das Bassin innen durch einen starken Betonring verstärken, z. B. nach System Scheuss-Cool gemäß Fig. 212. Alle diese neueren Ausführungen haben den Vorteil, daß der gesamte Behälter ein geringeres Gewicht besitzt und daher geringere Anforderungen an die Fundamente stellt. Bei schlechten Grundverhältnissen kann sogar die ringförmige

Fig. 211.



Mauer, auf welcher der Behälterrand steht, durch Pfähle getragen werden. Ein weiterer Vorteil der Ausführungen mit Kugelboden liegt darin, daß der Boden des Behälterbassins stets zugänglich ist und daher vor Undichtheiten bewahrt werden kann.

Als Material zur Herstellung des schmiedeeisernen Behälterbassins wird beinahe ausschließlich Flußeisen verwendet. In neuester Zeit kommt für große



Behälter auch Stahlblech in Betracht. Die Blechstärke berechnet sich aus den Dimensionen des Behälters wie folgt:

$$\delta = \frac{DHS}{2 \cdot 100 \cdot s \cdot \varphi},$$

darin bedeutet:

- $D$  den Durchmesser des Behälterbassins in Metern,
- $H$  die Höhe des Behälterbassins von der unteren Kante bis zum Wasserniveau,
- $S$  das Gewicht von  $1 \text{ m}^3$  Wasser,
- $s$  die zulässige Materialbeanspruchung,
- $\varphi$  die Festigkeit in der Nietnaht. Diese ist je nach der Ausführung mit 25 bis 85 Proz. anzunehmen.

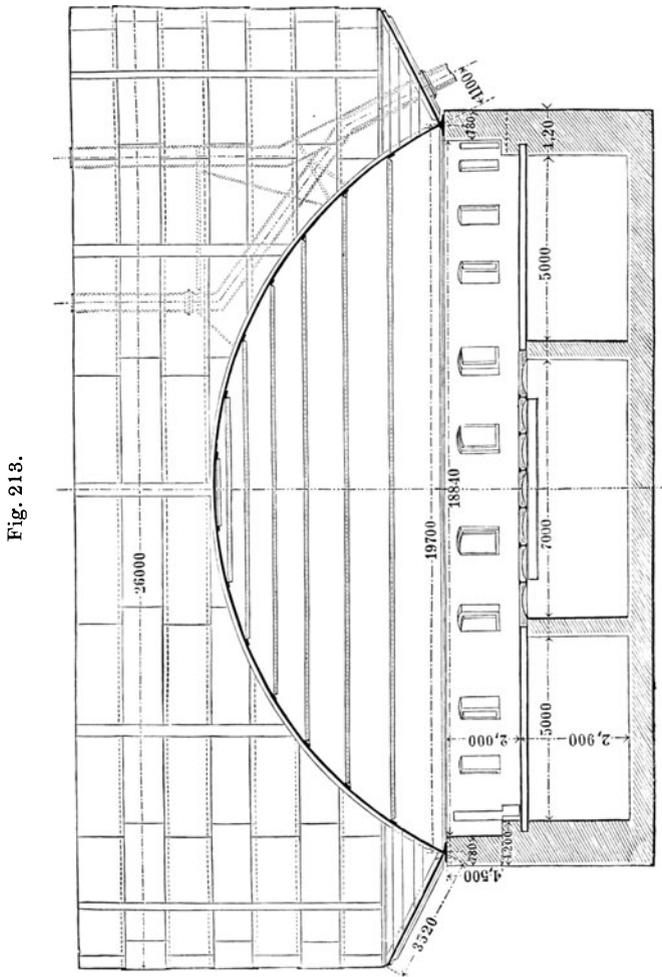
Die Drucke, welche in solchen Gasbehälterbassins zufolge der Wasserfüllung in den unteren Teilen auftreten, sind recht beträchtliche. Die Bleche haben daher in den untersten Lagen eine außerordentlich hohe Spannung auszuhalten und müssen gemäß obiger Formel bei großen Behältern sehr stark gewählt werden. Die Blechstärke schwankt von 6 bis 25 mm und mehr. Sie soll auch bei kleinen Behältern nie geringer als 5 mm genommen werden, selbst wenn obige Formel ein geringeres Ausmaß ergeben sollte.

Ist der Boden des Gasbehälterbassins nicht flach, sondern gewölbt, so wird der ganze Druck des Bassins auf eine kreisförmige Linie konzentriert. In diesem Falle braucht man also das Fundament nur ringförmig auszubilden.

Fig. 213 zeigt die Ausführung eines Intze-Behälters. Bei diesem ist der untere Teil des zylindrischen Außenmantels kegelförmig ausgebildet, wodurch der Auflagering einen Schub nach innen erhält, also nach innen zusammengedrückt wird. Der innere gewölbte Boden, der vom Wasser belastet ist, übt hingegen auf diesen Auflagering einen Schub nach auswärts, so daß er von diesem auseinandergezogen wird. Diese beiden Kräfte heben sich gegen-

seitig auf, so daß der Auflagering verhältnismäßig schwach ausgebildet werden kann. Der gewölbte Boden muß natürlich eine Anzahl meridionaler und ringförmiger Versteifungen erhalten, um den Druck des Wassers aushalten zu können.

Anstatt dieser Ausführung nach Intze werden die Bassins manchmal auch mit halbkugelförmigem Boden ausgeführt, an den sich außen der Flach-

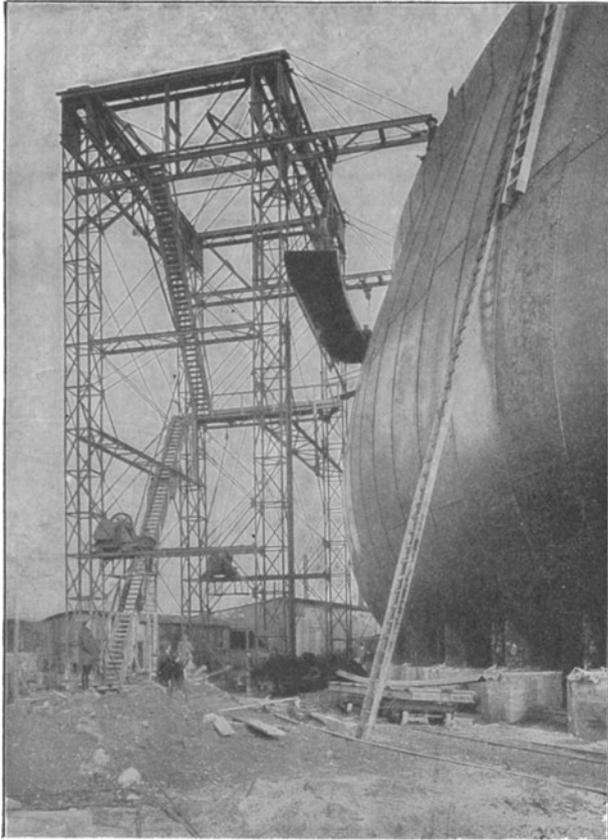


bodenring anschmiegt. In diesem Falle muß aber dafür gesorgt werden, daß der gewölbte Boden keinen Schub nach außen ausübt, und daher ist derselbe zweckmäßig als vollständige Halbkugel oder als sogenannter Wölboden auszuführen, damit die Bleche, welche sich an den Auflagering anschließen, senkrecht stehen.

Die interessanteste Neuerung im Bau großer Gasbehälterbassins ist zweifellos die Einführung der Wölbassins durch die Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, Zweiganstalt Gustavsburg. Der erste die er Behälter von  $150\,000\text{ m}^3$

Inhalt wurde im Gaswerk Wien-Simmering ausgeführt<sup>1)</sup>. Ein Zylinderbassin dieser Größe aus Flußstahl hätte bei einer Beanspruchung des Bleches von 1500 kg pro Quadratcentimeter 30 mm stark sein müssen und aus Flußeisen bei 1200 kg pro Quadratcentimeter sogar 35 mm. Beim Wölbassin hingegen wären rechnungsmäßig nur 5 mm Wandstärke erforderlich gewesen, es wurden jedoch 8 mm-Bleche gewählt. Die Form des Bassins (Fig. 214) ist eine solche, daß sie für die volle Wasserfüllung eine Gleichgewichtsfläche

Fig. 214.



bildet und der Mantel nur Zugspannungen erhält (Meridional- und Tangentialspannungen). Überdies ergibt diese Konstruktion den Vorteil, daß der Bassinfußring, welcher sonst Schwierigkeiten bietet, entfällt.

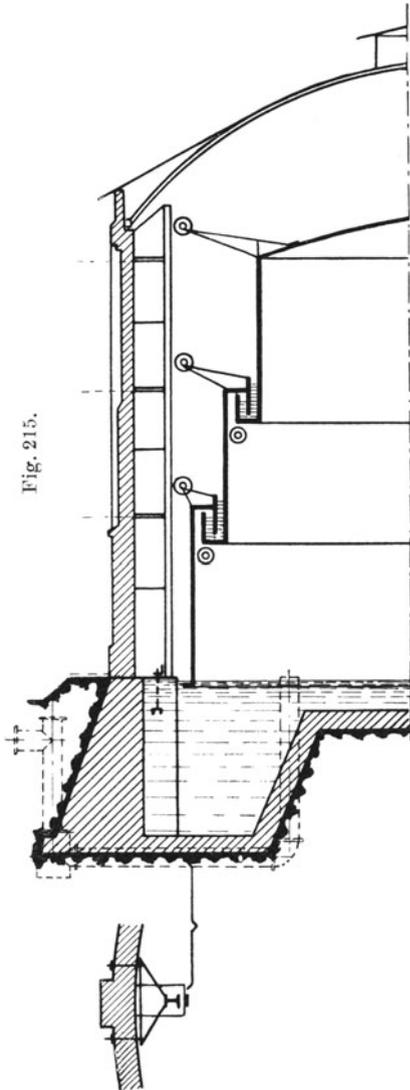
Bei nur teilweise gefülltem Bassin stellt die Bassinwand keine Gleichgewichtsfläche mehr vor. Es sind deshalb innerhalb des Bassins Fachwerkscheiben vorgelegt, welche gegen die Mitte mit vertikalen Ständern begrenzt sind. Dadurch wird erreicht, daß auch bei dem Anfüllen des Bassins, wobei andere Druckverhältnisse auftreten, die nötige Steifheit erzielt wird.

<sup>1)</sup> Schuhmann, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 73.

Bei allen Gasbehälterbassins muß man dafür sorgen, daß sowohl das Fundament, wie auch das Gasbehälterbassin selbst möglichst horizontal stehen. Da jedoch diesbezüglich eine absolute Genauigkeit nicht zu erreichen ist, so kann man als Grenze ein Schiefstehen von 1 mm pro je 1 m Bassindurchmesser gestatten.

Die Füllung dieser großen Bassins mit Wasser ist oft nicht ganz einfach; da dieselbe meistens rasch erfolgen soll, sind große Pumpen erforderlich.

Die Gasbehälterglocke besteht aus einem zylindrischen Mantel und einem darüber gespannten gewölbten Dach. Sowohl der Mantel wie das Dach sind durch entsprechende Versteifungen in ihrer Form gehalten. Befindet sich die Glocke unter Gasdruck, so wirkt derselbe aufblähend, und die Bleche sind daher in diesem Falle nur auf Zug beansprucht, sie nehmen daher von selbst die gewünschte Form an. Dies ist jedoch nicht der Fall, wenn der Behälter auf dem Boden aufliegt und kein Gasdruck in demselben vorhanden ist. Besonders die Deckenbleche würden in diesem Falle einfach nach unten zusammensinken. Sie müssen also durch ein Gesperre getragen werden, welches sich auf Träger stützt, die den zylindrischen Mantel versteifen. Wie erwähnt, braucht dieses Gesperre nicht vorhanden zu sein, wenn die Gasbehälterglocke stets unter Druck bleiben würde. Es ist daher nicht notwendig, daß das Dachgesperre mit der Behälterglocke verbunden ist. Es genügt auch, wenn es fest in dem Bassin aufgestellt ist und daher das Behälterdach nur dann trägt, wenn sich die Glocke in der untersten Stellung befindet. In Amerika ist diese Ausführung sogar ganz üblich. Natürlich muß dieses Gesperre dann am Boden des Bassins durch entsprechende Stützen getragen sein. — Die Blechstärke der Behälterglocke wählt man gewöhnlich 2 bis 3 mm. Man bezeichnet die Bleche, welche das Gesperre umhüllen, die also den eigentlichen Gasbehälter darstellen, als Behälterhaut.



Bei größeren Gasbehälterglocken ist die gehörige Ausbildung des Dacheckringes, welcher die gewölbte Dachfläche mit der zylindrischen Mantelfläche verbindet, von besonderer Wichtigkeit. Wird nämlich die Glocke durch den

inneren Gasdruck getragen, so hängt die ganze zylindrische Wandfläche an diesem Eckring. Durch diesen Zug nach abwärts werden die äußeren Teile des gewölbten Daches nach unten und einwärts gezogen. Der Eckring erfährt daher einen beträchtlichen Druck und muß genügend sicher konstruiert sein.

Größere Gasbehälter werden niemals mit einer einfachen Glocke ausgeführt, sondern stets mit sogenannten Teleskopringen. Bei einer einfachen Glocke muß nämlich das Bassin dieselbe Höhe haben wie die Glocke; anderenfalls könnte ja nicht der gesamte Inhalt der Glocke ausgenutzt werden. Anders ist dies jedoch bei den teleskopierten Behältern. Letztere bestehen aus mehreren Zylindern von Schmiedeeisen, die um geringes verschiedene Durchmesser besitzen und sich in der Art eines Teleskopes ineinander zu schieben vermögen. Um den gasdichten Abschluß zwischen den einzelnen Zylindern zu erzielen, werden hydraulische Verschlüsse verwendet. Zu diesem Zwecke besitzt die Glocke unten eine nach oben offene Rinne, die sich beim Steigen der Glocke mit Wasser füllt, und der nächst weitere zylindrische Mantel trägt an seiner Oberkante einen nach unten und innen gerichteten hakenförmigen Ring, welcher in die Rinne der Glocke hineinragt. Dadurch ist der dichte Verschuß hergestellt, und wenn sich nun die Glocke weiter hebt, so wird der weitere Zylindermantel mit herausgezogen. Dieser trägt dann unten ebenso wieder eine Rinne, welche wieder die nächste hakenförmige Umbiegung des nächsten Zylindermantels mit herausnimmt und so weiter. Es kann so eine größere Anzahl von Teleskopringen ineinander geschachtelt angebracht werden, und bei der Füllung mit Gas zieht sich ein Zylindermantel nach dem anderen heraus, so daß der ganze Behälter bei gefülltem Zustande eine recht beträchtliche Höhe annehmen kann. Man führt die Behälter bis zu sechsfacher Teleskopierung aus. Es braucht dabei jeder Teleskopring nur die gleiche Höhe zu haben wie das Bassin, und es kann trotzdem der nutzbare Fassungsraum der Behälterglocke zwei- oder dreimal so groß sein wie jener des Bassins, wenn zwei oder drei Teleskopschüsse vorhanden sind. Einen teleskopierten Gasbehälter mit drei Schüssen zeigt Fig. 215. Aus diesem schematischen Bilde ist ersichtlich, in welcher Weise die Haken, welche sich am unteren Ende der Behälterglocke und am oberen Ende des Teleskopringes befinden, ineinander eingreifen.

Die Anzahl der anzuwendenden Teleskopringe und die Größe des Durchmessers derselben richtet sich natürlich nach dem gewünschten Inhalt. Gemäß der Gasbehälternormalien, welche im Deutschen Reiche gelten, gilt als Inhalt der zylindrische Raum der Glocke und der Teleskopringe, jedoch ohne Berücksichtigung der Deckenwölbung der Glocke und der Hohlräume der Tassen, sowie ohne Berücksichtigung eines 0,1 m breiten Streifens am untersten Rande der letzten Tasse, da dieser zur Erzielung eines dichten Abschlusses stets in das Wasser tauchen muß.

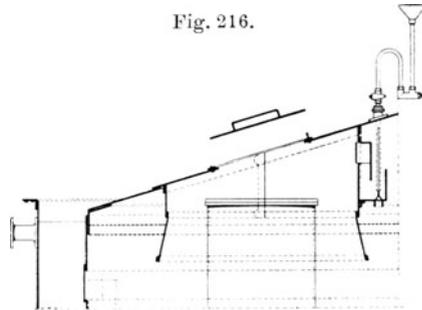
Gemäß dieser Normalien stellen sich die einzelnen Abmessungen der Behälter auszugsweise wie folgt (s. nebenstehende Tabelle).

Vergleichsweise sei noch hinzugefügt, daß Behälter mit 250 000 m<sup>3</sup> Fassungsraum mit 84,4 m Durchmesser und 11 mm Wandstärke ausgeführt wurden und daß der bisher größte Gasbehälter von 400 000 m<sup>3</sup> Inhalt in New York 1908 errichtet wurde.

An der Glockendecke muß eine Entlüftungsöffnung angebracht sein, die bei kleinen Gasbehältern durch einen 2 zölligen Hahn verschlossen ist; bei

Inhalt m <sup>3</sup>	Durchmesser der Glocke oder des größten Ringes m	Höhe m	Anzahl der Teleskope	Ein- und Aus- gangsrohr mm
400	11,0	4,31	0	150
1 000	12,5	4,44	1	225
3 000	15,6	5,94	2	350
10 000	25,2	7,41	2	550
30 000	52,3	8,37	2	1000

großen Gasbehältern ist jedoch eine größere Öffnung erforderlich, damit die Luft genügend rasch ausgeblasen werden kann. Ferner sind an der Decke der Behälterglocke ein bis zwei Mannlöcher notwendig, die oberhalb der Ein- und Ausgangsrohre angebracht sind, damit man die letzteren reinigen kann. Um jedoch diese Mannlöcher öffnen zu können, ohne daß das ganze in dem Oberteil der Behälterglocke sich aufhaltende Gas, das ja, auch wenn die Glocke ganz am Boden aufsitzt, nie vollständig durch Wasser verdrängt werden kann, entweicht, bringt man am Umfang dieser Mannlöcher dicht angeietete, nach unten gerichtete zylindrische Rohre an, welche beim Niedergehen der Behälterglocke die betreffenden Ein- oder Ausgangsrohre umfassen, so daß in der tiefsten Stelle der Behälterglocke ein hydraulischer Abschluß erzielt wird,



wie dies Fig. 216 zeigt. Öffnet man dann die Mannlöcher, so kann man bequem zu den Rohren gelangen, um dieselben zu reinigen. Das Gas kann hingegen zufolge der vorhandenen Wassertauchung nicht austreten. Will man einen mit solchen Vorrichtungen versehenen Behälter mit Gas füllen, so muß man berücksichtigen, daß die Glocke nicht eher steigen kann, als bis der Gasdruck sich über die ganze Fläche der Glocke verteilt. Dies ist aber nicht der Fall, wenn der hydraulische Verschuß das Eingangsrohr von dem übrigen Inhalt des Behälters abschließt. Es muß daher zum Zwecke des ersten Füllens des Behälters ein entsprechender Ausgang aus dem Eingangsrohr in den übrigen Behälterraum geschaffen werden. Dies geschieht am zweckmäßigsten, indem man an dem genannten zylindrischen Ansatz wieder eine kleine Wassertauchung anbringt, welche oberhalb des Wasserspiegels des Behälterbassins sich befindet, wie dies in der Zeichnung angedeutet ist. Entleert man diese siphonartige Einrichtung, so kann das Gas hier unter die Behälterglocke ausströmen und somit dort den erforderlichen Druck erzeugen, um die Glocke zu heben. Will man den Behälter öffnen, und befindet sich derselbe bereits in der untersten Stellung, so muß man vor dem Abschrauben der Mannlochdeckel wieder Wasser in diesen Siphonverschluß einfüllen. Dies geschieht von oben durch ein zweckentsprechend angebrachtes Rohr, durch welches auch das Auspumpen der Wassertasse erfolgen kann.

Die Glocke darf in ihrer tiefsten Stellung nicht mit ihrem unteren Rande an Boden des Bassins aufstehen, weil dort häufig Unregelmäßigkeiten vorhanden sein können. So können sich dort einzelne Steine oder Eisenteile oder Ablagerungen aus dem Wasser befinden, welche den unteren Glockenrand beschädigen könnten, wenn das ganze Gewicht der Glocke auf einem derartigen Gegenstand aufliegt. Es werden daher im Bassin an der Stelle, wo sich der Glockenrand in der tiefsten Stellung befindet, kleine Auflagerbänkchen angebracht, die mindestens 100 mm hoch sein sollen und die Glocke vollständig zu tragen vermögen.

Es soll übrigens dafür gesorgt werden, daß sich die Gasbehälterglocke niemals längere Zeit in der tiefsten Stellung befindet. Dann ist nämlich die Gefahr vorhanden, daß der Druck des Gases, welcher sich noch in der Glocke befindet, durch kleine Ausströmungen nachläßt und daß bei einer Erniedrigung der Temperatur eine weitere Verringerung des Gasinhaltes stattfindet, so daß nicht mehr ein Druck, sondern umgekehrt eine Saugwirkung vorhanden ist. In diesem Falle würde das Dach der Behälterglocke durch den Luftdruck von außen ganz wesentlich belastet werden, und für eine derartige Belastung von außen ist die Glocke nicht eingerichtet. In diesem Falle kann das Dach der Glocke von außen eingedrückt werden. Man soll also, wenn sich die Behälterglocke in der tiefsten Stellung befindet, sofort eine entsprechende Öffnung an der Decke herstellen, durch die sich der Druck mit der Außenluft ausgleichen kann. Besitzt der Behälter die oben genannte hydraulische Vorrichtung zum Abschluß der Ein- und Ausgangsrohre, so hält man zweckmäßig die Behälterglocke während des Reinigens der Rohre unter Druck, da das in der Oberglocke noch befindliche Gas nicht entweichen soll, infolgedessen eine Verbindung mit der Außenluft nicht hergestellt werden soll.

Der Druck, welchen eine Gasglocke dem Gase in ihrem Inneren erteilt, hängt vom Gewicht der Glocke und von der Fläche derselben ab. Man erhält ihn, indem man das Gesamtgewicht in Kilogrammen durch die Fläche in Quadratdezimeter dividiert. Das Resultat gibt den Druck in Dezimeter Wassersäule an. Um also den Druck in Millimetern zu erhalten, muß man das Resultat noch mit 100 multiplizieren. Das Gewicht, welches der Gasdruck pro Flächeneinheit zu heben vermag, ist nämlich ebenso groß, wie wenn man die betreffende Flächeneinheit mit einer Wassermenge bedeckt, welche eine dem Gasdrucke in Millimeter Wassersäule gleichkommende Höhe hat.

Eine einfache Behälterglocke gibt in der obersten Stellung einen etwas höheren Druck als in der untersten Stellung. Zweierlei Ursachen der Druckveränderung kommen hierbei in Betracht. Einmal wirkt der Auftrieb des Gases zufolge seines geringeren spezifischen Gewichtes gegenüber der Außenluft in den oberen Stellungen dem Gewichte der Glocke entgegen, und zweitens wird durch die Eintauchung der Eisenbleche in das Wasser in der untersten Stellung eine gewisse Wassermenge verdrängt und dadurch ein Auftrieb erzeugt. Es ist also ersichtlich; daß diese beiden Ursachen die entgegengesetzte Wirkung haben, weil der Auftrieb des Gases in der oberen Stellung, der Auftrieb durch die Tauchung dagegen in der unteren Stellung stärker zur Wirkung kommt. Der Auftrieb des Gases spielt jedoch keine so große Rolle wie die Verdrängung des Wassers beim Einsinken, so daß besonders bei kleineren Gasglocken der Druck in den unteren Stellungen geringer ist. Der Auftrieb des Gases wird, wenn es sich um Steinkohlengas handelt, berechnet, indem man pro Kubikmeter Gasinhalt 0,7 kg einsetzt. In den oberen Stellungen

ist mehr Gas in der Glocke enthalten, daher dieser Auftrieb größer. Der Auftrieb, welcher durch das Eintauchen des Bleches in das Wasser hervorgerufen wird, berechnet sich, indem man das durch das Blech verdrängte Wasservolumen mit dem Gewicht der Volumeneinheit des Wassers multipliziert. Beide Zahlen, nämlich sowohl der Auftrieb des Gases als auch der Auftrieb durch die Wassertauchung ist vom Gewicht der Glocke abzuziehen, um den richtigen Druck der Glocke zu erhalten.

Prüft man den Druck einer Gasbehälterglocke, indem man, wie dies meistens geschieht, bei der Inbetriebsetzung desselben zunächst Luft einbläst, so muß das spezifische Gewicht der Luft berücksichtigt werden. In diesem Falle ist nämlich der Auftrieb des Gases nicht vorhanden, während der Auftrieb zufolge des Eintauchens der Glocke in das Wasser bestehen bleibt.

Handelt es sich um einen teleskopierten Behälter, so muß berücksichtigt werden, daß sich das Gewicht der Glocke beim Einhängen jedes Teleskopringes ganz wesentlich vergrößert, so daß also der Druck des Gases im Behälter beim Füllen, solange nur die oberste Glocke aus dem Wasser heraussteigt, geringer ist, während er in dem Moment, wo der erste Teleskopring einhakt, ein höherer wird und ebenso bei jedem Einhaken eines weiteren Teleskopringes ein höherer Druck erzeugt werden muß, um die ganze Glocke zu heben. Umgekehrt, beim Heruntergehen des Behälters, tritt eine stufenweise Verringerung des Druckes ein, wenn sich die einzelnen Teleskopringe am Boden des Behälters aufsetzen.

Die Gasbehälterglocke muß natürlich in ihrer Auf- und Abwärtsbewegung geführt sein. Zu diesem Zwecke finden sich seitwärts der Behälterglocke, meist am Bassinrand verankert, die Führungssäulen. Ist der Behälter umbaut, so genügt es, an den Wandungen des Gehäuses entsprechende Führungsschienen anzubringen. Bei frei stehenden Behältern hingegen muß man berücksichtigen, daß der Winddruck die Glocke zur Seite zu schieben trachtet und ebenso der auf dem Glockendach sich ansammelnde Schnee eine einseitige Belastung der Glocke und daher ein Schiefstellen derselben bewirken kann. Die Führungssäulen müssen daher entsprechend stark konstruiert und untereinander auch derart verbunden sein, daß sie sich gegenseitig stützen.

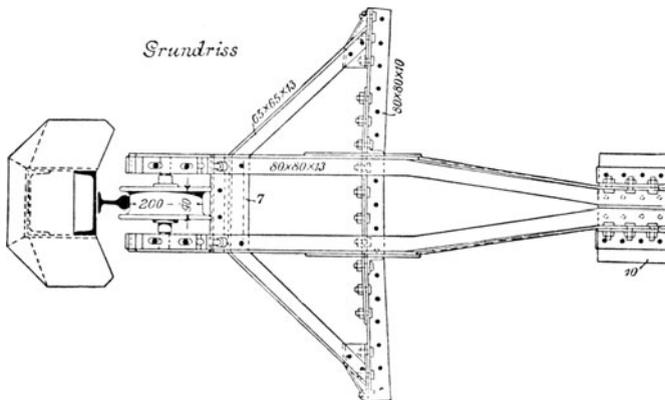
Die Gesamtheit der Führungssäulen, von denen man je nach der Größe des Behälters 4 bis 20 anordnet, bildet das Führungsgerüst. Bei den ersten in der Mitte des vorigen Jahrhunderts errichteten Gasbehältern machte man die Führungssäulen aus Holzpfeilern. Dann wurden auf den gemauerten Bassinrändern häufig gemauerte Säulen errichtet, welche die Führungsschienen trugen. Später verwendete man gußeiserne Säulen. Bei neu errichteten Behältern verwendet man heute beinahe ausschließlich schmiedeeiserne Gerüste. Bei kleinen Behältern genügen einfache Träger, welche gegeneinander durch Diagonalen versteift werden. Bei großen verwendet man auch für die einzelnen Säulen eine Fachwerkskonstruktion. Die Diagonalen bestehen gewöhnlich aus Rundeisen mit Spannschlössern, so daß bei der Montage jedem derselben eine entsprechende Spannung gegeben werden kann. Die oberen Enden der Führungssäulen sind untereinander ebenfalls wieder durch horizontale Verbindungsstücke verbunden, so daß auch dort das ganze Führungsgerüst eine entsprechende Steifheit erhält.

Bei der Ausrichtung der Führungssäulen soll höchstens eine Abweichung von 5 mm von der Vertikalen als zulässig erachtet werden.

Bei größeren Behältern und namentlich bei teleskopierten Behältern werden außerdem noch Galerien angebracht, die durch eine Treppe von unten aus zugänglich sind, so daß es jederzeit ermöglicht ist, die Glocke und die einzelnen Teleskophaken zu besichtigen und ebenso die Rollen auf ihre ordentliche Funktion zu prüfen. In Amerika bringt man häufig die Umgänge nicht am Führungsgerüst, sondern an der Glocke bzw. an den Teleskoptassen des Behälters an. Es hat dies den Vorteil, daß die Führungsrollen jederzeit besser zugänglich sind, als wenn die Galerien an dem Führungsgerüst angebracht sind.

An den Führungssäulen wird die Gasbehälterglocke durch Rollen geführt, und zwar sowohl oben wie unten. Die Rollen sitzen an Rollenböcken am Dachrande der Behälterglocke an den einzelnen Teleskoptassen. Die Rollen am unteren Rande der Glocke und am unteren Rande der einzelnen Teleskopringe sitzen ebenfalls in kleinen Rollenböcken und laufen auf Schienen, welche

Fig. 217.



im Inneren der Bassinwandung bzw. im Inneren der einzelnen Teleskopringe angebracht sind. Diese unteren Rollen sind jedoch von geringerer Bedeutung, da sie nicht die hohen Drucke auszuhalten haben, wie die oberen Führungsrollen. Es wurde daher namentlich den letzteren eine besondere Mannigfaltigkeit in der Ausführung zuteil.

Im Prinzip unterscheidet man zweierlei verschiedene Arten der oberen Führung, nämlich die Radialführung und die Tangentialführung. Die Radialführung ist durch Fig. 217 veranschaulicht. Die Ebene der Rolle steht hier im Radius der Behälterglocke. Die Rolle läuft an einer Schiene, welche mit dem Führungsgerüst in fester Verbindung steht. Der Rollenbock ist in radialer Richtung verstellbar, so daß man ein gutes Anliegen der Rolle hervorbringen kann, ohne daß durch zu scharfes Anpressen ein Hängenbleiben derselben stattfindet. Bei der Radialführung werden von der Rolle jene Drucke aufgenommen, welche sich in radialer Richtung äußern. Bei der Tangentialführung werden zwei Rollen an einer Schiene geführt, welche sich zwischen denselben befindet. An einer solchen Führung werden also von den Rollen nur jene Drucke aufgenommen, welche sich tangential zum Umfang der Gasbehälterglocke geltend machen. Der Vorteil der Tangentialführung gegenüber der Radialführung liegt darin, daß bei verschiedener Ausdehnung der

Glocke und des Führungsgerüsts durch die Wärme kein Einklemmen der Glocke zwischen den Führungssäulen stattfinden kann.

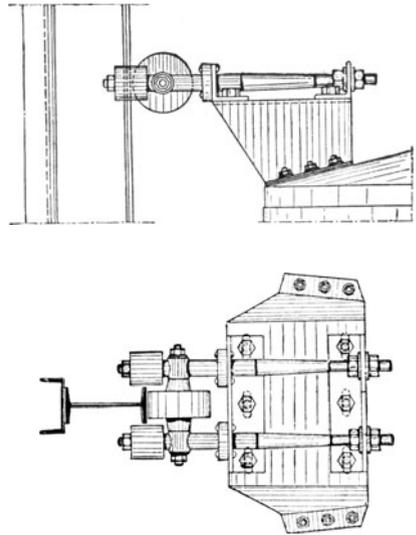
Die wesentlichen Unterschiede in der Wirkung der Radialführung und Tangentialführung sind folgende: Denkt man sich die Gasbehälterglocke vollständig unbiegsam, so wird bei der Radialführung der Winddruck die Glocke zur Seite drängen und der ganze Druck wird von einer Rolle auf eine einzige Führungssäule übertragen werden, welche der Windrichtung gegenübersteht. Stellt man sich hingegen den Ring, an welchem die Führungsrollen angebracht sind, biegsam vor, wie dies z. B. bei den Teleskopringen der Fall ist, so wird eine Anzahl von Rollen an die betreffenden Führungsrollen angepreßt werden. Bei der Radialführung wird somit der Winddruck bei der steifen Glockendecke nur auf eine einzige Rolle übertragen, während er bei den Teleskopringen auf eine große Anzahl von Führungssäulen bzw. Rollen wirkt. Bei der Tangentialführung ist dies anders. Da wird der Winddruck auch bei der steifen Glockendecke auf eine größere Anzahl von Rollen und Führungssäulen übertragen, die in diesem Falle nicht in entgegengesetzter Richtung zum Winddruck, sondern seitlich von diesem zu beiden Seiten liegen. Dagegen werden die gegenüberliegenden Führungssäulen gar nicht beansprucht, und demzufolge kann sich auch ein elastischer Ring in diese nicht derart hineinpressen, daß eine größere Anzahl von Säulen beansprucht wird. Die Tangentialführung ist daher weniger gut bei elastischen Ringen und besser bei steifen Glockendecken zu verwenden. Daraus würde sich die Regel ergeben, daß man die Gasbehälterglocke mit Radialführung und die Teleskopringe mit Tangentialführung versehen soll.

Am besten ist es wohl, die Tangential- mit der Radialführung zu vereinigen, wie dies Fig. 218 zeigt. Bei der Tangentialführung muß man dafür sorgen, daß die Rollen eine größere Lauffläche oder aber die Schienen eine größere Breite haben, damit bei Temperaturveränderungen ein Hin- und Hergleiten der Rollen stattfinden kann, wenn sich die Glockendecke anders ausdehnt, als das Führungsgerüst.

Im großen Ganzen wird die Radialführung meistens bei kleinen Behältern ausgeführt, bei mittleren wird je nach Umständen Radial- oder Tangentialführung und bei großen Gasbehältern werden gewöhnlich beide Systeme zugleich angewendet. Die Teleskopringe erhalten, wie erörtert, am vorteilhaftesten nur Radialführung.

Die Ein- und Ausgangsrohre des Behälters werden bei betonierten oder gemauerten Bassins gewöhnlich in die Bassinsohle eingemauert oder einbetoniert; man umhüllt dann auch die beiden Rohre bis oberhalb des Wasserspiegels mit einer Mauer oder einem Betonpfeiler. Bei den schmiedeeisernen Bassins werden die Rohre durch den Bassinboden eingeführt. Bei den Intzebehältern wählt man den kegelförmigen Teil zur Einführung der Ein- und

Fig. 218.



Ausgangsrohre. Bei allen Behälterbassins mit gewölbtem Boden muß man berücksichtigen, daß dieser Boden zufolge des Wasserdruckes nicht immer dieselbe Form behält, sondern sich ein klein wenig senken kann. Würden nun die Ein- und Ausgangsrohre in dichter Verbindung mit dem Behälterboden und auch untereinander vollständig versteift sein, so müßte zufolge der außerordentlich großen Kräfte, welche hier auftreten, ein Abbrechen der Rohre stattfinden, wenn derartige Senkungen eintreten. Man muß daher unterhalb des Bodens irgend ein Glied einschalten, welches eine gewisse Beweglichkeit der Rohre sichert. Als solches dient am besten eine Wassertauchung, indem das im Fundament stehende Rohr eine ringförmige Wassertasse erhält, während das vom Behälterboden kommende Rohr in diese Wassertasse eintaucht. Natürlich muß dafür gesorgt werden, daß das Wasser hier stets die erforderliche Höhe hat, und deshalb ist eine regelmäßige Kontrolle dieser Tasse erforderlich.

In früheren Jahrzehnten war der Gasbehälter nur dazu bestimmt, eine gewisse Gasmenge aufzuspeichern. Heute hat der Gasbehälter in größeren Gaswerken auch noch einen anderen Zweck zu erfüllen, nämlich den, das Gas zu mischen. Bei den verschiedenen Produktionsarten in den heutigen Gaswerken entstehen nicht immer Gase von gleichmäßiger Zusammensetzung. Sowohl beim Betriebe der Kammeröfen mit den langen Ausstezeiten als auch namentlich beim Zusatz von Wassergas muß man dafür sorgen, daß ein gleichmäßiges Gemisch dieser Gase hergestellt wird. Wenn nun Erzeugung und Entnahme aus dem Behälter zugleich stattfinden, so kann leicht ein Strom vom Eingangsrohr zum Ausgangsrohr innerhalb des Gasbehälters stattfinden, so daß dann der Behälter die Aufgabe, das Gas vollständig zu mischen, nicht erfüllt. Daher sind in diesen Fällen der Behälterein- und -ausgang möglichst weit auseinander zu legen<sup>1)</sup>.

Die Konstruktion größerer Gasbehälter muß einer genauen statischen Berechnung unterzogen werden. Es würde zu weit führen, hier darauf einzugehen. Wir verweisen daher diesbezüglich auf die Werke von Niemann in Dessau und von Müller in Breslau. Bei diesen Berechnungen müssen namentlich der Winddruck und die Schneelast entsprechend berücksichtigt werden, da beide einen einseitigen Druck auf die Behälterglocke ausüben und daher zu Zerstörungen führen können.

Um stets beurteilen zu können, welche Gasmenge im Behälter aufgespeichert ist, sind entsprechende Zeigervorrichtungen, Skalen oder dergleichen anzuwenden. Die einfachste Anzeigevorrichtung besteht darin, daß man an einer der Führungssäulen des Behälters eine nach Kubikmetern eingeteilte Skala anbringt, auf welcher ein Zeiger spielt, der mit der Glockendecke in fester Verbindung steht. Die Skala soll auf große Entfernungen hin ablesbar sein und erhält daher häufig abwechselnd schwarze und weiße Felder. Bei großen und namentlich bei teleskopierten Gasbehältern ist diese Art der Anzeigevorrichtung nicht praktisch. Man wendet hier Skalen in der Art eines Zifferblattes an, indem ein um eine Achse rotierender Zeiger mittels eines über Rollen geführten und an der Behälterglocke befestigten Drahtseiles gedreht wird. Solche Anzeigevorrichtungen, die außen am Behälterbassin angebracht werden, sind auf weite Distanz ablesbar. Mittels Drahtseilen und

---

<sup>1)</sup> Kalbfuß, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 933.

Rollen kann die Anzeige auch auf größere Entfernungen, etwa bis in das Innere eines Gebäudes übertragen werden. Allzu große Entfernungen bewirken indes Ungenauigkeiten, indem das Drahtseil durch den Wind zur Seite gedrückt und dadurch der Zeiger in eine falsche Stelle gebracht werden kann. Auf sehr große Distanzen bewirkt man daher die Anzeigen auf elektrischem Wege. Solche Vorrichtungen sind jedoch kompliziert und benötigen eine sorgsame Instandhaltung, so daß man gewöhnlich davon absieht und die einfache Anbringung eines großen runden Zifferblattes am Gasbehälterbassin selbst vorzieht.

Sowohl die Gasbehälterbassins als auch die Gasbehälterglocken müssen außer dem ersten Anstrich mit Minium einen dauerhaften Anstrich erhalten, damit sie vor dem Verrosten bewahrt werden. Zweckentsprechende Anstrichfarben werden von verschiedenen renommierten Firmen in guter Qualität geliefert. Gasbehälter für Steinkohlengas oder Ölgas erhalten in den meisten Fällen auf der vom Gase berührten Seite keinen besonderen Anstrich, sondern sie werden dort vielfach nur gefirnißt<sup>1)</sup>. Ein Anstrich mit Farbe im Inneren der Glocke wird vom Steinkohlengas vollständig zerstört und fällt ab, während das Eisen vollständig rein bleibt. Daraus geht hervor, daß ein Farbenanstrich im Inneren überflüssig ist. Die zur Aufbewahrung von Wassergas bestimmten Behälter sollen dagegen innen einen dicken Anstrich mit säurefreiem Teer oder Asphalt erhalten. Der oberste Schuß des Bassins und der Glocke, welcher zeitweise vom Wasser bedeckt ist und zeitweise frei liegt, ist zufolge der Oxydation durch die Luft besonders gefährdet, erhält daher zweckmäßig einen doppelten Anstrich. Bei Gasbehältern für Wassergas wird häufig eine Schicht von Gasöl auf die Wasseroberfläche im Inneren der Glocke gebracht, die eine selbsttätige Ölung der Glockenwandung bewirkt. Der Anstrich der Gasbehälterglocken ist jährlich genau zu kontrollieren, und fehlerhafte Stellen sind sofort zu erneuern. Anderenfalls sind die ja nur aus dünnem Blech bestehenden Gasbehälterglocken stark der Zerstörung ausgesetzt.

Gasbehälter für Ölgas und Wassergas zeigen eine größere Haltbarkeit als jene für Steinkohlengas, weil die das Eisen stark angreifenden Ammoniak- und Cyanverbindungen fehlen. Bei Wassergas trifft dies allerdings nur zu, wenn es frei von Schwefelwasserstoff im Behälter aufgespeichert wird, was bei den als „Zwischenbehälter“ verwendeten Behältern der Wassergaszusatzanlagen nicht immer der Fall ist; dann ist eben die selbsttätige Ölung durch eine Schicht von Gasöl im Inneren der Glocke sehr zweckmäßig.

Die Anordnung einer besonderen Blitzschutzvorrichtung (Blitzableiter) ist bei frei stehenden Gasbehältern nicht erforderlich. Bei umbauten muß natürlich das Gasbehältergebäude in derselben Weise gegen Blitzschlag gesichert werden, wie andere Gebäude. Daß anderenfalls ein Blitzschlag arge Zerstörungen hervorrufen kann, zeigte ein in England vorgekommener Fall<sup>2)</sup>. Dort schlug ein Blitz in einen umbauten Gasbehälter, verletzte die Führungen, wodurch der Behälter verstaucht und undicht wurde, worauf sich dann das ausströmende Gas entzündete und den ganzen Behälter zerstörte.

Eine ganz neuartige Gasbehälterkonstruktion hat Baudouin empfohlen<sup>3)</sup>. Es ist dies ein Behälter ohne Wasserabschluß. Er besteht aus einem ge-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1074. — <sup>2)</sup> Journ. of Gaslighting 1909, vom 30. März; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 291. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1028.

schlossenen eisernen Zylinder, welcher an der Innenseite in halber Höhe einen Mantel aus Tuch erhält. Ein Rand desselben liegt rund herum an den Zylinder an, der andere Rand ist an einer dünnen runden, eisernen Platte befestigt, die nahezu denselben Durchmesser besitzt, wie die Innenseite des Zylinders und durch Ketten mit Gegengewichten entlastet ist. Durch diese Entlastung wird die Platte auch in horizontaler Lage erhalten, und der Druck auf beiden Seiten der Platte ist vollkommen gleich. Beim Füllen strömt Gas unter die Platte, die Luft oberhalb der Platte strömt durch eine Klappe aus dem Zylinder ab. Um das Gas zum Zwecke der Abgabe unter einen bestimmten Druck zu setzen, wird mittels eines Ventilators Luft in den Raum oberhalb der Platte eingeblasen. Es ist wohl zu bezweifeln, daß das Tuch, welches zum Abschlusse des Gases dient, auf die Dauer dicht hält. Sonst könnte man auch gewöhnliche Luftballons als Gasbehälter benutzen, was tatsächlich manchmal in aeronautischen Anstalten geschieht. Aber auch dort verunreinigt sich das Gas bei langer Aufbewahrung durch Diffusion mit Luft. Immerhin kann diese Konstruktion in besonderen Fällen, wo ein Gas mit Wasser nicht in Berührung kommen darf, von Wert sein.

Um die Gasbehälterglocken auf Dichtigkeit zu prüfen, verwendet man gewöhnlich nur das Abpinseln mit Seifenwasser. Man muß alle die Nietnähte und auch die Nieten selbst bepinseln. An undichten Stellen wirft das Seifenwasser Blasen, und man muß an diesen Stellen eine nachträgliche Dichtung bewirken. Dies geschieht entweder durch Einstopfen von Minium, Hanf oder von Bleiwolle. Um diese Dichtungsmaterialien besser einbringen zu können, schlägt man vorher einen Keil in die undichte Stelle. Nach dem Ausfüllen der entstandenen Öffnung nimmt man den Keil wieder heraus, und dadurch wird das Dichtungsmaterial stark zusammengepreßt, so daß eine gute Dichtung erzielt werden kann. Ein Verstemmen ist an den undichten Stellen bei den Blechen unzulässig, weil die dünnen Bleche dadurch stark leiden würden. Dagegen kann man die Nieten an undichten Stellen verstemmen.

Man kann die Dichtigkeit des Behälters auch durch längeres Stehenlassen mit Gas oder mit Luft erproben. Dabei muß aber berücksichtigt werden, daß sowohl Steinkohlengas als auch Luft durch das Sperrwasser zum Teil absorbiert wird, ferner daß die Temperaturverhältnisse auf den Stand der Glocke einen großen Einfluß ausüben. Man muß bedenken, daß eine Temperatursteigerung von  $10^{\circ}$  im Inneren der Glocke bereits eine Volumvermehrung von mehr als 3 Proz. hervorruft. Wird z. B. ein frei stehender Behälter von der Sonne beschienen, so erwärmt sich das Gas im Inneren der Glocke derart, daß schon zufolge der Vermehrung der Tension des Wasserdampfes ein wesentliches Steigen der Glocke eintritt. Die Glockenwandungen sind ja stets mit Wasser befeuchtet, und sie erwärmen sich durch das Bescheinen von der Sonne sehr stark, so daß das Wasser dort rasch verdunstet und infolgedessen die Volumvermehrung mehr beträgt, als der Temperatursteigerung des Gases entspricht. Die Messung der Temperatur im Inneren der Glocke an einer Stelle allein ist ungenügend, und es müßten an mehreren Stellen des Behälterinneren Temperaturmessungen vorgenommen werden, und nicht nur an der Glockendecke, sondern auch nahe der Wasseroberfläche, um den Stand richtig beurteilen zu können. Auch muß man dann zur Ablesung eine Zeit wählen, bei welcher die Behälterglocken möglichst konstanter Temperatur aus-

gesetzt sind. Solche Proben sind daher nur dann maßgeblich, wenn sie sich über längere Zeit erstrecken.

Zur Kontrolle des Ganges der Behälterglocke und der Teleskopringe wird an das Ein- oder Ausgangsrohr ein Druckschreiber angebracht, der sowohl beim Steigen des Behälters als beim Sinken dieses den Druck registriert. Der Druck muß vollständig gleichmäßig bleiben, solange die Glocke allein im Steigen begriffen ist. Erst wenn ein Teleskopring einhakt, steigt der Druck sehr stark in die Höhe und muß dann wieder gleichmäßig bleiben, bis der ganze Teleskopring herausgezogen ist. Zeigen sich hingegen am Druckschreiber Zickzacklinien, die ein abwechselndes plötzliches Steigen und plötzliches Sinken des Druckes anzeigen, so liegt eine Klemmung in der Führung der Gasbehälterglocke oder der Teleskopringe vor, die unbedingt beseitigt werden muß. Die Prüfung soll bei sehr stark verschiedenen Temperaturen und Witterungen stattfinden, insbesondere auch bei starkem Winde und bei starker Belastung des Behälterdaches mit Schnee, da in diesem Falle die Führungen ganz anders beansprucht werden, als bei normalem Wetter.

Das Auf- und Abgehen der Glocke darf nicht nur keinerlei Klemmungen zeigen, sondern die Glocke muß auch vollständig gerade gehen. Abweichungen von 1 mm pro je 1 m Glockendurchmesser sind zulässig.

Bei der Inbetriebsetzung von Gasbehältern wird zunächst die Glocke mit Hölzern gestützt, dann wird so lange Wasser eingepumpt, bis die Glocke schwimmt, schließlich werden die Stützhölzer entfernt und das Einfüllen des Wassers fortgesetzt, bis die Glocke ihren höchsten Stand erreicht hat. Dann wird die nunmehr mit Luft gefüllte Glocke durch Öffnen der Ausblaseöffnung am Glockendach oder durch Öffnen des Ausgangsschiebers wieder herausgelassen. Es ist zweckmäßig, den Behälter vor dem Einfüllen des Gases wiederholt mit Luft aufzublasen. Es geschieht dies mit Hilfe eines Gebläses<sup>1)</sup>. Während des Aufblasens und Herablassens überzeugt man sich wiederholt vom guten Gang der Rollen und von der vollkommenen Dichtheit der Tassen. Ist eine Dampfleitung zur Erwärmung des Tassenwassers vorhanden, so ist darauf zu achten, daß nicht durch Kondensation des Dampfes in demselben ein Abhebern des Wassers stattfindet. Auch kommt es vor, daß Werkzeuge oder dergleichen seitens der Arbeiter in den Tassen liegen gelassen werden, die zu Betriebsstörungen führen können. Die Ein- und Ausgangsrohre des Behälters sollen bis kurz vor dem Ausblasen mit Wasser gefüllt bleiben. Das Abblaserohr ist auf dem höchsten Punkte der Glocke anzubringen und nach innen bis knapp an die Wasseroberfläche zu verlängern. Dies hat den Zweck, beim Ausblasen des Behälters mit Gas, d. h. beim Verdrängen der Luft diese möglichst vollständig zu beseitigen, denn das Gas sammelt sich ja an der höchsten Stelle der Behälterglocke an und verdrängt die Luft nach abwärts. Auf diese Weise kann man mit einer verhältnismäßig geringen Gasmenge die vollständige Entlüftung des Behälters durchführen, während im anderen Falle, wenn man einfach durch die Ausblaseöffnung entlüftet oder die Luft durch die Gasausgangsöffnung verdrängt, eine viel größere Gasmenge erforderlich ist, um eine genügende

---

<sup>1)</sup> Licht, Vorsichtsmaßregel beim Inbetriebsetzen von Gasbehältern. Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 9.

Entlüftung zu erzielen. Die während des Ausblasens auf dem Behälter beschäftigten Personen sollen Gummischuhe tragen, damit ein Funkenreißen vermieden wird. Anderenfalls wäre eine Entzündung des Gases durch kleine Funken, die beim Begehen des Behälterdaches entstehen könnten, nicht ausgeschlossen. Alle Flammen in der Umgebung des Behälters müssen gelöscht werden. Auch soll zum Ausblasen ein gewitterfreier Tag gewählt werden.

Auch beim Außerbetriebsetzen eines Gasbehälters sind Vorsichtsmaßregeln nötig. Das Ausblaserohr soll in diesem Falle nach innen nicht verlängert sein. Das Ausgangsrohr des Behälters soll mit Wasser gefüllt bleiben, bis der Behälter wieder in Betrieb kommt. Das Rohrnetz soll von der Betriebsleitung durch einen Blindflansch getrennt werden. Wenn die Arbeit des Ausblasens vorüber ist, soll auch das Einlaßrohr mit Wasser gefüllt werden.

Die Reparaturen am Gasbehälter beziehen sich gewöhnlich auf die Beseitigung der Undichtheiten. Die regelmäßige Erneuerung des Anstriches und die Kontrolle des regelmäßigen Ganges der Führungsrollen ist nicht unter die Reparaturen zu rechnen, sondern unter die regelmäßigen Betriebsarbeiten.

Undichtheiten an gemauerten Bassins treten, wie schon erwähnt, durch Setzungen des Fundamentes ein. Kleine Risse kann man durch Erneuerung des Verputzes beseitigen. Bei Auftreten größerer Sprünge ist der Zubau eines Pfeilers zur Verstärkung der betreffenden Stelle notwendig. Gemauerte oder betonierte Behälter, welche an vielen Stellen undicht geworden sind, kann man durch vollständige Auskleidung mit Monnierwänden wieder dicht herstellen. In manchen Fällen wird auch die Auskleidung mit Hilfe von Bleiplatten vorgenommen. Risse kann man durch Einlegen von Leinwand oder Wachstuch beseitigen. In vielen Fällen genügt das Einschlämmen von Pferdemist und Lehm in das Behälterwasser, wodurch sich die entstandenen kleineren Risse allmählich versetzen. Treten bei schmiedeeisernen Behältern Undichtheiten in dem Blech auf, so hilft man sich durch Aufschrauben kleiner Blechstücke, welche die Löcher bedecken. Kleine Löcher kann man auch dadurch beseitigen, daß man ein passendes Stück Bleirohr in die Öffnung hineingibt und das Bleirohr außen ummörtelt, worauf die innere Öffnung des Bleirohres durch Kitt oder irgend einen anderen Pfropfen dicht verstopft wird.

Das Sperrwasser der Gasbehälter sowohl im Bassin als auch in den Teleskopassen muß vor dem Einfrieren bewahrt werden. Zu diesem Zweck wird gewöhnlich die Beheizung mit Dampf gewählt. Bei großen Behältern führt man den Dampf derart in das Wasser ein, daß gleichzeitig eine lebhafte Bewegung im ganzen Wasserbassin stattfindet. Auch ist stets das Einführen des Dampfes an mehreren Stellen des ganzen Umfanges des Behälters erforderlich, damit man eine einigermaßen gleichmäßige Beheizung des Wassers erzielt. Sehr zweckmäßig ist es, Körtingsche Injektoren in horizontaler Lage unterhalb der Wasseroberfläche anzubringen. Der eintretende Dampf saugt dann große Mengen von Wasser an und bläst sie tangential zum Behälterumfang wieder aus, so daß eine lebhafte Bewegung erzielt wird. In neuerer Zeit haben sich mit gutem Erfolge auch die Warmwasserheizungen eingeführt. Es werden dazu aus einzelnen Elementen bestehende gußeiserne sogenannte Gliederkessel verwendet, welche neben dem Behälter in besonderen Häuschen aufgestellt werden. Diese Kessel werden durch eine Schüttfeuerung, die in ihrem Inneren enthalten ist, geheizt, und die Beheizung erfolgt mit Hilfe von Koks. Der Vorrat von Koks reicht so lange Zeit aus, daß nur eine geringe

Bedienung erforderlich ist. Diese Kessel stehen durch zwei Rohre mit dem Unterteil und dem Oberteil des Behälterbassins in Verbindung, so daß durch die Erwärmung des Wassers eine Zirkulation des kalten Wassers durch das untere Rohr des Bassins heraus durch den Ofen hindurch und nach oben stattfindet. Um die einmal eingehaltene Temperatur des Wassers konstant zu halten, kann man auch automatisch wirkende Verbrennungsregler anwenden<sup>1)</sup>.

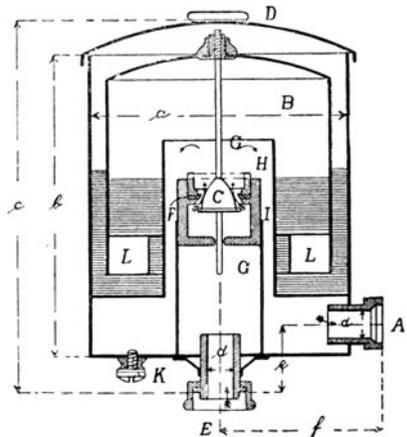
### 39. Druckregler.

Die Gasbehälter geben, wie schon erwähnt (S. 498), in verschiedenen Höhenstellungen verschiedene Drücke. Besonders stark differierende Drücke treten bei teleskopierten Behältern auf. Aber auch bei einfachen Gasbehälterglocken sind die Drücke in der untersten und obersten Stellung nicht genau gleich. Außerdem schwankt der Druck, je nachdem die Glocke im Steigen oder im Sinken begriffen ist. Während des Steigens ist die Reibung zu überwinden, welche die Rollen an den Führungen erleiden, und dementsprechend ist ein etwas höherer Gasdruck erforderlich, um die Glocke zu heben, als die Glocke während des Sinkens gibt, denn beim Sinken wirkt die Reibung der Rollen im entgegengesetzten Sinne, indem sie das Gewicht der Glocke beim Herabgehen teilweise aufhebt. Außerdem ist es erwünscht, einen Apparat zu besitzen, welcher in beliebiger Weise den Druck des Gases auf einer konstanten Höhe zu erhalten und den Behälterdruck herabzusetzen vermag. Ursprünglich verwendete man zu diesem Zwecke die teilweise Entlastung der Gasbehälterglocke durch Gegengewichte, welche an den Führungssäulen an Ketten hingen, die über Rollen liefen. Diese Entlastung, deren Bedienung eine sehr komplizierte war, wurde sofort aufgegeben, nachdem man automatische Druckregler konstruiert hatte, welche gestatteten, jeden beliebigen Gasdruck auf einfachere Weise zu erzielen.

Das Wesen des gewöhnlichen Gasdruckreglers besteht darin, daß eine kleine Gasbehälterglocke mit einem Ventil in Verbindung steht, derart, daß der Eingang zu dieser Glocke gedrosselt wird, im Falle die Glocke steigt, und umgekehrt das Eingangsventil weiter geöffnet wird, wenn sich die Glocke senkt.

Wie wir schon erörtert haben, gibt eine auf dem Wasser schwimmende Gasglocke stets den gleichen Druck, wenn sie eine bestimmte Stellung einnimmt. Befindet sich nun das Eingangsventil zu dieser Glocke senkrecht unterhalb des Mittelpunktes der Glockendecke und bringt man dieses Ventil mit der Gasglocke in steife Verbindung, wie dies z. B. Fig. 219 zeigt, so ist die oben gestellte Bedingung erfüllt, indem sich beim Heben der Glocke auch das Ventil hebt und dadurch den Gaszutritt zum Teil abschließt. Der Gasaus-

Fig. 219.



<sup>1)</sup> Briner, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 577; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 67.

gang  $A$  kommuniziert mit dem Innenraum der Glocke  $B$ . Da nun dieser immer unter dem Gasdrucke steht, welchen eben die Glocke in dieser Stellung ergibt, so steht auch der Gasausgang  $A$  immer unter diesem Drucke. Denken wir uns nun, daß an  $A$  eine Gasleitung angeschlossen sei, aus welcher jedoch kein Gas entnommen würde. Dann würde sich die Glocke durch den Gaseintritt  $E$  und durch das Ventil  $C$  so lange füllen, bis sie in jene Stellung kommt, welche den vollständigen Abschluß des Ventiles hervorruft. Es mag dann im Gasengang  $E$  jeder beliebige Gasdruck herrschen, so wird derselbe nicht in den Raum unterhalb der Glocke  $B$  eintreten können, weil eben das Ventil  $C$  abschließt. Tritt jedoch ein Konsum in der Leitung ein, welche am Ausgang des Druckreglers  $A$  angeschlossen ist, so würde sich momentan der Druck im Raume unter der Glocke  $B$  verringern, weil ja das Gas bei  $A$  ausströmt, und demzufolge müßte sich die Glocke senken. Durch das Senken der Glocke wird aber das Ventil  $C$  zum Teil geöffnet, so daß nunmehr Gas durch den Eingang  $E$  einströmen kann und die Glocke wieder hebt. Sie begibt sich dann in eine solche Stellung, daß das Ventil  $E$  an seinem Sitze eine ebenso große Öffnung frei läßt, als dem Gaskonsum in der Ausgangsleitung  $A$  entspricht. Der Druck unter der Glocke  $B$  ist immer der gleiche, weil die Stellung, welche die Glocke einnimmt, nicht sehr verschieden von der vorhergehenden bei geschlossenem Ventil  $C$  ist. Dementsprechend herrscht also auch hinter der Ausgangsleitung  $A$  noch der gleiche Druck. Je größer der Konsum in  $A$  ist, desto mehr senkt sich das Ventil, um das erforderliche Gas nachströmen zu lassen. Der Druck unter  $B$  und somit auch in der Ausgangsleitung  $A$  wird sich dabei nicht ändern. Praktisch treten allerdings kleine Änderungen dadurch ein, daß, wie wir dies schon S. 498 erörtert haben, durch das Eintauchen der Glockenwandungen in die Sperrflüssigkeit eine geringfügige Entlastung der Glocke eintritt und dementsprechend in tieferen Stellungen ein geringerer Druck vorhanden ist, als in höheren Stellungen. Bei höherem Konsum bei  $A$  steht aber die Glocke tiefer, und daher wird ein etwas geringerer Druck geliefert, als bei geringem Konsum. Diese Unterschiede sind jedoch so gering, daß sie in der Praxis keine Rolle spielen.

Ein derartiger Druckregler soll geeignet sein, jeden beliebigen Druck zu erzielen, der geringer ist, als der in der Eingangsleitung  $E$  vorhandene Gasdruck. Eine Erhöhung des Druckes kann natürlich mit Hilfe eines solchen Apparates niemals stattfinden, da dies ja eine Energievermehrung bedeuten würde, die ohne Anschluß einer kraftliefernden Maschine nicht geleistet werden kann; die Druckverminderung aber soll in jeder beliebigen Weise vorgenommen werden können. Eine Glocke, welche auf Wasser schwimmt, übt stets einen Druck aus, der rechnerisch ermittelt werden kann, wenn man das Gewicht der Glocke durch den Flächeninhalt des Glockenquerschnittes dividiert. Das Gewicht der Glocke kann aber niemals gleich Null gemacht werden, und somit könnte man nicht jeden beliebigen Druck bis auf Null herab erreichen, wenn die Glocke nicht künstlich entlastet wäre. Eine Entlastung mit Rollen und Gegengewichten würde große Reibungsverluste hervorrufen, die ein ungleichmäßiges Auf- und Abwärtsgehen der Glocke bedingen würden, und die daher vermieden werden müssen. Man entlastet daher die Glocke durch Einbau eines kastenförmigen Schwimmers  $L$  am unteren Teil der Glocke. Derselbe ist mit dem unteren Glockenrande dicht verbunden und wirkt durch den Auftrieb, welchen das im Kasten eingeschlossene Luftvolumen in der Sperrflüssig-

keit erfährt. Dieser Auftrieb ist bekanntlich gleich dem Gewichte der verdrängten Menge der Sperrflüssigkeit, also z. B. der verdrängten Wassermenge. Will man somit mit Hilfe eines solchen Reglers den Druck bis auf Null herab reduzieren können, so muß man diesem Entlastungsschwimmer so viel Liter Inhalt geben, als die Glocke in Kilogrammen wiegt; denn 1 Liter Luftraum erfährt im Wasser einen Auftrieb von 1 kg.

Der ringförmige Schwimmer besitzt in der Zeichnung (Fig. 219) einen quadratischen Querschnitt. Man schrägt denselben jedoch besser nach oben und unten ab, weil es vorkommen kann, daß sich unterhalb desselben Luftblasen ansammeln, welche den Auftrieb verändern. Außerdem erfährt ein derart abgescrägter Schwimmer nicht so viel Widerstand beim Bewegen in der Flüssigkeit wie der in der Zeichnung dargestellte Schwimmerring mit rechteckigem Querschnitt.

Eine in dieser Weise vollständig entlastete Druckreglerglocke würde also gar keinen Gasdruck im Gasausgange liefern. Um trotzdem einen beliebigen einstellbaren Druck zu erhalten, muß man die Glocke belasten. Dies geschieht gewöhnlich durch Auflegen von Gewichten auf die Glocke. Zu diesem Zwecke ist das Gehäuse, in welchem sich die Glocke und die Sperrflüssigkeit befinden, mit einem abnehmbaren Deckel *D* verschlossen.

Diese einfachste Art des Druckreglers ist schon von Clegg am Anfang des vorigen Jahrhunderts, als überhaupt die Gasbeleuchtung eben erst eingeführt wurde, angegeben worden. Diese Art der Druckregelung hat die mannigfachsten Änderungen erfahren, aber im Prinzip ist sie doch stets die gleiche geblieben. Der Regler, wie er in der obigen Figur dargestellt ist, ist gewöhnlich nur für Leitungen innerhalb der Häuser in Anwendung. Zur Regelung des Gasdruckes beim Ausgange aus dem Gaswerke verwendet man Regler anderer Konstruktion, auf die wir gleich zu sprechen kommen werden. Zunächst sei erwähnt, daß die Gewichtsbelastung bei größeren Druckreglern zweckmäßig durch die Wasserbelastung ersetzt wird. Zu diesem Zwecke befindet sich an der Decke der Druckreglerglocke ein Fortsatz der zylindrischen Seitenwandungen der Glocke nach oben, so daß ein Wasserbassin entsteht, in welches man beliebig viel Wasser einfließen lassen kann. Der Druck der Glocke sowie auch der Druck des Gases wird dadurch in derselben Weise erhöht, wie wenn man Gewichte auf die Glocke auflegen würde. Diese Art der Belastung hat jedoch den Vorteil, daß man sie ganz allmählich zunehmen lassen kann, in dem Maße nämlich, wie man Wasser zuffließen läßt. Um eine ebenso gleichmäßige Abnahme des Druckes zu erzielen, bringt man einen Ablauf an dem Gefäße an, welcher regulierbar ist, so daß man beliebig viel Wasser in der Zeiteinheit ausfließen lassen kann, wodurch der Druck in der Zeiteinheit um ein bestimmtes Maß abnimmt. Bei der Wasserbelastung werden also die stoßweisen Änderungen vermieden, welche beim Auflegen von Gewichten auf die Druckreglerglocke eintreten.

Wenn wir die Funktion eines derartigen Druckreglers genau beobachten, so müssen wir noch berücksichtigen, daß die Glocke nicht nur allein von dem unterhalb derselben herrschenden Gasdrucke in *B* getragen wird, sondern auch durch die Druckdifferenz, welche unterhalb des Ventiles *D* gegenüber dem Raume oberhalb des Ventiles *D* vorhanden ist. Diese Druckdifferenz wirkt ebenfalls auf die Glocke und verringert daher den Druck unterhalb der Glocke bzw. den Druck im Ausgangsrohr. Dementsprechend wird der Druck

im Ausgangsrohre um so geringer, je größer die Druckdifferenz zwischen dem einströmenden Gase bei  $E$  und dem aus dem Raume  $B$  ausströmenden Gase ist. Dementsprechend würde also der Druck in der Ausgangsleitung geringer werden, wenn der Druck in der Eingangsleitung höher wird. Wir haben aber vorhin erörtert, daß ein anderer Umstand in umgekehrter Richtung wirkt, daß nämlich bei höherer Stellung der Glocke der Druck derselben ein größerer ist, weil ein geringerer Teil der Blechwandung in die Sperrflüssigkeit eintaucht. Bei höherem Drucke wird aber die Glocke eine höhere Stellung einnehmen müssen, weil ja die Öffnung, welche das Ventil  $D$  freiläßt, für einen bestimmten Konsum kleiner sein muß, wenn der Druck im Eingangsrohr  $E$  größer wird.

Im gewöhnlichen Betriebe heben sich jedoch diese beiden Faktoren nicht vollständig auf, sondern es bleibt der letztgenannte, daß nämlich bei höher gestellter Glocke, also bei höherem Gaseintrittsdruck, auch der Druck im Gasaustritt wächst, überwiegend. Es können jedoch Fälle eintreten, wo das Umgekehrte zutrifft. Wenn z. B. der Konsum bei  $A$  sehr gering und der Druck beim Eingang  $E$  sehr groß ist, so wird das Ventil  $C$  schon nahezu geschlossen sein. Eine ganz geringe weitere Hebung wird dann genügen, um das Ventil vollständig abzusperrren. Ist dies aber schon geschehen, so sinkt der Druck unterhalb der Glocke  $B$  vollständig herab, wenn überhaupt noch ein Konsum vorhanden ist, und man erhält dadurch eine Druckdifferenz zwischen den Räumen unterhalb und oberhalb des Ventiles  $C$ , die derart groß sein kann, daß das Ventil sich überhaupt nicht mehr öffnet, auch wenn der Druck aus dem Raume unterhalb der Glocke  $B$  vollständig entwichen ist. In diesem Falle hat also der Druckregler die Gaszufuhr vollständig abgeschnitten, der Druck im Ausgangsrohr ist auf Null herabgesunken, und der Druckregler hat also der gestellten Bedingung, immer den gleichen Druck im Ausgangsrohr zu liefern, nicht entsprochen.

Um dieses Zuklappen des Ventiles der Druckreglerglocken zu verhindern, muß man sogenannte entlastete Ventile anwenden. Eine Entlastung des Ventiles bewirkt man dadurch, daß man an derselben Spindel, an welcher das Ventil sitzt, eine Fläche anbringt, welche von der Druckdifferenz des ein- und ausströmenden Gases in der gleichen Weise, jedoch in entgegengesetzter Richtung beeinflußt wird, wie das Ventil selbst.

Wir wollen dies an Hand der Zeichnung des Elsterschen Stationsdruckreglers Fig. 220 näher betrachten. Es ist dies ein Regler mit Wasserbelastung und entlastetem Ventil. Die Glocke  $D$  schwimmt in einem Wasserbassin  $B$  und trägt an ihrem Oberteil noch das Wasserbelastungsbassin  $H$ . In starrer Verbindung mit der Glockendecke befindet sich die Ventilschnecke, welche das Ventil  $C_1$  an ihrem unteren Ende trägt. Es ist dies in diesem Falle ein Plattenventil, welches in einem konischen Ventilsitz  $C$  spielt. Am oberen Teile dieses Ventils knapp oberhalb der Glockendecke befindet sich eine kleinere Gasglocke  $E$ , welche ebenfalls in das Sperrwasser eintaucht und welche genau den gleichen Querschnitt hat, wie der Ventilteller  $C_1$ . Diese kleine Gasglocke kommuniziert durch ein zentrales Rohr mit dem Raume oberhalb des Ventiltellers  $C$ . Im Ventilgehäuse  $A$  tritt das Gas von links her bei  $K$  ein und strömt in der Richtung der Pfeile in den Raum oberhalb des Ventiltellers  $C$ , indem es dabei gleichzeitig unter die Glocke  $E$  tritt. Das Gas tritt dann zwischen dem Ventilteller und dem Ventilsitz  $C$  in die Gasabgangsleitung

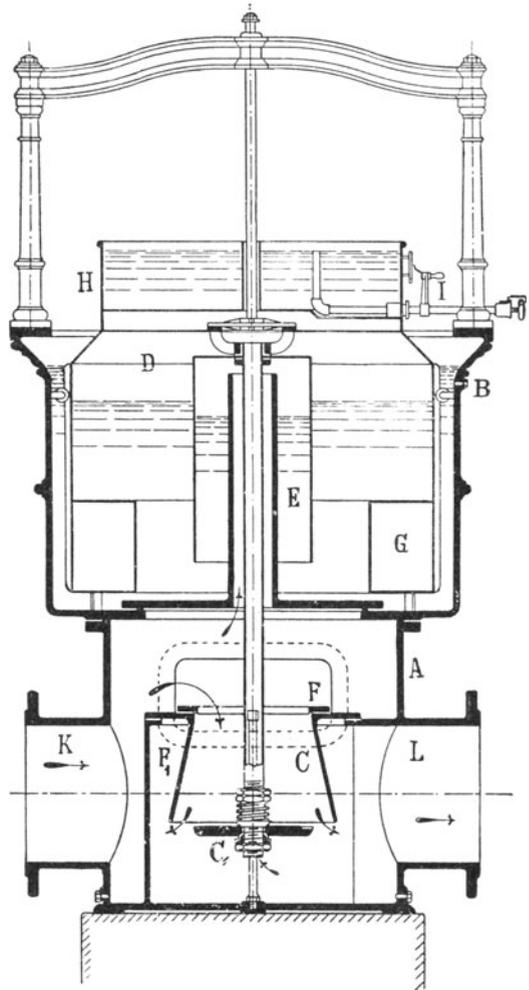
bei *L* aus. Die Ventilspindel ist jedoch nicht massiv, sondern hohl. Das Gas tritt somit am unteren Teile dieser Spindel und durch diese hindurch in den Raum unterhalb der Glocke *D*. Dieser Raum gerät daher unter den gleichen Gasdruck, wie der Druck des ausströmenden Gases bei *L*. Die Bedingung, welche wir für die richtige Wirkung eines Druckreglers aufgestellt haben, daß der Raum unterhalb der Glocke den gleichen

Fig. 220.

Druck besitzen muß, wie der Druck im Ausgangsrohr, ist somit erfüllt. Gleichzeitig ist aber bei dieser Konstruktion das Ventil entlastet, nämlich die Glocke *E*, welche sich innerhalb der großen Gasglocke befindet, wird durch die Druckdifferenz, welche zwischen den Räumen innerhalb dieser Glocke *E* und unterhalb der Glocke *D* herrscht, nach aufwärts gehoben. Da aber der erstere Druck gleich dem Drucke des bei *K* eintretenden Gases und der letztere Druck gleich dem des austretenden Gases bei *L* ist, so ist die hier herrschende Druckdifferenz gleich der Druckdifferenz zwischen eintretendem und austretendem Gase oder gleich der Druckdifferenz, durch welche der Ventilteller *C*<sub>1</sub> nach abwärts gedrückt wird. Der Druck auf diese Glocke *E* ist daher ebenso groß, wie der Druck auf den Ventilteller *C*<sub>1</sub>, jedoch in umgekehrter Richtung, so daß die beiden Drucke sich vollständig aufheben und somit das Steigen und Sinken der Glocke nur in dem Maße stattfindet, daß der Druck unterhalb der Glocke *D* und infolgedessen auch im Austrittsstutzen *L* immer der gleiche bleibt.

Die Spindel ist oberhalb des Reglers noch verlängert und in einer Öffnung geführt, welche in einem Träger angebracht ist, der zwei an dem Bassin *B* aufgestellte Säulen miteinander verbindet.

Die Wasserbelastung erfolgt durch Einfließenlassen von Wasser in das Gefäß *H*, welches sich auf der Druckreglerglocke befindet. Außerdem ist ein verstellbarer Überlauf vorhanden, welcher aus einem horizontal eingebauten Rohre besteht, das nach oben gekrümmt ist. Dreht man dieses Rohr um die



Achse seines horizontalen Stückes, so wird das obere Ende des Überlaufrohres verschiedene Höhenlagen einnehmen und dementsprechend das Wasserniveau im Gefäße *H* beliebig zu regulieren gestatten. Diese Drehung erfolgt durch Betätigung eines Hebels, welcher an einer Skala spielt, die den Druck angibt, welchen man durch diese Einstellung des Wasserniveaus im Druckregler erhält. Am Ende dieses Rohres in Fig. 220 rechts befindet sich noch eine Mikrometerschraube, welche die Größe des Wasserabflusses zu regulieren gestattet. Man hat es damit in der Hand, den Druck beliebig rasch oder langsam abnehmen zu lassen, wenn man das Niveaurohr auf eine bestimmte Stellung gebracht hat. Die Geschwindigkeit der Zunahme des Druckes wird durch die Stärke des Wasserzuflusses in das Gefäß *H* reguliert.

Der Wasserspiegel im Inneren der Druckreglerglocke steht stets um so viel tiefer, als der Spiegel im äußeren Wasserreservoir, wie der Gasdruck be-

Fig. 221.

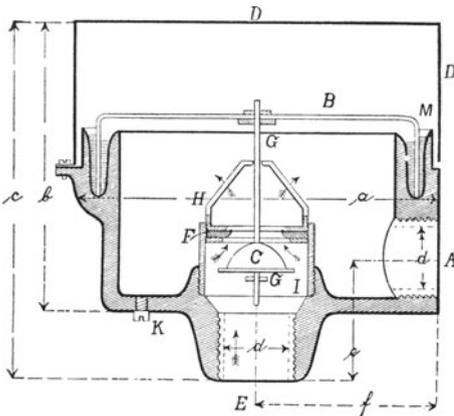
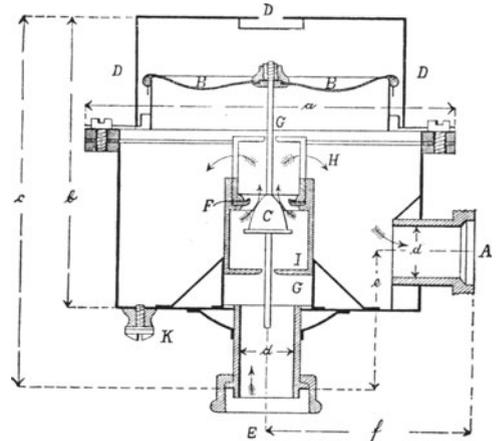


Fig. 222.



trägt. Dies ist besonders zu berücksichtigen, wenn es sich um Regler für hohe Drucke handelt, z. B. bei der Acetylenbeleuchtung. Sowohl das Wasserreservoir als auch die Glocke müssen in diesem Falle eine beträchtliche Höhe erhalten.

Sollen Druckregler an Orten aufgestellt werden, welche dem Froste ausgesetzt sind, so muß man an Stelle des Wassers eine andere Sperrflüssigkeit wählen. Am besten eignet sich dazu eine Mischung von gleichen Raumteilen von Wasser und Glycerin. Jedoch auch Quecksilber ist mit großem Vorteil, namentlich für kleinere Druckregler verwendbar. Dieses besitzt vor dem Wasser auch den Vorteil, daß es nicht der Verdunstung ausgesetzt ist, so daß keine besondere Beaufsichtigung des Reglers erforderlich ist. Besonders bei den Druckregulatoren, die in den Häusern der Konsumenten angebracht sind, hat schon oft das Verdampfen des Wassers zu Unglücksfällen geführt, weil dort das Gas natürlich aus der vollen Öffnung der Leitung ausströmen kann, wenn das Wasser verdunstet ist, ohne daß man es rechtzeitig nachgefüllt hätte. Dies ist bei Regulatoren mit Quecksilberschluß ausgeschlossen.

Fig. 221 zeigt einen solchen Regler mit nicht entlastetem Ventil. Die Konstruktion desselben ist im Prinzip die gleiche, wie die Konstruktion eines

Reglers mit Wasserabschluß. Die Glocke *B* des Reglers kann eine sehr geringe Tauchung erhalten, weil die Quecksilbersäule 14 mal soviel Gasdruck aushält, als Wasser in gleicher Höhe. Der für das Quecksilber bestimmte Raum muß aber außerdem auch möglichst klein sein, weil die hohen Kosten des Quecksilbers hier eine große Rolle spielen. Aus diesem Grunde ist dieser Raum ringförmig ausgebildet. Das S. 510 erwähnte Zuschlagen der Ventile ist bei Regulatoren mit Quecksilberabschluß weniger zu befürchten, weil hier die Druckzunahme bei höher gestellter Glocke eine größere Rolle spielt, als bei Wasserabschluß. Es ist nämlich hier ein höherer Auftrieb beim Eintauchen der Glocke vorhanden, weil bei gleicher Blechstärke im Quecksilber der Auftrieb der Glockenwandung 14 mal so groß ist, als im Wasser.

Man braucht bei der Konstruktion von Gasdruckreglern durchaus nicht den Gasdruck immer unterhalb der Glocke wirken zu lassen. Man kann auch umgekehrt in einem geschlossenen Gehäuse die Glocke von oben aus mit dem Druck des austretenden Gases belasten, während das Innere der Glocke mit der Außenluft kommuniziert. Ein solcher Druckregler wurde z. B. von Fränkel<sup>1)</sup> beschrieben. Bei diesem wird die Bewegung der Glocke mittels eines zweiarmligen Hebels auf ein entlastetes Doppelsitzventil übertragen.

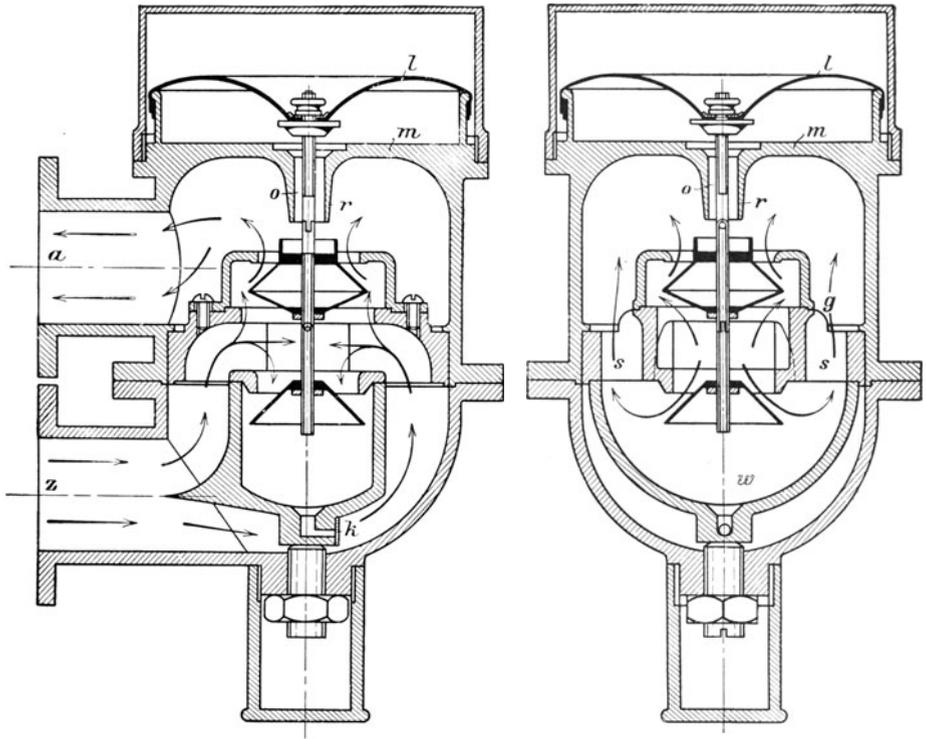
Ganz ähnlich wie die Hausregulatoren sind auch die sogenannten Antifluktuatoren eingerichtet, welche in die Gaszuleitung zu den Gasmotoren eingeschaltet werden, um die stoßweise Entnahme des Gases nicht auf die Leitung wirken zu lassen. Bei diesen muß die Reglerglocke bei jedem Hub des Gasmotors sehr rasch große Gasmengen zu liefern vermögen. Die Reglerglocke muß in diesem Falle sehr rasch den auftretenden Kräften folgen können und ist daher möglichst leicht zu konstruieren. Das Ventil soll ferner nicht zu großen Durchgang haben, damit die Füllung der Glocke nicht zu plötzlich erfolgt, denn in diesem Falle würden durch die plötzliche Gasentnahme aus der Leitung ebenfalls wieder Druckschwankungen in der letzteren hervorgerufen. Aus dem gleichen Grunde setzt man manchmal vor den Antifluktuator noch einen einstellbaren Hahn oder Schieber, um das Ansaugen des Gases durch die Glocke in beliebig langsamer Weise bewirken lassen zu können. Ein solcher Antifluktuator ist z. B. von Hahn konstruiert; derselbe trägt hinter dem Regler einen einstellbaren Schieber und vor dem Motor eine ausbalancierte Glocke, die das Gas gleichmäßig ansaugt und dem Motor stoßweise abliefern<sup>2)</sup>.

An Stelle einer in einer Flüssigkeit schwimmenden Glocke können auch Membranen aus dünnem Leder oder gefirnissetem Stoff dazu dienen, den Gasdruck auf das Ventil des Druckreglers zu übertragen. Solche Gasdruckregler nennt man trockene Regler. Fig. 222 zeigt einen solchen von Elster im Schnitt. Die Funktion desselben ist aus der Zeichnung ersichtlich. Die Stelle der Reglerglocke vertritt hier die Membrane *B*, die sich hebt und dadurch das Ventil schließt, wenn der Gasdruck im Gasaustritt *A* zu hoch geworden ist, und umgekehrt sich senkt und das Ventil öffnet, wenn ein zu geringer Druck im Gasaustrittsrohr herrscht. Einen ähnlichen trockenen Druckregler zeigt Fig. 223<sup>3)</sup>. Der Druck gelangt bei diesem durch einen

<sup>1)</sup> D. R.-P. Nr. 186236; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 353. — <sup>2)</sup> Pflücke, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 626. — <sup>3)</sup> Geliefert von der Apparatevertriebsgesellschaft Berlin-Wilmersdorf.

rohrartigen Ansatz  $r$  unter die Membrane, während das strömende Gas unter dem Membranboden  $m$  weitergeleitet wird. Dadurch ist vermieden, daß etwaige Gaswirbel unter die Membrane gelangen. Das aus höheren Leitungen herunterfließende Kondenswasser gelangt nicht in die Ventile, wie bei anderen

Fig. 223.



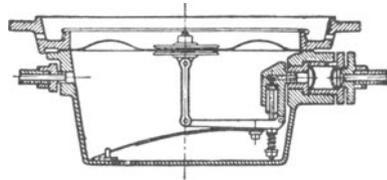
ähnlichen Reglern, sondern fließt durch die Schlitze  $f$  in den Wasserbehälter  $w$  und von da automatisch durch die Klappe  $k$  ab. Gegen diese drückt von außen der etwas höhere unregelmäßige Druck und innen der etwas niedrigere geregelte Druck. Durch diese Druckdifferenz wird die Klappe geschlossen gehalten. Dieser Regler erfüllt die Anforderungen bei geringem Konsum ebenso zu regeln wie bei hohem und ebenso bei stark erhöhtem Vordruck, ferner auch kurze Stöße zu regulieren und bei geringem Vordruck keinen Druckverlust zu geben. Ferner reguliert er dauernd und rasch wechselnden Vordruck zu einem konstanten Druck aus.

Gasdruckregler mit trockenem Abschluß, also z. B. mit Membranen, können auch in sehr kleinem Maßstabe ausgeführt werden, so daß sie zur Regelung

des Druckes bei einzelnen Gasflammen benutzt werden können. Derartige Flammenregler sind aber meist so eingerichtet, daß sie nicht den Druck, sondern den Gaskonsum einer Flamme konstant halten. Wir werden dieselben daher in dem folgenden Kapitel 40 über Konsumregler näher besprechen.

Besondere Anforderungen werden betreffs Regelung des Druckes bei der Beleuchtung von Eisenbahnwaggons gestellt. Hier handelt es sich darum, einen Druck von mehreren Atmosphären in einem kleinen Regler, der naturgemäß keinen Flüssigkeitsverschluß enthalten darf, auf einen Druck von wenigen Millimetern Wassersäule herunterzubringen. Außerdem aber dürfen die Regelungsorgane keine größeren Massen enthalten, weil sonst durch die Stoßwirkungen während der Fahrt der Druck ungleichmäßig würde. Der von Julius Pintsch eingeführte Eisenbahnwaggondruckregler (Fig. 224) erfüllt diese Bedingungen. Um den geringen Druck des austretenden Gases zur genaueren Regelung des hohen Druckes benutzen zu können, muß man die Membrane verhältnismäßig groß machen und das Ventil sehr klein ausführen. Dies allein genügt aber noch nicht, um die gewünschte Wirkung zu erzielen. Es ist noch eine Hebelübertragung von der Membrane auf das Ventil erforderlich, derart, daß eine große Bewegung der Membrane nur eine kleine Bewegung des Ventiles hervorbringt. Dies ist durch einen zweiarmigen Hebel erreichbar, wie dies aus der Zeichnung ersichtlich ist. Die Belastung der Membrane darf nicht durch Gewichte erfolgen, weil diese ja durch die Stoßwirkung bei der Fahrt hin und her geschleudert würden, sondern die Belastung erfolgt durch eine Feder, welche am Boden des Gehäuses des Regulators angebracht ist.

Fig. 224.



Für besondere Zwecke <sup>1)</sup> werden Druckregler benötigt, welche eine Druckdifferenz auszuregeln haben und bei einer Druckdifferenz von vielen 100 mm Wassersäule eine Genauigkeit von 1 mm erzielen sollen. Wenn solche Regler für ungefähr konstant bleibenden Gaskonsum eingerichtet werden, so kann man als Regelungsorgan an Stelle des Flüssigkeitsabschlusses oder der Membrane eine aus Wellblech gepreßte Kapsel benutzen. Dies ist z. B. in dem von Genzken angegebenen Differenzdruckregler Fig. 225 der Fall. Dieser Regler ist zwar nicht für Gasdrucke, sondern für Saugwirkungen einer Pumpe konstruiert, jedoch läßt sich dasselbe Prinzip auch für Druckwirkungen anwenden. Das Innere der Membrane steht mit dem einen Teile, der Raum des Gehäuses, in dem sich die Metallkapsel *k* befindet, mit dem anderen Teile des auszuregelnden Druckes in Verbindung. An der unteren Fläche der Kapsel hängt ein Kegelveil *J*, welches den Ausgang zu der Saugpumpe regelt. Übersteigt die Druckdifferenz die vorgeschriebene Größe, so bläht sich die Kapsel auf und verschließt das Saugventil teilweise. Das Rohr *R*<sub>1</sub> dient dazu, den im Gehäuse herrschenden geregelten Druck durch Anschluß eines Manometers messen zu können. Soll die Druckdifferenz gemessen werden, so wird der zweite Schenkel des Manometers mit dem zur Kapsel *k* führenden zentralen Rohre *R*<sub>2</sub> verbunden. Die Größe der Druckdifferenz wird dadurch

<sup>1)</sup> Z. B. bei den Autolysatoren (vgl. S. 242).

eingestellt, daß man die Metallkapsel mit Hilfe einer Schraube *B* höher oder tiefer hebt.

Bei der Einstellung des Druckes in Gaswerken muß man darauf Rücksicht nehmen, daß am Abend in der Leitung zur Stadt ein höherer Konsum stattfindet als bei Tage. Die in der Leitung auftretenden Druckverluste sind daher am Abend höher als bei Tage. Infolgedessen muß man, wenn man bei den Konsumenten den gleichen Druck erhalten will, im Gaswerke am Abend

Fig. 225.

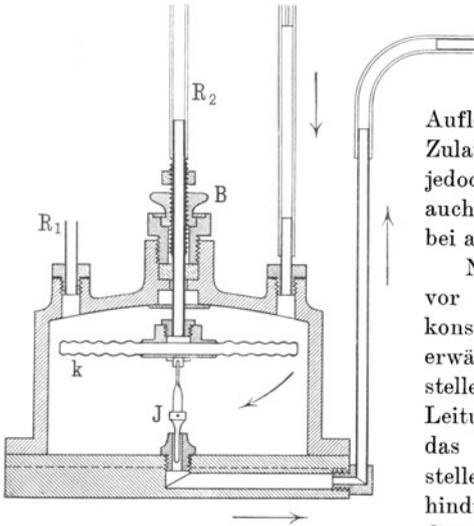
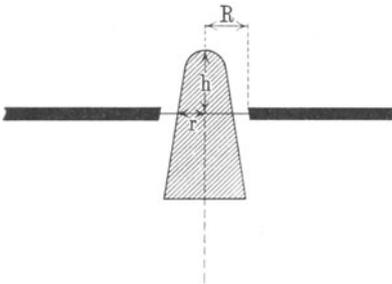


Fig. 226.



jenes auf der Glocke des Druckreglers hinzufießen und daher die Reglerglocke belasten. Umgekehrt wird beim Steigen der Druckreglerglocke Wasser in das feststehende Reservoir zurückfließen. Der Druck, welchen das Gas im Austrittsrohr besitzt, wird also um so größer sein, je größer der Konsum ist, d. h. je tiefer die Glocke des Reglers steht. Eine solche bewegliche Verbindung zwischen den beiden Wasserreservoirs würde jedoch die exakte Bewegung der Druckreglerglocke durch die Reibungsverluste ungünstig beeinflussen, und daher werden in der Praxis andere Anordnungen angewendet.

Die Form des Ventilkegels ist natürlich von Einfluß auf die Steighöhe, welche die Glocke erfährt, wenn der Konsumzuwachs eine bestimmte Höhe

einen höheren Druck geben als bei Tage. Dies bewirkt man bei den gewöhnlichen Druckreglern, wie schon S. 508 und 509 erwähnt, entweder durch

Auflegen von Gewichten oder durch Zulaufenlassen von Wasser. Man kann jedoch die erforderliche Druckerhöhung auch automatisch bewirken, was heute bei allen größeren Gaswerken geschieht.

Nehmen wir an, daß der Druck vor dem Regler wenigstens ungefähr konstant ist, so wird sich, wie schon erwähnt, die Glocke um so tiefer einstellen, je höher der Konsum in der Leitung ist. Denn es muß sich ja dann das Ventil des Druckreglers so einstellen, daß dort eine größere Gasmenge hindurchtreten kann. Man kann nun diese bei verschiedenem Konsum verschiedene Stellung der Glocke benutzen, um automatisch einen höheren Druck zu erzielen, wenn der Konsum größer wird, d. h. die Glocke tiefer steht.

In einfachster Weise könnte man diese Druckgebung bewirken, wenn man ein Wasserreservoir auf der Decke der Druckreglerglocke anbringen und dieses mit einem außerhalb des Reglers feststehenden Reservoir verbinden würde. Sinkt die Glocke, so wird dann Wasser aus dem feststehenden Reservoir

aus dem feststehenden Reservoir

erreicht hat. Will man die Steigung der Glocke proportional dem Gaskonsum ändern, so kommt man zu der folgenden Berechnung: Der Gasdurchgang ändert sich proportional dem freibleibenden Querschnitt zwischen dem Ventilkegel und dem Ventilsitz. Bezeichnet  $r$  in nebenstehender Fig. 226 den Radius des Ventilkegels an der betreffenden Stelle und bezeichnet  $R$  den Radius der gesamten Öffnung des Ventilsitzes, ferner  $h$  die Steighöhe, so beträgt der freibleibende Querschnitt zwischen dem Ventilsitz und dem Ventilkegel, d. h. die Fläche des Kreisringes zwischen den beiden:

$$\pi \cdot (R^2 - r^2).$$

Soll nun diese Größe proportional der Steighöhe  $h$  sein, so ergibt sich die Gleichung

$$\pi \cdot (R^2 - r^2) = c \cdot h,$$

worin  $c$  ein Proportionalitätsfaktor ist.

Daraus ergibt sich:

$$r^2 = R^2 - \frac{c}{\pi} h,$$

und da wir alle Größen bis auf  $r$  und  $h$  als konstant angenommen haben, so erhalten wir für  $r$  die Gleichung einer Parabel, d. h. der Ventilkegel muß ein Paraboloid sein.

Wollen wir den Belastungszuwachs berechnen, der eintreten muß, wenn wir den Druck am Ende einer Rohrleitung konstant halten wollen, während der Druckregler am Anfang derselben steht, so müssen wir wie folgt vorgehen:

Der Druck, welchen der Regler gibt, muß gleich sein dem Drucke, welcher am Ende der Rohrleitung vorhanden sein soll ( $P$ ) plus dem Druckverluste, welcher in der Rohrleitung stattfindet ( $p$ ). Der Druckverlust  $p$  ist nun proportional dem Quadrate der durch die Rohrleitung hindurchfließenden Gasmenge und proportional der Länge der Rohrleitung ( $l$ ). Es ist also:

$$p = Q^2 \cdot l \cdot C,$$

worin  $Q$  die stündlich durchgehende Gasmenge,  $l$  die Länge der Rohrleitung darstellt und  $C$  eine Konstante bedeutet. Wir erhalten somit für den Druck, welchen der Regler geben muß:

$$P + Q^2 l C,$$

oder der Druckzuwachs muß gleich  $Q^2 l C$  sein.

Beim Parabelventil haben wir nun die Bedingung erfüllt, daß der Gasdurchgang pro Stunde ( $Q$ ) proportional der Steigungshöhe des Ventiles ist, das ist also:

$$Q = a \cdot h.$$

Somit ergibt sich:

$$Q^2 l C = C a^2 h^2 l = K h^2 l,$$

worin  $K$  wieder eine Konstante darstellt. Der Druck muß also in diesem Falle proportional dem Quadrate der Glockensteigung ( $h^2$ ) zunehmen bzw. abnehmen.

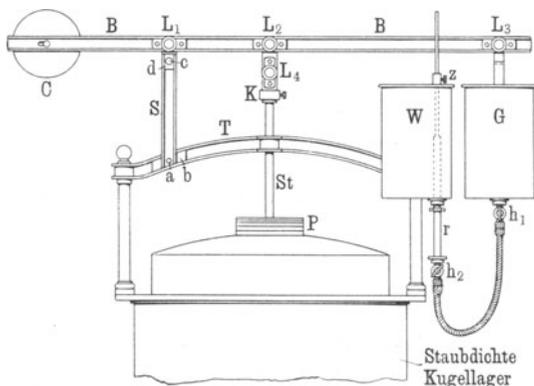
Soll der Druck einfach proportional der Steigungshöhe  $h$  zunehmen, so muß der Ventilkegel eine andere Form haben. In diesem Falle muß der Durchmesser des Ventilkegels mit der vierten Potenz der Steighöhe zunehmen.

Diese Berechnung ist natürlich nur für den Fall, daß der Konsum am Ende der Rohrleitung allein stattfindet, gültig. In der Praxis stellt sich die

Sache wesentlich anders, weil ja nicht der Gasverbrauch am Ende der Leitung, sondern auch an vielen anderen Stellen stattfindet. Es muß daher für jedes Rohrnetz und für jede Konsumstärke praktisch ermittelt werden, welche Drucksteigerung für eine bestimmte Änderung des Konsums stattzufinden hat.

Ein einfacher Regler dieser Art mit selbsttätiger Wasserbelastung, d. h. selbsttätiger Druckgebung ist der von Fleischhauer angegebene. Derselbe besteht, wie Fig. 227 zeigt, aus einem Wassergefäß *G*, welches an einem Hebel aufgehängt ist, der seinerseits durch die Stellung der Druckreglerglocke beeinflusst wird. Dieses bewegliche Wassergefäß ist mittels eines Schlauches mit einem feststehenden Wasserniveaugefäß *W* in Verbindung, so daß bei tieferer Stellung der Glocke auch das Niveau und demzufolge das Gewicht des beweglichen Wassergefäßes steigt.

Fig. 227.



Auf diese Weise kann jeder vorhandene Regler mit automatischer Druckgebung versehen werden.

Beim Elsterschen Druckregler kann man die variable Belastung dadurch erzielen, daß man die Stellung des Überlaufrohres durch die Stellung der Druckreglerglocke beeinflusst. Es geschieht dies dadurch, daß man eine oberhalb der Reglerglocke angebrachte Rolle durch eine

darumgeführte Schnur oder ein Stahlband mit Gegengewicht bei steigender Glocke in Drehung versetzt. Mit dieser Rolle fest verbunden ist eine Spirale, um welche ebenfalls eine Schnur oder ein Stahlband gelegt ist. An diese ist das Ende des Überlaufrohres befestigt. Steigt nun die Glocke, so dreht sich die Rolle und mit ihr die Spirale, und dementsprechend wird die Höhe des Überlaufrohres mit der Steighöhe der Glocke verändert.

In ähnlicher Weise wie bei den eben erwähnten Elsterschen automatisch druckgebenden Reglern wird auch bei dem Ledigschen Regler die Überlaufhöhe des Wasserbelastungsgefäßes durch den Stand der Glocke beeinflusst.

Eine andere Art der selbsttätigen Druckgebung<sup>1)</sup> besteht darin, daß an der Spindel der Glocke ein schwach gekrümmter Hebelarm angebracht ist. Auf diesem Hebelarm rollt ein Gewicht um so näher gegen die Mitte der Druckreglerglocke, je tiefer diese steht. Dementsprechend übt dieses Gewicht auf die Druckreglerglocke einen um so größeren Druck aus, je tiefer die Glocke steht. Die Entlastung des Ventiles bei diesem Regler ist die bei solchen Reglerkonstruktionen übliche; das Ventil ist zweiteilig, und ebenso sind zwei Ventilsitze vorhanden. Das Gas tritt in der Mitte zwischen den beiden Ventilsitzen ein und tritt teils unten, teils oben in den Gasausgang aus. In gehobener Stellung sind beide Ventile geschlossen. Die Druckdifferenz zwischen Eingangs- und Ausgangsdruck wirkt auf den oberen Ventilkegel

<sup>1)</sup> Ausgeführt von Bamag.

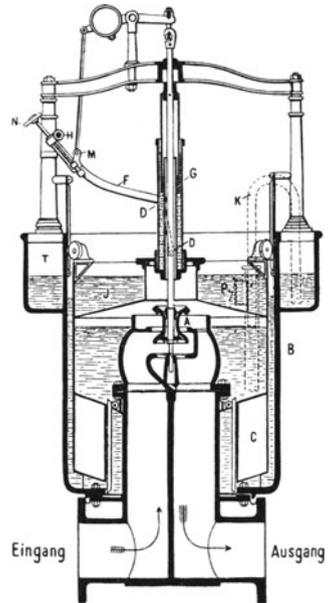
hebend, auf den unteren dagegen nach unten, so daß sich diese Drucke gegenseitig aufheben und somit auch bei hoher Druckdifferenz kein Zuklappen der Ventile stattfinden kann.

Einer der am häufigsten angewendeten Regler ist jener von Gareis (Fig. 228). Auch dieser beruht auf dem Prinzip der Wasserbelastung, die um so größer wird, je tiefer die Druckreglerglocke steht. Der Zufluß des Wassers erfolgt jedoch nicht mit Hilfe eines Schlauches, sondern mit Hilfe eines Hebers. Das Bassin des Druckreglers ist deshalb mit einem ringzylindrischen Gefäß verbunden, das den oberen Rand des Wasserbehälters umgibt, und in dieses taucht der Heber ein. Im übrigen enthält der Regler ein Ventil, welches in derselben Weise entlastet ist, wie jenes des vorhin genannten Reglers. Das Ventil öffnet sich jedoch nicht nach unten, sondern nach oben. Dies hat den Zweck, es bequem herausnehmen zu können, wenn man den Deckel der Druckreglerglocke öffnet. Zufolge dieses verkehrten Sitzes muß das Ventil die entgegengesetzte Bewegung machen, wie die Druckreglerglocke. Diese wird dadurch hervorgerufen, daß die Druckreglerglocke durch einen Hebelarm, der sich um einen Punkt dreht, welcher am Bassinrande des Reglers befestigt ist, einen zweiarmigen Hebel in Bewegung setzt. An dem zweiten Ende dieses zweiarmigen Hebels ist die Spindel des Ventiles angebracht. Die Abdichtung bei Durchführung durch den Deckel der Reglerglocke erfolgt hydraulisch durch einen Glockenverschluß. Bewegt sich die Druckreglerglocke nach aufwärts, so macht das Ventil die umgekehrte Bewegung nach abwärts, verschließt also den Ventilsitz, so daß weniger Gas in die Reglerglocke strömt.

Die Größe der Bewegung des Ventiles bei einem bestimmten Hube der Reglerglocke kann dadurch verändert werden, daß der Angriffspunkt des kleinen zweiarmigen Hebels an dem großen einarmigen verschoben wird. Es geschieht dies mit Hilfe einer Schraube und eines Handrades, welche aus der Zeichnung ersichtlich sind. Einem bestimmten Konsum entspricht eine bestimmte Öffnung des Ventiles. Durch Verstellung dieses Handrades kann also erwirkt werden, daß ein größerer Hub der Glocke erforderlich ist, ehe eine bestimmte Konsumvermehrung eingetreten ist. Dadurch kann aber auch die Wasserbelastung bzw. -entlastung für eine bestimmte Konsumzunahme beliebig eingestellt werden. Der Gareissche Regler wirkt außerordentlich genau, ist jedoch ein empfindlicher Apparat, der eine sorgsame Überwachung benötigt.

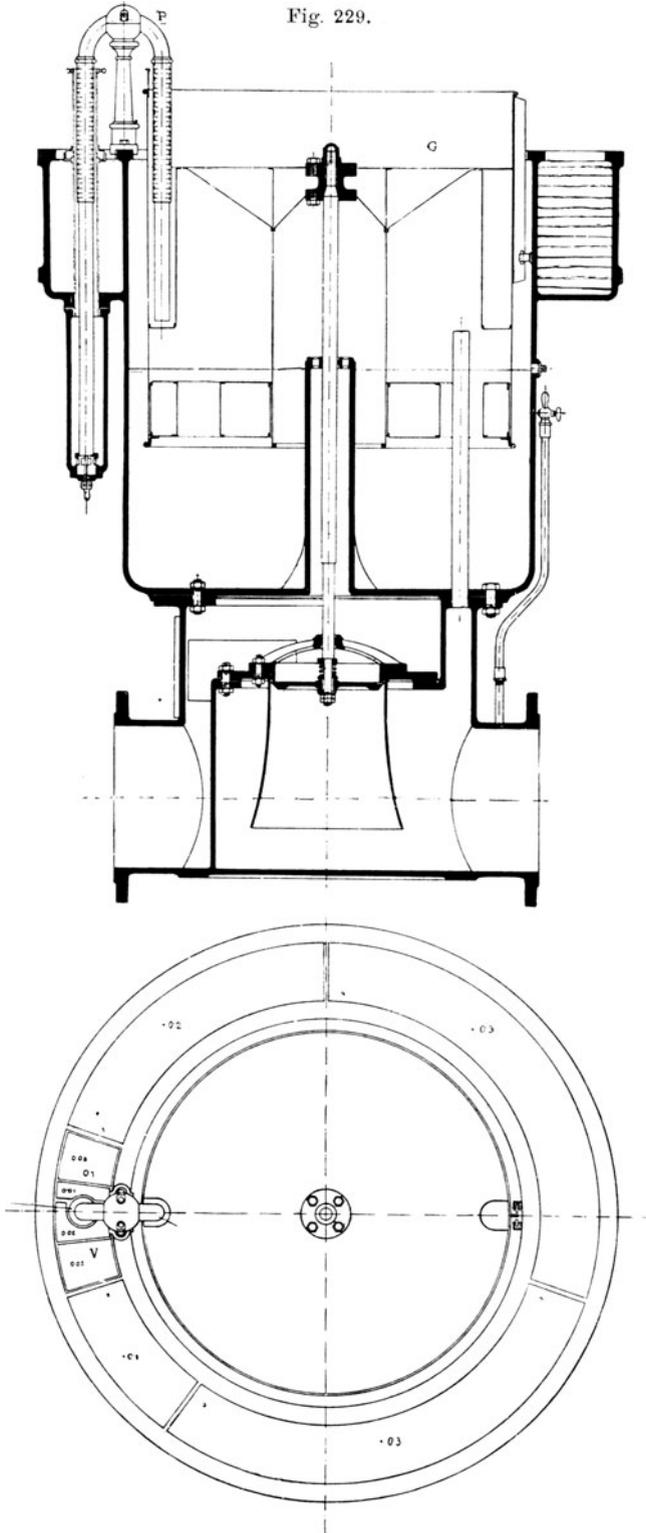
Ein viel einfacherer und ebenfalls exakt arbeitender selbsttätig druckgebender Druckregler ist der von Müller konstruierte<sup>1)</sup>. Dieser in Fig. 229

Fig. 228.



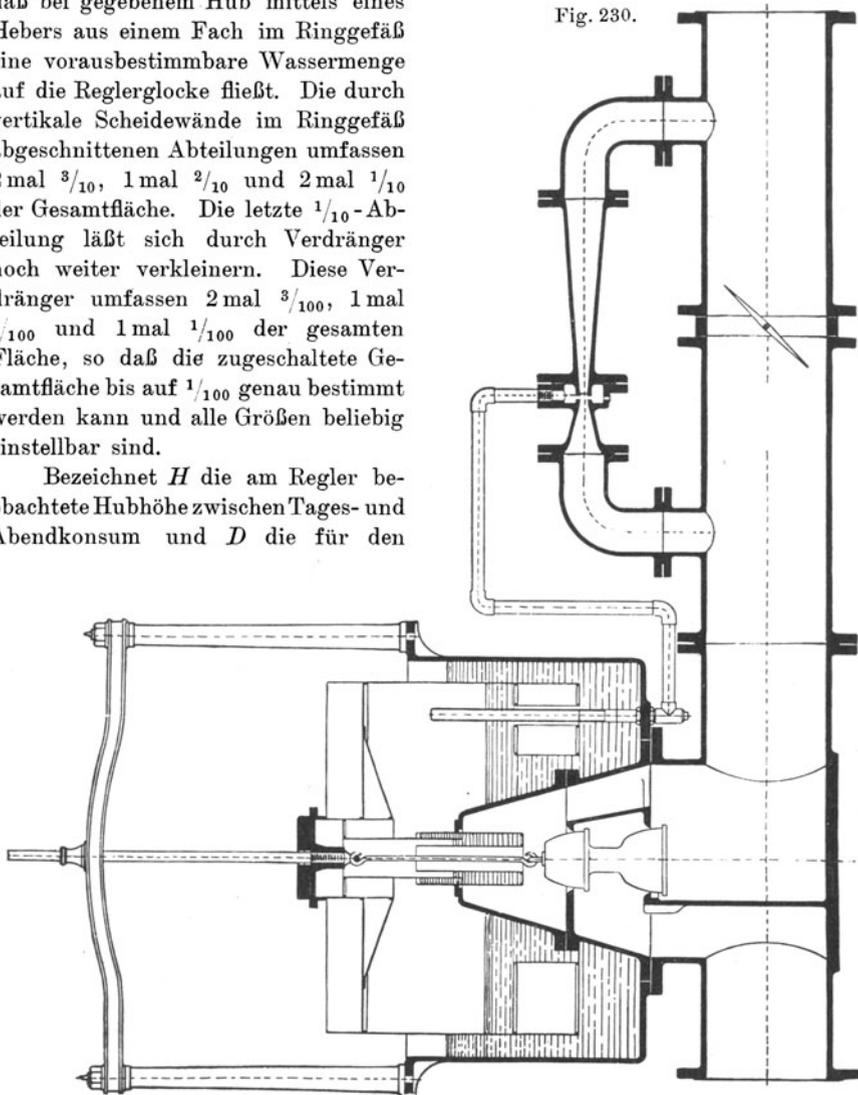
<sup>1)</sup> Burckhardt, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 613, ausgeführt von der Firma S. Elster in Wien.

Fig. 229.



dargestellte Apparat hat keinerlei Hebel, Rollen und Gelenke, sondern ein das Druckreglergehäuse umgebendes feststehendes Ringgefäß ist mit Abteilungen versehen, welche wahlweise einschaltbar sind. Dieses Ringgefäß steht mit dem auf der Druckreglerglocke befindlichen Wassergefäß in Verbindung, so daß bei gegebenem Hub mittels eines Hebers aus einem Fach im Ringgefäß eine vorausbestimmbare Wassermenge auf die Reglerglocke fließt. Die durch vertikale Scheidewände im Ringgefäß abgeschnittenen Abteilungen umfassen 2 mal  $\frac{3}{10}$ , 1 mal  $\frac{2}{10}$  und 2 mal  $\frac{1}{10}$  der Gesamtfläche. Die letzte  $\frac{1}{10}$ -Abteilung läßt sich durch Verdränger noch weiter verkleinern. Diese Verdränger umfassen 2 mal  $\frac{3}{100}$ , 1 mal  $\frac{2}{100}$  und 1 mal  $\frac{1}{100}$  der gesamten Fläche, so daß die zugeschaltete Gesamtfläche bis auf  $\frac{1}{100}$  genau bestimmt werden kann und alle Größen beliebig einstellbar sind.

Bezeichnet  $H$  die am Regler beobachtete Hubhöhe zwischen Tages- und Abendkonsum und  $D$  die für den



Abendkonsum gewünschte Konsumerhöhung, so berechnet sich die zugeschaltete Ringfläche einfach aus der Formel:

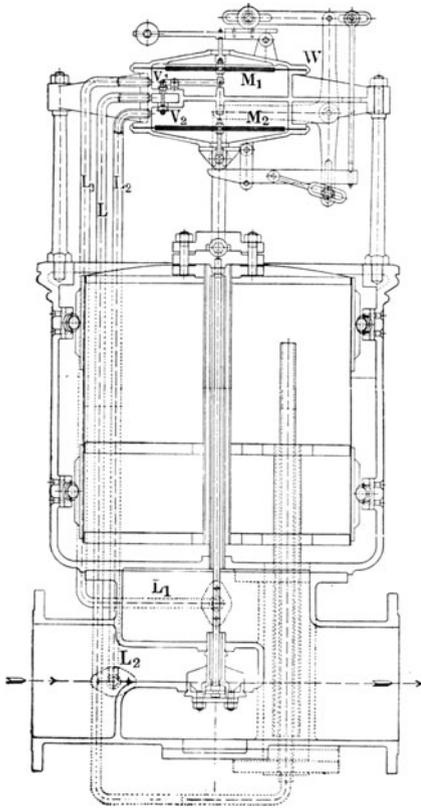
$$R = \frac{D}{H - D}$$

Es ist dies bisher der einzige Regler, bei welchem die Regulierungsvorrichtung außerhalb des eigentlichen Reglers liegt und bei dem daher

die Glocke frei schwimmt, ohne durch die Regulierungsorgane behindert zu sein.

Ein neuartiger Druckregler ist der von Dalen konstruierte<sup>1)</sup> (Fig. 230). In der Gashauptleitung befindet sich eine als Injektordüse ausgebildete Verengung. An der engsten Stelle dieser Verengung entsteht bei durchströmendem Gase zufolge des Injektors eine Saugwirkung, die um so größer ist, je größer die Gasgeschwindigkeit in der Düse ist. Die Saugwirkung wird durch

Fig. 231.



ein Rohr in die Glocke eines gewöhnlichen Reglers übertragen. Bei größerer Gasabgabe wird durch die vermehrte Saugwirkung die Glocke des Reglers tiefer herabgesogen und öffnet daher das Ventil der Gasabgabe entsprechend. Der genannte Injektor ist mit einer Umgangsleitung zu versehen, in welche eine Drosselklappe eingebaut ist. Durch Verstellung dieser Drosselklappe ist es möglich, den gewünschten Zuschußdruck nach Bedarf zu ändern, denn es geht eben dann nur ein Teil des abgegebenen Gases durch diese Düse. Dieser Regler empfiehlt sich besonders für Hochdruckspeiseleitungen, wodurch vielfach Rohrnetzerweiterungen vermieden werden können.

Um die Regelung möglichst genau durchzuführen, kann man auch das Gas zunächst in einen Hilfsregler eintreten lassen, welcher eine Verteilung des Gases nach Maßgabe des in der Ausgangsleitung auftretenden Druckes vornimmt, derart, daß eine größere Gasmenge unter die Druckreglerglocke tritt und das Ventil daher geöffnet wird, wenn der Druck im Gasausgange sinkt. Einen derartigen Regler hat Voigt<sup>2)</sup> angegeben (Fig. 231). Er ist

durch den Hilfsregler charakterisiert, welcher durch eine besondere Leitung  $L$  mit dem Glockeninneren in Verbindung steht. Sobald der Stadtdruck steigt, ergibt sich als Aufgabe des Hilfsreglers, den Druck unter der Glocke zu erhöhen. Dies wird durch zwei kleine Drosselventile  $V_1$  und  $V_2$  erreicht, welche durch die Rohrleitungen  $L_1$  und  $L_2$  mit dem Vordrucke und dem Stadtdrucke in Verbindung stehen. Diese beiden Ventile werden durch die Membrane  $M_1$  betätigt, die mittels Hebels und Laufgewicht belastet wird. Die Belastungsrolle  $R$  wird durch den Winkelhebel  $W$  derart verschoben, daß beim Sinken der Glocke die Belastung zunimmt, so daß also eine automatische Druckgebung bei höherem Konsum stattfindet. Dieser

<sup>1)</sup> Kaiser, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1025. — <sup>2)</sup> Ebend. 1910, S. 1070.

Regler soll sich auch besonders gut für Unterstationen im Fernversorgungsgebiet eignen.

Wie auf S. 516 bereits erwähnt wurde, kann die automatische Druckgebung durch einen Regler nur dann in korrekter Weise stattfinden, wenn der Druck beim Eingang zum Regler ungefähr konstant gehalten wird. Verwendet man nun Gasbehälter mit teleskopierter Glocke, so ist diese Bedingung nicht erfüllt. Bei jedesmaligem Einhaken eines Teleskopringes steigt der Druck ganz beträchtlich, so daß eine Vordruckregelung erforderlich ist, wenn der Druckgeber richtig arbeiten soll. Man verwendet also außer dem eigentlichen Druckregler noch einen Vordruckregler. Dieser beruht auf dem gleichen Prinzip wie der gewöhnliche Druckregler (S. 507), nur verwendet man zweckmäßig an Stelle eines Ventiles eine Drosselklappe. Es ist ja hier nicht eine genaue Regelung erforderlich, sondern es soll mit Hilfe eines möglichst kleinen und billigen Apparates auch in großen Rohrleitungen eine Regelung hervorgerufen werden können, und dies ist eben mit Hilfe eines Drosselventiles, d. h. einer Drosselklappe in der Hauptrohrleitung leichter zu erreichen. Die Spindel der Drosselklappe trägt außen einen Hebel, der mit der Druckreglerglocke in Verbindung steht. Das Innere der Reglerglocke kommuniziert durch ein Rohr mit dem Drucke hinter der Drosselklappe, also vor dem Hauptdruckregler, so daß, wenn der Druck steigt, die Glocke auch steigt und infolgedessen die Drosselklappe teilweise abschließt.

Die in neuerer Zeit vielfach zur Ausführung gelangten Hochdruckgasleitungen stellen an die Apparate zur Druckregelung besondere Anforderungen, da die Konstruktionen derart sein müssen, daß der höchste zulässige Druck im Niederdrucknetz unter keinen Umständen überschritten wird. Außerdem sind Regler mit Wasserabschluß für gewisse Stellen unbrauchbar. Würde nämlich z. B. das Ventil des Reglers nicht vollständig dicht abschließen, so würde der Druck der Hochdruckleitung durch die Undichtheit des Ventiles sich in das Innere der Reglerglocke des Druckreglers fortpflanzen und würde schließlich ein Herausschleudern des Wassers aus dieser Glocke bewirken, wenn der Konsum gering ist. Auch in diesen Fällen wendet man vorteilhaft einen Hilfsregler an<sup>1)</sup>.

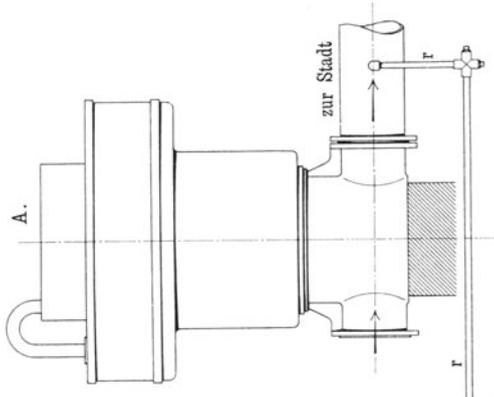
Der Hochdruckregler B a m a g<sup>2)</sup> steuert zwei in die Leitung eingeschaltete Hähne mittels einer gewöhnlichen Reglerglocke. Die vollständige Absperrung gibt die Sicherheit, daß das Niederdrucknetz nie zu hohen Druck erhält, doch dürfte die Genauigkeit der Regelung keine große sein.

Wenn mehrere automatisch wirkende druckgebende Regler in ein gemeinsames Rohrnetz arbeiten, so treten häufig Störungen der einzelnen Regler ein. Diesen Übelstand behebt J ä g e r dadurch<sup>3)</sup>, daß er nur einen einzigen automatisch druckgebenden Regler verwendet und die anderen Gehäuse der Regler nach oben vollständig abschließt, so daß die Glocken mit Gasdruck von oben belastet werden können. Er läßt nun den von dem erstgenannten automatischen Druckgeber hervorgerufenen Gasdruck auf die anderen Druckreglerglocken von oben wirken, so daß dadurch auch diese einen höheren Druck erzeugen, wenn dies der automatische Druckgeber tut. Fig. 232 zeigt die Anordnung einer derartigen Regleranlage mit einem automatischen Druck-

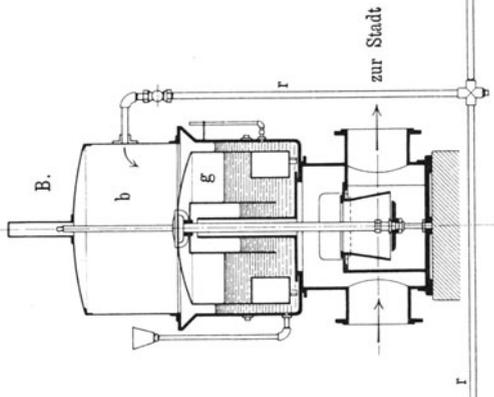
<sup>1)</sup> Methoden der Gasverteilung in St. Louis. Journ. f. Gasbel. 1906, S. 905. —

<sup>2)</sup> Ebend. 1906, S. 1076. — <sup>3)</sup> Ebend. 1906, S. 319.

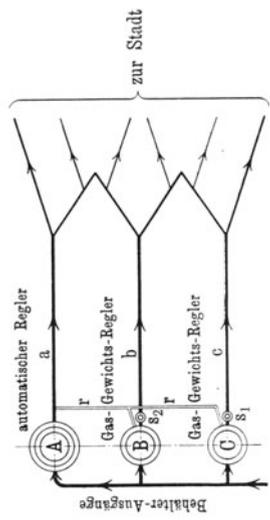
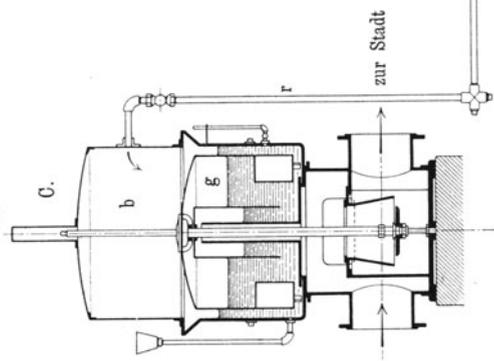
Regler mit automatischer Druckgebung  
nach Müller



Regler mit Gasbelastung  
nach Jäger



Regler mit Gasbelastung  
nach Jäger



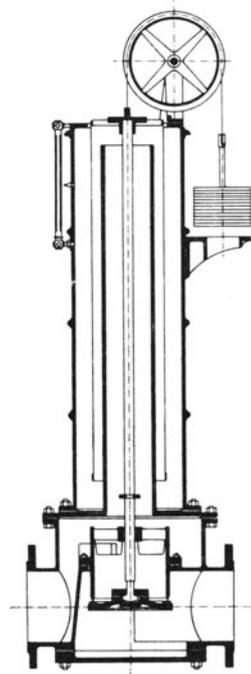
geber nach System Müller und zwei gewöhnliche Regler mit Gewichtsbelastung, die jedoch außerdem mit dem vom automatischen Druckgeber gelieferten Gasdruck von oben belastet sind.

In größeren Gaswerksanlagen, wo sehr viele Ventile und Schieber zu betätigen sind, kann es vorkommen, daß durch unrichtige Einstellung eines Schiebers die Hauptleitung zur Stadt vollständig abgesperrt wird. Dies soll natürlich vermieden werden. Zu diesem Zwecke sind ebenfalls automatisch wirkende Regler konstruiert worden. Diese Sicherheitsregler sind derartig eingerichtet, daß sie einen Umgang öffnen, sobald der Druck in der Stadt- druckleitung zu gering wird. Fig. 233 zeigt einen derartigen Regler. Ein Tellerventil hängt bei diesem an einer Spindel, die oben mit einer Glocke verbunden ist, welche denselben Durchmesser besitzt, wie das Ventil selbst. Außerdem ist eine Entlastung mittels eines Gegengewichtes vorhanden. Links ist die Leitung von dem Druckregler, rechts die Leitung zur Stadt angeschlossen. Der vom Druckregler her kommende Gasdruck ist durch die entgegengesetzte Wirkung auf die obere Abschlußglocke und auf den Ventilteller aufgehoben. Sinkt nun der Druck im Stadtrohrnetz unter ein gewisses Minimum herab, so ist der Druck nicht mehr genügend, um den Ventilteller geschlossen zu halten, dieser öffnet sich, und somit kann Gas aus der Leitung direkt zum Stadtrohrnetz abfließen.

Ein von Schnorrenberg angegebener Sicherheitsregler<sup>1)</sup> dient zur automatischen Öffnung des Gasbehälterumganges, wenn alle Eingänge abgesperrt sind, und dadurch zu hoher Druck in der Produktionsleitung auftritt, oder auch wenn alle Behälterausgänge abgeschlossen sind und dadurch zu niederer Druck im Stadtrohrnetz entsteht. Dieser Regler hat also außer der vorgenannten Aufgabe auch noch jene, den Umgang zu öffnen, im Falle durch falsche Ventilstellung der Druck in der Produktionsleitung zu hoch wird.

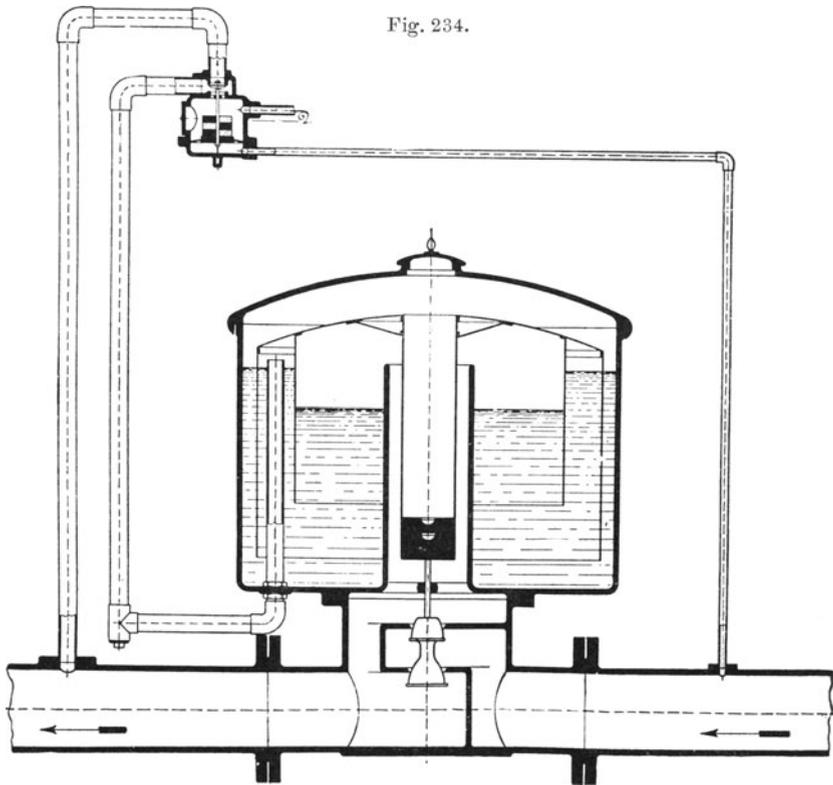
Ein anderes Problem für die Konstruktion von Druckreglern ist dadurch gegeben, daß man in neuerer Zeit die Gaslaternen durch Druckerhöhung im Rohrnetz zur Entzündung bringt. Soll eine solche Ferndruckzündung in Orten, welche von der Gaszentrale weit entfernt sind, eingerichtet werden, so muß man den sogenannten Ferndruckwellengeber, wie er z. B. von der Bama g konstruiert ist, anwenden (Fig. 234). Bei diesem ist eine gewöhnliche Reglerglocke von einer konzentrischen Glocke umgeben. Ein Doppelsitzventil, welches außerhalb des Reglers angeordnet ist, wird mittels einer Membrane vom Hochdruck in der Fernleitung betätigt und bringt den Ringraum der Reglerglocke entweder mit dem Ausgangsdruck oder mit der Außenluft in Verbindung. Durch eine hohe Druckwelle in der Hochdruckleitung wird der Ringraum mit der Außenluft in Verbindung gesetzt. Da-

Fig. 233.



<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1906, S. 18.

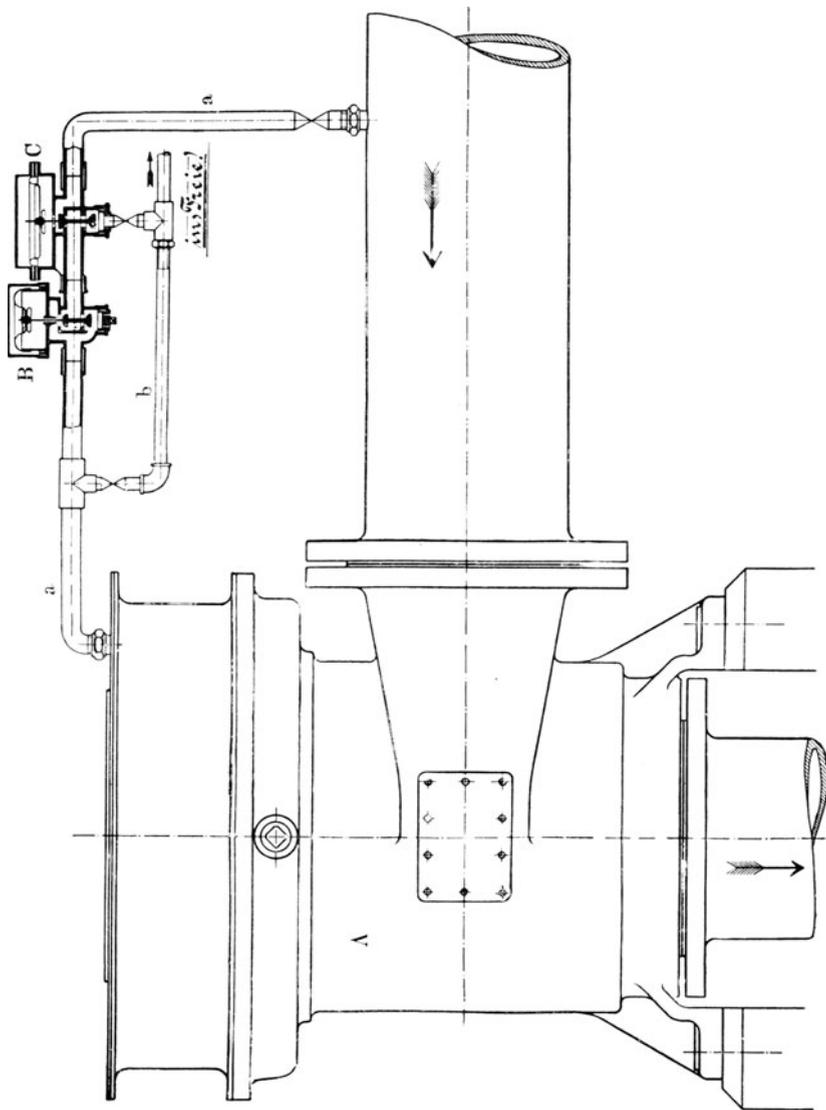
durch sinkt der Druck unter der Glocke und diese gibt einen den Ferndruckzündern angepaßten höheren Druck in das Niederdrucknetz. Nach Abstellung des erhöhten Druckes im Hochdruckrohr kommuniziert der Ringraum der Reglerglocke wieder mit dem Niederdrucknetz und regelt daher den Druck in gewöhnlicher Weise. Ähnlich arbeitet auch der Druckwellengeber der Apparate-Vertriebsgesellschaft Berlin-Wilmersdorf, Fig. 235. Der Bezirksregler *A* ist als trockener Membranregler ebenso ausgestaltet wie jener, den wir in Fig. 223 kennen lernten. Der Raum oberhalb der Membrane ist jedoch abgeschlossen



und kommuniziert einesteils durch das Rohr *b* mit der Außenluft, anderenteils unter Zwischenschaltung des kleinen Reglers *B* und des „Gebers“ *C* mit der Druckleitung. Diese ist im normalen Betriebe durch das Doppelsitzventil im Geber *C* abgeschlossen. Gibt man jedoch in der Druckleitung eine Druckwelle, welche so hoch ist, daß sie die Membrane im Geber *C* zu heben vermag, so schaltet dieser das Doppelsitzventil um und der Raum oberhalb der Membrane im Bezirksregler *A* wird dann durch den von *a* herkommenden Druck belastet, so daß der Bezirksregler nun einen zur Zündung der Laternen geeigneten Druck in der Ausgangsleitung abgibt. Die Höhe dieser Druckwelle wird durch beliebige Belastung des kleinen Reglers *B* eingestellt. Ein in die Leitung *b* eingeschalteter Drosselhahn läßt etwas Gas entweichen (etwa 100 Liter pro Stunde), um die gute Funktion des Reglers *B* zu gewährleisten.

Allerdings ist trotz dieser sinnreichen Einrichtungen eine Beaufsichtigung der Gasabgabe in entfernt gelegenen Versorgungsgebieten erforderlich, so daß sich also auch eine solche Anordnung nur rentabel erweist, wenn eine größere Zahl von Straßenlaternen vorhanden ist.

Fig. 235.



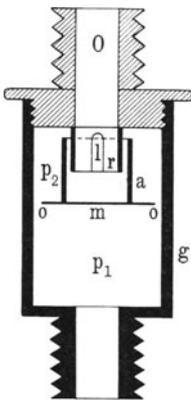
#### 40. Konsumregler.

Die trockenem Druckregler kann man in so kleinen Dimensionen ausführen, daß es möglich ist, derartige Regler für einzelne Flammen auszubilden und sie knapp unterhalb des Brenners einzuschalten. Man nennt solche Regler „Flammenregler“. Sie sind allerdings nicht als Druckregler ausgebildet, sondern zur Regelung des Gaskonsums eingerichtet. Dies wird

dadurch bewirkt, daß die Druckdifferenz vor und hinter einer Durchströmungsöffnung von konstanter Größe konstant erhalten wird. Man unterscheidet hier zwei prinzipiell voneinander verschiedene Arten von Flammenreglern. Die einen arbeiten in derselben Art wie die trockenen Druckregler mit Hilfe einer Membrane, die anderen mit einem leichten Metallblättchen, welches im Gasstrom schwimmt, d. h. von der Druckdifferenz im Gase getragen wird.

Die Membranflammenregler sind in der gleichen Weise ausgebildet, wie die trockenen Druckregler. Sie bestehen aus einem flachgewölbten kreisrunden Gehäuse, dessen Mittelebene durch eine Membrane in zwei Teile geteilt ist. An dieser Membrane hängt ein Ventil, welches sich beim Heben der Membrane schließt. Die beiden Räume oberhalb und unterhalb der Membrane kommunizieren durch eine Öffnung in der Membrane oder durch einen Kanal, welcher in dem Gehäuse angebracht ist. An dem oberen Teile des Gehäuses befindet sich in der Mitte der Gasaustritt, an welchem direkt der Brenner aufgeschraubt wird.

Fig. 236.



Derartige Flammenregler sind zuerst von Sugg angewendet worden. Sie fanden bei der Beleuchtung mit offenen Gasflammen in Straßenlaternen ausgebreitete Anwendung, da bei diesen die Konstanthaltung des Konsums von besonderer Bedeutung war. Auch konnten damit wesentliche Ersparnisse erzielt werden.

Später wendete man häufiger die Flammenregler mit Schwimmkörper an. Das Ventil eines solchen ist in Fig. 236 dargestellt. In einem kleinen zylindrischen Gehäuse  $g$  von etwa 20 mm Durchmesser ist ein leichtes Metallblech  $m$  am besten aus Aluminium eingesetzt, derart, daß am Rande zwischen diesem Blättchen und dem Gehäuse eine ringförmige Öffnung  $oo$  zur Durchströmung des Gases frei bleibt. In der Mitte besitzt dieses Blättchen einen zylindrischen Ansatz  $a$ , in welchen ein zylindrisches Röhrchen  $r$  genau hineinpaßt, das mit der Ausströmungsöffnung  $O$  nach oben dicht verbunden ist. Dieses Röhrchen besitzt einen Längsschlitz  $l$ , der durch den darüber geschobenen Ansatz  $a$  des Plättchens  $m$  mehr oder weniger abgeschlossen werden kann. Während des Gasdurchganges entsteht nun eine Druckdifferenz zwischen den Räumen unterhalb ( $p_1$ ) und oberhalb dieses Plättchens ( $p_2$ ). Diese Druckdifferenz muß stets so groß sein, daß von ihr das Plättchen getragen werden kann, d. h. sie muß gleich sein dem Gewichte des Plättchens einschließlich des zylindrischen Ansatzes dividiert durch die Fläche desselben. Ist die Druckdifferenz höher, so wird das Plättchen gehoben, ist sie geringer, so sinkt das Plättchen nach abwärts. Wenn sich nun aber zufolge einer höheren Druckdifferenz das Plättchen hebt, so verschließt der zylindrische Ansatz teilweise den Schlitz  $l$ , durch den das Gas nach  $O$  ausströmt, so daß ein geringerer Gasdurchgang durch den Regler stattfindet. Ein geringerer Gasdurchgang verursacht aber eine geringere Druckdifferenz bei der konstant bleibenden ringförmigen Durchströmungsöffnung zwischen dem Plättchen und dem Gehäuse, daher wird dann erreicht, was angestrebt war, nämlich, daß die Druckdifferenz zwischen den beiden Räumen stets gleich gehalten wird. Ist diese Druckdifferenz umgekehrt zu gering, so sinkt das Plättchen weiter herab, dementsprechend öffnet sich die Gasausströmungsöffnung, es kann mehr Gas zum Brenner austreten, und es sinkt der Druck  $p_2$  oberhalb des Plättchens  $m$ .

Dadurch steigt die Druckdifferenz  $p_1 - p_2$  und gelangt somit wieder auf ihre ursprüngliche Höhe, so daß das Plättchen eben wieder schwimmend erhalten wird. Dasselbe muß sich also auf alle Fälle so einstellen, daß der Konsum des Brenners gegeben ist durch die konstante Druckdifferenz, welche vom Gewicht und von der Fläche des Plättchens bedingt ist, und durch die Ausströmungsöffnung, welche durch den ringförmigen freien Raum zwischen dem Plättchen und dem Gehäuse gegeben und ebenfalls konstant ist. Solche und ähnliche Flammenregler wurden konstruiert von Flürsheim, Behl und Lux.

In neuerer Zeit hat Pflücke<sup>1)</sup> einen neuen Flammenregler mit Membrane und Tassenventil mit Quecksilberfüllung angegeben. Die Tasse kann durch Wegnahme einer Kappe herausgenommen werden. Der Verlust an Quecksilber durch Verspritzen ist durch eine besondere Form des Tauchrohres mit zwei nach oben verlaufenden schlitzförmigen Ausnehmungen vermieden. Dieser Flammenregler ist auch für Hängelicht geeignet.

Diese Flammenkonsumregler haben heute nicht mehr dieselbe Bedeutung wie früher und werden nicht mehr so häufig angewendet, weil man seit der allgemeinen Anwendung des Gasglühlichtes sehr darauf bedacht ist, den Druck unterhalb der Ausströmungsdüse zum Brenner möglichst hoch zu halten, denn der Effekt des Gasglühlichtes ist abhängig von dem Drucke vor der Düse. Da aber alle diese Regler nur eine Verringerung des Druckes und keine Erhöhung desselben herbeiführen können, so verzichtet man beim Gasglühlicht im allgemeinen auf die Anwendung derselben und beschränkt sich auf eine Regulierung der Düse, auf die wir später zu sprechen kommen werden (vgl. Kapitel 65).

Sobald aber einmal die Erkenntnis durchgedrungen sein wird, daß eben wegen des Gasglühlichtes ein höherer Druck in den Leitungen als bisher zweckmäßig ist, und sobald dann diese durch einen Regler verursachten geringen Druckverluste nicht mehr in Betracht kommen werden, wird man auch die Vorteile auszunutzen verstehen, die der vollständig gleichbleibende Druck vor der Düse des Gasglühlichtes und speziell des Hängelichtes bietet.

#### 41. Gassauger und Gebläse.

Jeder Apparat, welchen das Gas passieren muß, setzt dem Gasstrom einen gewissen Widerstand entgegen. Dieser Widerstand ist besonders groß bei den Teerscheidern und in den Reinigern. Das Gas verliert zufolge dieses Widerstandes allmählich an Druck, und das erzeugte Gas hat somit nicht nur den Behälterdruck, sondern außerdem auch den Widerstand sämtlicher Reinigungsapparate zu überwinden. Bei größeren Werken, die einen teleskopierten Gasbehälter verwenden, ist der Druck des Behälters allein in seinen oberen Stellungen schon ein recht beträchtlicher, so daß unter Hinzufügen des Widerstandes aller Apparate ein sehr hoher Druck in dem Gaserzeugungsapparat erforderlich wäre.

Ein so hoher Druck würde nicht nur bei allen Apparaten mit Wasserabschlüssen eine sehr hohe Tauchhöhe derselben benötigen, sondern es würden auch noch andere Übelstände entstehen. Die viel verbreitete Meinung, daß

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 879.

zufolge des höheren Druckes das Gas nicht so leicht aus der Retorte entweichen kann und sich daher länger in derselben aufhält, ist zwar gänzlich unbegründet; das Gas bleibt nicht länger in der Retorte stehen, einerlei ob es unter niedrigem oder hohem Druck entweicht. Es ist also auch unrichtig, daß die bei höherem Gegendruck beobachtete stärkere Graphitbildung auf einem längeren Verweilen des Gases in der Retorte beruht.

Der höhere Druck bewirkt nur, daß an undichten Stellen eine größere Menge von Gas entweicht und dadurch die Gasverluste größer werden. Allerdings entweicht das Gas auch durch die Poren der Schamotteretorten, und dies ist gerade der Grund, warum bei höherem Druck eine größere Graphitbildung eintritt. Das Gas zersetzt sich nämlich dann beim Hindurchtreten durch die Poren der Retorten und scheidet eine größere Menge von Graphit aus. Die durch den hohen Gegendruck verursachten Verluste sind daher gerade bei neuen Retorten ganz beträchtlich, verringern sich dagegen später, wenn die Poren bereits mit Graphit verstopft sind.

Zufolge eines hohen Gegendruckes wird auch der Teer etwas mehr von den dampfförmigen Kohlenwasserstoffen auflösen, die im Gase enthalten sind und ihm eine hohe Leucht- und Heizkraft verleihen, wie z. B. das Benzol. Da jedoch hier nur die absolute Drucksteigerung in Betracht zu ziehen ist, welche z. B. bei einem Gegendruck von 300 mm Wassersäule nur 0,03 Atm. ausmacht, somit eine absolute Drucksteigerung um nur 3 Proz. vorhanden ist, so hat diese größere Auflösungsfähigkeit des Teeres für Kohlenwasserstoffe keinen bedeutenden Einfluß.

Der größte Übelstand, den ein hoher Druck hervorruft, liegt also in der Vermehrung der Gasverluste. Um diesen Nachteil zu beseitigen, verwendet man die Gassauger (auch Exhaustoren genannt), welche das Gas aus dem Gaserzeugungsapparat ansaugen und unter Druck setzen.

Man regelt dann die Wirksamkeit der Gassauger derart, daß beim Austritt aus den Gaserzeugungsapparaten (also bei Steinkohlengas beim Austritt aus der Vorlage) ein Druck von 0 mm herrscht, d. h. daß der Druck in der Vorlage ebenso groß ist, wie der äußere Luftdruck. Allerdings herrscht dann in der Retorte, wenn eine Tauchung in der Vorlage vorhanden ist, noch ein Gasdruck, der eben der Tauchung in der Vorlage entspricht, also etwa 30 bis 50 mm. Es ist jedoch nicht zweckmäßig, das Gas so stark anzusaugen, daß in der Retorte der Druck Null herrscht, denn dann würde in der Vorlage ein beträchtlicher Unterdruck vorhanden sein müssen, und es läge die Gefahr nahe, daß dann durch undichte Stellen oder beim Öffnen irgend welcher Verschlüsse Luft in die Gasleitung eingesogen wird.

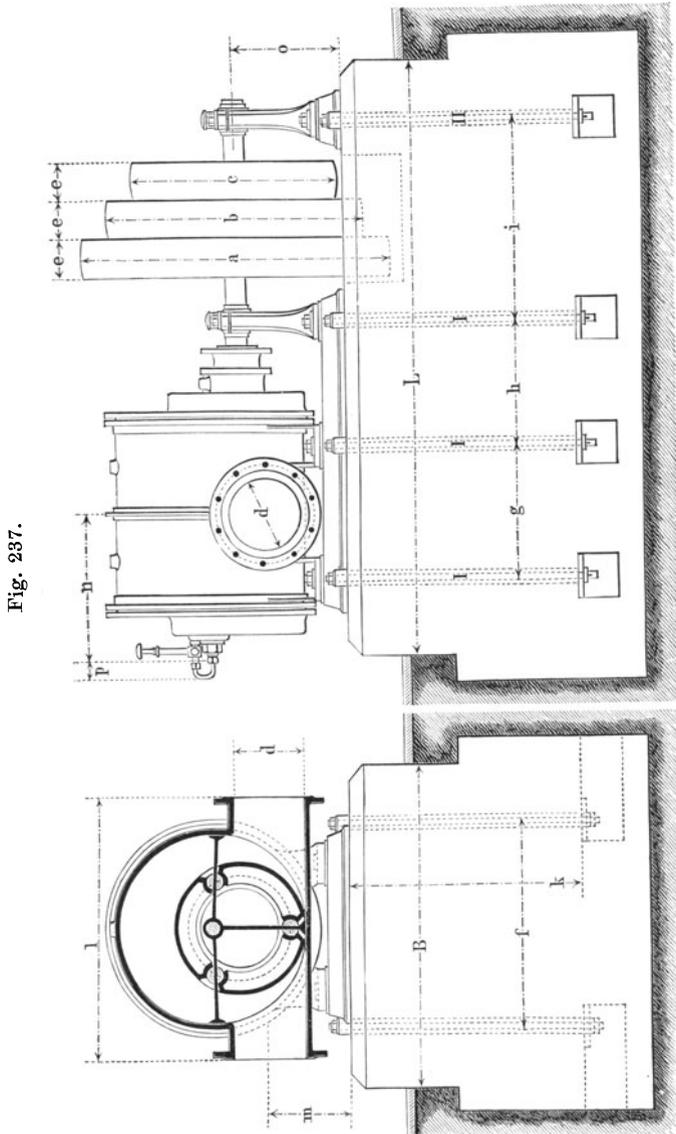
In manchen Fällen läßt man die Sperrflüssigkeit in der Vorlage so tief stehen, daß die Rohre nicht mehr darin eintauchen. Bei diesem Betriebe mit sogenannten trockenen Vorlagen herrscht in der Vorlage derselbe Druck wie in der Retorte, und man kann dann auch in der Retorte den Druck Null erreichen, was die Verluste noch weiter vermindert<sup>1)</sup>.

Die Anwendung der Gassauger macht sich jedoch nur bei größeren und mittleren Gaswerken bezahlt. Der Betrieb derselben macht schon eine bessere Kontrolle erforderlich, und außerdem ist auch eine Antriebskraft für den Gassauger nötig. Als solche verwendet man entweder Dampfmaschinen oder

---

<sup>1)</sup> Vgl. Journ. f. Gasbel. 1886, S. 1012.

Gasmotoren. Bei ersteren ist somit auch eine Dampfkesselanlage notwendig. Die untere Grenze der Anwendung von Gassaugern ist bei Werken von etwa 1500 m<sup>3</sup> Tagesleistung gegeben<sup>1)</sup>.



Der Gassauger soll nicht zu weit entfernt von den Gaserzeugungsapparaten aufgestellt sein, da nur dann der Druck in diesen genau gleich gehalten werden kann. Am besten empfiehlt sich die Aufstellung zwischen den Vor-  
kühlern und den Teerscheidern.

<sup>1)</sup> Steuernagel, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 625.

Scheinbar einfach würde die Ansaugung des Gases und Unterdrucksetzung desselben mit Hilfe eines Körtingschen Injektors erfolgen. Diese Apparate, die sich in sonstigen Betrieben und unter anderen Verhältnissen vorzüglich bewährt haben, sind hier aber minder empfehlenswert, weil durch die verhältnismäßig große Dampfmenge, welche zum Betriebe derselben erforderlich ist, eine neuerliche Erwärmung des Gases eintritt und infolgedessen wieder ein Kühler dahintergeschaltet werden muß, um den Dampf zu kondensieren und das Gas abzukühlen. Zufolge dieser neuerlichen Erwärmung kann dann eine verminderte Naphtalinausscheidung stattfinden und demzufolge der Übelstand der Naphtalinverstopfungen stärker hervortreten. Man ist deshalb von der Anwendung derartiger Apparate abgekommen<sup>1)</sup>.

Der älteste Gassauger, welcher sich allgemein in die Praxis Eingang verschaffte, ist der Bealesche. Er besteht aus einem zylindrischen Gehäuse, in welchem zwei Flügel um eine exzentrisch angeordnete Welle rotieren und an den Wandungen des Gehäuses schleifen, so daß sich der Raum neben diesen Flügeln auf der einen Seite vergrößert, auf der anderen Seite verkleinert, somit von der einen Seite ein Ansaugen des Gases stattfindet, während dasselbe auf der anderen Seite komprimiert wird.

Die zweiflügeligen Exhaustoren sind jedoch sehr bald durch die dreiflügeligen überholt worden, welche den Vorteil eines viel größeren Wirkungsgrades besitzen. Fig. 237 zeigt einen solchen dreiflügeligen Exhaustor. An einer zentralen Welle, die von einem beweglichen Rohre umgeben ist, sitzen, an drei Gelenken pendelnd, drei Flügel. Diese werden von einem exzentrisch angeordneten Kolben bewegt, der sich um dieselbe Achse dreht. Die Dichtung zwischen diesem kreisrunden zylindrischen Kolben und den einzelnen Flügeln erfolgt in genau ausgearbeiteten Schlitzen, welche die Flügel aufnehmen und führen. Bei der Rotation des exzentrischen Kolbens, der in der Zeichnung in der untersten Stellung im zylindrischen Gehäuse angegeben ist, wird das Gas von links her angesogen und nach dem rechten Ausgangsstutzen herausgedrückt. Die Schmierung erfolgt durch die hohle Achse des Apparates.

Bei dem Gareisschen Gassauger bewegt sich ein Kolben in einem Zylinder, ganz in der Art, wie dies bei Zylindergebläsen der Fall ist. Der Kolben erhält jedoch während des Hubes gleichzeitig eine Drehung, durch welche die Steuerung der Gaszu- und -abgänge bewirkt wird, so daß keine weiteren beweglichen Organe vorhanden sind.

Zur Schmierung der Gassauger darf kein Mineralöl verwendet werden, sondern Rüböl, da ersteres mit dem Teer des Steinkohlengases Verdickungen gibt, welche den Betrieb des Gassaugers stören. Auch ist jährlich mindestens einmal eine gründliche Kontrolle und Reinigung jedes Saugers erforderlich.

Die verhältnismäßig langsam rotierenden vorhin beschriebenen Gassauger vermögen bei jeder Umdrehung nur eine beschränkte Menge von Gas zu befördern. Beim heutigen Betriebe größerer Gaswerke, die so außerordentlich große Gasmengen zu bewältigen haben, strebt man danach, rascher rotierende Apparate als Gassauger zu verwenden. Es ist naheliegend, auf die Gebläse zu greifen, die man bisher zur Förderung großer Luftmengen benutzt hat.

---

<sup>1)</sup> Bei einem Dampfdruck von 3 Atm. werden pro 100 m<sup>3</sup> Gasansaugung 13 kg Dampf benötigt.

Es werden daher auch die bekannten Roots-Gebläse als Gassauger verwendet, bei denen zwei eigentümlich geformte, ineinander eingreifende Flügel in einem elliptischen Gehäuse rotieren.

Noch weit billiger und bei gleicher Größe noch viel leistungsfähiger sind die Zentrifugalventilatoren. Bei Luftgebläsen verwendet man dieselben dann, wenn es sich nur um die Erzeugung geringer Drucke und die Förderung großer Gas- bzw. Luftmengen handelt. Sie scheinen also für den vorliegenden Zweck sehr geeignet. Sie haben weiter den Vorteil, daß sie zufolge der hohen Umdrehungszahl ein Zentrifugieren des Gases und daher eine Reinigung von Teer bewirken, denn die Teerteilchen werden an die Wandung des Gebläses geschleudert, bleiben haften und fließen schließlich von dort ab. Die Anwendung solcher Ventilatoren ist neuerdings von Körting empfohlen worden<sup>1)</sup>.

Solche Ventilatoren lassen sich auch zweckmäßig mit den rasch rotierenden Dampfturbinen kuppeln. Sinell<sup>2)</sup> berichtete über die Anwendung derartiger Dampfturbinen (Turbokompressoren). Diese eignen sich nicht nur in ihrer Anwendung als Exhaustoren, sondern auch zur Kompression des Gases zum Zwecke der Beförderung auf große Entfernungen (vgl. Kapitel 47). Ein solcher von 24 000 m<sup>3</sup> Tagesleistung ist z. B. in Mariendorf aufgestellt worden<sup>3)</sup>. Derselbe komprimiert das Gas auf 1200 mm Wassersäule, der Schleuderer besitzt geneigte Schaufeln und außen einen erweiterten Raum, in welchem die Geschwindigkeit des Gases in Druck verwandelt wird. Ein Rückführungskanal bringt das Gas zur Mitte des nächsten Schaufelrades. Die Drucksteigerung ist proportional dem Quadrat der Umlaufgeschwindigkeit. Vor Roots-Gebläsen haben die Turbokompressoren den Vorteil des geringeren Raumbedarfes<sup>4)</sup>. Auch ist bei diesen die Reibung vermieden, welche bei Roots-Gebläsen zwischen den Flügeln und den Wänden des Gehäuses bei geringen Temperaturen eintritt. Vor Kolbenkompressoren haben die Turbokompressoren den Vorteil, daß keine empfindlichen Ventile vorhanden sind. Die Dichtung der Stopfbüchsen erfolgt mit Wasser. Pro HP-Stunde werden 10 kg Dampf verbraucht. Ein weiterer Vorteil gegenüber den sonstigen Gassaugern liegt darin, daß die Turbokompressoren bei geschlossenen Schiebern angelassen werden können und daher nur wenig Bedienung benötigen.

Pfudel<sup>5)</sup> berichtete über einen Turbokompressor, der mit einer Lavaturbine gekuppelt ist. Dieser arbeitet nach System Rateau (zweistufig) und leistet bei 4000 Touren 5000 m<sup>3</sup> stündlich bei einer Antriebskraft von 25 HP. Die Turbine macht 20 000 Touren pro Stunde. Die Regulierung des Ganges erfolgt gemäß der Gaserzeugung durch eine Regulierdüse, welche ähnlich wie ein Hahnscher Regler betätigt wird (vgl. S. 536).

Eine Umgangsleitung ist bei der Verwendung eines Turbogebälases als Exhaustor nicht nötig, da die Schaufelräder auch bei Stillstand Gas hindurchgehen lassen. Der Dampfverbrauch beträgt bei zwei Drittel Belastung 15 kg pro HP-Stunde.

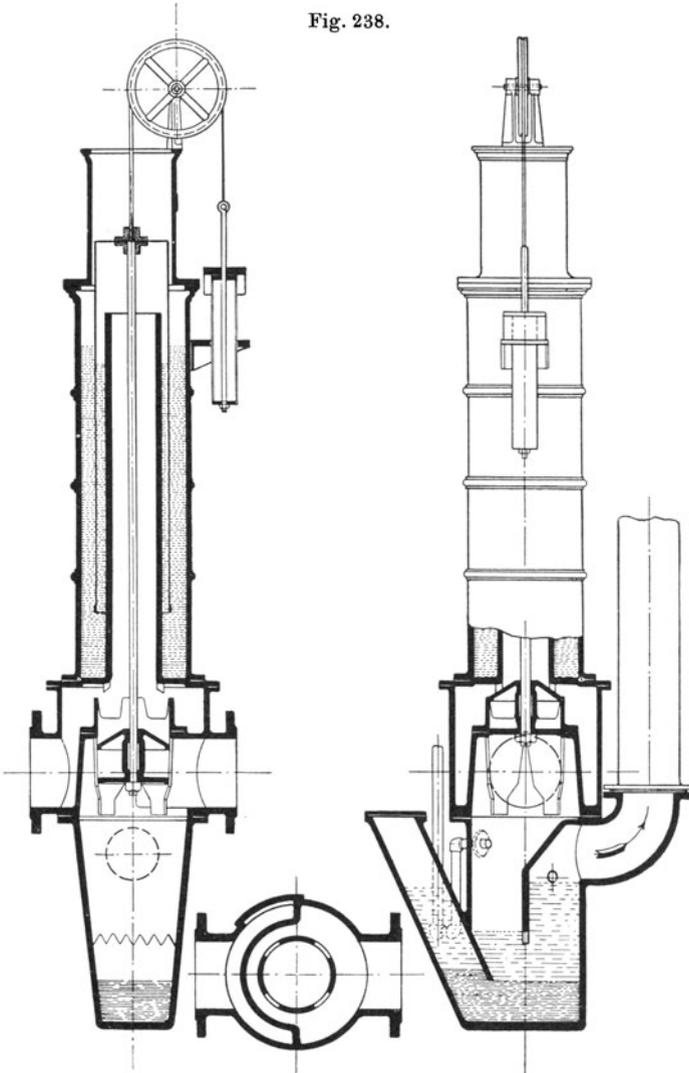
Wie schon S. 530 erwähnt, ist die Regelung der Saugwirkung der Gassauger von besonderer Wichtigkeit. Diese Regelung erfolgt auf zweierlei Weise, einmal indem eine Umgangsleitung um den Gassauger hergestellt wird,

---

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 1108. — <sup>2)</sup> Ebend. 1909, S. 651. — <sup>3)</sup> Von der Firma Brown, Boveri & Co. — <sup>4)</sup> Kobbert, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 675; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 460. — <sup>5)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 673; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 460.

in welche ein automatischer Regler derart eingebaut wird, daß bei zu schnellem Gange des Exhaustors, also dann, wenn von demselben eine zu hohe Saugwirkung hervorgerufen wird, ein Teil des Gases aus der Druckleitung in die Saugleitung zurückfließt, und zweitens dadurch, daß die Tourenzahl des Gas-

Fig. 238.



saugers von dem Druck auf der Saugseite beeinflusst wird, Letzteres kann allerdings zweckmäßig nur bei Anwendung von Dampfmaschinen erfolgen. Außerdem muß noch darauf Rücksicht genommen werden, daß durch irgendwelche Vorkommnisse, wie Abfallen des Riemens von einer Transmission oder dergleichen, der Gassauger plötzlich still steht. In diesem Falle wären die Gaserzeugungsapparate vollständig abgeschlossen, das Gas könnte sich nirgends Luft verschaffen, so daß es zu einer ganz bedeutenden Drucksteigerung

kommen könnte. Um dies zu vermeiden, richtet man das Regelungsorgan in der Umgangsleitung des Gassaugers derart ein, daß, wenn in der Saugleitung plötzlich ein hoher Druck eintritt, entweder eine Klappe geöffnet wird oder aber das Gas sich sonstwie ins Freie Luft machen kann.

Bei älteren Gaswerken wendete man öfters in der Umgangsleitung des Gassaugers eine sogenannte Bypassklappe an, welche sich zufolge des Gasdruckes öffnete, wenn dieser in der Saugleitung zu hoch anstieg. Da solche Klappen jedoch einen ganz beträchtlichen Druck benötigen, ehe sie sich öffnen, ist man jetzt davon abgekommen und verwendet andere Regelungsorgane, die wir nunmehr kennen lernen wollen.

Die sogenannten Umlaufregler, welche die Aufgabe haben, das vom Gassauger zuviel beförderte Gas zurückfließen zu lassen, wenn die Saugwirkung auf der Saugseite zu groß wird, sind zuerst von Elster eingeführt worden. Eine Verbesserung des Apparates ist in dem heute allgemein eingeführten Dessauer Umlaufregler (Fig. 238) gegeben.

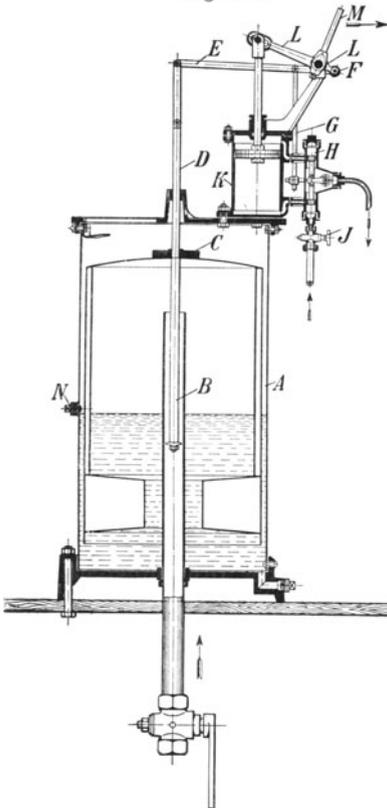
Die Zeichnung ist derart aufzufassen, daß im Grundriß der rechts bezeichnete Stutzen an die Saugleitung angeschlossen ist, während der linke Stutzen zur Druckleitung führt. Der Regler besitzt ein entlastetes Ventil in der Art wie ein gewöhnlicher Druckregler. Dieses Ventil hat jedoch eine andere Funktion. Es hängt an einer Glocke, die den gleichen Durchmesser hat wie das Ventil selbst, und ist außerdem durch ein veränderbares Gewicht entlastet. Der von der Druckseite her einwirkende Gasdruck ist somit vollständig wirkungslos, denn er wirkt auf die Glocke, die im Wasser schwimmt, ebenso stark nach oben wie auf den Ventilquerschnitt nach unten. Dagegen hat der Druck auf der Saugseite eine Wirkung auf das Ventil, indem er auf die Unterseite des Ventiltellers wirkt, während die Oberseite der Glocke von der Außenluft belastet wird. Das Ventil wird also von der Druckdifferenz zwischen Saugleitung und Außenluft betätigt, und diese ist es ja eben, die man konstant erhalten will. Ist die Saugwirkung zu stark, d. h. läuft der Gassauger zu rasch, so wird der Ventilteller nach abwärts gezogen, und es öffnen sich die zackenförmigen Ausnehmungen an dem unteren Teile des zylindrischen Ventils. Es fließt also das zuviel beförderte Gas von der Druckseite auf die Saugseite zurück. Umgekehrt, wenn die Saugwirkung zu gering wird, also der Druck steigt, bewegt sich das Ventil höher nach aufwärts und verschließt zum Teil diese zackenförmigen Ausnehmungen, so daß weniger Gas durch die Umlaufleitungen nach rückwärts fließen kann.

Um nun gleichzeitig zu verhindern, daß bei gänzlichem Stillstande des Gassaugers zu hoher Druck in der Saugleitung entstehen kann, ist unterhalb des Apparates ein Siphonverschluß angebracht, durch welchen das Gas ins Freie austreten kann, wenn der Druck zu hoch geworden ist. Gleichzeitig aber schließt das Ventil nach oben zu vollständig ab, so daß nicht etwa auch gleichzeitig das Gas aus dem Behälter zurücktreten und in die Ausblaseleitung entweichen kann.

Die zweite Art der Regelung beruht, wie gesagt, darauf, daß die Tourenzahl des Gassaugers durch einen geeigneten Regelungsmechanismus dem Bedarf entsprechend geregelt wird. Dies ist allerdings nur dann möglich, wenn die Dampfmaschine mit dem Gassauger direkt gekuppelt ist. Die Regelung kann in einfachster Weise dadurch erfolgen, daß man den Druck der Saugseite bzw. den Druck in der Vorlage durch eine Rohrleitung unter eine kleine

Gasbehälterglocke führt. Diese wird durch Gegengewichte derart entlastet, daß sie unter dem Drucke Null steht. Man überträgt dann ihre Bewegungen auf ein Drosselventil in der Dampfleitung zur Dampfmaschine derart, daß bei großer Saugwirkung, also bei sinkender Glocke, das Drosselventil in der Dampfleitung verschlossen wird, wodurch die Tourenzahl des Gassaugers entsprechend abnimmt. Ein solcher Gassauger ist neuerdings von der Gasmesserfabrik Mainz<sup>1)</sup> konstruiert worden.

Fig. 239.



Dieser Regler ist auch für Gasmotorenbetrieb ausgebildet worden.

Ein anderer Regler, welcher in ähnlicher Weise die Bewegung einer vom Vorlagedruck betätigten Glocke auf das Drosselventil einer Dampfmaschine überträgt, ist der Hahnsche Regler. Bei diesem wird die Bewegung der Glocke auf ein Wendegetriebe übertragen, welches von der Dampfmaschine angetrieben ist, und das Dampfdruckventil entweder schließt oder öffnet, je nachdem die Glocke sinkt oder steigt.

Ein sehr zweckmäßiger und exakt wirkender Regler in dieser Art ist von Pintsch ausgeführt (Fig. 239). Die Reglerglocke, deren Inneres mit der Vorlage in Verbindung steht, ist durch einen Schwimmerkasten entlastet. Sie hängt an einem Hebel und besitzt bei C eine Platte zur Auflegung von Gewichten zum Zwecke der Einstellung des richtigen Druckes. Der Hebel E ist durch die Stange G mit einer Steuervorrichtung verbunden, welche Druckwasser entweder unter oder über einen Kolben, der sich im Zylinder K bewegt, führt. Durch den Wasserdruck wird der Kolben gehoben oder gesenkt, und dieser betätigt den Kniehebel LM, der mit dem Regulierschieber der Dampfmaschine verbunden ist.

## 42. Absperrvorrichtungen.

Im Gaswerksbetriebe ist die Anwendung geeigneter Absperrvorrichtungen für Rohrleitungen natürlich von besonderer Bedeutung. Gewöhnlich dienen als solche die sogenannten Gasschieber, die Gehäuse besitzen, welche dem Gase den vollen Durchgangsquerschnitt freilassen, wenn der Schieber geöffnet ist, und in denen sich eine Scheibe vom Durchmesser des betreffenden Rohres hin und her schieben läßt. Die Verschiebung erfolgt mit Hilfe einer Schraubenspindel, welche durch eine Stopfbüchse nach außen geführt ist. Sowohl das Gehäuse wie der Schieber selbst besitzen sorgfältigste bearbeitete Flächen, die gegen das Innere etwas konisch zulaufen, so daß der Schieber beim Verschließen zwischen die Dichtflächen hineingepreßt wird.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 752.

Das Gehäuse des Schiebers besteht aus zwei Teilen, so daß durch das Abnehmen des einen Teiles der Schieber vollständig bloßgelegt und herausgenommen werden kann. Die Betätigung der Schraubenspindel erfolgt durch ein Handrad.

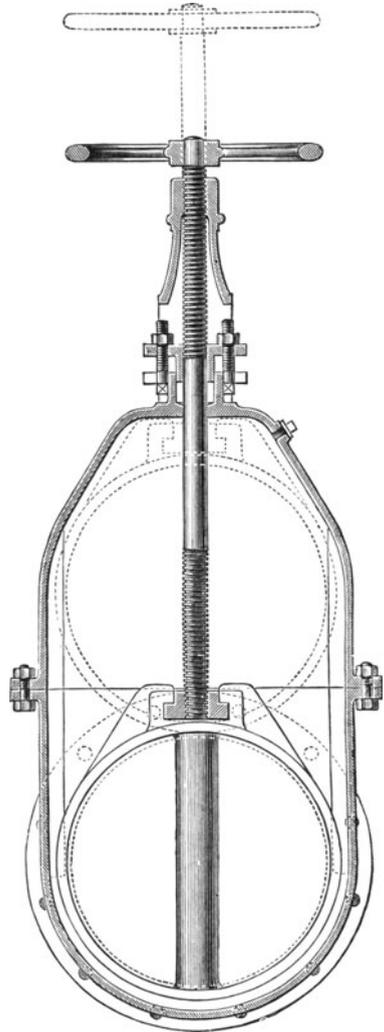
Es gibt nun zwei verschiedene Gattungen von Schiebern. Bei der einen sitzt die Schraubenspindel im Inneren des Gehäuses, und der Schieber dreht sich an der Spindel in die Höhe, während das Handrad in der gleichen Stellung verbleibt, bei der anderen befindet sich die Spindel außerhalb des Gehäuses, so daß sich das Handrad mit der Spindel beim Öffnen des Schiebers in die Höhe dreht. Solche Schieber nennt man Schieber mit steigender Spindel. Sehr zweckmäßig ist die Kombination beider Vorrichtungen, wie sie in Fig. 240 dargestellt ist. Die Spindel dieses Schiebers besitzt zwei in umgekehrter Richtung wirkende Schrauben, deren eine im Gehäuse selbst läuft, während die andere außerhalb desselben angebracht ist. Beim Drehen des Handrades wird somit die ganze Spindel mit dem Handrad in die Höhe gedreht, während gleichzeitig der Schieber sich an der Spindel noch in die Höhe schraubt, so daß der Schieber den doppelten Hub ausführt wie die Schraubenspindel bzw. das Handrad. Derartige Schieber besitzen den Vorzug, daß man zufolge der steigenden Spindel stets erkennen kann, ob der Schieber geöffnet ist oder nicht, denn im ersteren Falle steht das Handrad höher als im letzteren, und daß gleichzeitig ein rasches Öffnen oder Schließen des Schiebers zufolge der doppelten Hubhöhe erzielt wird.

Noch schnelleres Öffnen und Schließen erzielt man mit den sogenannten Schnellschlußschiebern. Sie sind im allgemeinen ebenso konstruiert wie die gewöhnlichen Gasschieber, besitzen jedoch keine Schraubenspindel mit Handrad, sondern der Schieber wird an der durch eine Stopfbüchse geführten glatten Spindel durch einen Handhebel herausgezogen oder hineingedrückt. Da man keinen so starken Druck ausüben kann als mit der Schraubenspindel, ist der Abschluß weniger sicher.

Die Gehäuse solcher Schieber werden stets aus Gußeisen verfertigt, die Schraubenspindeln hingegen aus Schmiedeeisen.

In anderer Art wirken die Tellerventile. Bei diesen wird eine Platte gegen die Gasein- oder -austrittsöffnung gepreßt, und auch diese Platte sitzt

Fig. 240.



wieder an einer Schraubenspindel, welche durch ein Handrad gedreht wird. Solche Tellerventile werden stets nur mit steigender Spindel ausgeführt. Je nach der Anordnung der Ein- und Ausgangsrohrstutzen unterscheidet man Eckventile (Fig. 241), Durchgangsventile (Fig. 242), ferner Kreuzventile, welche aus der erstgenannten Figur hervorgehen, wenn man sich auch rechts einen Stutzen in derselben Weise angebracht denkt, wie dies auf der Zeichnung links der Fall ist. Solche Kreuzventile dienen dazu, von einer geraden Rohrleitung abzweigend eine verschließbare Gasaustrittsöffnung anzubringen.

Die Tellerventile ermöglichen es auch, den Gasaustritt nach einer Seite frei zu geben und ihn gleichzeitig nach einer anderen Seite abzuschließen. Solche Ventile nennt man Dreiwegventile oder Baumertventile. In Fig. 243 ist ein solches dargestellt. Die Wirkungsweise derselben ist aus der Zeichnung ohne weiteres verständlich. Sie besitzen einen immer offenstehenden Stutzen, der in der Zeichnung nach links gerichtet ist; ferner besitzen sie Gasein- oder -austrittsstutzen, welche in der Zeichnung nach unten und nach rechts gehen, von denen der eine fallweise von dem Ventilteller abgeschlossen werden kann, während gleichzeitig der andere offen steht. Mittels eines solchen Dreiwegventils ist es also möglich, das in der Zeichnung von links kommende Gas entweder nach unten oder in gerader Richtung nach rechts fortzuleiten. Solche Ventile sind hauptsächlich bei Reinigeranlagen in Anwendung.

Man kann auch eine größere Anzahl derartiger Tellerventile in einem gemeinsamen Gehäuse unterbringen. Dadurch ist es z. B. möglich, die ganze Umschaltung einer komplizierteren Reinigeranlage in einem einzigen Gehäuse zu vereinigen. Es sind dies die Weckschen Ventilwechsler.

Ein anders geartetes Ventil, bei welchem ein Teller gegen einen vertikal stehenden Dichtungsrand angepreßt wird, indem ein Kniehebel durch eine Spindel nach abwärts gedrückt wird, ist von Elster angegeben worden. Es dient zum raschen Schließen und Öffnen einer Leitung.

Während die Tellerventile einfacher in ihrer Konstruktion und daher auch billiger sind, schließen dieselben nach längerem Gebrauch gewöhnlich nicht so vollkommen dicht ab wie die Gasschieber, namentlich dann, wenn sich Unreinigkeiten oder Rost auf denselben ablagern. Bei den Gasschiebern wird durch die gleitende Bewegung die Unreinigkeit entfernt, während dieselbe beim Tellerventil zerdrückt werden muß, was nicht immer vollkommen gelingt. Ein neu eingebautes Tellerventil schließt zwar gewöhnlich ebenso wie ein Schieber, doch darf man nicht voraussetzen, daß derartige Absperrvorrichtungen nach langem Gebrauch noch immer vollkommen dicht bleiben. Namentlich bei großen Rohrleitungen muß dies voll berücksichtigt werden, weil hier verhältnismäßig kleine Undichtheiten große Gasausströmungen zur Folge haben können, die oft gefährlich werden. Aus diesem Grunde verwendet man bei großen Gasleitungen häufig auch hydraulische Ventile, welche einen vollständig dichten Abschluß gewährleisten, wenn man dafür sorgt, daß stets die nötige Flüssigkeit in diesen vorhanden ist. Fig. 244 zeigt ein hydraulisches Ventil. Sie sind ähnlich konstruiert wie die Tellerventile, nur daß der Teller einen zylindrischen Ansatz erhält und an Stelle eines Dichtungsringes eine Wassertasse vorhanden ist, welche natürlich diejenige Höhe besitzen muß, die den Gasdruck, der auf der einen Seite herrscht, noch überwinden kann. Zweckmäßig ist es, derartige hydraulische Ventile mit einem Wasserstandsglas

Fig. 241.

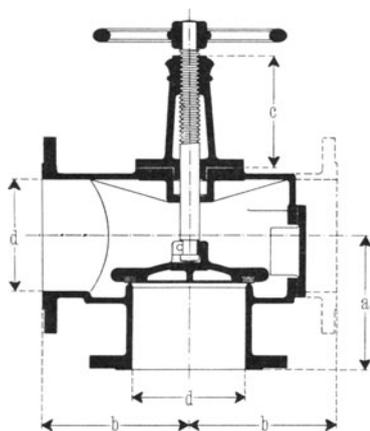


Fig. 242.

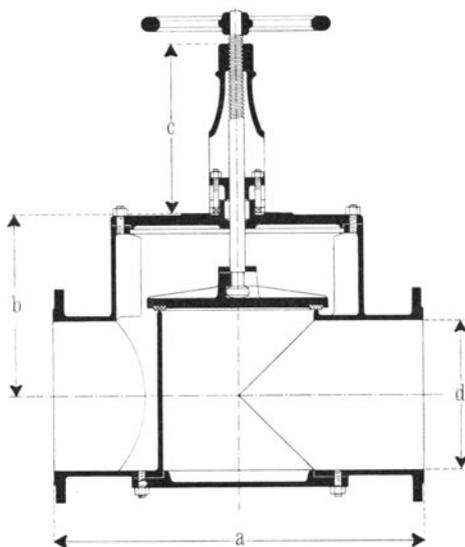


Fig. 243.

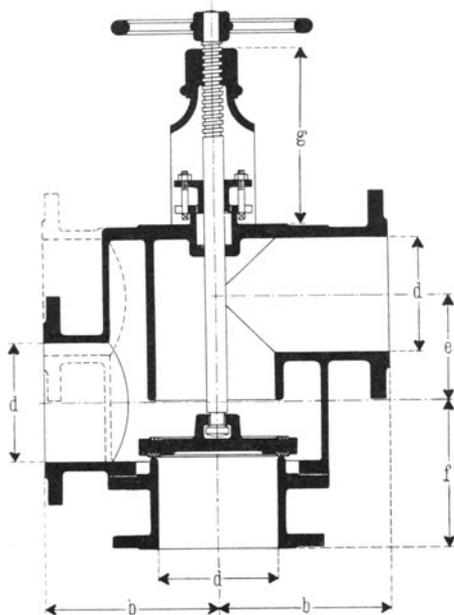
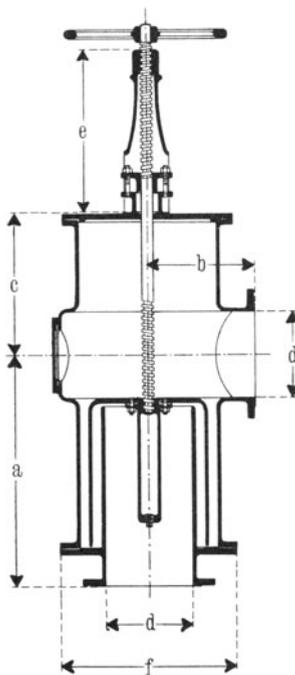


Fig. 244.



zu versehen, damit der Stand des Flüssigkeitsspiegels stets kontrolliert werden kann. Anderenfalls können derartige Ventile noch gefährlicher werden als undichte Schieber, weil beim Mangel des Wassers hier große Quantitäten von Gas auf einmal austreten können, was bei den Schiebern niemals der Fall ist. Bei ordnungsmäßiger Kontrolle hingegen kann man sich auf den vollständig dichten Abschluß dieser Ventile verlassen. Sie sind daher nur in großen Gaswerken empfehlenswert, wo eine regelmäßige Kontrolle derselben eingerichtet werden kann.

Diese hydraulischen Ventile haben naturgemäß einen hohen Hub, namentlich dann, wenn es sich um die Absperrung von Leitungen, in denen Gas von hohem Druck steht, handelt. Es muß ja der ganze Gasdruck von der Wassersäule in der Abschlußstasse des Ventiles überwunden werden. Um einen kleineren Hub bzw. die Fähigkeit des Ventiles zu erlangen, auch größere Gasdrucke dicht abzuschließen, kann man an Stelle von Wasser Quecksilber verwenden. Die Tassen können dann entsprechend kleiner ausgeführt werden. Im übrigen ist aber die Konstruktion der Quecksilberventile die gleiche wie beim hydraulischen Wasserabschluß<sup>1)</sup>.

## IX. Bearbeitung, Analyse und Verwertung des Teers und des Ammoniaks.

Wir können diesen wichtigen Gegenstand nur in beschränkter Weise behandeln, und zwar nur insofern er mit der Gasbeleuchtung und Gasindustrie in engerem Zusammenhange steht und insofern Gaswerke damit zu tun haben. Im übrigen muß auf die Werke über chemische Technologie verwiesen werden.

Welch hohe volkswirtschaftliche Bedeutung die Nebenprodukte der Gasindustrie haben, selbst wenn man von dem wichtigsten Nebenprodukt, dem Koks, absieht, zeigt die nachstehende Zusammenstellung<sup>2)</sup>. Danach betrug der Wert der Nebenprodukte in Großbritannien an

Ammoniumsulfat . . . . .	36 000 000	ℳ
Kohlengasteer und Wassergasteer . . . . .	18 000 000	„
Schwefel und ausgebrauchter Reinigungsmasse . . . . .	2 000 000	„
Ferrocyankalium . . . . .	1 800 000	„
Graphit . . . . .	150 000	„

Allerdings wird der Teer nicht nur in den Gaswerken, sondern in größerem Maße auf den Kokereien gewonnen, und das gleiche ist beim Ammoniak der Fall. In neuester Zeit ist auch die synthetische künstliche Darstellung des Ammoniaks aus seinen Elementen: Stickstoff und Wasserstoff gelungen<sup>3)</sup>. Trotzdem ist wenigstens vorläufig nicht zu befürchten, daß diese künstliche Darstellung des Ammoniaks Einfluß auf den Preis desselben haben dürfte<sup>4)</sup>.

Wir wollen uns nun der genaueren Besprechung dieser beiden Nebenprodukte zuwenden.

<sup>1)</sup> Solche Quecksilberventile werden unter anderen von der Firma Bopp u. Reuther, Mannheim, angefertigt. — <sup>2)</sup> Davidson, Journ. Soc. Chem. Ind. 1909, S. 1283; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1173. — <sup>3)</sup> Haber, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 367; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 235. — <sup>4)</sup> K. Bunte, Chem.-Ztg. 1910, S. 346; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 486.

### 43. Der Teer.

Die Ausbeute an Teer aus der Kohle beträgt je nach der Kohlensorte und je nach der Art der Entgasung derselben (vgl. S. 305 und 320) 3 bis 6 Proz. Durch vorsichtige Erhitzung bei der Entgasung der Kohle kann man allerdings wesentlich höhere Ausbeutezahlen an Teer erreichen, aber im allgemeinen geht man ja darauf aus, möglichst viel Gas zu erzeugen, und dies geschieht, indem ein großer Teil der Teerdämpfe an den Wänden der heißen Entgasungsräume und an dem heißen Koks zersetzt wird. Je höher die Temperatur der Entgasung war, desto mehr tritt eine solche Zersetzung ein und desto dicker und schwerer wird der Teer.

Im Mittel beträgt das spezifische Gewicht des Teers 1,15.

Die Zusammensetzung des Teers schwankt natürlich auch nach der vergasten Kohlensorte und nach der Art der Vergasung. Die durchschnittliche Zusammensetzung sei wie folgt wiedergegeben <sup>1)</sup>:

Benzol und Toluol . . . . .	1,5	Proz.
Xylol . . . . .	0,8	„
Andere Homologe der Benzolreihe . . . . .	0,2	„
Phenol (Karbolsäure) . . . . .	0,5	„
Kresol . . . . .	1,0	„
Andere Homologe des Phenols . . . . .	0,5	„
Naphtalin . . . . .	6,0	„
Pyridin . . . . .	0,25	„
Schwere Öle . . . . .	20,0	„
Anthracen . . . . .	2,0	„
Asphalt . . . . .	38,0	„
Kohlenstoff . . . . .	24,0	„
Wasser . . . . .	4,0	„
Gase und Verlust . . . . .	1,25	„

Summe 100,00 Proz.

Der obere Heizwert des Teers schwankt je nach seiner Zusammensetzung zwischen 8500 bis 9000 Kal. pro Kilogramm. Zur Bestimmung desselben in der kalorimetrischen Bombe (vgl. S. 129) wird der Teer in ein Zelluloidblöckchen von Schleicher u. Schüll, dessen Heizwert bestimmt ist, aufgesogen und in der Bombe verbrannt <sup>2)</sup>. Die Viskosität des Teers schwankt je nach der Erzeugungsmethode zwischen 29 und 38 (bei 20° gemessen), beim Erwärmen auf 30° vermindert sich die Viskosität auf 9 bis 14, bei 60° auf 2 bis 14 Englergrade.

Der Verkaufspreis des Teers ist nur in beschränkter Weise von der Beschaffenheit desselben abhängig <sup>3)</sup>. Die Ansprüche der Käufer beziehen sich auf Wasser- und Pechgehalt des Teers, Kohlenstoffgehalt und Koksrückstände, auf den Gehalt an Leicht-, Mittel-, Schwer- und Anthracenölen, auf [Dünnflüssigkeit und spezifisches Gewicht. Die Teerverkaufsvereinigung in Bochum berücksichtigt hingegen nur den [Wassergehalt. Danach wird der 5 Proz. übersteigende Wassergehalt von den berechneten Teermengen gekürzt.

Bei der Destillation des Teers gehen zwischen 0 und 100° geringe Mengen von Wasser und leichten öligen Produkten über (etwa 1 bis 8 Proz.), bei 100 bis 170° destillieren sogenannte Leichtöle vom spez. Gew. bis zu 0,94 und

<sup>1)</sup> Aus Gaskalender 1910, S. 87. — <sup>2)</sup> Allner, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 490. — <sup>3)</sup> Möllers, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 130.

ebenfalls eine geringe Menge von Wasser. Diese Ölmenge beträgt 2 bis 4 Proz. Bei 170 bis 230° destilliert Mittelöl vom spez. Gew. bis zu 0,98, etwa 7 bis 14 Proz. des gesamten Teers. Bei 230 bis 270° destillieren die Schweröle mit einem spezifischen Gewicht, das größer als das des Wassers ist, das ist bis zu 1,04. Die Menge desselben beträgt 7 bis 12 Proz. Über 270° destilliert das Anthracenöl mit einem spez. Gew. bis zu 1,08 in der Menge von 18 bis 30 Proz. Der Rückstand ist in der Hitze dickflüssig, in der Kälte fest und spröde und wird als Asphalt, Kitt, Pech u. dgl. verwendet

Göh rum<sup>1)</sup> fand in einem Teer, der aus nach modernem Verfahren betriebenen Horizontalretorten gewonnen war,

Leichtöle . . . . .	3,5 Proz.
Mittelöle . . . . .	13,2 „
Schweröle . . . . .	11,5 „

Die Destillation des Teers wird gewöhnlich in den chemischen Fabriken ausgeführt, wohin die Gaswerke ihren Teer verkaufen. In größeren Gaswerken kann jedoch die Destillation des Teers im Werke selbst bereits rentabel sein, so z. B. gab Schneider<sup>2)</sup> eine Rentabilitätsberechnung über eine Destillationsanlage von 10 Tonnen täglicher Verarbeitung, welche mit einem Reinertrage von mehr als 17 Proz. schließt. Danach würde also bereits bei einer Tagesproduktion von 60 000 m<sup>3</sup> Gas eine Teerdestillationsanlage rentabel erscheinen.

Die Untersuchung des Teers bezieht sich meistens nur auf den Wassergehalt, der allerdings von großer Bedeutung ist. Das Wasser scheidet sich in den Teergruben nie vollständig von dem Teer und bleibt in Form kleiner Tröpfchen in demselben suspendiert. Da das Wasser auch Ammoniaksalze enthält, ist es spezifisch schwerer als das gewöhnliche Wasser und trennt sich daher nicht leicht von dem etwa ebenso schweren Teer.

Bei der Probenahme ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß der Wassergehalt des Teers in verschieden hoch gelegenen Schichten stark schwanken kann<sup>3)</sup>. Man muß daher eine Probe über die ganze Höhe der Teerschicht in der Grube nehmen. Dies geschieht, indem man ein etwa 40 bis 50 mm weites Rohr, das unten mit einem Teller verschließbar ist, in die Teergrube taucht. Der Teller muß durch einen Drahtzug von oben aus abgeschlossen werden können, und man zieht dann das über die ganze Höhe mit Teer gefüllte Rohr heraus, wiederholt diese Operation an verschiedenen Stellen der Teergrube, denn auch in einer horizontalen Schicht ist die Zusammensetzung nicht überall die gleiche und mischt sämtliche auf diese Weise gewonnenen Proben, indem man sie gründlich durchrührt.

Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes wird der Teer nach Church<sup>4)</sup> zum Zwecke der Entwässerung auf 170° erwärmt; das hierbei übergehende Öl wird dem Teer wieder beigemischt und dann nach bekannten Methoden das spezifische Gewicht ermittelt.

Die Ausführung der Wasserbestimmung erfolgt am besten nach der Methode von Sengers. Das Wasser wird durch Erhitzen des Teers in einer Kupferblase abdestilliert. Der Deckel der Blase muß abnehmbar sein, damit man dieselbe leicht reinigen kann. Man wiegt 0,5 kg Teer in diese Destillations-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 573. — <sup>2)</sup> Ebend. 1909, S. 917. — <sup>3)</sup> Ebend. 1911, S. 696. — <sup>4)</sup> Journ. of Ind. and Eng. Chem. 1911, S. 227; Bitumen 1911, S. 222; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 823.

blase ein und erwärmt nicht von unten, sondern durch einen ringförmigen Brenner derart, daß die Oberfläche des Teers erhitzt wird. Die Kupferblase ist mit einem Kühler verbunden, und man destilliert so lange, bis der aus dem Kühler abtropfende Teer frei von Wassertröpfchen ist. Man fängt das überdestillierende Gemisch von Teer und Wasser in einem gläsernen Meßzylinder auf und läßt das Wasser absetzen. An der Skala des Meßzylinders kann man dann direkt die Wassermenge ablesen und auf das gesamte Teerquantum beziehen.

Bei der Destillationsmethode von Beck<sup>1)</sup> läßt man den Teer zum Zwecke der Wasserbestimmung in wasserfreies, auf 250° erhitztes Teeröl eintropfen. Die Kondensationsprodukte werden auch hier in einem Meßzylinder aufgefangen, und das Wasser wird direkt abgelesen<sup>2)</sup>.

Nach der Methode von Uhlig läßt man den Teer in ein schräg stehendes schmiedeeisernes Rohr von 30 cm Länge und 3 cm Durchmesser, welches mit einem Kühler verbunden ist, einfließen. Das Rohr wird zuerst an dem Ende erhitzt, wo die Teerschicht am dünnsten ist. Durch diesen Apparat wird das Stoßen vermieden, das sonst bei der Teerdestillation eintritt. Die Bestimmung des Wassers kann möglicherweise im Teer auch ebenso erfolgen, wie dies Wightrick und Traser<sup>3)</sup> für das Petroleum vorgeschlagen haben, nämlich indem man die Flüssigkeit auf Calciumcarbid einwirken läßt und das entwickelte Acetylen über Salzwasser auffängt und mißt.

Der Gehalt an Leicht-, Mittel- und Schwerölen wird gefunden, indem die Destillation bis zu den oben für diese Öle angegebenen Temperaturen durchgeführt wird. Deau und Dowus<sup>4)</sup> verwenden zur Destillation einen Destillierkolben, welcher durch einen elektrischen Widerstand im Inneren geheizt wird.

Die Bestimmung des Kohlenstoffgehaltes erfolgt durch Wägen desselben auf einem getrockneten Filter nach Extraktion mit Toluol.

Die Anwendung des Teers ist im Laufe der Entwicklung der Gasindustrie eine recht mannigfaltige und verschiedenartige gewesen, anfangs wußte man gar nicht, was man mit dem lästigen Nebenprodukt beginnen sollte und mußte dasselbe nutzlos verbrennen. Später brachte die Anilinfarbenfabrikation eine so reiche Anwendbarkeit der Produkte, welche aus dem Teer gewonnen wurden, daß der Preis derselben eine wesentliche Einnahme für die Gaswerke wurde. In neuerer Zeit ist aber wieder durch die Gewinnung der großen Mengen von Teer in den Kokereien der Preis desselben so weit zurückgegangen, daß es für die Gaswerke wieder zweckmäßig erscheint, sich nach einer Verwendung im eigenen Betriebe umzusehen.

Die zweckmäßigste Verwendung wäre natürlich die zur Gaserzeugung selbst. Auch der Teer besteht aus organischen Stoffen verschiedener Art, die sich durch Erhitzung zerlegen lassen, und die bei ihrer Zerlegung noch Gase liefern. Die Teervergasung ist daher wiederholt Gegenstand von Versuchen gewesen. Sie ist jedoch nirgends längere Zeit praktisch in Betrieb geblieben. Das kommt wohl daher, daß der Teer aus hitzebeständigen Substanzen besteht, da er ja in der Hitze gebildet wurde und sich nur jene Bestandteile verändern können, die bei der ersten Destillation der Zersetzung entgangen sind. Insbesondere kann das Naphtalin nicht weiter verändert

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 965; Chem.-Ztg. 1909, S. 951. — <sup>2)</sup> Ein entsprechender Apparat hierfür wird von C. Gerhard in Bonn geliefert. — <sup>3)</sup> Zeitschr. f. angew. Chem. 1911, S. 1452; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1190. — <sup>4)</sup> Journ. of Ind. and Eng. Chem. 1911, p. 108; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1164.

werden, und geht bei der Teervergasung unverändert in das Gas über<sup>1)</sup>. Bei sehr hohen Temperaturen jedoch, z. B. beim Überleiten von Teer über glühenden Koks in Generatoren, tritt auch eine Zersetzung des Naphtalins unter Abscheidung von Wasserstoff und Kohlenstoff ein.

In neuester Zeit sind in der Versuchsgasanstalt des Deutschen Vereins der Gas- und Wasserfachmänner in Karlsruhe Untersuchungen über die Teervergasung ausgeführt worden<sup>2)</sup>. Dort wurde der Versuch angestellt, Teer mit Koksgrus gemischt zu vergasen. Man verwandte 1 Tl. Teer mit 2 Tln. Grus gemischt. Die Entgasungstemperatur betrug 1050°. 100 kg Teer gaben dabei 30 m<sup>3</sup> Gas, jedoch keine Nebenprodukte. Der Heizwert des Gases betrug 4500 Kal. und es wurden dabei 15 Proz. des gesamten Heizwertes in Gasform gewonnen. Das Gewicht des Kokes nahm pro 100 kg Teer um 62,7 kg zu. Der Koksgrus war jedoch durch den aus dem Teer abgeschiedenen Kohlenstoff nur ganz locker verkittet. Die Teerdestillate waren schmierig und verstopften die Betriebsleitung. Sie betragen 24 Proz. des angewendeten Teeres. Danach erscheint die Teervergasung in Retorten ziemlich ausgeschlossen. Es ist jedoch durchaus nicht ausgeschlossen, daß die Vergasung des Teers in Generatoren bei höheren Temperaturen, wobei eine viel weitgehendere Zerlegung der Stoffe eintritt und vornehmlich Wasserstoff und Sumpfgas gebildet wird, doch recht zweckmäßig durchgeführt werden kann.

Es muß auch berücksichtigt werden, daß der Teer sehr verschiedenartig ist, je nach der Art wie die Kohle entgast wurde. Hat man die Entgasung bei verhältnismäßig geringer Temperatur vorgenommen, wie dies z. B. bei dem Teer der Fall ist, der aus Generatoren, die mit Kohlen betrieben werden, gewonnen wird, so besitzt der Teer noch eine große Menge von Substanzen, welche bei der Erhitzung ganz beträchtliche Mengen von Gas ergeben. Nur wenn der Teer schon bei der Destillation der Kohle selbst zum größten Teil zu Gas verwandelt wurde und also nur die weniger zersetzlichen Stoffe noch im Teere bleiben, ist die weitere Vergasung nicht mehr zweckmäßig.

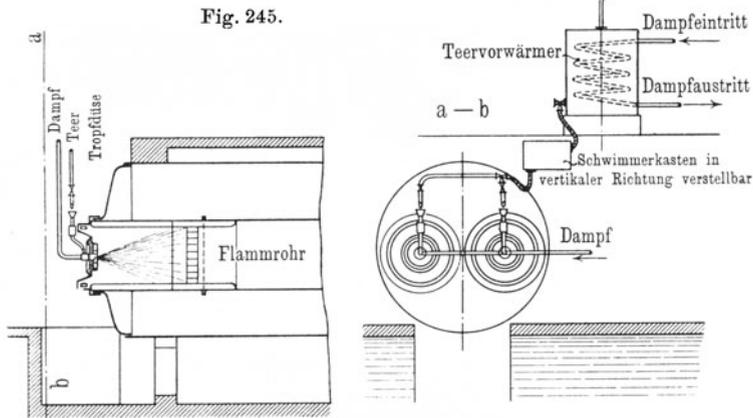
Ein anderes wichtiges Anwendungsgebiet des Teers ist die Beheizung im Gaswerksbetriebe. Die Teerfeuerung ist sowohl bei den Retortenöfen als auch zur Beheizung der Dampfkessel geeignet. Zum Zwecke der Bedienung der Unterfeuerung der Retortenöfen kann der Teer gemischt mit Koks verbrannt werden<sup>3)</sup>. Zu diesem Zwecke mündet die Teerleitung auf eine mit Falzen versehene Schamotteplatte; durch diese Falzen fließt der Teer auf den glühenden Koks und wird dort vergast. Die durch die Teerverbrennung erreichte Temperatur ist sehr hoch. Allerdings leiden hierdurch auch die Retorten und Generatoren. Auf 1 t verheizten Kokes werden 20 bis 25 kg Teer verwendet. Besser jedoch noch als das Einspritzen des Teers auf den Koks ist die Zerstäubung desselben durch einen Dampfstrahl im Generatorenraum. Die hohe Temperatur bewirkt eine hohe Leistungsfähigkeit der mit Teer befeuerten Öfen.

Colombo<sup>4)</sup> gibt das Verhältnis des Heizwertes vom Koks zum Teer wie 7300:10700 an. Auch Echinard<sup>5)</sup> empfahl die Retortenheizung mit Teer.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1136. — <sup>2)</sup> K. Bunte, ebend. 1910, S. 777; Zeitschr. d. österr. Gasvereins 1910, S. 527. — <sup>3)</sup> Maluquer, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 676; Teerverwertung in spanischen Gaswerken. — <sup>4)</sup> Journal de l'usine à gaz 1909, S. 326; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 20. — <sup>5)</sup> Journal de l'éclairage au gaz 1909, S. 253; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 46.

Der Teer soll auf 50 bis 60° vorgewärmt sein. Derselbe soll oberhalb des Bodens des Vorratsgefäßes entnommen werden, um grobe Verunreinigungen nicht in die Leitungen gelangen zu lassen. Die Einführung des Teers in die Öfen geschieht mittels eines Dampfstrahlzerstäubers. Die verbrauchte Dampfmenge betrug 1 kg pro 1 kg Teer. Besser als Dampf soll sich Druckluft bewähren. Der Verbrennungsraum muß weit und hoch sein, um lokale Überhitzungen zu vermeiden. Zur Entgasung von 100 kg Kohle werden 11,7 kg Teer verbraucht. Poncza<sup>1)</sup> empfiehlt, den Teer in feinem Strahle gegen ein umgebogenes Drahtende spritzen zu lassen, an dem er zerstäubt wird.

Auch zur Kesselfeuerung ist der Teer wiederholt mit gutem Erfolge verwendet worden. Allner<sup>2)</sup> empfiehlt, den Teer auf 50 bis 60° vorzuwärmen und mit einer Dämpfdüse unter gleichzeitiger Luft einsaugung zu zerstäuben. Vertikalofenteer ergab eine 9,84fache Wasserverdampfung und eine Leistung von 30,9 kg Dampf pro 1 m<sup>2</sup> Heizfläche. Horizontalofenteer gab nur eine 9,48fache Verdampfung mit ungefähr der gleichen Leistung



pro 1 m<sup>2</sup> Heizfläche. Fig. 245 zeigt die Einrichtung einer derartigen Teerdampf-kesselheizung<sup>3)</sup>. Der Teer läuft durch einen mit Dampf geheizten Vorwärmer und wird in den Brennern mit Dampf zerstäubt und in den mit Schamotte ausgemauerten Flammröhren verbrannt. Die Anlagekosten betragen pro Kessel 2000 *M.* Ein mit Teer geheizter Kessel erzeugt die gleiche Dampfmenge wie zwei solche, die mit Koks und Koksstaub geheizt werden. Es können dabei 75 Proz. der Löhne für Kesselbedienung gespart werden. Selbst bei einem Preise von 2,50 *M.* pro 100 kg Teer ist diese Kesselheizung noch vorteilhaft.

In neuester Zeit wurden umfangreiche Versuche der Anwendung von Teerölen und Teer zum Betriebe von Dieselmotoren ausgeführt. Die Gasmotorenfabrik Deutz verwendete nach Müller<sup>4)</sup> Teeröle, wobei sich nur eine

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 632. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 490. — <sup>3)</sup> Pohmer, ebend. 1910, S. 241; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 167. — <sup>4)</sup> Zeitschr. f. Dampfessel- und Dampfmaschinenbetrieb 1910, Heft 25; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 67.

Schwierigkeit darin zeigte, daß sich durch Anthracenkristalle leicht Verstopfungen bildeten. Die Haupteigenschaften, welche Teeröle besitzen sollen, wenn sie zu Dieselmotoren verwendet werden, sind:

Spec. Gew. 1,05 bis 1,10; sie müssen bei normaler Temperatur dünnflüssig sein.

Der Heizwert soll 8800 bis 9500 Kal. pro 1 kg sein.

Der Siedepunkt soll über 200° liegen; bei 360° sollen dieselben schon vollständig verflüchtigt sein, wobei nur Spuren von Koks zurückbleiben dürfen.

Der Entflammungspunkt soll oberhalb 65° liegen.

Die Dieselmotoren werden dann pro PS-Stunde 1850 WE verbrauchen. Da nun 100 kg Teeröl 3,80  $\mathcal{M}$  kosten und noch ein Zündöl zu verwenden ist, welches pro 100 kg 8  $\mathcal{M}$  kostet, so stellen sich die Brennstoffkosten auf nur 0,84  $\mathcal{J}$  pro PS-Stunde. Bei Versuchen von Prof. Nägel wurden 32 bis 34 Proz. der verfügbaren Energie in effektive Arbeit umgesetzt.

Einen ausführlichen Bericht über die Verwendung von Vertikalofenteer für Dieselmotoren erstattete Allner<sup>1)</sup>. Zunächst ist es der Firma Körting gelungen, unter Anwendung von Paraffinöl als Zündöl, Vertikalofenteer zu verwenden. Es werden dabei 5 Proz. Paraffinöl verbraucht. Dasselbe verwandelt sich sofort beim Eintritt in den Zylinder zufolge der hohen Temperatur in Ölgas, welches sich dann rasch entzündet. Der Vertikalofenteer zeichnet sich dadurch aus, daß er nur 2 Proz. Kohlenstoff enthält. Die Augsburg-Nürnberg-Maschinenfabrik verwandte dann Teeröl als Zündöl. Schließlich gelang es auch, ganz ohne Hilfszündstoff auszukommen. Auch die Gebrüder Sulzer in Winterthur stellten einen Dieselmotor auf, der ganz ohne Hilfszündstoff arbeitete. Es werden 215 g Teer pro PS-Stunde benötigt.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Konstruktion der Einspritzdüse<sup>2)</sup>. Die Reinigung des Öles muß durch ein Sieb erfolgen, um feste Stoffe zurückzuhalten. Ebenso soll man vorher das Wasser absitzen lassen. Der Teer soll im warmen Zustande verwendet werden, da er dann dünnflüssig ist. Es besteht jedoch eine bestimmte kritische Viskosität, deren Temperatur nicht überschritten werden soll, weil sonst der Teer zu destillieren beginnt.

Welche große Wichtigkeit die Verwendung des Teers zum Motorenbetriebe hat, geht schon daraus hervor, daß der Kokereiteer in Deutschland allein genügen würde, um eine Krafterleistung von 600 000 PS kontinuierlich hervorzubringen. Die Teerfarbstoffindustrie verbraucht nur 5 Proz. des erzeugten Teers. Eine Vertikalretorte allein vermag den Teer für eine kontinuierliche Leistung von 20 PS zu liefern. Die Gaswerke können also in Zukunft auch als Kraftstationen auftreten. Die Brennstoffkosten sind dabei minimal und kommen gegenüber den sonstigen Kosten des Motorenbetriebes, wie Schmieröl, Arbeitslohn, Verzinsung und Amortisation kaum mehr in Betracht.

Die Verwendung des Teers zum Motorenbetrieb ist auch deshalb anderen Brennstoffen vorzuziehen, weil sie weniger feuergefährlich ist. Der Teer ist ja schwerer als Wasser und kann leicht gelöscht werden, weil er im Wasser untersinkt. Ein Nachteil für diese Verwendung des Teers ist

---

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 321, 1025 und 1051; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 383. — <sup>2)</sup> Über die Theorie des Zerstäubers im Dieselmotor siehe Nägel: „Motorentchnik“ 1908, S. 145.

jedoch die oft schwankende Zusammensetzung und der schwankende Gehalt an Unreinheiten<sup>1)</sup>.

Ein neues Absatzgebiet für den Teer eröffnet sich in der Verwendung zur Straßenteerung, wenn sich dieselbe als zweckmäßig erweist. In Frankreich hat sich dieselbe bereits zur normalen Straßenunterhaltung herausgebildet, wie Le Gavrian<sup>2)</sup> berichtet. Es werden dort 1 bis 2 kg pro qm Straßenoberfläche verbraucht. Le Gavrian teilt die Beobachtungen mit, die betreffs der Haltbarkeit der Teerung gemacht wurden. Es zeigte sich auf alle Fälle eine wesentliche Verminderung des Straßenschmutzes. In Deutschland hat sich die direkte Verwendung des Teers zur Straßenbespritzung bisher nicht einführen können, offenbar wegen des ungünstigeren Klimas. Die Teerung der Straßen soll nur bei dauernd günstigem Wetter vorgenommen werden. Dagegen scheint sich in Deutschland das Kiton, welches aus einer Emulsion von Teer mit Wasser besteht, zu bewähren<sup>3)</sup>. Es soll jedoch schon beim Bau der Straßen verwendet werden. Es wird dabei mit Wasser gemischt, mit Schotter oder Sand zugleich eingewalzt. Nach dem Verdunsten des Wassers erstarrt die Masse und wird durch Regen nicht mehr aufgeweicht. Es werden 4 bis 8 kg pro qm Straßenoberfläche verbraucht, die 24 bis 28 ₤ kosten. Auch durch Aufspritzen mit Kiton läßt sich eine Verminderung des Schmutzes erzielen, jedoch ist eine so behandelte Straße nur für kurze Zeit haltbar. Die Kosten betragen dann 0,6 bis 0,3 ₤ pro qm. Die Anforderungen, welche in England an den Teer zum Zwecke der Straßenteerung gestellt werden, sind unter dem Titel „General Directions and Specifications relating to the Tar Treatment of Roads“<sup>4)</sup> zusammengestellt worden<sup>5)</sup>.

Ein ausgedehntes Verwendungsgebiet des Teers ist auch die Fabrikation von Dachpappe. Zu diesem Zwecke muß der Teer vollständig entwässert werden. Dies geschieht am besten durch Zentrifugieren.

Eine neuartige Verwendung des Teers empfahl Young bereits im Jahre 1905<sup>6)</sup>, indem er die Waschung des Gases mit dem eigenen Teer zum Zwecke der Entfernung des Naphtalins vorschlug. Auch Allner<sup>7)</sup> bemerkt, daß der Vertikalofenteer ein gutes Naphtalinwaschmittel sei, da von 350 kg Teer mit 10,8 Proz. Naphtalin aus 72,200 m<sup>3</sup> Gas 26,8 kg Naphtalin aufgenommen werden konnten, wodurch sich der Naphtalingehalt des Teers auf 13,8 Proz. erhöhte.

#### 44. Das Ammoniak.

Das bei der Destillation der Kohle gewonnene Gaswasser besteht im wesentlichen aus Ammoniak und seinen Salzen. Es enthält 1,3 bis 3,0 Gew.-Prozente an Ammoniak. Zum Teil ist dasselbe in Form flüchtiger Verbindungen, zum Teil in Form von Verbindungen enthalten, welche sich beim Erwärmen nicht verflüchtigen. Die relative Menge der einzelnen Verbindungen ändert sich im Laufe des Stehens an der Luft, da sich das zuerst gebildete Ammoniumsulfid in Sulfat und Thiosulfat verwandelt und außerdem sich auch Rhodanide und Ferrocyanide bilden.

<sup>1)</sup> Kutzbach, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 403. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1019. — <sup>3)</sup> Ebend. 1911, S. 851. — <sup>4)</sup> Gasworld 1911, S. 529; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 534. — <sup>5)</sup> Das Original ist durch Waterloo and Sons, London Wall, erhältlich. — <sup>6)</sup> Journ. f. Gasbel. 1905, S. 546. — <sup>7)</sup> Ebend. 1909, S. 490.

Die Zusammensetzung des rohen Gaswassers schwankt innerhalb der nachstehenden Grenzen.

Es sind in einem Liter rohem Gaswasser enthalten:

Gesamtammoniak . . . . .	3 bis 18 g
Ammoniaksalze . . . . .	8 „ 52 „

Ferner an flüchtigen Ammoniaksalzen:

Ammoniumsulfid, $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ )	. . . . . 0,3 bis 7 g
Ammoniumhydrosulfid, $\text{NH}_4\text{HS}$ )	
Ammoniumcarbonat . . . . .	4 „ 34 „
Ammoniumhydrocarbonat . . . . .	1 „ 3 „

Ferner an nicht flüchtigen Substanzen:

Ammoniumthiosulfat, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ . . . . .	0,3 bis 1,7 g
Ammoniumsulfat, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	} . 0,4 „ 1,4 „
Ammoniumsulfid, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$	
Unterschwefligs. Ammonium, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_2$ }	
Ammoniumchlorid, $\text{NH}_4\text{Cl}$ . . . . .	bis zu 30 „

Außerdem sind noch in geringeren Mengen vorhanden:

Ammoniumcyanid, $\text{NH}_4\text{CN}$ ,
Ammoniumrhodanid, $\text{NH}_4\text{CNS}$ ,
Ammoniumferrocyanid, $(\text{NH}_4)_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ .

Der Gehalt des Gaswassers an Ammoniak wird häufig nur nach dem spezifischen Gewichte bewertet. Dies ist vollständig unzulänglich<sup>1)</sup>. Zur Bestimmung des Ammoniaks im Gaswasser ist eine genaue chemische Untersuchung erforderlich, die wir im nachstehenden kurz erörtern wollen.

Wie schon erwähnt, kommt das Ammoniak im Gaswasser in zweierlei verschiedenen Formen vor, zunächst in Form flüchtiger Ammoniumverbindungen und als freies Ammoniak, welches ja auch flüchtig ist, und dann als sogenanntes fixes Ammoniak, nämlich gebunden an solche Säuren, deren Ammoniaksalze sich nicht verflüchtigen.

Zur Bestimmung des flüchtigen Ammoniaks kann man 10 cm<sup>3</sup> des Ammoniakwassers direkt mit Normalschwefelsäure unter Zusatz von Methylorange als Indikator titrieren. Die Säuren der flüchtigen Ammoniakverbindungen, nämlich Schwefelwasserstoff und Kohlensäure wirken nämlich nicht auf das Methylorange ein. Genauer ist allerdings die Destillationsmethode, die wir untenstehend erörtern.

Handelt es sich um die Ammoniakbestimmung in konzentriertem Gaswasser, so muß man eine mindestens 50fache Verdünnung desselben vornehmen. Man nimmt dann von dem 50fach verdünnten Ammoniakwasser 50 cm<sup>3</sup>, so daß man also effektiv 1 cm<sup>3</sup> konzentriertes Ammoniakwasser zur Anwendung bringt, setzt 20 cm<sup>3</sup> Normalschwefelsäure hinzu und kocht eine Viertelstunde, um Kohlensäure und Schwefelwasserstoff auszutreiben. Nach dem Erkalten titriert man mit Normalnatronlauge zurück, ebenfalls wieder mit Methylorange als Indikator oder auch mit Rosolsäure. Bei genaueren Bestimmungen ist auch hier besser die Destillationsmethode anzuwenden.

Um das gesamte Ammoniak zu bestimmen, verwendet man 10 bis 25 cm<sup>3</sup> des Gaswassers, verdünnt dieselben mit 200 cm<sup>3</sup> Wasser, versetzt mit 5 bis 10 cm<sup>3</sup> Normalkalilauge und treibt das Ammoniak durch Destillation ab, in-

<sup>1)</sup> Seidel: Lunge-Köhler, Industrie des Steinkohlenteeres 2, 4. Aufl., S. 88.

dem man dasselbe in Normalsäure auffängt und den Überschuß rücktitriert. Auf den Kolben, aus dem man das Ammoniak abdestilliert, setzt man einen Tropfenfänger auf, der verhindert, daß kleine Tröpfchen der destillierenden Flüssigkeit mit hinüberspritzen. Die Dämpfe werden in einem Kühler kondensiert, und in einem mit Normalsäure gefüllten Kolben aufgefangen, der jedoch einen Stopfen mit doppelter Bohrung enthält, so daß in der zweiten Bohrung noch ein Will-Varrentrappscher Absorptionsapparat angebracht werden kann, welcher ebenfalls mit Normalsäure gefüllt ist. Man setzt die Destillation so lange fort, bis das aus dem Kühler abtropfende Ammoniakwasser Lackmuspapier nicht mehr bläut.

Das fixe Ammoniak berechnet sich aus der Differenz vom Gesamtammoniak weniger dem flüchtigen Ammoniak. Der Gehalt eines Gaswassers an fixem Ammoniak ist bei der gleichen Entgasungsart annähernd konstant<sup>1)</sup>.

Zur Bestimmung der Kohlensäure im Ammoniakwasser geht man wie folgt vor. Man versetzt 50 cm<sup>3</sup> des Gaswassers mit 5 bis 10 g Chlorcalcium und erwärmt, wodurch sich die Kohlensäure als kohlensaurer Kalk niederschlägt. Nach dem Abfiltrieren des Niederschlages wäscht man denselben mit heißem Wasser und löst ihn in Normalschwefelsäure. Der Überschuß der Schwefelsäure wird zurücktitriert unter Anwendung von Methylorange als Indikator.

Betreffs der Bestimmung der sonstigen Bestandteile des Gaswassers, die nicht immer ganz einfach ist, sei auf die Werke über analytische Chemie verwiesen<sup>2)</sup>.

Zur Gewinnung des Ammoniaks aus dem Gaswasser werden gewöhnlich die Ammoniakabtreibearrate verwendet. Das Prinzip derselben beruht darauf, daß das rohe Ammoniakwasser zunächst von flüchtigem Ammoniak durch Einleiten von Dampf befreit wird, worauf das fixe Ammoniak durch Zusatz von Kalkmilch zerlegt wird und durch neuerliches Einleiten von Dampf das Ammoniak wieder ausgetrieben wird. Das Destillationsprodukt trägt den Namen konzentriertes Gaswasser.

Der Abtreibeapparat besteht aus fünf Teilen:

1. Dem Hochbehälter als Vorratsreservoir für das rohe Gaswasser. Derselbe wird zweckmäßig zur Abmessung bestimmter Mengen durch Marken abgeteilt, so daß alle Viertelstunde eine bestimmte Gaswassermenge eingefüllt werden kann.
2. Den Zellen zur Austreibung des Ammoniaks im oberen Teile des Apparates.
3. Dem Zersetzungsgefäß, in welches mit Hilfe einer Pumpe Kalkmilch in entsprechender Menge eingepumpt wird. Um stets die richtige Menge zuführen zu können, sind auch automatische Kalkmilchpumpen konstruiert worden.
4. Den unteren Abtreibebezellen, in denen die schon im Zersetzungsgefäß von Ammoniak teilweise befreite Flüssigkeit vollständig von Ammoniak befreit wird.
5. Dem Sammelbecken für das Abwasser, welches von hier aus kontinuierlich abfließt.

Das heiße abfließende Abwasser wird noch dazu benutzt, um das zuffließende rohe Gaswasser vorzuwärmen.

---

<sup>1)</sup> Lubberger, Journ. f. Gasbel. 1899, S. 1. — <sup>2)</sup> Vgl. auch Hempel, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 381.

In den unteren Teil des Abtreibeapparates wird Dampf eingeleitet, welcher zunächst dazu dient, aus dem schon beinahe vollständig von Ammoniak befreiten Gaswasser die letzten Spuren auszutreiben, dann gelangt derselbe mit Ammoniak beladen in die höheren Etagen und schließlich in das Zersetzungsgefäß. Hier läßt man nochmals Dampf zuströmen, um die zu einer vollständigen Zersetzung nötige Temperatur und gleichzeitig das Ausstreiben des größten Teiles des Ammoniaks zu erzielen. Es muß hier auch so viel Dampf zugegeben werden, daß in der darüber befindlichen Kolonne alles freie flüchtige Ammoniak vollständig ausgetrieben wird, anderenfalls kommen im Unterteile des Apparates leicht Verstopfungen durch Abscheidung von kohlen saurem Kalk vor.

Die Kohlensäure entweicht gemeinsam mit dem Ammoniak und bildet bei nachträglicher Abkühlung wieder kohlen saures Ammoniak. Dieses ist eine feste Substanz, welche durch Auskristallisieren Verstopfungen hervorrufen kann und auch das gewonnene Ammoniakwasser durch kohlen saures Ammoniak verunreinigt. Zur Darstellung von reinem Ammoniakwasser ist es daher notwendig, das Gemisch der aus dem Abtreibeapparat entweichenden Gase zunächst noch durch Kalkmilch zu leiten, um die Kohlensäure zu entfernen. Auch organische Stoffe sind noch in dem Gase enthalten, welche durch Filtrieren des Gasgemisches beseitigt werden müssen, wenn reines Ammoniakwasser erhalten werden soll.

Um die Schwierigkeiten zu vermeiden, welche durch die Kohlensäure hervorgerufen werden, erwärmt Pintsch das Gaswasser zunächst auf eine Temperatur von 90° C. Dadurch wird Kohlensäure und Ammoniak ausgetrieben, Ammoniak wird durch neu hinzuffießendes Gaswasser wieder kondensiert, während die Kohlensäure zum größten Teil entweicht.

Die Abwässer aus dem Abtreibeapparat enthalten außer kohlen saurem Kalk auch noch die anderen Salze des Calciums, insbesondere auch Schwefelcalcium, Rhodanide, Teerbestandteile, insbesondere Phenol u. dgl. Man läßt sie zunächst in eine Grube fließen, damit sich die Hauptmenge des kohlen sauren Kalkes ablagern kann. Dann kann man sie direkt in den Kanal abfließen lassen. Ist eine Kanalisation nicht vorhanden und sollen die Abwässer in einen Fluß geleitet werden, so ist es zweckmäßig, dieselben zunächst noch durch Sand zu filtrieren und dann durch Zusatz von anderen Betriebswässern so weit zu verdünnen, daß sie auf die Fischzucht nicht mehr schädlich einwirken.

Nach Francke werden die Abwässer wieder zur Berieselung der Ammoniaksskrubber verwendet, wodurch die Frage der Beseitigung der Abwässer umgangen wird.

Das aus dem Abtreibeapparat abgetriebene Ammoniak kann nun entweder zur Darstellung von konzentriertem Ammoniakwasser oder zur Herstellung von Ammoniumsulfat verwendet werden.

Die Darstellung von konzentriertem Ammoniak, die nach Berechnungen von Betlar<sup>1)</sup> auch für verhältnismäßig kleine Gaswerke rentabel ist, geht wie folgt vor sich.

Vom Abtreibeapparat gelangt das Gasgemisch zunächst in den Kohlen säurewäscher, welcher mit Kalk beschickt ist, um die Kohlensäure zu entfernen, dann in einen Rückflußkühler, dessen Kühlung regulierbar eingerichtet

---

<sup>1)</sup> Schütte, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1088.

ist, so daß man mehr oder weniger von dem Dampfe kondensieren kann, der mit dem Ammoniak aus dem Abtreibeapparat entweicht. Das aus dem Rückflußkühler entweichende Gemisch von Dampf und Ammoniak wird in einem Kühler kondensiert, wo das sich abscheidende Kondenswasser gleichzeitig das Ammoniak auflöst, unter Bildung von konzentriertem Ammoniakwasser. Die vorherige Entfernung von Kohlensäure aus dem Gasgemische ist unbedingt erforderlich, weil sich sonst die Kühler durch Bildung von kohlensaurem Ammoniak verstopfen würden<sup>1)</sup>. Als Kühlflüssigkeit wird nicht Wasser, sondern das rohe Gaswasser verwendet, welches dadurch gleichzeitig vorgewärmt wird.

Der Dampfverbrauch für den Abtreibeapparat beträgt 175 bis 300 kg pro 1 m<sup>3</sup> rohen Gaswassers.

Da kleine Gaswerke häufig keinen Dampfkessel besitzen, so hat Francke auch einen Apparat konstruiert, bei welchem man mit Hilfe von Koksgrieseuerung die Ammoniakgewinnung aus dem Gaswasser durchführen kann.

Soll schwefelsaures Ammoniak erzeugt werden, so ist eine Entfernung der Kohlensäure aus dem Gasgemische, welches den Abtreibeapparat verläßt, nicht erforderlich, sondern das Gasgemisch kann direkt über Schwefelsäure geleitet werden, in welcher das Ammoniak aufgenommen wird, während die anderen Gase, also hauptsächlich Kohlensäure und Schwefelwasserstoff entweichen.

Aus dem Gasgemische wird zunächst das Wasser abgeschieden und dann gelangt dasselbe direkt in einen Sättigungskasten, der etwa 750 mm tief ist und aus Holz gefertigt ist, welches innen mit Bleiblech ausgelegt wird. In den Sättigungskasten taucht eine Bleiglocke ein, in die das Gasgemisch einströmt. Das Ammoniak wird von der Schwefelsäure unter Bildung von schwefelsaurem Ammoniak aufgenommen, während die restlichen Gase — wie erwähnt hauptsächlich Kohlensäure und Schwefelwasserstoff — frei werden. Diese würden wegen des Geruches die Umgebung belästigen und werden deshalb am besten in den Schornstein geleitet; wo auch dies nicht möglich ist, muß eine Entfernung des Schwefelwasserstoffs vorgenommen werden. Dies geschieht in einem gewöhnlichen Gasreiniger, der ebenso arbeitet, wie wir dies im Kapitel 36 „Reiniger“ kennen gelernt haben (S. 466).

Die in den Sättigungskasten gebrachte Schwefelsäure wird auf 42 bis 45° Bé verdünnt. Sie soll etwa  $\frac{2}{3}$  des Kastens anfüllen. Zufolge der hohen Reaktionswärme, welche bei der Absättigung des Ammoniaks durch Schwefelsäure entsteht, verdampft ein großer Teil des Wassers und muß zeitweise ergänzt werden. Sobald die Schwefelsäure durch Ammoniak gesättigt ist, scheidet sich hier schwefelsaures Ammoniak aus, welches durch hölzerne Krücken aus der Lauge entfernt wird.

Da während der Entfernung des Salzes eine Betriebsunterbrechung eintritt, hat Francke einen Apparat konstruiert, bei dem zwei Kästen abwechselnd zur Absorption verwendet werden können. Es werden dadurch auch Ammoniakverluste vermieden.

Das aus der Lauge geschöpfte Salz wird auf Abtropfbühnen gebracht, welche ebenfalls verbleit werden, um dem Einfluß der Schwefelsäure widerstehen zu können. Die von dem Salze abtropfende Lauge wird wieder zur Verdünnung der Schwefelsäure benutzt, damit das hier enthaltene Am-

<sup>1)</sup> Als Kühler dient zweckmäßig der Zellenkühler der Bamag.

moniak nicht verloren geht. Das fertige Salz wird dann noch zentrifugiert, um die letzten Mengen von Wasser zu entfernen. Es bleiben noch etwa 4 Proz. Wasser im Salz, die sich auf 2 bis 3 Proz. verringern, wenn man das Salz lagern läßt.

Das Ammoniumsulfat soll in reinem Zustande weiß sein. Es ist jedoch, auf obige Weise erzeugt, stets grau, gelb, braun oder von bläulicher Färbung. Dies rührt von Verunreinigungen durch Arsen und durch Eisen her, die aus der Schwefelsäure stammen. Durch Abschöpfen des auf der Lauge schwimmenden Schaumes kann man die Unreinheiten einigermaßen verringern. Reines Salz kann man nur durch Anwendung von vollständig reiner Schwefelsäure gewinnen.

Die Untersuchung des schwefelsauren Ammoniaks beschränkt sich gewöhnlich auf die Wasserbestimmung und auf die Bestimmung des Gehaltes an Ammoniak.

Die Wasserbestimmung wird ausgeführt, indem man 5 g des Salzes auf ein Uhrglas bringt und bei 110° zwei Stunden lang trocknet.

Die Ammoniakbestimmung erfolgt durch Destillation mit Natronlauge, wie dies früher (S. 548) besprochen wurde. Das übergehende Ammoniak fängt man in Normalschwefelsäure auf und titriert mit Natronlauge zurück. Der Ammoniakgehalt des Salzes soll mindestens 24,5 Proz. betragen.

Da das schwefelsaure Ammoniak hauptsächlich als Düngemittel verwendet wird, ist es wichtig, daß es keine den Pflanzen schädlichen Substanzen enthält. Als schädlich wird hauptsächlich Rhodanammonium betrachtet. Zur Prüfung auf den Rhodangehalt versetzt man die Lösung des Salzes mit etwas Salzsäure und Eisenchlorid. Ist Rhodanammonium vorhanden, so zeigt sich eine intensiv blutrote Färbung. Zur Prüfung des schwefelsauren Ammoniaks auf freie Schwefelsäure, welche ebenfalls nachteilig ist, löst man eine gewogene Menge des Salzes in Wasser und titriert unter Anwendung von Methylorange als Indikator direkt mit Normalnatron.

Zur Gewinnung des schwefelsauren Ammoniaks aus dem Gase<sup>1)</sup> kann man auch das ammoniakhaltige Gas selbst, ohne es vorher mit Wasser gewaschen zu haben, direkt mit Schwefelsäure in Berührung bringen. Dies wird in neuerer Zeit vielfach in den Kokereien durchgeführt, das Verfahren erscheint jedoch auch zur Anwendung in den Gaswerken geeignet. Es entfällt dadurch die Manipulation mit den großen Wassermengen, welche zur Bedienung der Ammoniakwäscher nötig sind.

Das Gas muß zu diesem Zwecke vor dem Einleiten in die Schwefelsäure vollständig von Teer befreit werden, da die Verunreinigung des Teeres das Ammoniumsulfat unverkäuflich machen würde, außerdem muß aber das Gas eine solche Temperatur haben, daß sich kein Wasser in der Schwefelsäure abscheidet, weil sonst die Lauge zu sehr verdünnt würde, so daß das gebildete Ammoniumsulfat nicht auskristallisieren könnte. Cooper<sup>2)</sup> filtriert das Gas zum Zwecke der Entteerung durch ein Filter, welches mit Koks, Sackleinen und Holzspänen angefüllt ist. Das Gas wird diesem Filter unter hohem Druck zugeführt und expandiert plötzlich, wobei sich der Teernebel nieder-

---

<sup>1)</sup> Vgl. Fürth, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1030. — <sup>2)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, p. 496; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 706.

schlägt. Hilgenstock<sup>1)</sup> empfiehlt die Waschung des Gases mittels eines Teerstrahlgebläses, wobei der Teer auf nicht mehr als 18° erwärmt sein soll. Dadurch wird der Teergehalt auf 10 g pro 100 m<sup>3</sup> Gas herabgesetzt. Danach wird das heiße Gas mit seinem Gehalt an Wasserdampf und Ammoniak dem geschlossenen Sättigungskasten, in welchem sich die Schwefelsäure befindet, zugeführt.

Koppers<sup>2)</sup> scheidet zunächst das fixe Ammoniak und den Teer durch Kühlung aus und erwärmt das Gas im Gegenstrom wieder an dem heißen Gase, so daß es mit 50 bis 70° C in das Säurebad eintritt. Diese Erwärmung ist, wie erwähnt, erforderlich, um die Verdünnung des Säurebades durch ausgedehntes Wasser zu verhindern. Das abgeschiedene fixe Ammoniak wird durch Zusatz von Kalk zerlegt und das entstehende freie Ammoniak wieder dem Gasstrom zugeführt. Das erhaltene Salz wird zentrifugiert.

Bei 200 000 m<sup>3</sup> täglicher Gasproduktion sollen zur Bedienung der Kopperschen Anlage 1 Maschinist, 1 Hilfsarbeiter und 1 Arbeiter für den Sättiger und Zentrifugenbetrieb, ferner 1 Arbeiter für Salzlager und Trockner genügen. Zweckmäßig ist es, nicht das ganze Ammoniak bis auf die letzte Spur aus dem Gase zu entfernen, sondern 1 g pro 100 m<sup>3</sup> im Gase zu belassen, damit die Trockenreinigung besser funktioniert, was bekanntlich bei schwach alkalischem Gase der Fall ist (S. 447).

Nach dem von Otto verbesserten Brunkschen Verfahren gelangt das Gas mit 80° C in das Säurebad. Da hier jedoch eine Abscheidung des fixen Ammoniaks mit dem Ammoniakwasser stattfindet, so wird das Ammoniumchlorid durch die Schwefelsäure in Ammoniumsulfat und freie Salzsäure zerlegt. Die Salzsäure muß entsprechend abgeleitet werden, weil sie die Gefäße angreift. Koppers Verfahren benötigt dagegen für die Ausscheidung des fixen Ammoniaks einen besonderen Abtreibeapparat.

Da bei Gasanstalten das Gas zum Zwecke der Naphtalinausscheidung langsam gekühlt werden muß, so dürfte hier das Kopperssche Verfahren zweckmäßiger sein. Die qualitative Beschaffenheit des Gases leidet durch das Schwefelsäurebad von 32 bis 33° Bé nicht.

Pfudel<sup>3)</sup> berichtete ebenfalls über die direkte Ammoniakgewinnung nach dem Verfahren der Zeche Mont Cenis. Auch bei diesem wird das Gas zunächst gekühlt. Das abgeschiedene Wasser gelangt ebenfalls in einen Abtreibeapparat, das vom Dampf befreite Ammoniak geht wieder zum Rohgas zurück, dieses wird dann durch einen Pelouze von Teer befreit, gelangt in den Sättiger, dann in einen Säureabscheider, und das ganze Verfahren ist so eingerichtet, daß die Neutralisationswärme des Ammoniaks mit der Schwefelsäure genügt, um dem Gase nach der Absorption noch eine Temperatur von 50° C zu erteilen, so daß keine Wasserabscheidung stattfindet. Eine besondere Erwärmung des Sättigungsapparates oder des Gases ist also nach diesem Verfahren nicht erforderlich. Das im Sättiger abgeschiedene Salz wird mit einem Luftstrahlheber auf eine Abtropfbühne und dann in die Zentrifuge zum vollständigen Trocknen gebracht.

Die Verfahren der direkten Ammoniakgewinnung haben den Vorzug, daß die Ammoniakwäscher mit ihrem großen Wasserverbrauch und bei den Verfahren

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Ingenieur- u. Architektenvereins, 62. Jahrg., S. 28; Stahl und Eisen 1909, S. 264; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 100. — <sup>2)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 108. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1272.

von Hilgenstock und Brunk auch die Abtreibeapparate mit ihrem Kalk- und Dampfverbrauch entfallen und die Menge der Abwässer um die Hälfte verringert wird. Ebenso entfällt das Fortschaffen des Schlammes.

Bisher hat man angenommen, daß das direkte Ammoniakgewinnungsverfahren nur für Kokereien oder höchstens auch für große Gaswerke rentabel sei. Wilton<sup>1)</sup> hat aber in Wareham in einem Gaswerke von nur 140 000 cbm Jahresleistung eine Anlage eingerichtet, welche außerordentlich einfach arbeitet und daher auch für kleine Werke rentabel ist. Hier dienen gewöhnliche Reinigerkasten, welche mit Reisig gefüllt sind, als Teerscheider, und das Gas gelangt dann direkt in Schwefelsäure von 3<sup>o</sup> Bé. Das Gas wird so lange eingeleitet, bis die Lauge eine Dichte von 26 bis 29<sup>o</sup> Bé besitzt. Da das Gas auf die genannte Weise nicht teerfrei erhalten wird, so scheidet sich etwas Teer in der Lauge aus. Dieser wird durch Filtrieren in einem Sandfilter zurückgehalten. Schließlich gelangt die Lauge in einen Verdampfer, in welchem sie mit Hilfe des Abdampfes eines Exhaustors eingedampft wird. Nach der Ausscheidung des Salzes gelangt dasselbe auf ein Abtropfbrett und die Lauge wieder in den Sättiger.

Cooper<sup>2)</sup> hat auch über die Möglichkeit berichtet, das Ammoniak durch Einleiten von schwefliger Säure in das Rohgas abzuschcheiden. Die schweflige Säure wird durch Verbrennung des Schwefels der ausgebrauchten Reiniger- masse gewonnen. Die schweflige Säure wird hinter dem Skrubber dem Kohlendgas zugemischt und durch Ammoniakwasser geleitet. Dieses Verfahren ähnelt dem Burckheiserschen, über das im Kapitel 35 „Reinigung“ berichtet wurde. Eine andere von Cooper angegebene Methode besteht darin, das Ammoniak durch einen Kohlendgasstrom aus der wässrigen Lösung auszutreiben und dann durch Schwefelsäure zu leiten. Es wird dabei die Heizung erspart. Das abgetriebene Ammoniakwasser, welches noch Reste desselben enthält, wird dann wieder dem Wäscher zugeführt.

## X.

### 45. Gaswerksanlagen und Gaswerksgebäude.

Nachdem wir in dem vorigen Kapitel die einzelnen Apparate, welche zum Gaswerksbetriebe dienen, kennen gelernt haben, wollen wir nunmehr die Zusammenstellung derselben und den Einbau in ganze Gaswerke besprechen. Als Beispiel wollen wir das Steinkohlengas heranziehen, obwohl sich ja unsere Erörterungen nicht nur auf Steinkohlengas beschränken; aber dieses besitzt doch, soweit städtische Beleuchtungszentralen in Betracht kommen, das Übergewicht, so daß es zweckmäßig ist, dieses als Beispiel zu wählen.

Wenn man an die Projektierung eines Gaswerkes geht, so muß natürlich zunächst die Größe desselben bestimmt werden. Dieselbe richtet sich nach dem Konsum, der zu erwarten ist. Dieser wieder ist durch die Einwohnerzahl der Städte, welche mit Gas versorgt werden sollen, bestimmt. Aber auch pro Einwohner ist der Konsum durchaus kein gleichmäßiger. In kleinen Städten wird pro Kopf der Bevölkerung viel weniger Gas verbraucht als in

<sup>1)</sup> Moore: Journ. of Gaslighting 1910, S. 474; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 622. —

<sup>2)</sup> Zeitschr. d. österr. Ingenieur- u. Architektenvereins, 62. Jahrg., S. 28; Stahl und Eisen 1909, S. 2644; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 100.

großen Städten. Aus einer für Deutschland im Jahre 1906 gemachten Statistik ergeben sich die nachstehenden Mittelwerte.

1. Jährliche Gasabgabe pro 1 Einwohner beträgt, wenn man sich die Einwohnerzahl von 3000 bis über 500 000 steigend denkt:

a) Privatbeleuchtung . . . . .	24	bis	52	m <sup>3</sup>
b) Heiz- und Motorengas . . . . .	20	"	30	"
Zusammen Privatverbrauch . . . . .	44	bis	82	m <sup>3</sup>
c) Straßenbeleuchtung . . . . .	5,5	"	9	"
d) Verbrauch im Gaswerke selbst . . . . .	1,7	"	0,5	"
e) Verlust . . . . .	3,8	"	3,0	"
Zusammen . . . . .	55	bis	94,5	m <sup>3</sup>

2. Die jährliche Gasabgabe auf 1 m Rohrnetzlänge beträgt im Mittel:

a) Privatbeleuchtung . . . . .	15	bis	63	m <sup>3</sup>
b) Heiz- und Motorengas . . . . .	12	"	37	"
Zusammen Privatverbrauch . . . . .	27	bis	100	m <sup>3</sup>
c) Straßenbeleuchtung . . . . .	3,5	"	11,0	"
d) Verbrauch im Gaswerke selbst . . . . .	1,1	"	0,8	"
e) Verlust . . . . .	2,3	"	3,7	"
Zusammen . . . . .	33,9	bis	115,5	m <sup>3</sup>

3. Gasverbrauch pro Flamme und Jahr:

a) Für Straßenflammen . . . . .	310	bis	398	m <sup>3</sup>
b) Privatflammen . . . . .	68	"	72	"

Die Verteilung der Gasabgabe über die einzelnen Monate des Jahres geht aus dem nachstehenden Diagramm Fig. 246 hervor.

Die stündliche Gasabgabe in Prozenten der höchsten Tagesgasabgabe ist aus dem nachstehenden Diagramm Fig. 247 ersichtlich.

Natürlich muß auch bei der Berechnung der Größe eines Gaswerkes die Zunahme der Bevölkerung berücksichtigt werden. Zu diesem Zwecke muß man die Bevölkerungszunahme etwa während der letzten 10 Jahre beobachten und sehen, ob dieselbe eine stetig wachsende oder eine gleichbleibende ist oder ob sich nicht eine allmählich sich verringernde Zunahme zeigt. Ferner ist zu berücksichtigen, welchen Aufschwung die betreffende Stadt überhaupt nimmt. Die Entwicklung der Industrie wirkt besonders fördernd auf den Gaskonsum, jedoch sind auch sonstige Verhältnisse zu berücksichtigen, die den Gaskonsum voraussichtlich begünstigen oder einschränken können. Auch aus der Qualität der einzelnen Gebäude läßt sich ein Schluß auf den zu erwartenden Gaskonsum (vgl. auch Kapitel 46 „Hauptleitungen und Zuleitungen“) ziehen.

Der Gasverbrauch pro Kopf der Bevölkerung ist natürlich auch stark von dem Gaspreise beeinflusst. Zuzufolge der neueren Gaserzeugungsmethode ist es nicht ausgeschlossen, daß in absehbarer Zeit das Gas zu so billigem Preise geliefert werden kann, daß die Einführung desselben zu Koch- und Heizzwecken allgemein wird; dann haben wir es natürlich mit ganz anderen Verbrauchsziffern zu tun, als oben erörtert. Kobbert<sup>1)</sup> berechnet diesfalls den Konsum pro Kopf und Jahr auf 550 m<sup>3</sup>; doch setzt dies voraus, daß ein Gas von 4000 Kal. Heizwert zu 2 bis 3 ₤ an den Konsumenten geliefert werden kann.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1907, S. 781, Grenzfragen der Gaswerke.

Bei der Berechnung der Größe der Gaswerksanlagen und der einzelnen Apparate ist zu berücksichtigen, daß der Konsum in den Wintertagen natürlich ein wesentlich höherer ist als in den Sommertagen. Aus diesem Grunde wird im Jahre nicht 365mal so viel Gas gemacht als an einem Tage, sondern es wird im Jahre nur 200mal so viel Gas gemacht als in den schärfsten Wintertagen. Der Konsum im Sommer ist dann wesentlich geringer als der mittlere Jahreskonsum. Ebenso ist natürlich die Verteilung des Gaskonsums über die

Fig. 246.

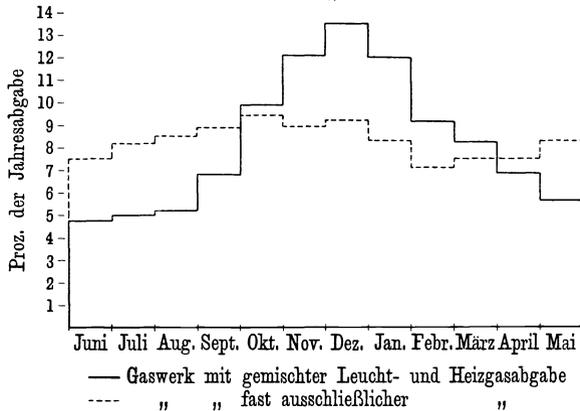
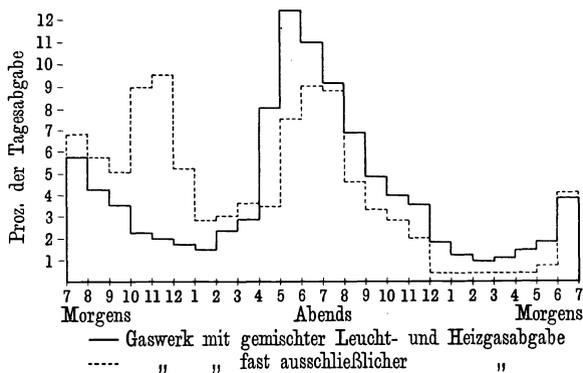


Fig. 247.



einzelnen Tagesstunden durchaus keine gleichmäßige. Da das Gas vornehmlich noch immer zur Beleuchtung dient, wenn es sich auch schon zum Kochen und Heizen vielseitige Anwendung zu verschaffen vermochte, so ist der Konsum doch immer auf die Abendstunden konzentriert. An den Wintertagen fällt außerdem noch die schärfste Geschäftszeit in die Abendstunden, so daß am Tage des größten Gaskonsums die maximale Stundenproduktion nicht ein Vierundzwanzigstel des Maximaltageskonsums, sondern ein Achtel desselben beträgt, oder der Maximalstundenkonsum beträgt 12 Proz. des Maximaltageskonsums.

Die Anlagekosten eines Gaswerkes wachsen nicht in derselben Weise wie die Leistungsfähigkeit eines solchen zunimmt. Bei höherer Leistung sind die Anlagekosten pro Kubikmeter Jahresleistung geringer als bei kleiner Leistung.

Für kleine Steinkohlengaswerke kann man die Anlagekosten mit 1  $\mathcal{M}$  pro 1 m<sup>3</sup> Jahresproduktion annehmen, bei großen Gaswerken hingegen sinken dieselben auf 25  $\mathcal{S}$  herab. Bei mittleren Gaswerken liegen die Anlagekosten in der Mitte zwischen diesen Zahlen. Die Anlagekosten einer Retortenofenanlage allein berechnet sich bei Horizontalretorten auf etwa 1000  $\mathcal{M}$  pro Retorte, bei schräg liegenden Retorten auf 2000  $\mathcal{M}$  pro Retorte.

Die Wahl der richtigen Größe einer neu zu errichtenden Anlage muß sorgsam erwogen werden, denn ist das Werk zu klein gebaut, so sind schon innerhalb weniger Jahre Erweiterungen notwendig, und ehe diese durchgeführt sind, schädigen die zu knapp eingerichteten Betriebsverhältnisse den Gasverbrauch. Ist dagegen ein Gaswerk zu groß gebaut, so belasten Verzinsung und Amortisation die Kosten des Gases erheblich. Die größte Beachtung ist daher dem Umstande zuzuwenden, daß die Einrichtungen so getroffen werden, daß sie leicht und ohne große Kosten erweitert werden können. Deshalb sind vor allem die Gebäude und die Rohrleitungen genügend reichlich zu dimensionieren. Denn der Zubau von einzelnen Gebäudeteilen ist nicht nur kostspielig, sondern er erschwert den Betrieb ganz wesentlich und vermindert die Übersichtlichkeit. Ebenso ist die Erweiterung der Rohrleitungen nicht nur kostspielig, sondern auch oft schwierig und in manchen Fällen, wenn auch die Gebäude zu eng angelegt sind, oft gar nicht zweckmäßig durchführbar.

Keine so genaue Wahl erfordert die Größe des anzukaufenden Grundstückes. Dieses kann man gar nicht zu groß wählen. Denn die Grundstücke, die in unmittelbarer Nähe einer Stadt gelegen sind, werden wohl nie entwertet und sie können immer in irgend einer Form nutzbringend verwertet werden. Man rechnet pro 1000 m<sup>3</sup> Jahresproduktion bei kleinen Gaswerken 10 m<sup>2</sup>, bei großen Gaswerken 3 m<sup>2</sup> Grundfläche. Natürlich muß man dafür sorgen, daß der Grund möglichst billig zu haben ist. Dies ist aber gewöhnlich nur an den Grenzen der Stadt möglich. Legt man das Gaswerk zu weit von der Stadt entfernt, so sind es wieder die Kosten des Hauptrohrstranges, die erheblich in die Wagschale fallen. Kommt man zu nah an die Stadt heran, so wird der Grund teuer, und außerdem treten Schwierigkeiten auf, sobald durch Erweiterungen der Stadt das Gaswerk von Häusern eingeschlossen wird, weil dann oft Klagen von seiten der Nachbarschaft über den Gaswerksbetrieb laut werden. Der Betrieb moderner Gaswerke vollzieht sich zwar nahezu geräusch- und geruchlos, aber immerhin sind Gaswerke in der Mitte der Stadt nicht gern gesehen.

Wichtig für die Wahl des Ortes ist die Gegenwart von Schiffs- und Bahntransportwegen. Namentlich große Gaswerke, die ganz beträchtliche Kohlenmengen pro Tag aufarbeiten, ziehen große Vorteile aus der Gegenwart von schiffbaren Kanälen, mittels welchen die Kohle in großen Quantitäten auf einmal und bei billigen Frachtkosten bezogen werden kann. Die Kohle muß aber bei großen Gaswerken außer auf dem Wasserwege stets auch per Bahn angeliefert werden können, und daher ist für entsprechende Anschlußgeleise Sorge zu tragen. Der Wasserweg allein würde zu viel Unsicherheiten in die regelmäßige Versorgung des Gaswerkes mit Kohle bringen. In kleinen Gaswerken kann man von der Zufuhr der Kohle per Schiff oder Bahn absehen, doch ist es natürlich zweckmäßig, wenigstens die Nähe der Bahn vorzuziehen, um ev. später Bahnanschluß erlangen zu können.

Da das Steinkohlengas ein geringeres spezifisches Gewicht wie die Luft und daher einen Auftrieb besitzt, legt man die Steinkohlengaswerke mit Rücksicht auf eine günstige Druckverteilung gern an den tiefsten Punkt der Stadt. Nicht immer ist aber der tiefste Punkt der beste, denn geringe Niveaudifferenzen lassen sich durch entsprechend höhere Druckgabe im Gaswerke überwinden, während die unbequemere Kohlenzufuhr oft eine wichtige Rolle spielt. Auch ist zu beachten, daß tief gelegene Punkte und namentlich dann, wenn sie an Flüssen, Kanälen oder dgl. liegen, häufig der Überschwemmungsgefahr ausgesetzt sind, und dies erscheint um so bedenklicher, als ja gerade im Falle einer Überschwemmung das Versagen der Beleuchtungsanlage sehr unangenehme Folgen tragen kann.

Schließlich ist für die Lage des Gaswerkes noch die Wasserversorgung und die Abfuhr der Abwässer von Bedeutung (vgl. Kapitel 44 „Das Ammoniak“, S. 550).

Häufig führt man die Abwässer direkt einem Flußlaufe zu und in diesem Falle ist wieder die tiefste Lage des Gaswerkes die günstigste, weil dann die Einmündung der Abwässer in den Flußlauf unterhalb der Stadt erfolgen kann.

Die Reihenfolge, in welcher das Gas die einzelnen Apparate passiert, ist die folgende. Wir geben dabei gleichzeitig die Art an, wie die Größe des betreffenden Apparates zu berechnen ist.

Gewöhnliche Horizontalretortenöfen werden mit  $250 \text{ m}^3$  24-stündiger Leistung in Rechnung gestellt.

Luftkühler als Vorkühler werden mit  $7 \text{ m}^2$  pro  $1000 \text{ m}^3$  24-stündiger Leistung ausgeführt.

Die Exhaustoren müssen die Stundenproduktion bewältigen, welche bei Steinkohlengaswerken den 24. Teil der Tagesproduktion beträgt.

Die Teerscheider richten sich in ihrer Größe ebenfalls nach der Maximaltagesproduktion und nach der Größe des Betriebsrohres.

Die Wasserkühler (Reuterkühler) berechnet man mit  $12 \text{ m}^2$  Kühlfläche pro  $1000 \text{ m}^3$  24-stündiger Leistung.

Die Ammoniakwäscher (Skrubber) berechnet man mit  $6 \text{ m}^3$  Rauminhalt pro  $1000 \text{ m}^3$  24-stündiger Leistung oder man rechnet  $40$  bis  $80 \text{ m}^2$  Berührungsoberfläche zwischen Wasser und Gas pro  $1000 \text{ m}^3$  Tagesleistung in 24 Stunden.

Die Reinigerkästen sind derart zu bemessen, daß auf  $1000 \text{ m}^3$  Tagesdurchgang (24 Stunden)  $2 \text{ m}^2$  Durchgangsfläche kommen. Sind also vier Reiniger vorhanden, so hat jeder derselben pro  $1000 \text{ m}^3$  Tagesleistung  $2 \text{ m}^2$  Fläche zu besitzen. Die Anzahl der Hordenlagen beträgt gewöhnlich vier.

Der Stationsgasmesser muß die maximale Stundenproduktion, d. i. ein Vierundzwanzigstel der maximalen Tagesproduktion stündlich zu messen vermögen. Die Trommel desselben soll dabei nicht mehr als 100 Drehungen pro Stunde machen.

Der Gasbehälter soll, wie bereits S. 489 erwähnt, 50 bis 80 Proz. des Maximaltageskonsums zu fassen vermögen.

Der Druckregler muß den Maximalstundenkonsum bewältigen können, d. i. ein Achtel des Maximaltageskonsums oder 12 Proz. desselben.

Die Fabrikationsrohre sollen derart bemessen sein, daß die Geschwindigkeit des Gases 3 bis 4 m pro Sekunde nicht überschreitet.

Bei den Gaserzeugungsgesamtheiten ist ferner noch eine genügende Reserve zu berücksichtigen. Dieselbe richtet sich natürlich nach der Sicherheit, mit

welcher die betreffenden Gaserzeugungsapparate funktionieren und nach der Dauer, welche zur Inbetriebsetzung derartiger Reserveapparate erforderlich ist. Bei Retortenöfen zur Steinkohlengaserzeugung rechnet man 20 bis 30 Proz. Reserve. Es ist dies erforderlich, weil ein Retortenofen nicht rasch auf die erforderliche Temperatur gebracht werden kann (vgl. S. 339).

Die Apparate werden in Gebäuden untergebracht, die man früher ausschließlich aus Mauerwerk herstellte, in neuerer Zeit aber vorteilhaft aus Eisenfachwerk oder aus Eisenbeton konstruiert. Die Eindeckung erfolgt mit Dachpappe auf Holzverschalung, oder auch mit Ziegel auf eisernen oder hölzernen Latten. Die Belastung ist dabei mit 185 bis 200 kg pro Quadratmeter anzunehmen.

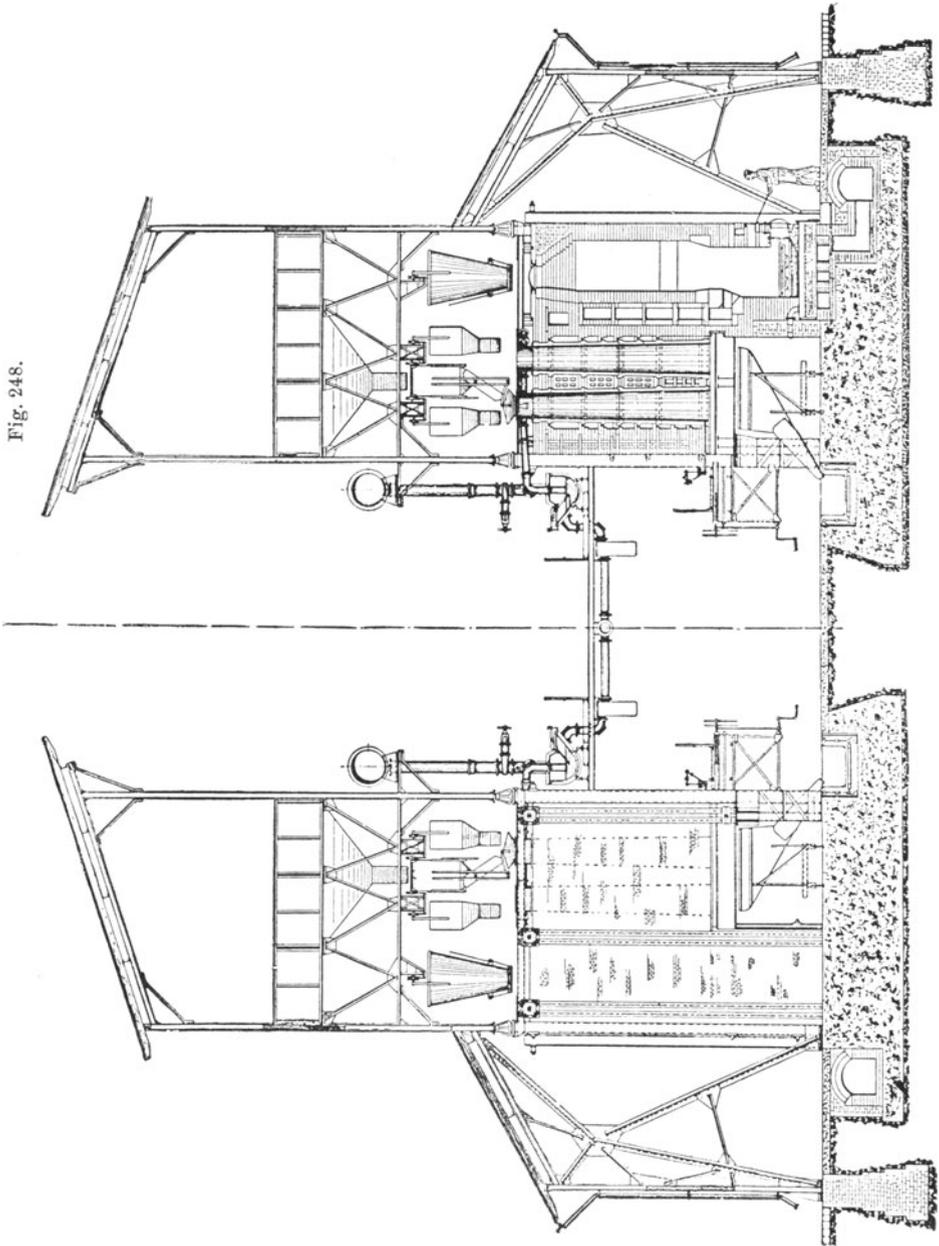
Bei den Ofenhäusern baut man in die Dachkonstruktion häufig Kohlenbunker ein, von welchen aus eine direkte Beschickung der Vertikalöfen oder der schrägliegenden Retorten ermöglicht ist. Die Ofenhäuser sollen, wie alle anderen Gebäude des Gaswerksbetriebes, hell, geräumig, luftig und auch staubfrei sein. Um letzteres zu erreichen, sollen die Elevatoren für die Kohlen möglichst außerhalb des Gebäudes angebracht sein<sup>1)</sup>. Bei den Ofenhäusern unterscheidet man zwei prinzipiell voneinander verschiedene Ausführungen. Bei der einen ist die Eisenkonstruktion des Gebäudes von den Öfen vollständig unabhängig und besitzt ihre besonderen Fundamente. Bei der anderen ist das Dach des Gebäudes auf die Verankerungen der Öfen gestützt, und ruht somit auf dem gleichen Fundament wie die Öfen. Ein Beispiel dieser letzteren Anordnung zeigt die Fig. 248. Sie betrifft ein Ofenhaus für eine Vertikalofenanlage, gestaltet sich natürlich wesentlich billiger und ermöglicht gleichzeitig die intensivste Lüftung der ganzen Anlage. Bei dieser sind eigentlich die Öfen nur mit einem Dache zum Schutze der Bedienungsmannschaft versehen, so daß sich diese Anordnung schon den vollständig frei stehenden Öfen, wie sie z. B. bei den Kokereien angewendet werden, nähert.

Dort, wo geschlossene Ofenhäuser angewendet werden, ist eine gründliche Ventilation derselben erforderlich. Man gibt denselben eine ausgedehnte hohe Laterne (Dachreiter) oder aber noch besser große Abzugsschlote von etwa 4 bis 6 m Höhe und 2 bis 6 m<sup>2</sup> Querschnittsfläche, welche schornsteinartig wirken und die erwärmte Luft aus den Ofenhäusern entfernen. Zum Schutze gegen Regen und Schnee müssen dann entsprechende Vorkehrungen getroffen werden. Entweder werden Klappen vorgesehen, die sich nach Bedarf öffnen oder schließen lassen, oder man läßt die Schlote oben ganz offen, indem man sie nur durch darüber angebrachte Dächer vor Regen und Schnee schützt. Zweckmäßig ist auch die Anordnung eines Wippdaches, d. i. ein Dach, welches sich durch einen geeigneten Bewegungsmechanismus entweder nach der einen oder nach der anderen Seite klappen läßt, je nach der Windrichtung und den sonstigen Bedürfnissen, wie sie durch die Witterung gegeben sind.

Bei den Kammerofenanlagen und speziell bei den Horizontalkammeröfen beginnt man von der Umbauung in Form eines Ofenhauses überhaupt abzusehen. Dies verringert natürlich ganz wesentlich die Anlagekosten, und es hat sich z. B. in Innsbruck herausgestellt, daß die Gesundheitsverhältnisse der Arbeiter dadurch nicht nur nicht leiden, sondern im Gegenteil ganz hervorragend

<sup>1)</sup> Prenger, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 250.

Fig. 248.



günstig beeinflußt werden. Auch im Gaswerke Wien-Leopoldau hat man sich für diese Anordnung entschlossen, und zeigen sich hier die gleichen Vorteile. In südlichen Gegenden konnte man auch bei gewöhnlichen Retortenöfen von Ofenhäusern absehen<sup>1)</sup>.

In unmittelbarer Nähe des Ofenhauses oder der frei stehenden Öfen, wenn ein Ofenhaus nicht vorhanden ist, ist ein genügend großes Kohlenlager und ein Kokslagerplatz vorzusehen. Bei den gegenwärtigen Verhältnissen, wo mit Streiks in den Kohlenwerken und bei den Bahnen gerechnet werden muß, muß das Kohlenlager ein Drittel des gesamten Jahresbedarfes aufzuspeichern vermögen. Ob man ein offenes oder ein gedecktes Kohlenlager vorzieht, hängt teils von den Witterungsverhältnissen, teils von der Art der Kohle ab, welche man zur Anwendung bringt (vgl. S. 293). Gewöhnlich ordnet man das Kohlenlager auf der einen Seite des Ofenhauses und das Kokslager auf der anderen Seite desselben an. Größere Werke besorgen dann mit den mechanischen Transportvorrichtungen das Einbringen vom Kohlenlager sowohl als auch direkt von den Bahnwaggons durch Elevatoren in die Kohlenbunker des Ofenhauses, und von hier wandert die Kohle nach der Entgasung in Form von Koks unten aus den Retorten oder Kammeröfen heraus und wird durch die Kokstransportvorrichtungen (S. 396) neuerdings gehoben, um auf dem Kokslagerplatz entsprechend verteilt werden zu können, oder zur Koksaufbereitung zu gelangen.

In großen Gaswerken werden besondere Gebäude errichtet für die Kondensation, für die Reiniger und für die Regulierung. In kleinen Gaswerken zieht man eine größere Anzahl dieser Vorrichtungen in eine geringere Anzahl von Gebäuden zusammen. Bei großen Anlagen ist die Trennung der einzelnen Gebäude wichtig wegen der Übersichtlichkeit, die dadurch erreicht wird, und wegen der Anpassung der einzelnen Gebäude an die Betriebsverhältnisse der einzelnen Apparate. In kleinen Werken hingegen wäre die Ausführung einer so großen Anzahl von Gebäuden viel zu teuer, und überdies wäre hier die Überwachung durch die geringe Anzahl von Personen, welche in einem solchen Werke verwendet werden können, bei mehreren Gebäuden viel zu schwierig.

Die Gebäude für die Kondensation und die Regulierung des Druckes, sowie für die Gasmesser bieten nichts Besonderes, dagegen müssen wir noch einiges über Reinigerhäuser sprechen. Auch bei diesen ist, ebenso wie bei den Ofenhäusern, eine außergewöhnlich intensive Lüftung anzuordnen. Die Reinigerdeckel müssen ja öfters gehoben werden, um die Masse zu erneuern, und dann entweicht jedesmal die ganze Gasmenge, welche sich im Reiniger aufhält, in die Luft des Reingerraumes. Außerdem bieten die Wassertassen die Möglichkeit von Gasentweichungen, denn wenn Verstopfungen hinter den Reingern eintreten, kann der Druck in der Betriebsrohrleitung und demgemäß auch in den Reingern so hoch steigen, daß die Wasserverschlüsse herausgeschleudert werden. Dann entweicht aber Gas in großen Quantitäten, welche durch die Ventilation des Reinigerhauses rasch entfernt werden müssen. Ferner ist über oder neben dem Reinigerhause ein entsprechender Raum zur Durchführung der Regenerierung der Reinigungsmasse anzuordnen. Der Regeneriererraum soll nicht viel kleiner sein als die Grundfläche des Reingerr-

---

<sup>1)</sup> Russel, American Gaslight, Journal 1907 vom 9. Dezember; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 499.

hauses selbst. Manchmal bringt man den Regenerierboden oberhalb der Reiniger an. Dann sind geeignete Aufzugsvorrichtungen für die Reiniger-  
masse vorzusehen. Das Herablassen der regenerierten Reinigermassen in die Reiniger erfolgt in diesem Falle vom Regenerierboden durch große Schläuche direkt in die Reinigerkästen.

Auch die Reiniger können mit Vorteil im Freien, also ohne besonderes Reinigerhaus, aufgestellt werden. Der erste diesbezügliche Versuch auf dem Kontinent wurde bei der Wiener Wassergaszusatzanlage im Gaswerke Simmering ausgeführt, und die Resultate sind so befriedigende, daß auch in dem neu errichteten Gaswerke in Leopoldau die Reiniger im Freien aufgestellt wurden. Hier handelt es sich um eine große Anlage von 200 000 m<sup>3</sup> Tagesleistung. Zum Schutze der Bedienungsmannschaft müssen allerdings auch die im Freien stehenden Reiniger mit einer entsprechenden Bedachung versehen sein. Das Einfrieren des Wassers in den Reinigerkästen wird dadurch vermieden, daß man das aus den Kühlern kommende warme Wasser durch die Reinigertassen zirkulieren läßt.

Durch den Wegfall des Ofenhauses und des Reinigerhauses gewinnen große Gaswerksanlagen einen anderen Charakter, der sie schon im äußeren Anblick sehr vorteilhaft von den sonstigen großen Gaswerken unterscheidet.

In großen Gaswerken findet man außer den genannten oft noch ein besonderes Gebäude für eine Versuchsgasanstalt und eine Ammoniakfabrik.

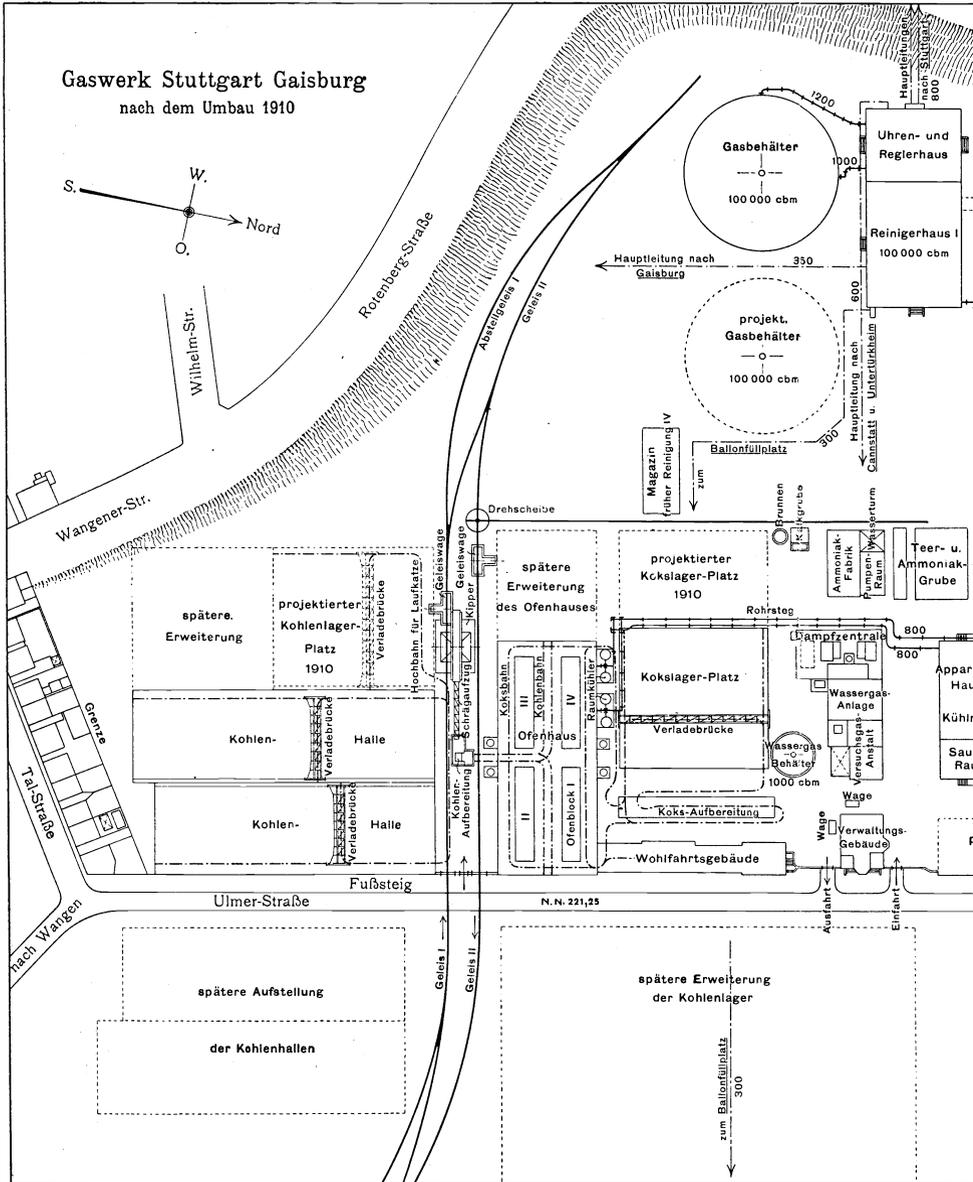
Die Versuchsgasanstalt bezweckt, eine beschränkte Menge der zur Erprobung gesendeten oder angelieferten Kohle in kleineren Apparaten, jedoch unter genauester Kontrolle aller Betriebsresultate zu entgasen. Solche Versuchsgasanstalten erhalten entweder einen besonderen Retortenofen mit einer geringen Anzahl von Retorten (von zwei aufwärts), oder es werden eine oder mehrere Retorten oder ein Ofen im Ofenhouse selbst von den anderen derart abgetrennt, daß das in diesem gewonnene Gas in die Versuchsgasanstalt geleitet werden kann. Dort wird das von dem Ofen gelieferte Gas genau gemessen, und ein aliquoter Teil desselben wird davon abgenommen und aufgespeichert, so daß die Qualität des Gases ermittelt werden kann. Dieses Abtrennen eines Teiles des Gasstromes erfolgt durch eine Kuppelung des Gasmessers der Versuchsgasanstalt mit einem kleineren Gasmesser, welcher diesen Teilstrom zum Gasbehälter der Versuchsgasanstalt führt. Die Kuppelung der beiden Gasmesser wird durch eine Gallsche Kette bewirkt, derart, daß in der Zeiteinheit immer proportionale Gasmengen durch beide Gasmesser gehen. Dadurch wird im Behälter der Versuchsgasanstalt eine richtige Durchschnittsprobe aufgespeichert.

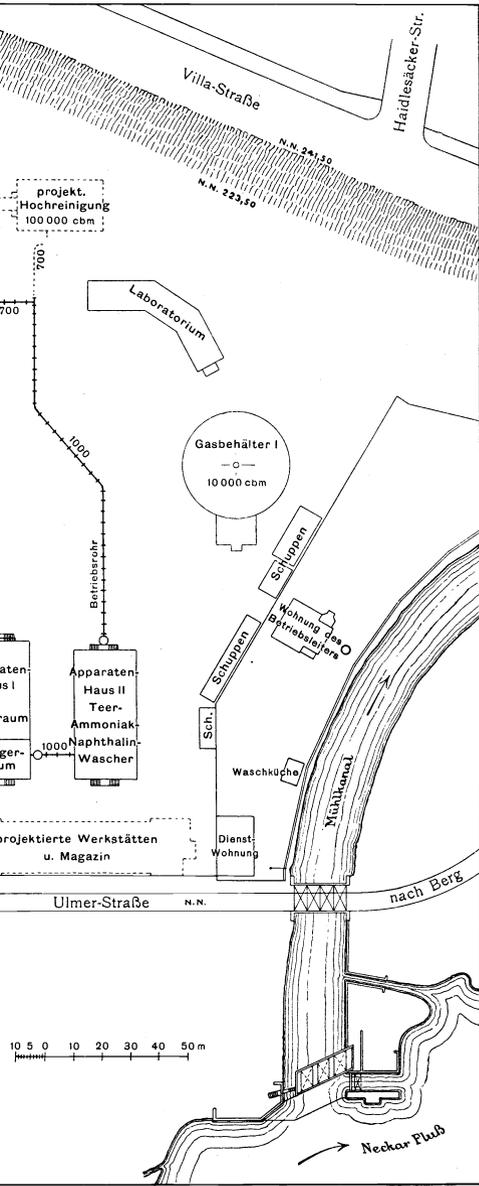
In der Versuchsgasanstalt werden auch die Mengen des gebildeten Teers und Ammoniakwassers besonders aufgefangen und genau gemessen, ebenso werden in der Versuchsgasanstalt auch die erforderlichen Laboratorien für die Untersuchung der Rohprodukte und der Erzeugnisse untergebracht. Es werden hier die Untersuchungen der Kohle, des Kokes, des Teers, des Ammoniaks, der frischen und der ausgebrauchten Reinigungsmasse ausgeführt, sowie alle Untersuchungen, welche zur Betriebskontrolle des Gaswerkes erforderlich sind.

Der Betrieb der Ammoniakfabrik wurde bereits in dem Kapitel 44 „Das Ammoniak“ (S. 549) besprochen.

Wir wollen nun die Disposition einer ganzen Gaswerksanlage an zwei Beispielen erörtern. Das eine soll ein größeres Gaswerk, das andere ein

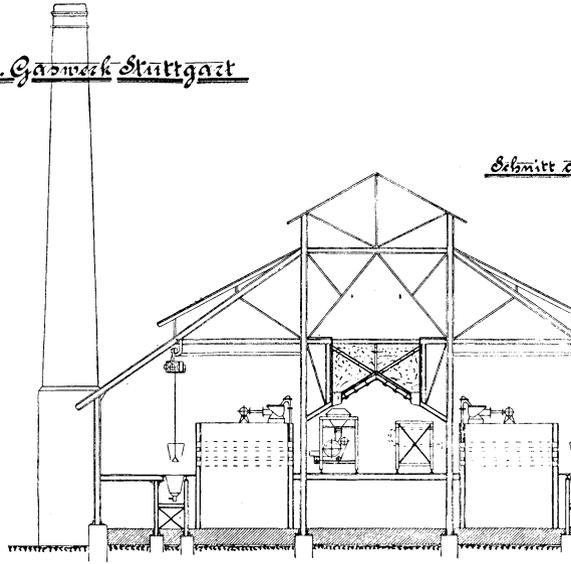
Fig. 249.



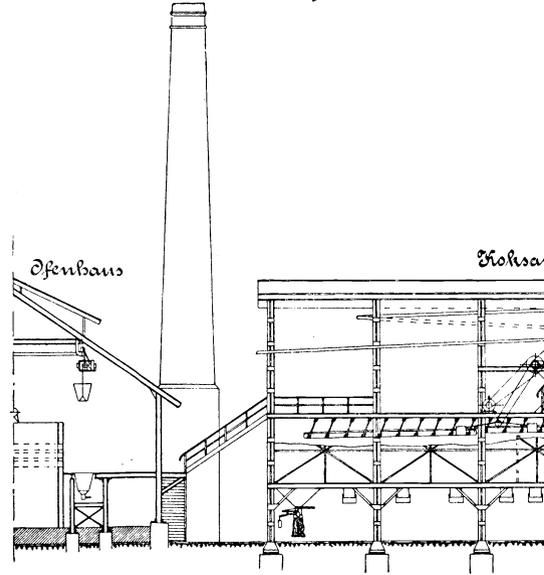


Stadt. Gaswerk Stuttgart

Schnitt 2



Ofenhaus

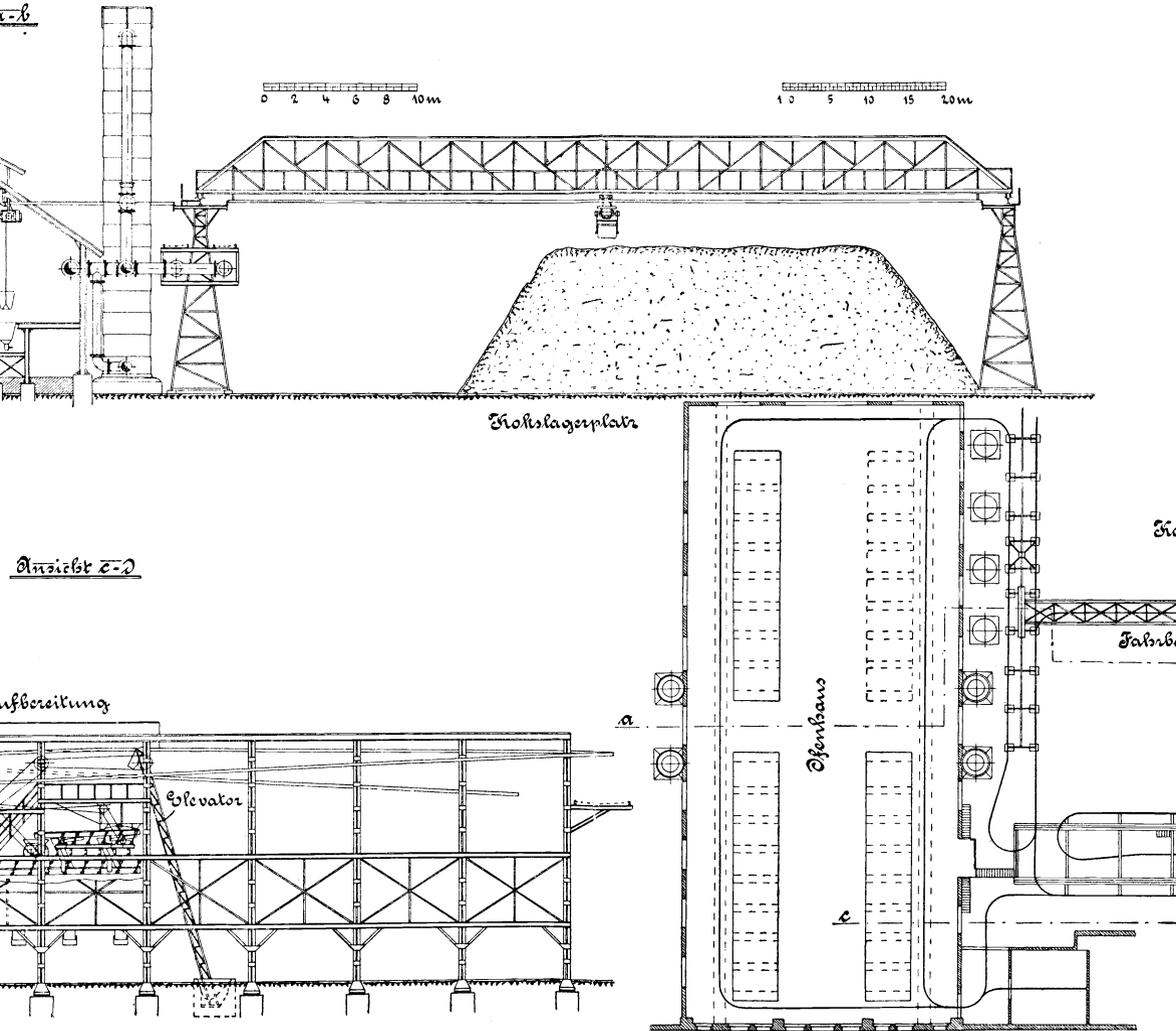


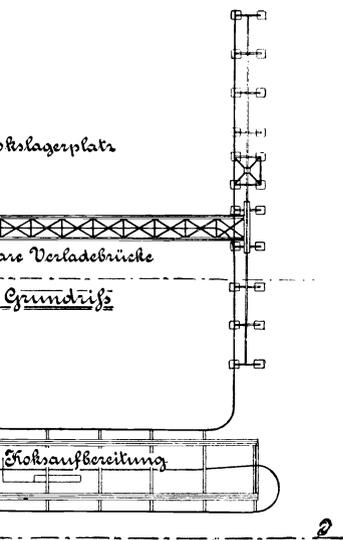
Ofenhaus

Koksraum

Fig. 251.

Kohletransport-Anlage vom Ofenhaus und Kohlelagerplatz.





kleines Gaswerk betreffen. Die Unterschiede der ganzen Anordnung sind wesentliche, weil bei großen Gaswerken die Anlagekosten eine geringe Rolle spielen und der Betrieb auf das rationellste geführt werden muß, während bei kleinen Gaswerken die Anlagekosten möglichst gering gehalten werden müssen und die Einfachheit des Betriebes die Hauptrolle spielt.

Als Beispiel eines modernen größeren Gaswerkes wollen wir das Gaswerk der Stadt Stuttgart betrachten. Fig. 249 zeigt die Disposition der ganzen Anlage. Es ist dies das größte modern eingerichtete Gaswerk am Kontinent, welches mit großräumigen Horizontalöfen arbeitet. Das Gas tritt aus den Vorlagen im Ofenhouse aus und passiert zunächst die Raumkühler, welche in der Zeichnung rechts vom Ofenhouse angeordnet sind. Das Kohlenlager liegt links vom Ofenhouse und ist überdacht; geeignete Transportvorrichtungen schaffen die Kohle von den Bahngleisen mit Hilfe eines Wagenkippers und eines Schrägaufzuges zu der Kohlenaufbereitung, wohin sie auch von der Kohlenhalle aus gelangen können. Der abfallende Koks gelangt aus dem Ofenhouse auf den rechts davon befindlichen Kokslagerplatz und wird mittels einer Verladebrücke auf diesen verteilt oder auch zur Koksauflbereitung, welche sich direkt vor dem Kokslagerplatz befindet, gebracht. Das Gas gelangt durch einen Rohrstrang, der auf einem Rohrstege liegt, zum Kühlraum, wo die Kondensatoren aufgestellt sind, dann in den im selben Gebäude untergebrachten Gassaugerraum. Von hier geht das Gas zur Ammoniak- und Naphtalinwäsche, die wieder ein besonderes Gebäude hat, dann schließlich zum Reinigungshause.

Vom Reinigerhause gelangt das Gas zunächst in die Gasmesser des neben dem Reinigerhause angeordneten Uhren- und Reglerhauses, von diesen zu den Gasbehältern, deren Ein- und Ausgang nicht an derselben Stelle angebracht ist, um eine günstige Mischung des Gases zu erwirken (vgl. S. 501), dann vom Gasbehälter wieder in das Uhren- und Reglerhaus, um dort die Druckregelung zu passieren und dann zur Stadt geführt zu werden. Neben dem Kokslagerplatz befindet sich eine Wassergasanlage, auf welche wir später noch zu sprechen kommen werden (Kap. 60), dahinter die Dampfzentrale des Gaswerkes und noch weiter rückwärts die Ammoniakfabrik mit den Teer- und Ammoniakgruben.

Zwischen diesem Gebäude und dem Gasbehälter ist, den modernen Bedürfnissen entsprechend, ein Ballonfüllplatz angeordnet. Ein Wohlfahrtsgebäude für die Arbeiter und das Verwaltungsgebäude, beide an der Straßenfront gelegen, sowie diverse Magazine und ein Wohnhaus für den Betriebsleiter vervollständigen die ganze Anlage. Daß solche moderne Gaswerksanlagen auch äußerlich in recht hübscher Weise ausgeführt werden können, zeigt Fig. 250.

Die nächsten Abbildungen sollen eine Übersicht über die Anordnung der Apparate in den einzelnen Gebäuden geben. Fig. 251 zeigt einen Querschnitt durch das Ofenhaus und durch den Kokslagerplatz und den Grundriß dazu. Die Kohle wird in Kohlenbunker gebracht, die sich in der Dachkonstruktion des Ofenhauses eingebaut befinden. Von diesen aus fällt die Kohle in die De Brouwersche Lademaschine (vgl. S. 386), wird von dieser in die Horizontalretorten geschleudert, nach der Entgasung wird der Koks durch eine Koksandrückmaschine in einen Kokstransportwagen gedrückt, welcher an einer Elektrohängebahn hängt. Diese befördert ihn auf den Kokslagerplatz, wo der Hängebahnwagen selbsttätig umkippt und in das Ofenhaus zurückkehrt.

Die Vorlagen, welche sich hinter den Öfen befinden, liefern das Gas in Sammelrohre, die es zunächst in die neben dem Ofen Hause stehenden Raumkühler und dann weiter zur Kondensation befördern.

Die Kühler sind im Apparatenhaus I untergebracht (Fig. 252). Zum Zwecke der langsamen Kühlung durchstreicht das Gas zunächst die kreisrunden Luftkühler und dann dahinterstehend die Wasserröhrenkühler (System Reuter), deren vier-eckiger Querschnitt sich im Grundriß zeigt. Es sind hier drei Systeme von Kühlern angeordnet, die verschiedene Größen haben, um sich der jeweiligen Gasproduktion anpassen zu können. Im Längsschnitt sind links die Luftkühler, rechts die Wasserröhrenkühler ersichtlich. Nach der Kondensation gelangt das Gas in den Saugerraum, der direkt an das Kühlerhaus angebaut ist. Es befinden sich hier Gassauger in zwei Systemen angeordnet, so daß das Gas dem Bedarf entsprechend abgesogen werden kann und auch die nötige Reserve an Gassaugern vorhanden ist.

Im Apparatenhaus II wird das Gas der nassen Reinigung unterzogen. Es passiert hier zunächst drei parallel geschaltete Teerscheider, dann drei ebenfalls parallel geschaltete Standardwäscher (vgl. S. 432) und schließlich drei Naphtalinwäscher. Auch hier ist also die Einteilung so getroffen, daß der Gasproduktion entsprechend eine beliebige Anzahl von Apparaten eingeschaltet werden kann.

Die Reiniger-, Uhren- und Regleranlagen sind in Fig. 253 dargestellt. Die Reinigeranlage besteht aus zwei Systemen mit je vier Kästen; die beiden Systeme werden bei vollem Betriebe parallel geschaltet, die vier einzelnen Kästen in jedem System jedoch nacheinander. Der Regenerierraum befindet sich oberhalb der Reiniger, die Masse wird durch eine maschinelle Transportanlage gefördert.

Im Anschluß an den Reiniger Raum ist der Uhren- und Regler Raum angeordnet. Das Gas wird zunächst in vier Uhren gemessen und geht von hier aus zum Behälter. Hier ist auch noch eine Benzolkarburationsanlage eingebaut, die wir später im Kapitel 60 „Wassergas“ besprechen werden. Vom Behälter kommend geht das Gas zurück in das Reglergebäude, wo drei parallel geschaltete Systeme von Vordruck- und Hauptdruckreglern das Gas unter den gewünschten Druck setzen, unter dem es zur Stadt abströmt.

Fig. 250.

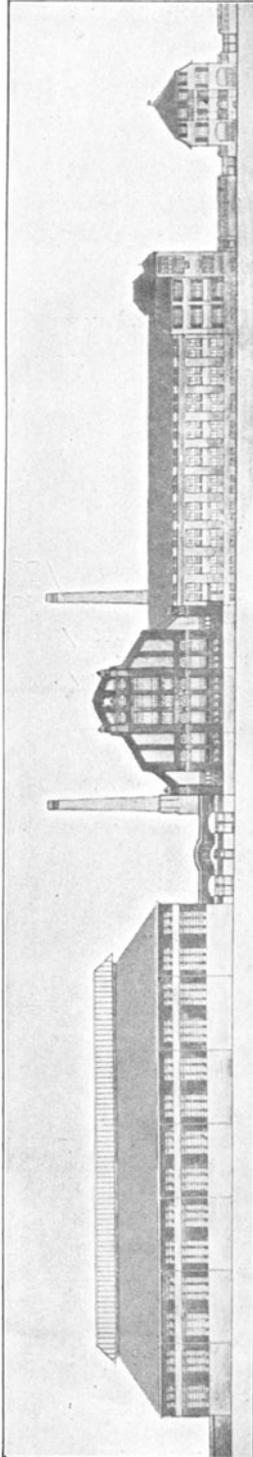


Fig. 252.

Strach Gaswerk Amtgard

Apparatenbau I

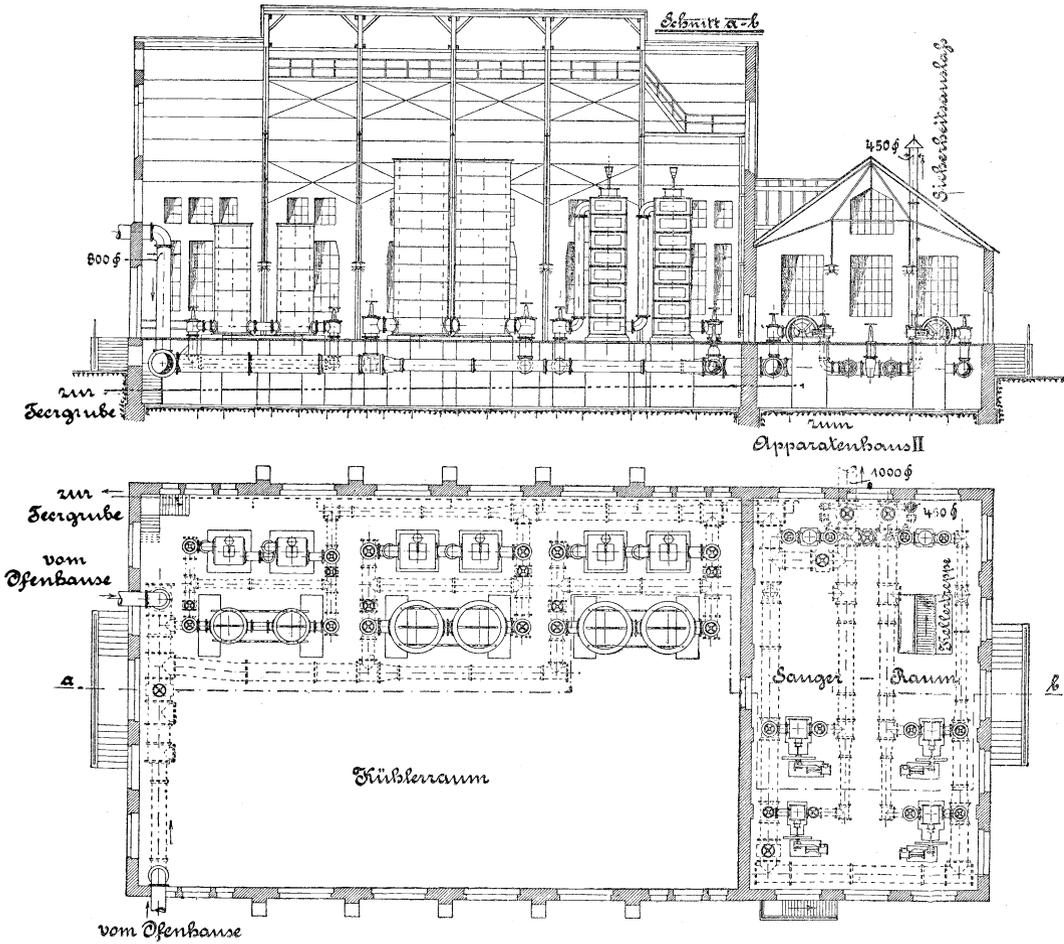


Fig. 252.

## Apparatenhaus II

Schnitt A-A

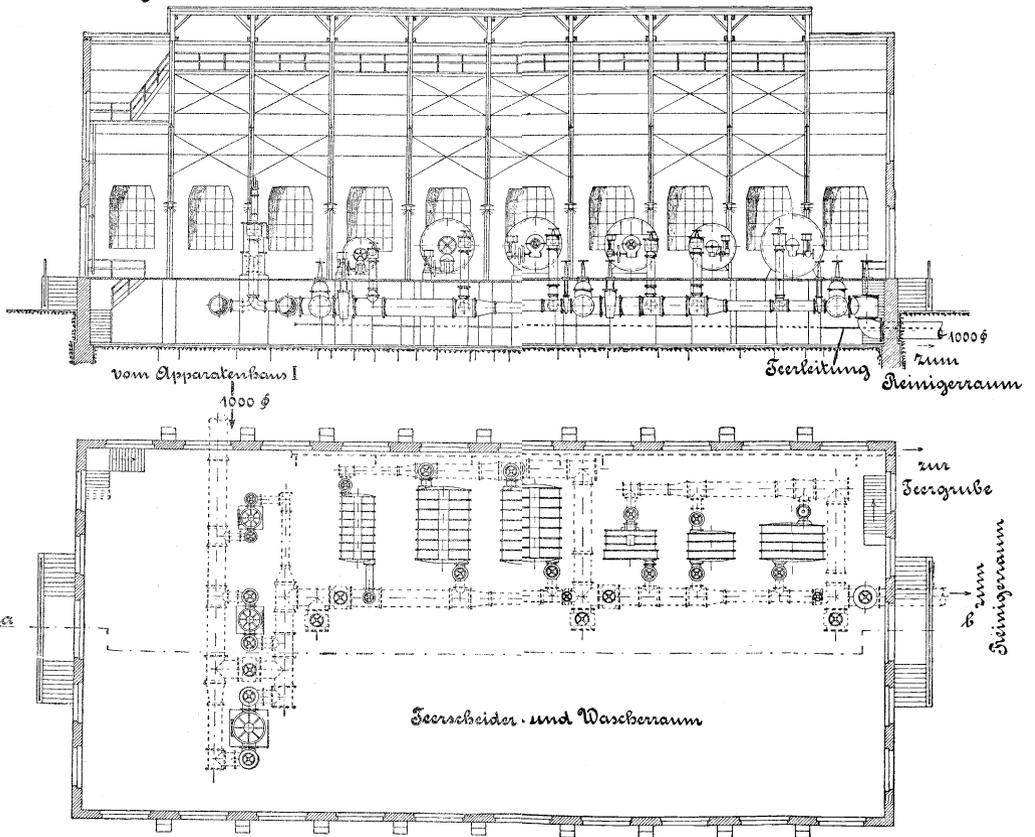
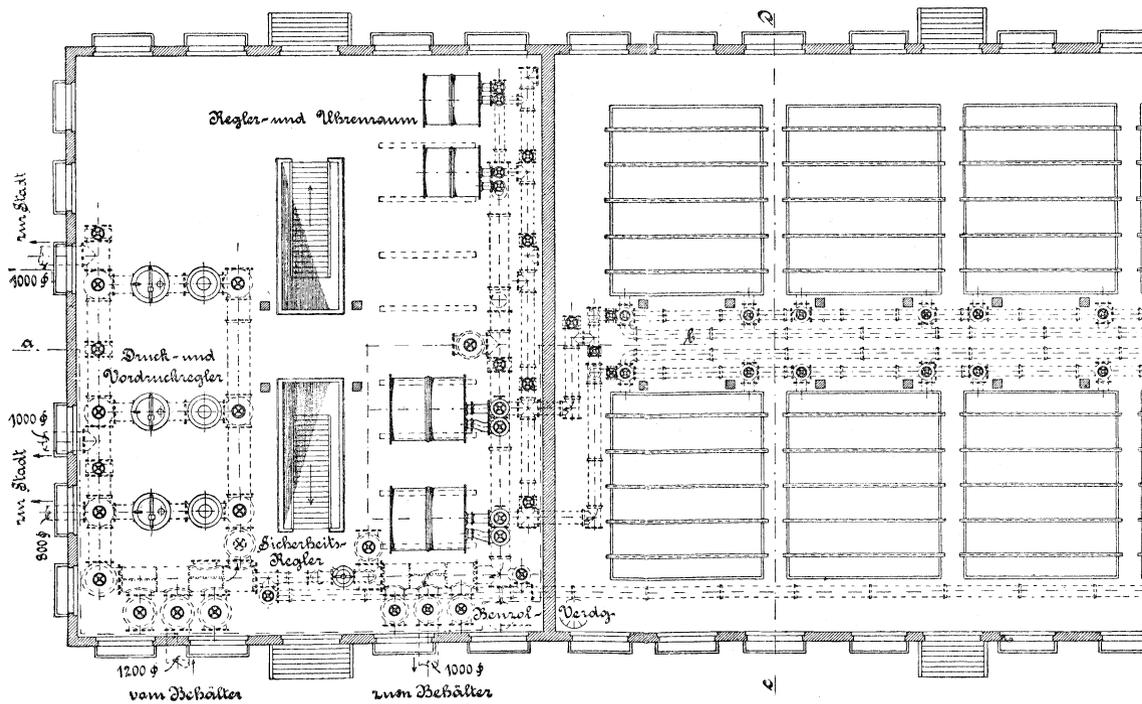
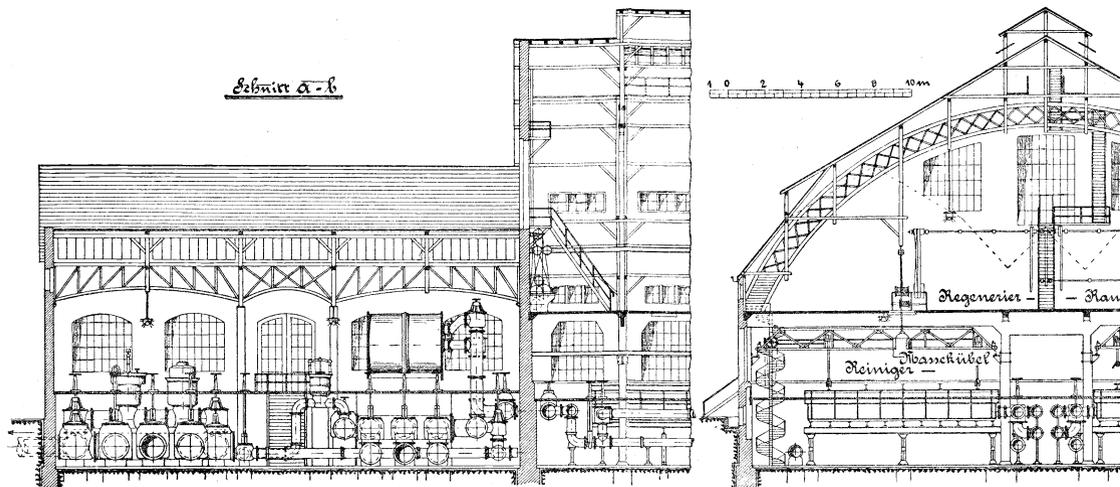
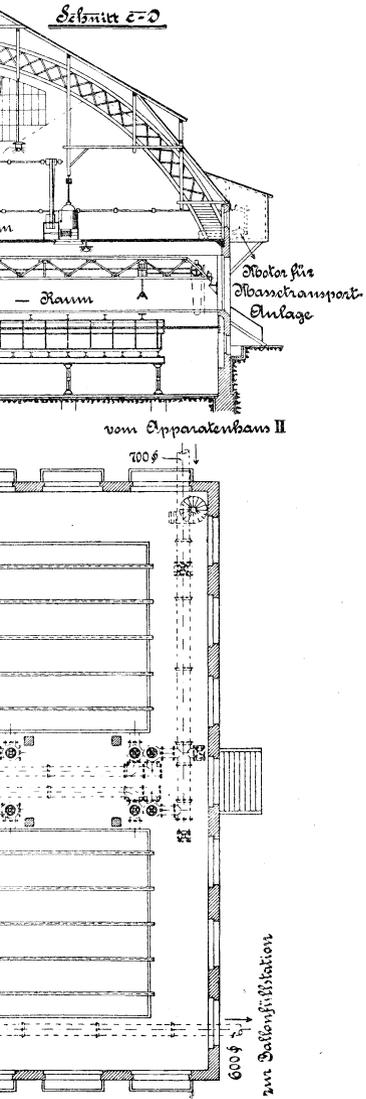


Fig. 253.

Schnitt a-b



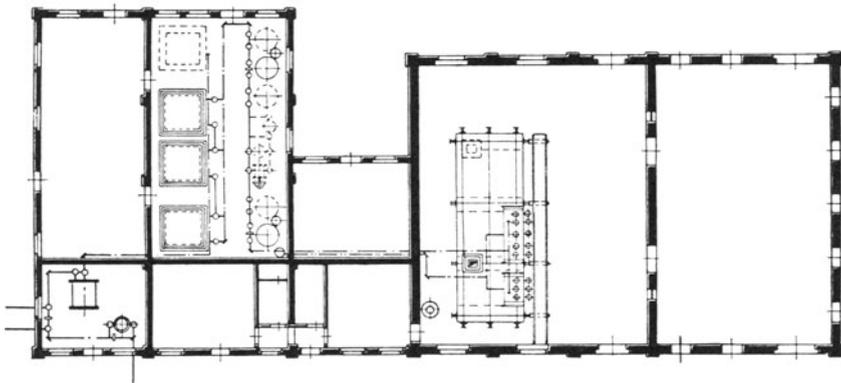
Zu Seite 564.



Bei dieser Anlage ist im großen ganzen die Trennung der einzelnen gleichartigen Apparate in drei Gruppen (Systeme), an manchen Stellen in zwei Gruppen durchgeführt. Eine solche Trennung ist bei größeren Gaswerksanlagen stets zweckmäßig, weil dadurch die Anpassung an den Konsum besser stattfinden kann und weil sowohl die Übersichtlichkeit, als auch bei etwaigen Störungen die Ein- oder Ausschaltung einer ganzen bereitstehenden Gruppe Vorteile bringt.

Im Gegensatz zu der eben erläuterten Gaswerksanlage sei im nachstehenden noch die Anordnung der Apparate in einem ganz kleinen Werke erläutert. Hier kommt es, wie schon erwähnt, auf Billigkeit der Anlage und weiter auch auf Einfachheit in der Bedienung an. Wir nehmen als Beispiel das Gaswerk Schroda, welches in Fig. 254 im Grundriß dargestellt ist. Das Gas wird hier in zwei Öfen mit zwei bzw. fünf horizontalen Retorten ge-

Fig. 254.



wonnen. Platz zur Aufstellung eines dritten Ofens zu fünf Retorten ist vorhanden. Neben dem Ofenhaus befindet sich das Kohlenlager und in dem linken Anbau die Kühlung und die Reinigung. Zunächst ist nur ein Luftkühler und ein Ammoniakwäscher aufgestellt. Es ist jedoch Platz zur Aufstellung je eines zweiten dieser Apparate vorhanden, was durch die gestrichelten Linien gekennzeichnet ist. Ein Exhaustor ist bei einer derartig kleinen Anlage zunächst noch nicht vorgesehen, weil derselbe eine Dampfanlage erfordern würde. Es ist jedoch auch Platz zur Aufstellung dieses vorhanden, so daß der Betrieb durch Aufstellung eines Exhaustors vervollkommenet werden kann. Die Aufstellung eines Teerscheiders kann ebenfalls nur dann erfolgen, wenn mit Hilfe eines Exhaustors ein höherer Druck des Gases hervorgerufen werden kann. Aus dem gleichen Grunde erfolgt die Teleskopierung der Behälterglocke erst dann, wenn die Aufstellung eines Exhaustors vorgenommen wird.

Mit Rücksicht auf den geringeren Druck sind zunächst auch nur drei Reinigerkästen eingeschaltet. Platz zur Aufstellung eines vierten Kastens ist vorhanden. Nach der Reinigung passiert das Gas den Uhren- und Reglerraum, in welchem ein Gasmesser aufgestellt ist, von dem aus das Gas zum Behälter geht. Vom Behälter kommend, passiert es einen Druckregler mit Gewichtsbelastung und geht dann zur Stadt. Die Anordnung von automatisch druckgebenden Reglern ist wegen der Genauigkeit, mit der sie bedient werden müssen, bei derartig kleinen Werken weder zweckmäßig, noch erforderlich.

Wie ersichtlich, ist hier die ganze Gaswerksanlage in einem einzigen Gebäude vereinigt. Dies ist bei kleinen Gaswerken aus den schon auf S. 561 erläuterten Gründen erforderlich.

Die Beleuchtung der Gaswerksgebäude erfolgt im Inneren gewöhnlich mit Gasglühlicht. In größeren Gaswerken und dort, wo Strom vorhanden ist, wendet man auch vielfach elektrische Beleuchtung an. In Gaswerksräumen, welche keine offenen Flammen erhalten dürfen, wendet man entweder Außenbeleuchtung an, indem vor den Fenstern der betreffenden Räume Gasglühlichtlampen mit Reflektoren angebracht werden, welche das Licht in das Innere der Räume werfen, oder man verwendet Sicherheitslaternen, welche in geeigneten Öffnungen in die Mauern eingebaut sind. Diese dürfen jedoch dann nicht von dem betreffenden Raume aus bedient werden, sondern müssen sich von der entgegengesetzten Seite aus bedienen lassen. Bei der Bessinschen Sicherheitslaterne<sup>1)</sup> die speziell für Reinigerräume angewendet wird, sind alle Luftzutrittsstellen durch Drahtnetze geschützt, so daß das Herausschlagen einer Flamme aus dem Laterneninneren nach dem zu beleuchtenden Raume unmöglich gemacht ist. Es genügt übrigens auch eine doppelte Glaswand zwischen der Laterne und dem betreffenden Raume für die vollkommene Sicherheit.

Die Beheizung der Gaswerksräume erfolgt in größeren Anlagen ausschließlich mit Dampf oder mit warmem Wasser. Es ist eine Raumtemperatur von ungefähr 15° einzuhalten.

Um schon in der Anlage eines Gaswerkes die größtmögliche Betriebsicherheit zu gewährleisten, sind die von der Berufsgenossenschaft der Gas- und Wasserwerke Deutschlands herausgegebenen Sicherheitsvorschriften, welche wir im Anhang wiedergeben, einzuhalten<sup>2)</sup>.

Eine der wichtigsten Bedingungen ist, daß in jenen Räumen, wo sich Apparate mit hydraulischen Verschlüssen befinden, keine offene Flammen brennen dürfen. Alle hydraulischen Verschlüsse tragen die Unsicherheit in sich, daß bei etwaigen Drucksteigerungen ein Herauswerfen des Wassers bzw. der Sperrflüssigkeit stattfinden kann, wobei bedeutende Mengen von Gas entweichen. In den Räumen für die Kondensation sind es die Ablaufsiphons von den Kühlern und Wäschern, bei welchen solche hydraulische Verschlüsse vorkommen, und besonders sind es die Reinigerräume, in welchen die hydraulischen Wasserdichtungen zur Vorsicht mahnen. Über die Beleuchtung derartiger Räume haben wir bereits oben gesprochen. Auch die Anwendung von Elektromotoren in derartigen Räumen ist von der Berufsgenossenschaft als unzulässig bezeichnet worden. Bei diesen können nämlich elektrische Funken auftreten, welche eine Entzündung des etwa im Raume enthaltenen Gases hervorrufen können. So z. B. sind nach den Vorschriften der Berufsgenossenschaft<sup>3)</sup> Telephone nur zulässig, wenn die Sicherungen außerhalb der Gebäude angebracht werden und wenn die bei den Unterbrechern der Klingeln auftretenden Funken durch Sicherheitsnetze entsprechend abgeschlossen werden. Ebenso dürfen elektrische Schaltapparate und Sicherungen in diesen Räumen nicht angebracht werden. Aus gleichen Gründen ist auch die Anwendung von Gasmotoren in Apparaten- und Reinigerräumen unzulässig.

<sup>1)</sup> Blum, Einrichtungen der Gaswerke, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 346.

— <sup>2)</sup> Vgl. auch „Inbetriebsetzung von Gaswerken“, Gaskalender, Beil. S. 182. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 771.

Es ist jedoch die Frage aufgeworfen worden<sup>1)</sup>, ob diese Vorsichtsmaßregel nicht eine übertriebene ist. In Schlagwettergruben sei es z. B. gestattet, mit Benzollokomotiven zu verkehren, während dort elektrische Lokomotiven nicht gestattet sind. Dementsprechend könnten doch wohl auch Gasmotoren, deren Zündvorrichtung entsprechend geschützt ist, in den durch Gasausströmungen gefährdeten Räumen angewendet werden.

Von besonderer Wichtigkeit für den Betrieb eines Gaswerkes ist auch eine rasche Übersicht über die jeweilige Stellung aller Schieber. Es ist daher zweckmäßig, nur solche Schieber zu verwenden, welche die Schieberstellung von außen rasch erkennen lassen (vgl. S. 537).

## XI. Rohrleitungen.

### 46. Hauptleitungen und Zuleitungen.

Zur Beförderung des Gases verwendet man Rohrleitungen, deren richtige Dimensionierung natürlich von besonderer Wichtigkeit ist. Ein Rohr von bestimmter Länge und bestimmtem Durchmesser läßt bei einer gegebenen Druckdifferenz eine bestimmte Gasmenge hindurchtreten, oder anders ausgedrückt, wenn eine bestimmte Gasmenge durch eine Rohrleitung von gegebenem Durchmesser hindurchgetrieben wird, so entsteht ein bestimmter Druckverlust. Je größer die Gasmenge ist, welche pro Zeiteinheit hindurchgetrieben wird, desto größer ist der Druckverlust. Andererseits ist der Druckverlust um so geringer, je größer der Querschnitt der Rohrleitung ist, und um so größer, je größer die Länge der Rohrleitung ist. Um also eine bestimmte Gasmenge in der Zeiteinheit auf eine gewisse Entfernung fortzuleiten zu können, kann man entweder eine enge Rohrleitung mit hohem Druck anwenden oder eine weite Rohrleitung bei verhältnismäßig geringem Druck. Die richtige Wahl der Rohrdimensionen und des Druckverlustes ist für die Versorgung eines Gebietes mit Gas von großer Bedeutung.

Zur Berechnung der Rohrleitungen verwendet man gewöhnlich die zuerst von Clegg und Schilling abgeleitete Formel. Sie geht von der Annahme aus, daß der Druckverlust der Rohrleitung dem gesamten Reibungswiderstand entspricht. Dementsprechend ist der Druckverlust proportional der Masse des Gases, ferner proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit und proportional der Fläche, welche vom Gase berührt wird, ferner proportional dem Reibungskoeffizienten. Bezeichnen wir den Reibungswiderstand mit  $R$ , das Gewicht des Gases mit  $G$ , die Beschleunigung der Schwere mit  $g$ , also die Masse des Gases mit  $\frac{G}{g}$ , ferner die Geschwindigkeit mit  $v$ , die Länge des Rohres mit  $L$ , den Durchmesser desselben mit  $D$ , also die vom Gase berührte Fläche mit  $L\pi D$ , so ergibt sich unter den obigen Annahmen der Reibungswiderstand

$$R = \frac{G}{g} \cdot v^2 L \pi D \cdot M,$$

worin  $M$  den Reibungskoeffizienten des Gases an der Rohrwandung darstellt.

<sup>1)</sup> Leybold, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 698, ferner S. 878.

Andererseits aber ist der Reibungswiderstand gleich dem Druckverluste  $H$  mal der Fläche, also:

$$R = D^2 \frac{\pi}{4} \cdot H,$$

somit ergibt sich die Gleichung:

$$D^2 \frac{\pi}{4} H = \frac{G}{g} v^2 L \pi D M.$$

Bezeichnen wir ferner mit  $q$  die Menge des pro Sekunde durch das Rohr hindurchfließenden Gases in Kubikmetern, so drückt sich die Geschwindigkeit aus durch die Formel:

$$v = \frac{4}{\pi D^2} \cdot q,$$

und setzen wir hierin die Beschleunigung der Schwere  $g = 9,1 \text{ m}$  und, wenn  $s$  das spezifische Gewicht des Gases, bezogen auf Luft darstellt, das Gewicht des Gases  $G = 1,293 \cdot s$ , so ergibt sich die Gleichung:

$$D^2 \frac{\pi}{4} H = \frac{1,293 s}{9,81} \cdot \frac{4^2}{\pi^2 D^4} \cdot q^2 L \pi D M.$$

Daraus berechnet sich:

$$H = 0,855 M \frac{s q^2 L}{D^5}.$$

In diesen Formeln sind alle Längen in Metern ausgedrückt angenommen. Weil nun üblich ist, den Druckverlust in Millimeter Wassersäule und den Durchmesser in Zentimetern anzugeben, so ergibt sich, wenn wir die auf diese Weise ausgedrückten Druckverluste mit  $h$  und den Durchmesser mit  $d$ , ferner  $\lambda^2$  als einen Koeffizienten annehmen, die Formel:

$$h = \frac{Q^2 s L}{\lambda^2 d^5}.$$

Da in dieser Formel  $Q$  die pro Stunde durch das Rohr hindurchfließende Gasmenge ausdrückt, so ergibt sich diese Gasmenge bei bekanntem Durchmesser  $d$  und bekanntem Druckverlust  $h$ , sowie bekannter Länge  $L$  und spezifischem Gewicht  $s$  des Gases aus der Formel:

$$Q = \lambda \sqrt[5]{\frac{d^5 h}{s \cdot L}}.$$

Nach Pole ist diese Formel zu schreiben:

$$d = 1,149 \cdot \sqrt[5]{\frac{Q^2 s L}{h}}.$$

Der Koeffizient  $\lambda$  in den obigen Formeln entspricht nicht der Größe 1,149 in der Poleschen Formel. Die letztere Zahl in der Poleschen Formel ist vielmehr aus der Größe entstanden:

$$\sqrt[5]{\frac{1}{\lambda^2}}.$$

Nach Cripps-Niemann<sup>1)</sup> ergibt sich nach folgender Tabelle:

<sup>1)</sup> Schäfer, Einrichtungen und Betrieb eines Gaswerkes. Oldenbourg 1910. S. 850.

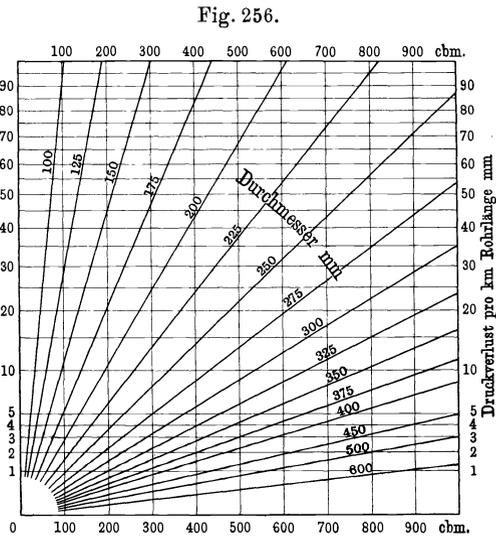
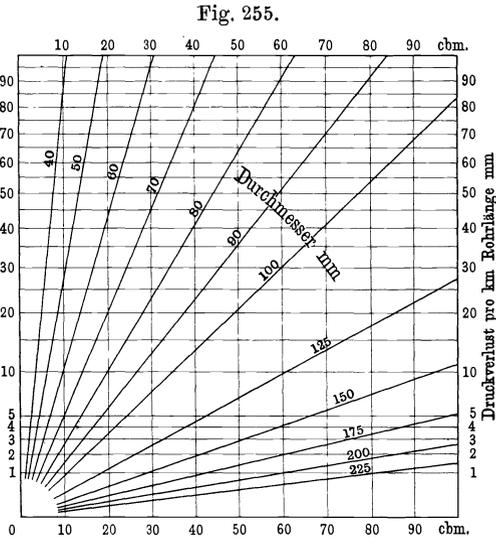
$d =$ Durchmesser des Rohres in cm	Koeffizient $\lambda$	$d =$ Durchmesser des Rohres in cm	Koeffizient $\lambda$
15,2	0,70	5,18	0,52
12,7	0,63	3,81	0,49
10,2	0,59	2,54	0,47
7,62	0,59	1,27	0,46

Daraus ist also ersichtlich, daß die obige Ableitung nicht ganz der Wirklichkeit entspricht, denn in diesem Falle müßte  $\lambda$  konstant sein, und dies ist tatsächlich nicht der Fall. —

In den letztgenannten Formeln wurde das spezifische Gewicht des Gases mit 0,4 angenommen. Dies entspricht nur dem Steinkohlengase, und daher gilt die obige Tabelle nur für Steinkohlengas.

Die Berechnung von Rohrleitungen nach diesen Formeln ist noch eine recht umständliche. Es ist deshalb viel praktischer, sich einer graphischen Methode zu bedienen, um die Rohrdimensionen rasch ermitteln zu können. Hierzu dienen die nachstehenden drei Diagramme, von denen das erste (Fig. 255) die Rohrdurchmesser für 0 bis 100 m<sup>3</sup> Gasdurchgang pro Stunde zu ermitteln gestattet, die zweite (Fig. 256) die Rohrdurchmesser von 0 bis 1000 m<sup>3</sup> und schließlich die dritte (Fig. 257) die Durchmesser für 0 bis 10 000 m<sup>3</sup> Gasdurchgang pro Stunde zu ermitteln gestattet.

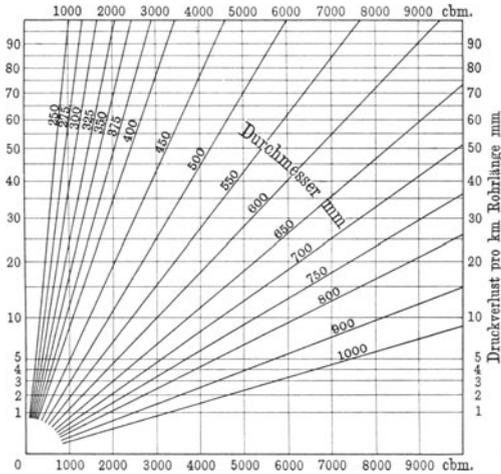
In diesen Diagrammen sind auf der Horizontalen die Kubikmeter stündlichen Gasdurchganges aufgetragen, in der Vertikalen die Druckverluste pro 1 m Rohrlänge in Millimeter Wassersäule. Die schrägen Linien stellen die Rohrdurchmesser dar. Will man also z. B. aus dem zuletzt angegebenen Diagramm erfahren, wieviel Druckverlust das Gas pro Kilometer Rohrlänge erfährt, wenn der Durchmesser des Rohres 1000 mm und der stündliche Gasdurchgang



erfahren, wenn der Durchmesser des Rohres 1000 mm und der stündliche Gasdurchgang

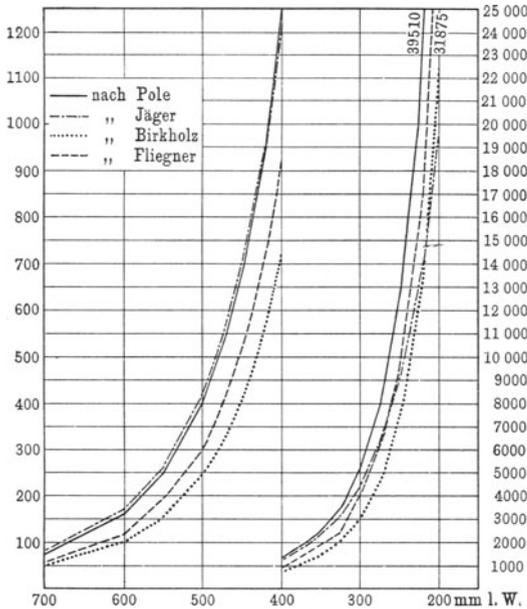
9000 m<sup>3</sup> beträgt, so geht man auf der Abszissenachse bis zum Punkte 9000 und auf der dort befindlichen Ordinate nach aufwärts, bis sie die schräge Linie 1000 (das ist der Durchmesser) schneidet. Es ergibt sich hier ein Druckverlust von 7 mm pro Kilometer Rohrnetzlänge. Da der Druckverlust proportional der Länge des Rohres ist, so läßt sich dann für ein beliebig langes Rohr der Druckverlust berechnen, indem man die gefundene Größe mit der Länge des Rohres multipliziert.

Fig. 257.



Will man sich dieser Diagramme nicht bedienen, so kann die stündliche Ausflußmenge in Kubikmetern auch aus der im Anhang wiedergegebenen Tabelle entnommen werden. Diese Tabelle ist auf einen Druckverlust von 10mm bei einem Gase vom spez. Gew. 0,4 berechnet, man kann jedoch die stündliche Durchflußmenge für einen beliebigen anderen Druckverlust berechnen, wenn man berücksichtigt, daß die durchfließende Gasmenge proportional der Wurzel aus dem Druck ist. So ergibt sich z. B. bei 40 mm Druckverlust, das ist das Vierfache der in der Tabelle angenommenen 10 mm, die  $\sqrt{4} =$  zweifache Gasmenge gegenüber den in der Tabelle angegebenen Zahlen.

Fig. 258.



Die Polesche Formel ist neuerdings von Chandler<sup>1)</sup> nachgeprüft worden. Er fand, daß die Konstante dieser Formel für enge Zweigleitungen viel zu groß sei und daß bei kleinen Druckunterschieden die durchströmende Gasmenge nicht proportional der Quadratwurzel aus den Drucken sei. Reynolds hat gezeigt, daß ein gewisses Verhältnis zwischen Geschwindigkeit und Durchmesser besteht. Ehe dieses Verhältnis erreicht ist, erfolgt die Strömung

<sup>1)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, S. 35; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 528.

in geraden Linien, sowie jedoch dieses Verhältnis überschritten wird, können nicht mehr dieselben Gesetze für die Geschwindigkeit angewendet werden. Chandler ermittelte den Gasdurchgang durch Röhren von 6,25 bis 50 Fuß Länge und von  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{2}$ " lichter Weite bei Drucken von 0,1 bis 4,0" Wassersäule mit einem Gas von 0,42 spez. Gew., ferner ermittelte er den Gasdurchgang durch eine Öffnung von 3,17 mm Durchmesser und 3,71 mm Dicke wie folgt:

Druck mm Wasser- säule	Gasdurchgang in Litern pro Stunde bei 0° und 760 mm
6,35	335,07
25,40	685,9
50,80	1011,7
76,20	1243,3
101,60	1425,2

Auch für lange Rohrleitungen hat sich die Polesche Formel nicht als richtig erwiesen. Es gehen namentlich bei hohem Druck größere Gasmengen hindurch, als nach dieser Formel berechnet. Lenze<sup>1)</sup> berechnet nach der von Jäger<sup>2)</sup> erweiterten Poleschen Formel:

$$Q_e = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{(H_a^2 - H_e^2) \cdot d^5}{S_e H_e l}}$$

In diesen bedeuten  $H_a$ ,  $H_e$  die Drücke in Millimetern Wassersäule am Anfang und am Ende der Rohrleitungen,  $d$  den Durchmesser der Leitungen in Zentimetern,  $S_e$  das spezifische Gewicht des Gases, beim Austritt aus der Leitung und  $l$  die Länge der Leitung in Metern. Er gab ferner einen Vergleich der Formeln von Pole, Jäger, Birckholz und Fliegner in Form eines Diagramms (Fig. 258). In diesem bedeuten die Zahlen links den Druckverlust bei 700 bis 400 mm und rechts bei 400 bis 200 mm Rohrdurchmesser. Die Jägersche Formel ist nur bei Drucken über 1000 mm brauchbar. Die Polesche ist für größere Druckverluste zu ungünstig, die Birckholzsche für solche hingegen zu günstig. Welche Formeln anzuwenden sind, kann heute noch nicht entschieden werden, da hierzu viele und genaue Versuche erforderlich sind, die bisher noch nicht ausgeführt wurden.

Sämtliche oben genannte Formeln gelten natürlich nur für den Fall, daß die ganze Gasmenge durch die ganze Länge des Rohres hindurchstreicht, d. h. daß der Konsum am Ende des Rohres konzentriert ist und unterwegs keine Gasentnahme stattfindet. Ist eine solche vorhanden, so muß man sich das Rohr in einzelne Teile von Abzweigung zu Abzweigung zerlegt denken und für jeden einzelnen Teil den Druckverlust besonders bestimmen.

Das spezifische Gewicht des Gases spielt nicht nur eine Rolle in bezug auf den Reibungswiderstand, welchen das Gas in der Rohrleitung erfährt, insofern als leichtere Gase einen geringeren Druckverlust erfahren als schwerere, wie dies ja in den obigen Formeln berücksichtigt ist, sondern auch insofern, als bei Rohrleitungen, die nicht horizontal liegen, außer dem Druckverlust

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 691. — <sup>2)</sup> Hütte III, 20. Aufl., S. 739.

auch noch ein Auftrieb des Gases bei steigender Rohrleitung zu berücksichtigen ist. Dieser Auftrieb ist unabhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher das Gas die Rohrleitung passiert. Fließt das Gas in einem ansteigenden Rohre, so ist der Auftrieb zu ermitteln, welcher zufolge der Höhendifferenz zwischen Anfang und Ende des Rohres vorhanden ist, und dieser Auftrieb in Millimetern Wassersäule wirkt dem Druckverluste entgegen, d. h. er ist von dem aus obigen Formeln ermittelten Druckverlust in Abzug zu bringen. Umgekehrt wird bei fallendem Rohre, d. h. wenn das Gas von oben nach unten fließt, der Druckverlust um die Größe des Auftriebes vermehrt. Der Auftrieb berechnet sich aus der Differenz des spezifischen Gewichtes der Luft und des Gases durch Multiplikation mit dem absoluten Gewicht der Luft (1,293). Er beträgt also:

$$1,293 (1 - s),$$

worin  $s$  das spezifische Gewicht des Gases und 1 das spezifische Gewicht der Luft darstellt.

Die nachstehende Tabelle zeigt diesen Auftrieb für verschiedene spezifische Gewichte.

Spezifisches Gewicht bezogen auf Luft = 1	Auftrieb in mm Wassersäule pro 1 m Höhendifferenz
0,3	0,905
0,4	0,776
0,5	0,647
0,6	0,517

Um die Größe von Rohrleitungen genau berechnen zu können, muß man natürlich den Stundendurchgang, welchen das Rohr maximal zu liefern hat, genau kennen. Bei der Berechnung der Rohrdimensionen für städtische Rohrnetze, an die eine große Anzahl von Konsumenten angeschlossen ist, läßt sich dieser Konsum meist nur sehr ungenau bestimmen. Ebenso ist es praktisch unmöglich, bei der Berechnung jede einzelne Abzweigung, die zu einem Konsumenten führt, zu berücksichtigen: Auch betreffs des Verbrauches jedes Konsumenten ist man auf bloße Annahmen angewiesen, so daß eine richtige Berechnung eigentlich überhaupt unmöglich ist.

Bei neu zu errichtenden Gaswerken oder Straßenzügen kann man sich der nachstehenden Tabelle bedienen, um den Gaskonsum, der in einer Straße stattfindet, zu schätzen<sup>1)</sup>.

Die Dimensionen der Rohrleitungen für die Verteilung des Gases in einer Stadt sollen so gewählt sein, daß bei Steinkohlengas der Druck bei den am ungünstigsten gelegenen Konsumenten noch mindestens 40 mm beträgt; rechnet man dann einen maximalen Druckverlust von 30 mm, so ergibt dies einen Maximaldruck von 70 mm im Gaswerk zur Zeit des stärksten Konsums.

Die in neuerer Zeit vielfach angewendeten Druckwellenfernzündler (siehe Kap. 71) ermöglichen eine sorgfältige Überwachung der Druckverhältnisse in städtischen Rohrnetzen und geben daher das beste Mittel an die Hand, um zu

<sup>1)</sup> Schäfer, Einrichtung und Betrieb eines Gaswerkes, 3. Aufl., S. 857. Oldenburg 1910.

erkennen, wann Teile eines im Betriebe stehenden Rohrnetzes zu eng geworden sind<sup>1)</sup>. Stehen solche Zünder nicht in Anwendung, so muß das Rohrnetz zeitweise mit gewöhnlichen Manometern auf seine genügende Dimensionierung geprüft werden.

Als Material für die Rohrleitung zur Verteilung des Gases kommt beinahe ausschließlich Gußeisen und Schmiedeeisen in Betracht. Für Leitungen, welche in die Erde zu verlegen sind, also namentlich für die größeren Rohr-

Bedarf an Gas für 100 m bebaute Straßenfront in einer Stunde.

Charakter der Gegend	Bedarf an Gas für 100 m Häuserfront in einer Stunde m <sup>3</sup>
Beste Geschäftsgegend . . . . .	14
Gute Geschäftsgegend . . . . .	12
Normale Geschäftsgegend . . . . .	8—9
Gute Wohngegend . . . . .	6—6,5
Normale Wohngegend . . . . .	4—5
Arbeiterbevölkerung . . . . .	2—3
Unausgesprochene Gegend . . . . .	2

dimensionen, wurde bisher beinahe ausschließlich Gußeisen verwendet. Schmiedeeiserne Rohrleitungen kamen nur für geringere Dimensionen und namentlich für die Installation in den Häusern und dort in Betracht, wo es sich um frei liegende Rohrleitungen handelte. Der Unterschied in der Verwendung ist in dem Material selbst gelegen. Gußeiserne Rohrleitungen sind schwer, vermögen sich nicht zu biegen und sind daher der Bruchgefahr ausgesetzt, außerdem können sie nicht in den großen Baulängen hergestellt werden, wie die schmiedeeisernen Rohrleitungen, benötigen daher mehr Material und mehr Arbeitslöhne für die Herstellung der Dichtungen, rosten aber nicht so leicht wie die schmiedeeisernen Leitungen, und haben daher eine erheblich längere Lebensdauer als letztere. Das Gußeisen, welches heute als Material für diese Rohrleitungen verwendet wird, hat zwar nicht mehr dieselbe vorzügliche Qualität, wie in früheren Jahren, wo man die Lebensdauer der gußeisernen Rohrleitungen, auch wenn sie in der Erde lagen, für nahezu unbegrenzt hielt. Aber zweifellos greift der Rost auch bei dem jetzigen gußeisernen Material weit weniger an, als beim Schmiedeeisen.

Die Ursache der Verschiedenheit des Angriffes von Schmiedeeisen und Gußeisen durch Rost findet Kröhnke<sup>2)</sup> darin, daß die Oberfläche des Gußeisens durch seine Gußhaut geschützt ist, während beim Schmiedeeisen durch die mit dem Walzen verbundenen Verletzungen der Gußhaut die lokalen Anrostungen erleichtert werden. Im übrigen stellt dagegen Schmiedeeisen infolge seines geringeren Gehaltes an fremden Bestandteilen ein anfänglich langsam rostendes Material dar. Ein Rohr aus reinem Schmiedeeisen mit einer gleichmäßigen unbeschädigten Oberfläche müßte daher ein besonderes rostwiderstandsfähiges Rohr darstellen.

<sup>1)</sup> Vgl. auch Brennecke, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 458. — <sup>2)</sup> Gesundheitsingenieur 1910, S. 392; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1098.

In den letzten Jahrzehnten haben sich allerdings die schmiedeeisernen Mannesmannrohre ein weites Anwendungsgebiet für größere Rohrleitungen gesichert. Die oben angegebenen Nachteile der gußeisernen Rohrleitungen entfallen bei den Mannesmannrohren und dieselben sind außerdem namentlich wegen der geringeren Verlegungskosten beträchtlich billiger. Speziell mit Rücksicht auf die später zu besprechenden Hochdruckfernleitungen haben die Mannesmannrohre erhöhte Bedeutung<sup>1)</sup>. Die Abdichtung von Metall auf Metall, die bei diesen Rohren erzielt wird, überträgt Bodenbewegungen von einem Rohr direkt auf das andere ohne die Verbindungen in Anspruch zu nehmen. Die Mannesmannrohre werden jetzt auch mit verlängerter, das Schwanzende umfassender Muffe geliefert. Besonders empfehlenswert ist die Anwendung aufgerauhter Muffen und Schwanzenden, wodurch das Auseinanderziehen bei starken Bodensenkungen erschwert wird. Besonders bei den Rohrdimensionen unter 200 mm sind Mannesmannrohre vorteilhaft.

Für größere Rohrdimensionen, namentlich über 500 mm, werden auch geschweißte Rohre verwendet. Die Schweißung erfolgt gewöhnlich mittels Wassergas und zwar entweder in der Längsnaht oder aber die Eisenblechstreifen werden spiralförmig zusammengedreht und dann an den Berührungstellen geschweißt (sogenannte spiralgeschweißte Rohre).

Eine besondere Gattung von Röhren steht noch in Spanien und auch in manchen Städten Frankreichs und Belgiens in Verwendung. Es sind dies die sogenannten Chameroirohre. Sie bestehen aus einfach zusammengenieteten Eisenblechrohren, welche in ein Bad von geschmolzenem Blei eingetaucht werden, derart, daß sowohl innen wie außen ein vollständig dichter Überzug aus Blei hergestellt wird. Die Verbindung dieser Rohre erfolgt in der Weise, daß das nur wenig verjüngte Schwanzende des Rohres in den nur wenig aufgetriebenen anderen Teil eines Rohres hineingetrieben wird, und durch festes Hineinschlagen eine Dichtung Blei auf Blei erzielt wird. Die Kosten einer derartigen Rohrleitung sind wesentlich geringer als die der oben genannten gußeisernen oder schmiedeeisernen Rohre, jedoch dürfte deren Widerstand gegen äußere Einflüsse geringer sein. Die Ausführung von Anschlüssen erfolgt bei diesen Chameroirohren beinahe ausschließlich durch Anlöten von Bleirohren, was in Deutschland und Österreich nicht zulässig ist, da hier die Anwendung von Bleirohren als Zuleitungen zu den Häusern verboten ist.

Werden schmiedeeiserne Rohre in den Erdboden verlegt, so ist unbedingt die Anwendung irgend eines Rostschutzmittels erforderlich, da das feuchte Erdreich das Schmiedeeisen in der kürzesten Zeit angreift.

Bei den Mannesmannrohren wird ein außerordentlich fester Überzug mit asphaltierter Jute angewendet, der sich vorzüglich bewährt hat. Auch die oben erwähnten Chameroirohre erfordern einen derartigen Rostschutz, welcher dadurch hergestellt wird, daß die Rohre zunächst in geschmolzenen Asphalt eingetaucht und dann noch mit einer mehrere Zentimeter dicken Schicht eines Gemisches von Asphalt und Sand überzogen werden.

Bevor die Gasrohre zur Anwendung gelangen, müssen sie einer Erprobung auf Haltbarkeit und Dichtheit unterzogen werden. Zu diesem Zwecke schließt man jedes einzelne Rohr an beiden Seiten dicht ab und preßt mit Hilfe einer

---

<sup>1)</sup> Borchardt, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 219.

Pumpe Wasser in dasselbe, nachdem man zuvor alle Luft verdrängt hat. Diese Prüfung soll vor dem Teeren der Rohrleitung ausgeführt werden, damit etwaige Undichtheiten zutage treten. Diese können bei gußeisernen Rohrleitungen in porösen Stellen, bei schmiedeeisernen Rohrleitungen in undicht geschweißten Stellen liegen. Man prüft die Gasrohre mit einem Wasserdruck von mindestens 6 Atm. und bei gleichzeitigem Hämmern mit einem Wasserdruck von 2 Atm. Zweckmäßig ist ferner die Prüfung mit Luft und Wasser und zwar bei Anwendung eines Luftdruckes von 1 bis 2 Atm. Nach der Prüfung sollen sowohl die gußeisernen als auch die schmiedeeisernen Rohrleitungen geteert werden.

In Deutschland und Österreich-Ungarn werden die gußeisernen Rohre in ihren Dimensionen nach Normalien hergestellt, welche in einer Tabelle des Anhangs wiedergegeben sind. Für Gasleitungen kommen dabei ausschließlich die sogenannten dünnwandigen Rohre in Betracht, da sie leichter und auch billiger sind, und den Ansprüchen vollständig genügen. Die Abmessungen der gußeisernen Formstücke ebenso wie die Gewichte derselben und die Abmessungen und Gewichte der normalen Mannesmannstahlmuffenrohre und ihrer Formstücke gehen ebenfalls aus der im Anhang wiedergegebenen Tabelle hervor.

Unter welchen Umständen die Muffenverbindungen und unter welchen dagegen die Flanschenverbindungen herzustellen sind, werden wir bei Besprechung der Verlegung der Rohrleitungen behandeln. Hier mag nur erwähnt werden, daß bei den Formstücken mit Flanschenverbindungen die Bohrungen in bestimmter normaler Weise vorgenommen werden, damit die einzelnen Stücke ohne weiteres zusammenpassen. Die normale Bohrung wird immer derart vorgenommen, daß sich in der Vertikalebene, welche durch die Achse des Rohres geht, kein Loch in der Flansche befindet.

Die Hauptrohrleitungen werden gewöhnlich unterirdisch verlegt. Nur in besonderen Fällen, so z. B. in Bergbaugebieten, wo zu starke Bewegungen des Bodens befürchtet werden, können fallweise oberirdische Leitungen zur Anwendung gelangen, wie dies z. B. bei einer Gasfernversorgung in Oberschlesien <sup>1)</sup> ausgeführt worden ist. Die oberirdische Leitung stellte sich dort zufolge der Traggerüste um 6 Proz. teurer als die unterirdische.

Die Rohre sollen in einer solchen Tiefe unterhalb der Straßendecke verlegt werden, daß das Eindringen von Frost ausgeschlossen ist. Ebenso muß die Oberkante des Rohres mit einer mindestens 1 m hohen Schicht von Erde überdeckt sein, damit Stoßwirkungen, welche durch schweres Fuhrwerk auf die Erdoberfläche ausgeübt werden, sich nicht derartig zum Rohre fortpflanzen, daß Rohrbrüche eintreten können.

Die Rohrgräben, in welche die Rohre gelegt werden, haben bei Rohrdimensionen bis zu 100 mm lichter Weite eine Breite von 600 mm, bei Rohren bis zu 500 mm lichter Weite eine Breite von 1000 mm, bei noch größeren Rohrdimensionen macht man sie entsprechend breiter. An den Stellen, wo die einzelnen Rohre durch Muffen oder Flanschen miteinander verbunden werden, wird der Rohrgraben noch etwas erweitert, damit die Verbindung ordnungsgemäß ausgeführt werden kann. Diese Erweiterungen nennt man Kopflöcher.

---

<sup>1)</sup> Schäfer, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 217.

Für die Grabarbeiten zur Herstellung des Rohrgrabens rechnet man pro Kubikmeter Erdaushub 0,3 bis 1,0 Tagesschichten an Arbeitslohn je nach der Qualität des Erdreiches, in welches man eindringt. Bei felsigem Boden sind 1 bis 1½ Tagesschichten pro Kubikmeter erforderlich. Die Forderung, daß die Rohrgräben zur Vermeidung nachträglicher Senkungen der Straßendecke mit einer 5 cm starken Betonplatte zu bedecken seien, welche Forderung von manchen Behörden gestellt wird, ist eine ungerechtfertigte<sup>1)</sup>. Man setzt dabei voraus, daß der eingefüllte Boden sich zusammensackt. Dies tut er aber auch dann, wenn er mit einer Betonplatte bedeckt ist und es bildet sich dann ein Hohlraum, der gefährlich ist, weil sich darunter Gas aus Undichtheiten ansammeln und verbreiten kann, so daß Undichtheiten nicht leicht zu finden sind. Auch entstehen dadurch Gefahren für die Anwohner und wird das Einsinken der Straßendecke nicht verhindert, wenn der Graben nicht vollständig dicht eingestampft ist. Die Straßenbauverwaltungen stellen auch häufig die Forderungen, daß das Einfüllen der Gräben nicht mit naßgewordenem Material, sondern mit Kies oder Schotter zu erfolgen habe. Auch dies würde Gefahren verursachen, weil das Gas durch den Kies sich überall hin verbreiten kann, so daß es auch leicht in das Innere der Häuser zu dringen vermag.

Die Rohrleitungen dürfen nicht genau horizontal verlegt werden, damit das Kondenswasser, welches sich in ihnen bildet, einen Abfluß finden kann. Man legt die Rohre mit einem Gefälle von etwa 5 mm pro 1 m Länge. In Entfernungen von je etwa 200 m werden an den tiefsten Stellen der Rohrleitung Wassertöpfe eingeschaltet.

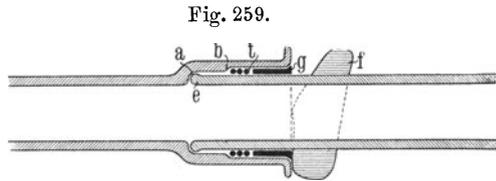
Ein allzunahes Aneinanderlegen von Gasrohrleitungen und Wasserrohrleitungen ist nicht empfehlenswert, weil dann im Falle von Erdsenkungen eventuell beide Rohrleitungen an derselben Stelle brechen können und große Wassermengen in die Gasrohrleitung eintreten könnten, wie dies tatsächlich schon vorgekommen ist<sup>2)</sup>.

Besteht in einer Straße ein begehbare Kanal, welcher alle Gas-, Wasser- und elektrischen Leitungen aufnimmt, wie dies z. B. in Hamburg der Fall ist, so ist für eine ständige Revision der Gasleitung Sorge zu tragen, damit sich in diesem Kanal keine größeren Gasmengen anzusammeln vermögen, die natürlich zu Gefahren führen könnten.

Die Kosten dieser Kanäle (Subways) sind allerdings bedeutende (in St. Helens 200 K. pro laufenden Meter), doch können unter Umständen (z. B. in Nottingham) die Mietzinse die Kosten der Verzinsung und Amortisation übersteigen. Die Führung elektrischer Leitungen im gleichen Kanal mit der Gasleitung ist wegen der Entzündungsgefahr bedenklich; die Führung der Wasserrohre in solchen Kanälen ist wegen der Erwärmung des Wassers nachteilig. Der Straßenbaukongreß in Brüssel<sup>3)</sup> empfahl daher die Verdoppelung der Gasleitungen in verkehrsreichen Straßen, damit in die Fahrbahn nur solche Leitungen größeren Durchmessers verlegt würden, welche nur seltener Überwachung bedürfen. In Berlin werden z. B. Leitungen bis 380 mm Durchmesser in den Bürgersteigen verlegt; sie dürfen aber nicht bis an die Hausmauern heranreichen.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 965. — <sup>2)</sup> Ebend. 1906, S. 260. — <sup>3)</sup> Fischer, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 621; über Subways, siehe auch Swetz, ebend S. 212.

Die Art, wie eine Muffe gedichtet wird, ist in Fig. 259 veranschaulicht. Das glatte oder sogenannte Schwanzende des einen Rohres besitzt bei *e* einen kleinen Wulst, der in die Ausnehmungen *a* der Muffe hineinpaßt. Bei *b* erweitert sich die Muffe abermals, so daß zwischen dem Schwanzende des Rohres und der Muffe hier ein ringförmiger Raum freibleibt. Dieser wird bei *t* durch einige Lagen Teerstrick (es ist dies ein aus Hanf gefertigter mit Holzteer imprägnierter Strick) ausgefüllt und festgedrückt. Dann legt man bei *f* einen Wulst aus Lehm um das Schwanzende, so daß bei *g* im oberen Teile eine Öffnung freibleibt, in welche geschmolzenes Blei eingegossen wird. Das Blei füllt den Raum zwischen dem Schwanzende des



Rohres und der Muffe vollständig aus und kann nun durch Einstemmen mit Hilfe geeigneter Eisen vollständig dicht eingepreßt werden. Der Überschuß des Bleies wird dann entfernt, und ebenso der Lehmwulst abgenommen. Die Dicke des auf diese Weise erzeugten Bleiringes soll mindestens 40 bis 80 mm betragen, je nach der Größe der Rohre.

Der Bedarf an Blei- und Teerstricken zur Herstellung einer Muffendichtung geht aus der nachstehend auszugsweise wiedergegebenen Tabelle hervor <sup>1)</sup>.

Lichter Durchmesser der Rohre	Bleibedarf	Teerstrick
mm	kg	kg
40	0,51	0,05
50	0,69	0,08
100	1,35	0,15
200	2,97	0,32
300	5,09	0,49
400	7,46	0,78
600	13,33	1,36

Anstatt das Blei in geschmolzenem Zustande in die Muffen einzugießen, kann man dasselbe auch in Form von Bleiwolle oder Bleiwerg direkt in die Muffen einstemmen. Es ist dies besonders dort vorteilhaft, wo kein Feuer angewendet werden darf. Diese von Bühne <sup>2)</sup> angegebene Dichtung ist jedoch kostspieliger als die gewöhnliche Dichtung mit geschmolzenem Blei.

An Stelle von Bleiwolle kann allerdings auch Bleidraht von etwa 7 bis 9 mm Stärke angewendet werden. Das Einstemmen desselben ist jedoch etwas zeitraubender als das Einstemmen der Bleiwolle. Neuerdings empfiehlt Trebst <sup>3)</sup> Riffelblei. Dieses wird in Form eines endlosen Bandes angeliefert und es wird ein entsprechend langes Stück abgeschnitten, zu einem Ringe zusammengelegt und eingestemmt. Mehrere solche Ringe werden aufeinander gestemmt. Dieses Verfahren bietet vor dem gewöhnlichen Vergießen mit Blei

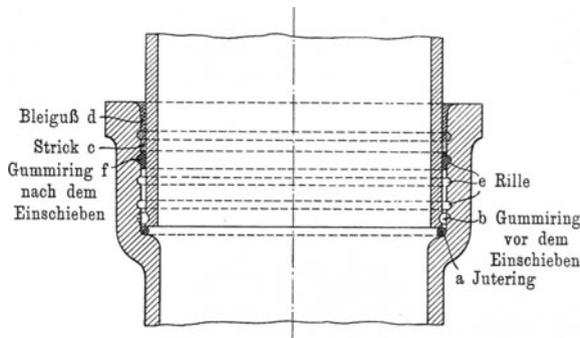
<sup>1)</sup> Gaskalender 1910, S. 138. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1906, S. 960. — <sup>3)</sup> Ebend. 1911, S. 136.

namentlich dann Vorteile, wenn es sich um die Herstellung einzelner Arbeiten, z. B. Abzweigungen, Reparaturen bei Rohrbrüchen usw. handelt. Jedoch auch bei geraden Leitungen werden dabei die Anwendung der Bleischmelzöfen, die Anwendung des Heizmaterials, Ton, Bleilöffel und auch die Verluste an Blei, welche beim Vergießen nicht zu vermeiden sind, erspart. Besonders vorteilhaft ist dieses Verfahren sowie auch jenes der Anwendung von Bleiwolle, wenn Druckluft zur Verstemmung des Bleies verwendet wird, worauf Simpson hinweist. Bei Anwendung von Druckluft vermag ein Arbeiter eine Muffe von 750 mm lichtigem Durchmesser innerhalb einer Stunde zu verstemmen, während früher für diese Arbeit  $5\frac{1}{2}$  Stunden erforderlich waren.

Nach einem Vorschlage von Beielstein<sup>1)</sup> können Muffendichtungen mit Bleiguß auch ohne Teerstrick ausgeführt werden, wenn das Schwanzende konisch in die Muffe eingreift.

Die Verbindung der Muffe mit dem Schwanzende des nächsten Rohres muß nicht notwendigerweise so vorgenommen werden, daß die beiden Achsen

Fig. 260.



der Rohre zusammenfallen, es kann auch durch Aneinanderreihen einer Anzahl von Rohren mit Muffendichtung ein gekrümmter Rohrstrang gelegt werden; dann werden die beiden Rohrachsen zueinander in eine geringe Neigung gebracht und erfolgt die Dichtung mit Teerstrick und Blei in der gleichen Weise, wie oben geschildert, ohne daß hierdurch Nachteile entstehen.

An Stelle der Bleidichtung ist schon seit vielen Jahrzehnten wiederholt die Gummidichtung vorgeschlagen und auch ausgeführt worden. In neuerer Zeit wird dieser Dichtungsart wieder lebhafter die ihr gebührende Beachtung geschenkt<sup>2)</sup>. Neuerdings hat das Gußrohrensyndikat Proben mit einer beweglichen Gummimuffenverbindung für Gußrohre auf der Friedrich-Wilhelmshütte vorgenommen. Der Gummiring wird hierbei in eine in das Schwanzende gelegte Rille gelegt und in die Muffe eingeschoben. Um dies zu erleichtern, ist die Muffe an der Innenkante abgeschrägt. Der Gummiring rollt hierbei aus der Rille heraus und wird derart zusammengedrückt, daß eine gute Abdichtung bewirkt wird. Um das Heraustreten des Gummiringes aus der Muffe zu verhindern, ist ein Messingring auf dem Schwanzende aufgezogen, welcher als Widerlager für einen Stahlgußring dient, der in eine bajonettartige Ausnehmung der Muffe eingreift und so das Herausziehen des

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 865. — <sup>2)</sup> Jahresbericht über die Fortschritte des Beleuchtungswesens 1908, S. 17.

Schwanzendes gänzlich verhindert. Versuche mit 300 mm-Rohren bei 10 bis 15 Atm. Wasserdruck zeigten, daß bei dieser Art der Dichtung das wiederholte Durchbiegen und Geraderichten längerer Rohrstrecken keinerlei Undichtheiten ergab<sup>1)</sup>.

Zimmermann<sup>2)</sup> weist auf die Anwendung der Gummidichtungen in Recklinghausen hin, wo sie seit dem Jahre 1904 in Verwendung stehen. Es wird dort die Gummidichtung in etwas veränderter Form gemäß Fig. 260 angewendet. Ein Jutering schützt den Gummi gegen den Einfluß des Gases und der Teerstrick und das Blei schützt denselben gegen äußere Einflüsse. Eine auf diese Weise hergestellte 300 m lange Rohrleitung wurde gelegentlich um 400 mm gesenkt, ohne daß sich hierbei irgendwelche Undichtheiten an der Leitung ergaben. Auch an bestehenden Rohrleitungen können nachträglich Gummidichtungen mit Gegenflanschen angewendet werden<sup>3)</sup>.

Eine von Budde und Göhde angegebene Gummidichtung<sup>4)</sup> besteht darin, daß am Grunde der Muffe ein Gummikranz angebracht wird, worauf ein 2 cm breiter leerer Zwischenraum bleibt, dann kommt wieder ein Gummikranz, der beim Einschieben platt gedrückt wird, worauf schließlich das Ganze mit Teerstrick und Blei abgeschlossen wird.

Allerdings darf stets nur bester Gummi verwendet werden. Die Anwendung der Gummidichtung ist namentlich dort vorteilhaft, wo die Rohre Bewegungen zu erleiden haben, namentlich im Boden, welcher mehrfachen Senkungen ausgesetzt ist, wie z. B. in Bergbaugebieten. Man kann sich jedoch auch bei der Bleidichtung derart helfen, daß man einen Überschieber über zwei Schwanzenden der Rohrleitung schiebt und wie gewöhnlich mit einer starken Lage von Blei abdichtet, wodurch eine gewisse Beweglichkeit gewährleistet wird.

Verwendet man gußeiserne Rohrleitungen zur Leitung des Gases auf Brücken, so ist die Gummidichtung wegen der beträchtlichen Biegungen, welche das Gasrohr dort mitmachen muß, vorteilhaft. Zweckmäßiger ist dort allerdings die Verwendung von Schmiederohren. Bei Rohrleitungen, die Gas unter hohem Druck zu befördern haben und einen größeren Durchmesser besitzen (z. B. von 200 mm aufwärts), ist die Tresserkuppelung mit Gummidichtung (Fig. 261) empfehlenswert. Das Wesen derselben ist aus der Zeichnung ohne weiteres ersichtlich. Es handelt sich hier nicht um eine richtige Muffenverbindung, sondern eine Art Flanschenverbindung.

Wo die Rohre starken Bewegungen ausgesetzt sind, insbesondere auch, wenn sich dieselben stark ausdehnen und zusammenziehen, wendet man auch zweckmäßig Stopfbüchsen an. So ist dies z. B. bei oberirdischen Hauptrohrleitungen (vgl. S. 575) nötig, damit das Ausdehnen und Zusammenziehen der Rohrstränge bei starken Temperaturänderungen keine Undichtheiten hervorzurufen vermag.

Die Dichtung bei Flanschenrohrverbindungen erfolgt in der Art, daß zwischen die beiden Flanschen ein aus Pappe ausgeschnittener Ring, der entweder in Wasser oder in heißem Leinöl getränkt, mit Minium bestrichen, eingeschoben wird und dann mit Hilfe der durch die Flanschenlöcher ge-

---

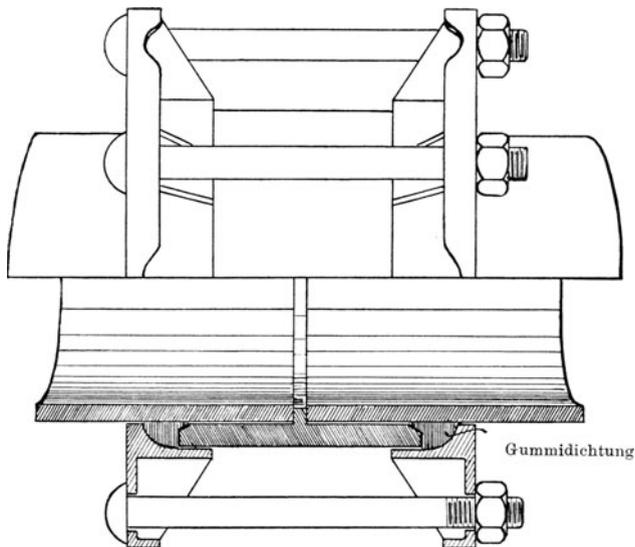
1) Journ. f. Gasbel. 1908, S. 219. — 2) Ebend. 1911, S. 84. — 3) Die Flanschen werden von den Siegener Stanz- und Hammerwerken ausgeführt, die Gummiringe liefert Franz Clouth in Cöln-Nippes. — 4) Journ. f. Gasbel. 1911, S. 865.

steckten Schrauben die beiden Flanschen gegeneinander angedrückt werden. Diese Flanschdichtungen geben einige Tage nach der Verlegung dadurch etwas nach, daß sich die dazwischen geschobenen Pappringe etwas zusammenziehen. Es ist deshalb ein Nachziehen der Schrauben erforderlich.

Bei der Verlegung der Rohre in die Rohrgräben soll nur geübtes Personal zur Anwendung kommen<sup>1)</sup> und läßt sich die Zahl der unvermeidlichen Unfälle durch Anwendung geeigneter Vorrichtungen zum Heben der Rohre — am besten fahrbare Drehscheibenkräne an Stelle der sonst üblichen dreibeinigen hölzernen Windeböcke — erheblich vermindern.

Bei der Verlegung von Gasrohrleitungen über Gewässer wählt man am besten Brückenübergänge und führt die Leitungen dann in schmiedeeisernen

Fig. 261.



Rohren aus. Eventuell baut man sogar zum Zwecke der Überführung einer Leitung über Gewässer eine eigene Rohrbrücke. Ausnahmsweise, wenn kein anderer Ausweg bleibt, legt man die Rohre unterhalb des Wassers als sogenannte Dükerrohre. Zu diesem Zwecke baggert man am Boden des Gewässers einen Rohrgraben aus und kann das Rohr, im Falle ein fester Grund vorhanden ist, direkt in diesen Rohrgraben hineinlegen. Ist jedoch der Grund schlecht und nachgiebig, so ist es notwendig, Pfähle einzurammen, die man mit Querhölzern verbindet, auf welche dann das Rohr zu liegen kommt. Die Verbindung der einzelnen Rohre besorgt man außerhalb des Wassers und legt erst den fertig montierten Rohrstrang im ganzen ein. Bei längeren Rohrleitungen versenkt man die Leitung stückweise und besorgt das Dichten der einzelnen eingelegten Rohrstränge unterhalb des Wassers durch Taucher. An den tiefsten Stellen dieser Rohrleitungen müssen natürlich Wassertöpfe angebracht werden, die von oben ausgepumpt werden können. Zu diesem Zwecke muß das Pumpenrohr von oben aus in die Wassertöpfe hineinreichen

<sup>1)</sup> Leybold, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 338.

und man muß Pumpen mit guter Saugwirkung verwenden. Natürlich darf die Höhe, vom Wassertopfe bis zum Ansatz der Pumpe gerechnet, nicht mehr als 6 bis 7 m betragen, da sonst die Pumpe nicht ansaugen kann. Ist die Höhe größer, so müssen andere Mittel zur Herausbringung des Wassers angewendet werden.

In Coronado<sup>1)</sup>, welches sein Gas von St. Diego, einer Stadt, die 1219 m entfernt auf der anderen Seite einer Bay liegt, bezieht, verlegte man das Rohr durch das Wasser derart, daß je 22 m vorbereitet in das Wasser gesenkt wurden, bis nur ein ganz kurzes Stück über die Oberfläche hervorragte, woran dann das nächste Stück angegliedert wurde. Zu diesem Zwecke wurden die gußeisernen Rohre von je 3,65 m Länge abwechselnd mit Muffen- und Kugelenken versehen, so daß alle 7,3 m ein bewegliches Verbindungsstück vorhanden war. Die Kugelenken wurden verbleit und mit Werg verstopft. Die ganze Leitung wurde in drei Tagen verlegt, doch brauchte man acht Tage dazu, um sie vollständig zu dichten.

Bei der Umlegung größerer Hauptrohrleitungen geht man häufig so vor, daß zuerst die neue Leitung verlegt wird, während die alte noch im Betriebe steht, und dann eine Verbindung derselben mit der alten Leitung hergestellt wird, wonach die alte entfernt werden kann. Über die Art, wie diese Verbindungen hergestellt und gelöst werden, werden wir später sprechen. Die Umlegung solcher Gashauptleitungen ohne Absperrung des Gases ist jedoch eine Operation, deren Durchführung nicht immer einfach ist. Handelt es sich nur um die Verschiebung um einige Meter, so kann dieselbe in einfacherer Weise ausgeführt werden; so z. B. berichtete Engels<sup>2)</sup> über die Umlegung eines Rohrstranges von 1000 mm lichtigem Durchmesser bei 150 m Länge, der zufolge einer Tieferlegung der Straße um 2,5 m gesenkt werden mußte und gleichzeitig um 0,75 m seitlich verschoben wurde. Das Rohr wurde so weit freigelegt, daß nur die Muffen eine Auflage behielten. Dann wurde langsam die Erde unter den Muffen weggenommen, bis sich das Rohr selbst entsprechend gesenkt hatte. Zum Zwecke der seitlichen Verschiebung wurden unter die Muffen Eisenträger geschoben, welche mit Öl eingefettet waren. Es wurden dann seitlich zwölf Winden angesetzt und auf Zuruf langsam angedreht. Die Bleiringe wurden dabei bei einigen Muffen um 10 bis 15 mm herausgedrückt, die Undichtheiten konnten jedoch durch Nachstemmen in kurzer Zeit beseitigt werden. Die ganze Umlegung nahm nur zwei Stunden Zeit in Anspruch. In ähnlicher Weise wurde in Bergen<sup>3)</sup> eine Rohrleitung von 600 mm lichter Weite ohne Absperrung des Gases um 1,5 m seitlich verschoben, weil die elektrische Straßenbahn durch die Straße geführt werden sollte. Man brachte hier unter die Rohre in der Querrichtung eine Anzahl mit Seife eingeschmierte Bohlen und drückte mit fünf Winden die ganze Leitung seitwärts. Auch hier erlitten die Bleidichtungen nur geringe Undichtheiten, die rasch wieder verstemmt werden konnten, und beanspruchte die Umlegung nur drei Stunden.

Bei der Verlegung von Gußrohrleitungen ist es häufig notwendig, Rohrstücke zu verwenden, welche geringere Längen als die normalen Rohre besitzen. Man trennt deshalb Stücke von Rohren ab, was bei gußeisernen

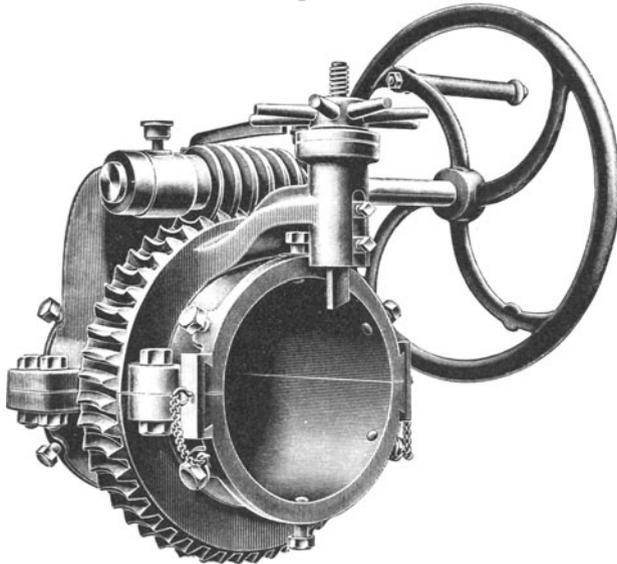
---

<sup>1)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, S. 233; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 295. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1143. — <sup>3)</sup> Ebend. 1910, S. 766.

Leitungen verhältnismäßig einfach geschehen kann. Zu diesem Zwecke wird mit Hilfe eines Kreuzmeißels zunächst eine Rinne um das Rohr ringsherum eingehauen und dann wird das Rohr mit einem schweren Vorschlaghammer abgeschlagen. In neuerer Zeit verwendet man jedoch auch maschinelle Abschneidevorrichtungen, die außerordentlich empfehlenswert sind, da sie die Arbeit des Abtrennens ganz wesentlich erleichtern, namentlich dann, wenn es sich um große Rohrleitungen handelt.

So hat z. B. Francke <sup>1)</sup> einen Rohrschneider konstruiert, der in Fig. 262 dargestellt ist. Diese Vorrichtung ist auch zum Abtrennen von schmiedeeisernen Leitungen geeignet. Der Rohrschneider besteht aus einem zwei-

Fig. 262.



teiligen Zahnkranz, an dem mit Kurbel und Schnecke ein Drehstahl bewegt wird, welcher das Rohr ganz durchschneidet. Dies gibt eine glatte und sichere Schnittfläche. Die Zeitdauer des Schneidens ist die gleiche wie früher, das Arbeiten ist aber ein sichereres und geräuschloses <sup>2)</sup>.

Das Abtrennen der einzelnen Rohrstränge und der Anschluß neuer ist, wenn die Gasversorgung nicht unterbrochen werden soll, nicht immer eine ganz einfache Arbeit. Über die Ausführung einer Abzweigung von 500 mm Durchmesser unter Druck, welche Interesse bietet, berichtete Petsch <sup>3)</sup>. Es wurde zunächst auf das gerade Rohr ein seitlich abzweigendes Muffenstück aufgepaßt und ein der lichten Weite dieses Formstückes entsprechender Ring durch eine große Zahl von Löchern abgebohrt und die Bohrlöcher durch Holzpfropfen verschlossen. In die Mitte des Kreises, welchen die Bohrlöcher bildeten, wurde dann eine Eisenstange eingeschraubt und die Muffe mit einem Holzdeckel verschlossen, der die Eisenstange hindurchließ. Durch Hammer-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 287. — <sup>2)</sup> Diese Rohrschneider werden von der Hannoverschen Eisengießerei in Anderten bei Hannover angefertigt. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 217.

schläge auf die Eisenstange konnte der von den Bohrlöchern eingeschlossene kreisförmige Teller durchgeschlagen und in die Muffe hochgezogen werden. Nach Eindichten einer Blechscheibe zwischen Formstück und Rohr konnte der Holzdeckel entfernt und die Verbindung der Muffe mit der anderen Rohrleitung, die eine Zweigleitung von der Hauptrohrleitung darstellte, hergestellt werden, wonach die Blechscheibe wieder entfernt und somit das angesetzte Rohr unter Druck gesetzt werden konnte. Petsch beschreibt auch das Absperren von Rohrleitungen zum Zwecke der Abnahme eines Rohrstranges, welches ja in ganz ähnlicher Weise vorgenommen werden kann.

Zum Zwecke des Auseinanderziehens der Rohrleitungen beim Herausnehmen einer Rohrstrecke empfiehlt Leybold <sup>1)</sup> die Anwendung von Ölpumpen, wodurch sich die Zahl der sonst vorkommenden Unfälle verringern läßt.

Wenn ein Rohrstrang fertig verlegt ist, so muß er einer Dichtprobe unterzogen werden. Dies geschieht, indem man den Rohrstrang auf beiden Seiten durch einen Muffenstößel oder eine Muffenkappe (siehe Anhang) und bei Flanschenrohren durch eine sogenannte Blindflasche fest verschließt. Der Abschlußteil besitzt gleichzeitig eine Anbohrung und ein darin eingesetztes Rohr, mit dem eine Luftpumpe und ein Manometer verbunden wird. Man pumpt so lange Luft in die Rohrleitung ein, bis der Druck etwa 200 bis 300 m Wassersäule beträgt. Dann schließt man das Rohr, d. h. die Zuleitung von der Pumpe zu dem Rohrstrange durch einen dort eingesetzten dicht schließenden Hahn ab und beobachtet das Manometer etwa eine Viertelstunde lang. In der ersten Zeit zeigt sich auf alle Fälle ein geringes Zurückgehen der Wassersäule, weil sich die Luft bei der Komprimierung erwärmt und nachträglich ihre Wärme wieder an die Rohrleitung abgibt; dadurch nimmt ihr Druck ab. Dieses Herabgehen des Druckes kann etwa fünf Minuten dauern. Danach muß sich der Druck durch mindestens zehn Minuten konstant halten. Da eine absolute Dichtheit in den seltensten Fällen erreicht werden kann, so ist es richtig, das Herabgehen der Wassersäule zu beobachten und eine Berechnung anzustellen, wie groß die Undichtheit ist, die der abgelesenen Druckabnahme entspricht. Dies geschieht auf folgende Weise:

Beträgt der Inhalt des Rohrstranges in Litern  $J$  und der Druckverlust, den die Wassersäule innerhalb einer Minute anzeigt,  $h$  in Millimetern, so ist die pro Minute stattfindende Gasausströmung proportional dem Inhalte des Rohrstranges  $J$  und proportional dem Verhältnis des Druckverlustes  $h$  zum Barometerstande  $b$ , welcher letzterer ebenfalls in Millimetern Wassersäule ausgedrückt ist. Für die nur beiläufigen Rechnungen, welche bei dieser Verlustbestimmung erforderlich sind, genügt es, den Barometerstand mit einer metrischen Atmosphäre, d. i. 10 000 mm Wassersäule anzunehmen. Dies trifft besonders an Orten zu, die einige hundert Meter über dem Meeresspiegel gelegen sind, wie dies ja gewöhnlich der Fall ist. Das Resultat ist außerdem noch mit 60 zu multiplizieren, wenn man den Gasverlust in Litern pro Stunde kennen lernen will, wie dies üblich ist. Es ergibt sich somit der stündliche Gasverlust  $V$  in Litern

$$V = J \cdot \frac{h}{10\,000} \cdot 60.$$

Soll diese Berechnung einigermaßen richtig sein, so muß allerdings die Temperatur des Rohres während der Beobachtungszeit konstant bleiben. Dies

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 338.

ist aber auch erforderlich, wenn die gewöhnliche Manometerprobe überhaupt die Dichtheit des Rohrstranges anzeigen soll. Man nimmt deshalb die Prüfung der Dichtheit der Rohrstränge am besten zu einer Zeit vor, wo sich die Temperatur des Erdbodens möglichst wenig ändert. Die Temperatur der Außenluft nimmt von früh bis mittags zu, von mittags bis abends ab. Um die Mittagszeit sowohl wie um die Nachtzeit bleibt sie eine Zeitlang ungefähr konstant. Die Temperatur in einiger Entfernung von der Erdoberfläche hinkt dem Gange der Temperatur an der Oberfläche etwas nach, so daß die Konstanz einige Stunden nach der Mittagszeit und einige Stunden nach Mitternacht eintritt. Die Proben sind also am besten am zeitigen Nachmittage auszuführen.

Man kann den Verlust in einer Rohrleitung auch dadurch bestimmen, daß man eine mit Luft oder Gas gefüllte Glocke an die Rohrleitung anschließt und das Herabgehen dieser Glocke beobachtet. Ebenso kann man durch Anschluß einer unter Druck stehenden Gasleitung unter Zwischenschaltung eines Gasmessers die Verluste beobachten, die in einem Rohrstrange, der dicht abgesperrt ist, eintreten. In diesen Fällen kann der Verlust ohne weiteres ohne Umrechnung abgelesen werden. Auch hier spielt jedoch der Gang der Temperatur dieselbe Rolle, wie oben erwähnt.

Im allgemeinen erachtet man einen Verlust von 100 Liter pro 1 km Rohrnetzlänge für zulässig, obwohl derselbe für große Rohre gewöhnlich mehr beträgt, als für kleinere Rohrleitungen.

Um die Entnahme von Gas aus der Hauptrohrleitung nach irgend welchen Konsumstellen durchzuführen, müssen Abzweigungen aus den Hauptrohrleitungen geschaffen werden. Zu diesem Zwecke müssen entweder schon in der Hauptleitung entsprechende T-Stücke vorgesehen sein, was natürlich die Entnahme von Gas am leichtesten gestaltet, oder aber es müssen Anbohrungen der Rohrleitung vorgenommen werden. Die Anbohrung erfolgt in der gewöhnlichen Weise mittels des Bohrbügels. Ist das Loch hergestellt, so wird eine Rohrschelle unter Zwischenlegung eines Dichtungsringes auf das Rohr aufgesetzt und angezogen, wie dies Fig. 263 zeigt. Diese Rohrschelle kann entweder ein Schraubengewinde tragen oder eine Muffe, wie in der obigen Figur angedeutet. In diese wird dann entweder eine gußeiserne oder meistens eine schmiedeeiserne Rohrleitung eingesetzt.

Die Stelle der Anbohrung ist erfahrungsgemäß am meisten dem Rosten ausgesetzt. Lang<sup>1)</sup> empfiehlt daher die Anwendung rostschtützender Hülsen, welche in das Anbohrloch eingewalzt und umgebördelt werden, wozu entweder ein Fräser oder ein eigener Einwalzapparat dient.

Bei Mannesmannrohren ist die Ausführung der Anbohrung eine etwas schwierigere. Es muß dort zuerst die Jute-Asphaltumhüllung durchgestemmt werden, deren Ränder man dann noch mit heißem Teer bestreicht, ehe man die eigentliche Anbohrung vornimmt. Als Dichtung wird ein mit Mennige getränkter Pappiring verwendet, wie dies bereits bei den Flanschdichtungen erwähnt wurde.

Steht das Gasrohrnetz während der Ausführung der Anbohrung unter Druck, wie dies gewöhnlich der Fall ist, so entweicht natürlich, sobald das Rohr durchgebohrt ist, eine beträchtliche Menge Gas aus der Öffnung. Man

---

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 310.

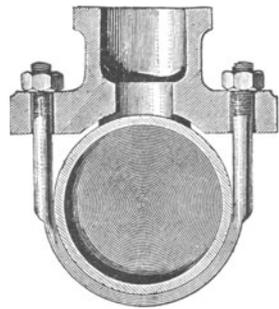
bringt deshalb vor dem Aufdichten der Rohrschelle einen provisorischen Verschuß in Form irgend eines Stopfens an. Es sind jedoch in letzter Zeit auch Vorrichtungen konstruiert worden, welche die Anbohrungen unter Druck ermöglichen, ohne daß dabei Gasentweichungen stattfinden<sup>1)</sup>. Diese Vorrichtungen sind derart konstruiert, daß schon vor der Durchführung der Anbohrung eine Rohrschelle auf das Rohr dicht aufgesetzt wird, welche einen Hahn und eine Stopfbüchse trägt. In die Stopfbüchse wird zunächst der Bohrer eingeführt, dann der Hahn geöffnet, der Bohrer durch den Hahn hindurchgesteckt und dann die Anbohrung ausgeführt. Beim Herausziehen des Bohrers nach Durchführung der Anbohrung wird der Bohrer bis über den Hahn hochgezogen und dann der Hahn wieder geschlossen. Nunmehr kann der Bohrer auch aus der Stopfbüchse herausgezogen werden. Um das abzweigende Rohr anschließen zu können, befindet sich seitlich in der Rohrschelle eine Öffnung mit einem Schraubengewinde, in welche das anzuschließende Rohr schon vor Herstellung des Bohrloches eingeschraubt werden kann.

Die Zuleitungen von den Hauptstraßenrohren zu den Laternen und zu den Privatkonsumenten werden gewöhnlich aus schmiedeeisernen Rohrleitungen hergestellt, manchmal auch aus verzinkten schmiedeeisernen Rohren oder aus Mannesmannrohren, in letzterem Falle mit einem mindestens 3 mm starken Teeranstrich. Häufig verlegt man diese Zuleitungen in rechteckige oder dreieckige Rinnen aus Holzbrettchen zusammengezimmert, die man nach Einlegen des Rohres vollständig mit Teer ausgießt, so daß das Rohr mit einer sehr dicken Schicht von Teer oder Asphalt umgeben ist. Sowohl beim Teeranstrich als auch beim Ausgießen mit Teer ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß der Teer vollständig ammoniakfrei ist, da ammoniakhaltiger Teer das Schmiedeeisen stark angreift.

Beim Durchtritt des Rohres durch das Fundamentmauerwerk eines Gebäudes soll das Rohr ohne Verbindung mit dem Mauerwerk bleiben und durch eine größere Öffnung geführt sein, so daß das Fundament unabhängig von dem Rohre beweglich ist. Es kommen nämlich Setzungen der Fundamente vor, welche das Rohr beschädigen, wenn dasselbe fest eingemauert ist. Am besten ist es, die Öffnungen in dem Fundamente durch ein Holzkästchen auszukleiden und den Zwischenraum zwischen dem Rohre und dem Holzkästchen mit einem wärmeisolierenden Mittel (Werg) auszufüllen. Die Fundamentmauern sind nämlich häufig kälter als der daran anschließende Erdboden, da sie bei einer allgemeinen Zunahme der Temperatur der Erdoberfläche die Wärme nicht so rasch aufnehmen, und daher können Kondensationen von Naphtalin oder Eiskristallen in den Rohren innerhalb der Fundamentmauern eintreten, wenn die genannte Isolierung nicht durchgeführt wird.

Entlang der Zuleitungen zu den Häusern bilden sich in der Erde oft durch Setzungen des Erdreiches Kanäle, welche es möglich machen, daß bei vorkommenden Rohrbrüchen Gas in die Kellerräume der Häuser einströmt.

Fig. 263.



<sup>1)</sup> Vgl. z. B. Körting, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 842.

Um dies zu verhindern, hat Müller <sup>1)</sup> vorgeschlagen, die Zuleitungen zu den Häusern in einem weiteren umhüllenden Rohre zu verlegen, welches letzteres in die Kellermauer eingesetzt ist. Gegen innen wird dieses umhüllende Rohr durch eine Stopfbüchse abgedichtet und dasselbe trägt ferner eine Anbohrung, in welche ein anderes Rohr eingeschraubt ist, das durch die Mauern ins Freie führt. Bei eintretenden Rohrbrüchen zieht sich das Gas entlang der Zuleitungen und entweicht durch dieses letztgenannte Rohr ins Freie, wo es sich an der oberen Mündung erkenntlich macht.

Um Rohrleitungen während des Betriebes zum Zwecke der Ausführung von Anschlüssen oder anderen Verlegungsarbeiten rasch absperren zu können, verwendet man tierische Blasen oder Gummiblasen, welche man durch ein etwa 1 Zoll weites Loch, das man in die Rohrleitung gebohrt hat, hineinbringt und dann durch ein an die Blase angebundenes Rohr durch Aufblasen mit dem Munde oder mit der Pumpe derart weit ausdehnt, daß die Blase die ganze Rohrleitung ausfüllt und daher das Gas absperrt.

Diese Art des Abschlusses ist für kleinere Rohrleitungen vollständig zweckmäßig. Für große Rohrleitungen bietet sie nicht immer die nötige Sicherheit. Die Kölnische Maschinenbau-Akt.-Ges. hat daher eine Vorrichtung konstruiert, welche aus einem zusammenklappbaren, kreisförmigen eisernen Bügel besteht, zwischen dem eine Ledermembrane lose eingefügt ist, so daß sich der halbkreisförmig zusammengeklappte Bügel durch das gebohrte Loch in die Rohrleitung hineinbringen läßt. Mit geeigneten Handhaben wird dann der Bügel innen auseinandergedreht, so daß die Ledermembrane den ganzen Querschnitt der Rohrleitung absperrt. Außen erfolgt die Dichtung durch einen auf dem eisernen Bügel befestigten Gummiring, der sich dicht an die Wandungen der Rohrleitung anlegt. Es sind ferner auch Vorrichtungen konstruiert worden, um die Ausführung einer Anbohrung und die Einführung einer Gummiblase unter Verschuß so ausführen zu können, daß kein Gas während dieser Operation entweicht <sup>2)</sup>.

Wie schon früher (S. 576) erwähnt, müssen die Rohrleitungen in schwachem Gefälle verlegt werden, um den Kondensationsprodukten die Möglichkeit zu geben, abzufließen. Zur Abfuhr dieser Kondensationsprodukte werden Wassertöpfe in die Rohrleitungen eingebaut. Diese bestehen, um das Rosten zu vermeiden, ausschließlich aus Gußeisen und besitzen einen Deckel, der abnehmbar sein soll und entweder mit Muffe oder mittels Flansche gedichtet wird. Durch den Deckel führt ein schmiedeeisernes Rohr bis an den Boden des Wassertopfes, an welches oben eine Pumpe angesetzt werden kann, so daß man den Wassertopf von den flüssigen Kondensationsprodukten des Gases befreien kann. Füllt sich ein Wassertopf zu hoch mit Kondensationsprodukten, Wasser oder dgl., so wird dadurch dem Gase der Durchgang erschwert, eventuell sogar ganz abgeschnitten, oder das Gas muß in Blasen hindurchtreten, wodurch ein stark schwankender Druck in der Gasleitung auftritt.

Um rechtzeitig unterrichtet zu sein, wann das Auspumpen zu erfolgen hat, schließt man an das Rohr, welches zum Auspumpen des Wassers dient, an einem seitlichen T-Ansatz eine Gaslaterne (Signallaterne) an. Erreicht der Wasser-

<sup>1)</sup> D. R.-P. Journ. f. Gasbel. 1908, S. 461. — <sup>2)</sup> Bamag, s. Blum, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 346.

spiegel im Wassertopfe die Höhe des eingesetzten Pumpenrohres, so wird der Gaszufluß zur Laterne abgeschnitten und die Laterne erlischt, so daß dadurch ein Signal gegeben wird, wann das Auspumpen zu erfolgen hat.

Es sind auch Wassertöpfe verwendet worden, welche unten einen kontinuierlich wirkenden Ablaufsiphon tragen. Eine Anbohrung im unteren Teile des Topfes mit einem darangeschlossenen nach oben gebogenen Rohre würde ja genügen, um das Wasser automatisch abfließen zu lassen, sobald der Stand desselben eine bestimmte Höhe überschritten hat. Die Anordnung solcher kontinuierlich entwässernder Töpfe ist jedoch nicht immer zweckmäßig <sup>1)</sup>.

Es kann nämlich vorkommen, daß bei steigendem Grundwasserspiegel durch diese Entwässerungssiphons Wasser in die Wassertöpfe eintritt und die Rohrleitungen gänzlich füllt. Andererseits kann auch durch plötzlich auftretende Druckvermehrungen im Gase das Wasser aus dem Siphonrohre herausgeschleudert werden, wodurch Entweichungen von Gasen und starke Gasverluste eintreten können.

Um die Wassertöpfe gleichzeitig als Verschlößorgane für die Gasleitung verwenden zu können, baut man in dieselben manchmal eine mittlere Scheidewand ein, welche dicht bis an den Boden des Topfes hinunterreicht, so daß für gewöhnlich dem Gase dort freier Durchtritt bleibt. Füllt man einen solchen Topf durch das Pumpenrohr mit Wasser über die Höhe des unteren Randes der Scheidewand an, so wird ein hydraulischer Abschluß erwirkt und die Gasleitung ist dadurch abgeschlossen.

Bei derartigen Wassertöpfen erleidet jedoch das Gas eine starke Richtungsänderung, so daß bei verhältnismäßig großen Gasgeschwindigkeiten in der Rohrleitung ein Druckverlust hervorgerufen wird. Bouvier empfiehlt daher Wassertöpfe anzuwenden, welche dem Gase nur einen gewundenen Weg vorschreiben, ohne eine scharfe Richtungsänderung zu bedingen. In noch vollkommenerer Weise bewirkt der von Eisele <sup>2)</sup> angegebene Wasserabschlußtopf den Abschluß ohne Richtungsänderung des Gasstromes.

Um einzelne Bezirke eines größeren Rohrnetzes gänzlich von der Gaszufuhr absperrn zu können, ist es zweckmäßig, das ganze Rohrnetz eines Gasversorgungsgebietes in einzelne Bezirke einzuteilen und an den Grenzen dieser Bezirke derartige Absperrtöpfe einzubauen.

In Gegenden, wo viel Grundwasser vorhanden ist, können Absperrtöpfe den Nachteil bringen, daß zufolge des durch Undichtheiten eintretenden Grundwassers ungewollt der Abschluß einzelner Rohrstränge eintritt. Für diesen Fall empfiehlt Schlegelmilch <sup>3)</sup> die Anwendung von Absperrtöpfen, welche in der Scheidewand eine mittels eines Ventils verschließbare Öffnung besitzen.

Die Anlage eines städtischen Rohrnetzes soll stets derart erfolgen, daß überall ein möglichst gleichmäßiger Druck herrscht, d. h. daß die Druckverluste möglichst gering sind, und ferner, daß die Gasversorgung auch im Falle von Reparaturarbeiten im Rohrnetze in möglichst geringem Umfange Unterbrechungen erfährt. Daher sollen überall, wo dies möglich ist, ringförmige Hauptrohrstränge gelegt werden, von denen die untereinander verbundenen Abzweigungen nach innen und außen abzweigen.

---

<sup>1)</sup> Keller, Journ. f. Gasbel. 1906, S. 483. — <sup>2)</sup> Ebend. 1908, S. 21. — <sup>3)</sup> Ebend. 1911, S. 1203.

Um über die Lage jedes einzelnen Rohrstranges stets genau orientiert zu sein, sind genaue Detailpläne im Maßstabe 1:500 anzulegen, in welchen die Entfernung der Rohrstränge von den Häusern, die Tiefe derselben, die Wassertöpfe, Schieber und Laternen, sowie alle Anbohrungen und Zuleitungen zu den Häusern und Laternen angegeben sind.

Ferner ist ein Generalplan im Maßstabe 1:5000 zu entwerfen, der die Dimensionen sämtlicher Rohrstränge und ebenfalls alle Schieber, Wassertöpfe und Laternen schematisch eingezeichnet enthalten soll.

#### 47. Ferndruckleitungen.

Bisher verteilte man das Gas, wenigstens in Europa, beinahe ausschließlich unter dem verhältnismäßig sehr geringen Druck von 30 bis 80 mm Wassersäule. Erst in den letzten Jahrzehnten begann man dem Beispiele Amerikas zu folgen, und Gas unter hohem Druck in verhältnismäßig engen Rohrleitungen zu verteilen. Allerdings besitzt man hier noch immer nicht den Mut, das Gas unter den hohen Drucken von einigen Atmosphären bis in die Häuser der Konsumenten zu führen. Die Versorgung großer Gebiete mit Gas unter hohem Druck hat jedoch jetzt in Europa schon große Bedeutung gewonnen und dürfte auch weiter noch große Verbreitung finden. Ist es doch auf diese Weise möglich, ein verhältnismäßig großes Gebiet von einer Zentrale aus zu versorgen, das Gas auf rationellste Weise unter bester Ausnutzung der Nebenprodukte zu erzeugen<sup>1)</sup> und dadurch die Erzeugungskosten des Gases geringer zu machen, als dies bei einzelnen kleinen Gaswerken möglich wäre. Die Hochdruckleitungen bieten aber auch außerordentliche Vorteile bei der Erweiterung von Gaswerken, wo das vorhandene Rohrnetz nicht mehr genügend seinen Dienst zu versehen vermag. Es werden dann an einzelnen Stellen des Versorgungsgebietes, wo durch die vorhandene Rohrleitung nicht der genügende Druck erzielt werden kann, Gasbehälterstationen errichtet und mittels Hochdruckleitungen Gas von dem Werke aus in diese Stationen gepreßt, so daß von dort das Niederdrucknetz mit entsprechendem Gasdruck versorgt werden kann.

Durch die Ausführung von Hochdruckleitungen ist es vielfach möglich geworden, der Konkurrenz des elektrischen Lichtes energischer die Spitze zu bieten<sup>2)</sup>.

Die Effektverluste bei der Fortleitung des Gases betragen nur ein Viertel derjenigen bei der Leitung von Elektrizität<sup>3)</sup>. Außerdem hat das Gas bei der Fernversorgung den Vorteil, daß es ohne Verlust aufgespeichert werden kann, was bei der Elektrizität nicht der Fall ist.

Ein Verlust des Gases an Heizwert, den man anfänglich befürchtete, findet nicht statt, wie Zollikofer<sup>4)</sup> kürzlich experimentell nachgewiesen hat. Man kann nun je nach Umständen entweder durch eine Ferndruckleitung einen entlegenen Ort, in dem ein Gasbehälter aufgestellt wurde, mit Gas versorgen, oder man kann auch an die Ferndruckleitung direkt das Niederdruckrohrnetz, welches das Gas an die Konsumenten verteilt, anschließen,

<sup>1)</sup> Schilling, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 626 u. 637; ferner Blum, ebend. 1911, S. 351. — <sup>2)</sup> Kuckuk, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1061. Hier ist auch eine Übersicht über sämtliche Publikationen auf dem Gebiete der Gasfernversorgung zu finden. — <sup>3)</sup> Förster, ebend. 1910, S. 385. — <sup>4)</sup> Ebend. 1911, S. 650.

ohne Zwischenschaltung eines Gasbehälters. In Europa ist die erste Anlage in St. Margareten in der Schweiz 1902 errichtet worden. Dort werden jetzt bereits 17 Orte mit mehr als 39 000 Einwohnern auf diese Weise mit Gas versorgt. In Heidelberg wurde die erste Fernversorgung ohne detachiertem Behälter gebaut, und hat dies bei einer Rohrlänge von mehr als 12 km keine Schwierigkeiten ergeben. In Deutschland sind derzeit 18 Hochdruckanlagen mit Behältern und 15 ohne Behälter in Betrieb.

Welchen Anklang die Fernversorgung bei den Landgemeinden findet, geht übrigens auch daraus hervor, daß fünf Gemeinden in der Nähe von Heidelberg, welche bereits elektrische Überlandzentralen hatten, die Gasversorgung wegen der billigeren Beleuchtung und wegen des Kochgases verlangt haben.

Betreffs der Berechnung der Rohrleitungen für Ferndruckanlagen verweisen wir auf S. 571. Es hat sich dabei herausgestellt, daß die Polesche Formel zu ungünstige Werte gibt und daß durch die Ferndruckleitungen effektiv mehr Gas befördert wird bzw. ein geringerer Druckverlust eintritt, als nach dieser Formel zu berechnen ist<sup>1)</sup>.

Wie schon erwähnt, gibt es zwei verschiedene Arten der Hochdruckferngasleitung. Die eine dient zur Ergänzung bestehender Gasleitungen, indem Speiseleitungen mit oder ohne Einschaltung eines Gasbehälters das Gas an jene Stellen führen, wo zu wenig Druck vorhanden ist. Kommt dabei kein Behälter zur Anwendung, so muß der hohe Druck der Speiseleitung durch einen eigenen Regler auf Niederdruck herabgesetzt werden, an welchen dann das Niederdrucknetz angeschlossen wird. Diese Speiseleitungen versorgt man gewöhnlich mit einem Maximaldruck von 700 mm<sup>2)</sup>. Es ist damit aber durchaus nicht gesagt, daß dieser noch immer sehr niedrige Druck der wirtschaftlichste ist. Im allgemeinen liegt der wirtschaftlichste Druck viel höher und um so höher, je länger die betreffende Leitung ist. So ist z. B. eine Fernversorgungsanlage in Lichtenberg bei Berlin bereits für einen Druck von 1,7 Atm. eingerichtet<sup>3)</sup>. Auch bei der Versorgung neu angeschlossener Stadtteile bietet Hochdruck mit Distriktsreglern häufig große Vorteile<sup>4)</sup>. Bei der Hochdruckversorgung ohne Behälter muß jedoch die Hochdruckrohrleitung den maximalen Stundenkonsum bewältigen, das ist etwa ein Achtel des maximalen Tageskonsums. Wendet man hingegen einen Gasbehälter an, so kann die Versorgung des Gasbehälters mit Gas fortdauernd über die ganze Dauer des Tages erfolgen, so daß dann die Rohrleitung nur ein Vierundzwanzigstel des Maximaltageskonsums zu bewältigen hat. Es muß also von Fall zu Fall berechnet werden, ob es billiger ist, eine engere Rohrleitung und einen Gasbehälter, oder aber eine weitere Rohrleitung ohne Behälter zu errichten. Meistens hat man bei Neulegung einer Gasleitung oder bei Einbeziehung irgend eines neuen Versorgungsgebietes auch auf die fernere Entwicklung des Gasabsatzes Rücksicht zu nehmen. In diesen Fällen

---

<sup>1)</sup> Walter, Journ. f. Gasbel. 1907, S. 265; Zollikofer, ebend. 1906, S. 31; ferner Feist-Hénoul, Bull. de l'Assoc. des Gazières Belge 1908—1909, S. 34—53; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 115; vgl. auch Lichtmeßkommission d. deutsch. Ver. d. Gas- u. Wasserfachmänner; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 543 und Schlegel, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 336. — <sup>2)</sup> Hessenbruch, Hochdruckleitungen in St. Louis; Journ. f. Gasbel. 1906, S. 905. — <sup>3)</sup> Blum, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 650. — <sup>4)</sup> Riedl, Gasfernversorgung in Crefeld; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 1185.

soll man die Rohrleitung nicht zu klein wählen, und es ist daher häufig zweckmäßig, von Anfang an eine weitere Rohrleitung zunächst ohne Behälter arbeiten zu lassen, später aber, wenn der Konsum so hoch gestiegen ist, daß die Rohrleitung allein den maximalen Stundenkonsum nicht mehr zu bewältigen vermag, kann man einen Gasbehälter dazu bauen, und genügt dann die Rohrleitung selbst noch bei einem bis auf das Dreifache angestiegenen Tageskonsum.

Oft genügt schon der Druck eines teleskopierten Gasbehälters, um den Druckverlust, welcher in der Gasferndruckleitung in der ersten Zeit, wo der Konsum noch geringer ist, zu überwinden. Selbst dann, wenn ein neuer Behälter aufgestellt wird, kann dies noch der Fall sein, da die einfachen nicht teleskopierten Behälter gewöhnlich nur einen Druck von 50 bis 80 mm geben, während teleskopierte Behälter leicht bis zu 180 mm geben können, so daß eine Druckdifferenz von 100 mm zur Verfügung steht, welche für viele Fälle zunächst genügt. Es muß dabei allerdings beachtet werden, daß dieser hohe Druck im teleskopierten Behälter nur dann verfügbar ist, wenn ein oder mehrere Teleskopringe bereits emporgezogen sind. Ein solcher Behälter ist also dann nur zum Teil für die Fernversorgung ausnutzbar, d. h. sein für diesen Zweck ausnutzbares Volumen ist geringer. Später kann dann die Leistung der Anlage durch Aufstellung eines Gebläses an der Gaserzeugungsstelle noch wesentlich gesteigert werden.

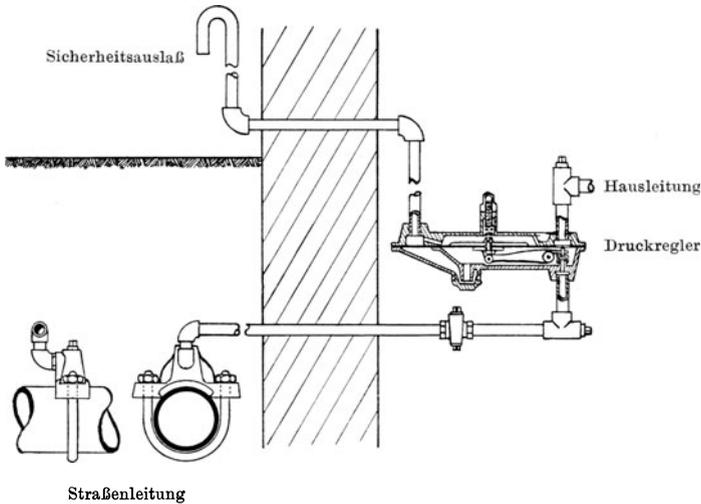
Für die Hochdruckleitungen wendet man mit Vorliebe Mannesmannrohre an. Sie sind möglichst sorgfältig zu verlegen, da wegen des hohen Druckes keine Undichtheiten vorhanden sein dürfen, weil ja sonst die Gasverluste zu hohe würden. Um die Rohrleitung einer beständigen Kontrolle unterziehen zu können, sind an möglichst viel Stellen Wassertöpfe, die für Wasserabschluß eingerichtet sind (vgl. S. 587), aufzustellen. Es können dann die einzelnen Sektionen der Rohrleitungen einer regelmäßigen Kontrolle und Druckprüfung unterzogen werden.

Das andere System: die direkte Versorgung der Konsumenten mit Hochdruck ohne Anwendung eines Behälters, oder einer dazwischen geschalteten Niederdruckleitung, ist jedenfalls noch wesentlich billiger als die eben genannten Versorgungssysteme. Man wendet bei diesen, z. B. in St. Louis, Drucke bis zu 21 m Wassersäule an. Die Rohrleitung dient in diesem Falle selbst als Gasbehälter. Das Volumen der Rohre ist, obwohl die Rohre klein dimensioniert sind, doch groß genug, um bei diesem hohen Druck eine ganz beträchtliche Gasmenge aufspeichern zu können. Eventuell werden noch verhältnismäßig kleine stählerne Behälter, die meist unterirdisch gelagert sind, angeschlossen, die das Volumen der Hochdruckleitung entsprechend ergänzen. Sie erhalten einen Inhalt von etwa 20 bis 30 m<sup>3</sup>. Handelt es sich um die Kompression von Steinkohlengas auf so hohen Druck, so können Ausscheidungen von Kohlenwasserstoffen vorkommen. Diese können dann nachträglich wieder dem Gase zugeführt werden, um es auf seine ursprüngliche Leucht- und Heizkraft zu bringen.

In Amerika hat die Hochdruckgasfernversorgung schon ganz beträchtlichen Umfang angenommen. Dort handelt es sich allerdings häufig um die Verteilung von Naturgas, welches schon an sich unter hohem Druck der Erde entströmt. Die Western United Gas and Electric Comp. liefert Gas an 30 Städte und Ortschaften von vier Gaswerken mit Drucken von 2,8 und

4,2 Atm.<sup>1)</sup> Zwei Werke liefern ein Gemisch von Steinkohlengas und Wassergas, die beiden anderen gewöhnliches Steinkohlengas. Die Anlage hatte zwar erst unter Betriebsschwierigkeiten zu leiden, da sich ein schwarzes Pulver in den Leitungen niederschlug, welches zum größeren Teil aus Eisenoxyd, zum geringeren Teil aus flüchtigen Bestandteilen von pechähnlicher Beschaffenheit bestand. Diese Schwierigkeiten wurden jedoch später behoben. Bei diesen Hochdruckleitungen können die Anbohrungen, welche das Gas den Zuleitungen zuführen, sehr klein gewählt werden, weil ja zufolge des hohen Druckes ein hoher Druckverlust zugelassen werden kann. Eine  $\frac{1}{2}$  zöllige Öffnung läßt z. B. bei 2 Atm. Druck in 24 Stunden 14 000 m<sup>3</sup> Gas hindurch.

Fig. 264.



Sofort nach dem Eintritt des Hochdruckrohres in das mit Gas beleuchtete Haus muß ein Druckregler angebracht werden, welcher den Druck auf normale Grenzen herabsetzt. Hierzu wird zweckmäßig die in Fig. 264 abgebildete Vorrichtung verwendet.

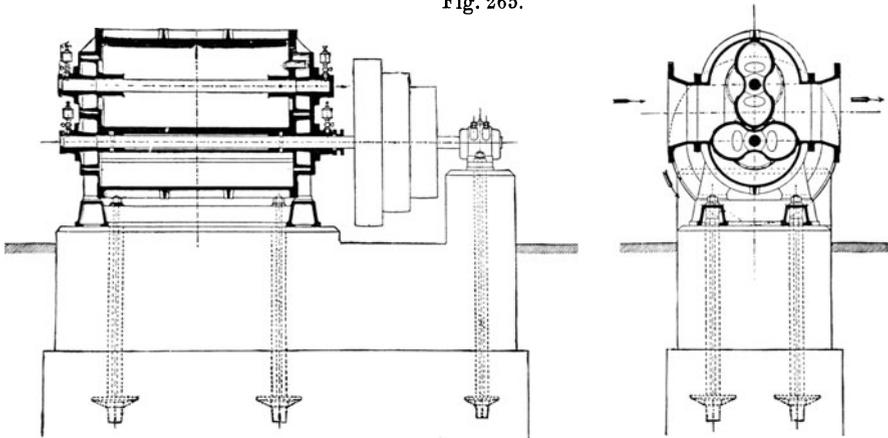
Das sehr kleine Ventil, durch welches das Gas in den Regler eintritt, sitzt an einem zweiarmigen, sehr langen Hebel und wird durch eine Membrane bewegt, die durch den regulierten Druck nach oben gehoben wird. Der Raum unterhalb der Membrane ist also ganz mit Gas von Niederdruck gefüllt und aus diesem strömt das Gas in die Hausleitung ein. Gelangt das Gas durch irgend eine Unregelmäßigkeit, wie z. B. Undichtheit des Ventils, unter zu hohen Druck, so entweicht es aus einem Sicherheitsauslaß ins Freie, welcher in der Zeichnung links an den Regler angeschlossen gedacht ist. Derartige Sicherheitsventile müssen häufig kontrolliert werden, da sie sich leicht durch Staub, Eis, Naphtalin oder dgl. verstopfen. Bewährt hat sich auch ein senkrechtes Absperrventil von Lock-Wood. Bei diesem wird ein Metallkörper bei plötzlicher Druckentlastung in den Ausgang gepreßt, so daß Entweichungen von Gas verhindert werden.

<sup>1)</sup> Johnson, *Progressiv Age* 1910, S. 268; *Journ. f. Gasbel.* 1910, S. 665.

Ein einfacher Hochdruckregler wird auch von der Bamag<sup>1)</sup> auf den Markt gebracht. Er besteht aus einer Druckreglerglocke, welche zwei hintereinander geschaltete Drosselhähne betätigt. Diese Regler gestatten ebenfalls den unmittelbaren Anschluß der Niederdruckleitung an die Hochdruckleitung.

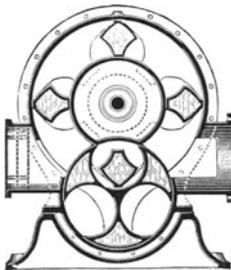
Von Zeit zu Zeit treten auch immer wieder die Projekte auf, große Städte von den Kohlenwerken aus durch Hochdruckgasleitungen zu versorgen. Neuerdings hat z. B. Martin vorgeschlagen, London von dem South Yorkshirefield mit Gas zu versorgen. Die Entfernung beträgt 275 km. Es ist ein Rohr

Fig. 265.



von 650 mm Durchmesser geplant. Bei dem Anfangsdruck von 25 Atm. berechnet sich der Kraftbedarf zu 46 000 HP, um den derzeitigen jährlichen Bedarf von 1130 Mill. Kubikmeter nach London zu befördern. Das Gas

Fig. 266.



würde sich vor dem Kompressor auf  $1,75 \text{ } \mathcal{J}$  pro Kubikmeter einschließlich der Kompressionsverluste durch Undichtheit usw. stellen<sup>2)</sup>. Im Behälter in London würde es auf  $2\frac{1}{4} \text{ } \mathcal{J}$  kommen, während sich die Selbstkosten für die Londoner Gasgesellschaft jetzt auf  $3,55 \text{ } \mathcal{J}$  pro Kubikmeter belaufen. Das Anlagekapital der Leitung würde 25 Mill. Mark betragen. In Amerika ist die Versorgung großer Städte mit Gas aus großen Entfernungen tatsächlich bereits durchgeführt. Dort handelt es sich allerdings um Naturgas. So z. B. ist Chicago mit Naturgas aus dem Staate

Indiana durch zwei Leitungen von je 200 mm Durchmesser versorgt, die Entfernung dieser Naturgasquellen von Chicago beträgt 200 km.

Die Gebläse, welche zur Kompression des Gases zum Zwecke der Beförderung in Ferndruckleitungen angewendet werden, haben wir bereits auf S. 532 besprochen. Auch die gewöhnlich in den Gaswerken zur Verfügung stehenden Gassauger (Exhaustoren, S. 531) kann man für diesen Zweck benutzen. Zweckmäßiger, weil billiger, sind die Rootsgebläse (Kapselradgebläse), wie dies z. B. in Fig. 265 dargestellt ist. Noch zweckmäßiger, weil mit ge-

<sup>1)</sup> Blum, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 351. — <sup>2)</sup> Schäfer, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 385.

ringem Kraftverlust arbeitend, sind die Enkeschen Gebläse, Fig. 266. Für große Anlagen bedient man sich gewöhnlich der Turbogebälse<sup>1)</sup>, die wir bereits auf S. 533 erläutert haben und die den besonderen Vorzug der leichten Regulierbarkeit besitzen.

Die Arbeit, welche zur Kompression des Gases erforderlich ist, berechnet sich nach der nachstehenden Formel, in welcher  $N$  die Anzahl der Pferdestärken,  $p_1$  den absoluten Druck vor dem Kompressor,  $p_2$  den absoluten Druck hinter dem Kompressor,  $Q$  die Gasmenge in Kubikmetern bei dem Druck  $p_1$  pro Stunde,  $\eta$  den Wirkungsgrad des Kompressors darstellt:

$$N = \frac{10\,000 \cdot p_1 \cdot l_n - p_2 \cdot Q}{3600 \cdot 75 \cdot \eta}.$$

Aus der nachstehenden Tabelle geht der Kraftbedarf hervor, welcher beispielsweise in Hagen verwendet wurde, wo auf eine verhältnismäßig kleine Entfernung von 1500 m ein vorhandener alter Rohrstrang von 300 mm Durchmesser an Stelle eines neu zu legenden Hauptstranges verwendet wurde, welcher letzterer einen Durchmesser von 800 mm hätte haben müssen, um die gleiche Gasmenge liefern zu können, welche vom Werk bis in die Mitte der Stadt gedrückt werden mußte. In der Mitte der Stadt ist ein Druckregler in einer Litfaßsäule aufgestellt, welcher den Übergang zum Niederdrucknetz regelt<sup>2)</sup>.

Anfangsdruck mm	Enddruck mm	Kubikmeter pro Stunde	Kraftbedarf HP
280	75	696	2,9
110	75	1344	6,8
714	75	1740	8,7
1290	75	2000	15,7

Lenze<sup>3)</sup> berechnete für eine stündliche Leistung von 5500 m<sup>3</sup> Gas die günstigste Rohrdimension und die zugehörigen Druckverluste sowie den Kraftbedarf. Diese Zahlen sind aus der nachstehenden Tabelle ersichtlich. Sie beziehen sich auf eine Leitung von 5 km Länge.

Rohr mm Durchmesser	Druckverlust mm Wassersäule	Kraftbedarf HP
700	76	3,5
600	163	—
300	—	115,0
200	20000	355,0

Die Kosten sind für diesen Fall bei 500 mm Rohrdurchmesser am geringsten.

Aus einer Berechnung Lürmanns<sup>4)</sup> geht hervor, daß bei langen Leitungen Drucke von mehreren Atmosphären wirtschaftlicher sind als die heute gewöhnlich angewendeten Drucke von 500 bis 1000 mm Wassersäule. Zur Förderung

<sup>1)</sup> Z. B. in Wien-Simmering: Blum, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 650. —  
<sup>2)</sup> Franke, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 405. — <sup>3)</sup> Ebend. 1909, S. 691. — <sup>4)</sup> Blum, ebend. 1911, S. 653.

von jährlich 60 bzw. 30 Mill. Kubikmeter Gas auf 40 km Entfernung sind Drucke von 42 bzw. 34 m Wassersäule bei einem Rohrdurchmesser von 250 bzw. 200 mm die wirtschaftlichsten. Der Kraftbedarf beträgt dabei 60 bzw. 28,5 PS. Die Kosten der Förderung betragen 0,24 bzw. 0,33  $\text{ö}$  pro Kubikmeter, sind also außerordentlich gering.

Zum Zwecke, den Antrieb des Gebläses abzustellen, sobald der Druck in der Hochdruckleitung eine festgesetzte Grenze übersteigt, werden automatische Ausschalter angewendet, ferner werden parallel zu den Gebläsen Sicherheitsventile angeordnet, welche sich öffnen, wenn der Druck in der Hochdruckleitung zu hoch wird, so daß ein Teil des Gases wieder in die Saugleitung zurückfließt, wie wir dies bereits bei den Gassaugern kennen gelernt haben (S. 535).

Dient die Hochdruckleitung zur Füllung eines Gasbehälters, so muß die Zuleitung zum Gasbehälter automatisch geschlossen werden, sobald der Behälterstand eine gewisse Höhe erreicht hat. Dies ist nun an sich leicht durchführbar. Es muß aber auch dafür gesorgt werden, daß nach Abschluß des Ventils die Behälterglocke auch noch weiter steigen kann. Es kann nämlich leicht vorkommen, daß zufolge von Temperaturdifferenzen, insbesondere dann, wenn der Behälter von der Sonne beschienen ist, das Gasvolumen im Behälter sich noch so weit ausdehnt, daß ein Steigen der Glocke stattfindet. Dies wird am einfachsten dadurch unschädlich gemacht, daß die Schieberspindel mit einem Gegengewicht entlastet ist, wobei die das Gewicht mit dem Schieber verbindende Kette über eine Rolle geht. Diese Rolle ist dann mit der Gasbehälterglocke in fixer Verbindung. Steigt die Gasbehälterglocke, so wird der Schieber zunächst geschlossen, weil das Entlastungsgewicht etwas schwerer gewählt wird als der Schieber, dann bei weiterem Steigen wird das Entlastungsgewicht entsprechend gehoben. An Stelle von Schiebern sind hier zweckmäßig Kegelventile zu verwenden.

#### 48. Störungen an Rohrleitungen und ihre Beseitigung.

Die wichtigsten Störungen, welche an Rohrleitungen vorkommen können, sind Rohrbrüche, Verstopfungen und das Auftreten von Verlusten. Um die Ursache derartiger Störungen und die Aufsuchung des Ortes derselben gut durchführen zu können, sind vor allem genaue Rohrpläne erforderlich. In diesen Rohrplänen müssen die Dimensionen der Rohre eingezeichnet sein, und außerdem muß bei jedem Rohrstrange die Bezeichnung der betreffenden Straße eingeschrieben sein. Dies allein genügt jedoch noch nicht, um die Lage des Rohres in jeder Straße bestimmen zu können. Zu diesem Zwecke ist es notwendig zu wissen, in welcher Entfernung von den Häuserfronten das Rohr gelegt wurde. Man bringt daher entweder an den Häusern oder an den Laternen Schildchen am besten aus geprägtem Zinkblech an, welche einen Vermerk enthalten, wie weit von der betreffenden Stelle entfernt das Hauptrohr liegt. Außerdem sollen, in genauen Rohrplänen in Mappen gesammelt, Detailpläne vorhanden sein, bei denen die Entfernung des Rohres von den Häuserfronten oder von sonstigen Fixpunkten, ebenso wie die Tiefenlage des Rohres angegeben ist. Von Wichtigkeit ist auch die Eintragung vorhandener Kanäle, elektrischer Kabelleitungen, Wasserleitungen oder dgl. namentlich dann, wenn Kreuzungen derselben mit der Gasleitung vorkommen. Existieren dies-

bezügliche Aufschreibungen noch nicht, so ist es sehr zweckmäßig, dieselben nachträglich einzutragen, wenn bei vorkommenden Reparaturarbeiten Kanäle, Leitungen oder Kabel vorgefunden werden. Ebenso soll dafür gesorgt werden, daß die vorgefundenen Bodenverhältnisse eingetragen werden.

Etwa vorkommende Rohrbrüche sind leicht an dem großen Gasverluste, an dem großen Druckgefälle, welches an der Stelle des Rohrbruches entsteht, und am Geruch auf der Straße zu erkennen. Leider tritt das Gas bei Rohrbrüchen oft auch in die unteren Räumlichkeiten der Häuser ein, wo es dann durch den Geruch wahrgenommen wird. Viel schwieriger als die Auffindung von Rohrbrüchen gestaltet sich die Auffindung der kleineren Verlustquellen, die durch Undichtheiten an den Muffen sowie an den Anbohrungen und oft auch durch Anfressen der schmiedeeisernen Leitungen durch Rost hervorgerufen sind.

Den Gesamtverlust eines Rohrnetzes berechnet man gewöhnlich, indem man von der Gesamtmenge des produzierten Gases, welches der Stationsgasmesser anzeigt, die Summe der konsumierten Gasmengen, welche an den Privatgasmessern abgelesen werden, ferner die nach Flammenbrennstunden berechnete öffentliche Beleuchtung und schließlich den eigenen Verbrauch im Gaswerke, der ebenfalls mittels eines Gasmessers gemessen wird, abzieht. Der auf diese Weise gefundene scheinbare Verlust stimmt jedoch mit dem wirklichen Verlust, der durch Undichtheiten hervorgerufen ist, durchaus nicht überein.<sup>1)</sup>

Der scheinbare Verlust setzt sich aus folgenden Posten zusammen <sup>1)</sup>:

1. Die Temperaturveränderung des Gases. Das Gas passiert den Stationsgasmesser gewöhnlich mit höherer Temperatur, als die Gasmesser bei den Konsumenten. Besonders im Sommer ist dies der Fall. Das Volumen des Gases am Stationsgasmesser wird daher höher gemessen, als dies sein sollte, und daher erscheint die Ausbeute günstiger; aber die Verluste infolge der Abkühlung des Gases im Stadtrohrnetz steigen dementsprechend.

2. Die Kondensation flüchtiger Produkte aus dem Gase, wodurch eine Volumenverminderung eintritt. Diese Kondensation ist ebenfalls durch die unter 1. genannte Temperaturveränderung hervorgerufen. Diese Kondensation macht jedoch nur wenig aus. Berechnet man nämlich das Volumen des Kondenswassers aus den Siphons in Gasform, so wird man finden, daß dieses nur in geringem Maße zu dem Gasverlust beiträgt. Bei derartigen Versuchen muß aber auch festgestellt werden, ob in die Wassertöpfe nicht Wasser von außen eingetreten ist. Man erkennt das Grundwasser zum Unterschiede vom Kondenswasser an dem Gehalte an Kalk.

3. Die Ungenauigkeit der Gasmesser bei den Konsumenten. Bei nassen Gasmessern sinkt im Laufe des Gebrauches der Wasserspiegel, und ehe wieder Wasser nachgefüllt wird, zeigt der Gasmesser zu wenig an. Trockene Gasmesser besitzen oft Undichtheiten, die ungemessenes Gas hindurchlassen.

4. Unrichtige Berechnung des Gasverbrauches für die öffentliche Beleuchtung. Wird der Gasverbrauch für die öffentliche Beleuchtung pro Brennstunde zu gering angesetzt, so resultiert daraus ein scheinbarer Verlust. Dazu kommt, daß die Brennstundenanzahl, wie dies im Brennkalendar steht und nach welcher die Verlustberechnung erfolgt, oft nicht genau eingehalten wird, sondern das Anzünden vor der festgesetzten Zeit und das Auslöschen nach der

<sup>1)</sup> Kaeser, Journ. f. Gasbel. 1906, S. 193 u. 1144.

festgesetzten Zeit stattfindet; all dies erscheint als scheinbarer Verlust. Umgekehrt bewirkt natürlich ein zu hoch angesetzter Verbrauch der Laternen einen zu klein erscheinenden Gasverlust.

5. Unregelmäßigkeiten im Ablesen der Gasmesser bei den Konsumenten können eine Verschiebung des scheinbaren Verlustes hervorbringen. Viele Abonnenten sind im Sommer zeitweise abwesend, deren Gasmesser kann daher nicht abgelesen werden. Dieser Gaskonsum erscheint dann in höherem Maße in den Herbstmonaten. Außerdem sind Unregelmäßigkeiten im Ablesen der Gasmesser dadurch bedingt, daß die Aufnahme der Gasmesserstände jeweils mehrere Tage dauert. Dadurch wird bei zunehmender Tageslänge eine Steigerung des scheinbaren Verlustes, beim Kürzerwerden des Tages hingegen eine Reduktion desselben stattfinden.

Außer den wirklichen Verlusten, welche durch Undichtheiten im Rohrnetze stattfinden, tritt ein wirklicher Verlust auch noch durch die Arbeiten am Rohrnetze ein. Bei Neulegung von Rohrabzweigungen sind Gasverluste nicht zu vermeiden, ebenso bewirken die Anbohrungen des Rohrnetzes häufig beträchtliche Gasverluste. Da die Arbeiten am Rohrnetze meistens im Sommer ausgeführt werden, so tritt dieser Verlust hauptsächlich im Sommer auf.

Änderungen des Verlustes zwischen den Winter- und Sommermonaten können noch durch folgende Ursachen hervorgerufen werden:

1. Änderung im Grundwasserstand. Zur Zeit des Hochwasserstandes sind alle Undichtheiten der Rohre unter Wasser, was die Entweichung von Gas erschwert.

2. Änderungen der Bodenfeuchtigkeit: solange der Boden feucht ist, ist derselbe für Gas schwerer durchlässig, als wenn derselbe trocken ist.

3. Im Winter erleiden die Rohre zufolge des gefrorenen Bodens größere Erschütterungen als im Sommer, da die Erschütterungen der Fuhrwerke durch den gefrorenen Boden den Rohren kräftiger mitgeteilt werden. Dadurch erhöhen sich die Verluste im Winter einigermaßen.

Im großen ganzen findet man jedoch bei den meisten Werken zufolge der vorher erwähnten Punkte ein Ansteigen der Verluste im Sommer und dies nicht nur prozentuell, sondern auch effektiv. Die Hauptursache dabei sind wohl die Temperaturverhältnisse, wie sie oben erläutert worden sind.

Ist z. B. die Temperatur am Stationsgasmesser um 3° höher als bei den Konsumentengasmessern, so ergibt sich ein scheinbarer Verlust von 1,9 Proz. durch die Raumverminderung des Gases. Dazu kommen aber noch die Kondensationen in den Wassertöpfen. Diese betragen in Volumprozenten:

° C	Gesamtwasserdampfgehalt in Vol.-Proz.	Differenz pro 5° C Vol.-Proz.
0	0,60	0,26
5	0,86	0,35
10	1,21	0,46
15	1,67	0,62
20	2,29	0,81
25	3,10	1,04
30	4,14	1,36

Dem scheinbaren Verlust entgegen wirkt die Druckdifferenz zwischen dem Stationsgasmesser und dem Druck in den Gasmessern der Konsumenten.

Beträgt z. B. der Druck im Stationsgasmesser 100 mm, bei den Konsumenten dagegen nur 45 mm, so beträgt diese Differenz 0,53 Proz. Sie ist also nicht so wesentlich wie die oben erörterten Einflüsse der Temperatur.

Das sicherste Mittel zur Auffindung von Undichtheiten im Rohrnetze ist, einzelne Teile des Rohrnetzes oder ganze Netzbezirke durch die eingebauten Abschlußorgane (entweder Schieber oder Abschlußwassertöpfe, S. 587) abzutrennen und diese einzeln auf ihre Dichtheit zu prüfen. Die Prüfung kann in der Weise erfolgen, daß man aus der noch unter Druck stehenden Leitung vor dem Abschlußorgan Gas entnimmt, dieses durch einen Gasmesser, am besten durch einen Experimentiergasmesser, in die abgetrennten Teile des Rohrnetzes leitet. Der Gasmesser zeigt dann direkt die Größe des stündlichen Gasverlustes in dem betreffenden Rohrstrange an. Ist die Entnahme des Gases aus einem noch unter Druck stehenden Teile des Rohrnetzes nicht möglich, so kann man zweckmäßig einen kleinen fahrbaren Gasbehälter <sup>1)</sup> anwenden, der mit Gas oder mit Luft gefüllt ist, und läßt von diesem aus das Gas direkt in den abgetrennten Rohrteil einströmen. Die Anwendung eines Gasmessers ist hier nicht notwendig, weil man aus dem Fallen des Gasbehälters sofort auf die Größe der Undichtheit schließen kann. Übrigens kann man dieselbe auch ohne besondere Apparate aus dem Fallen des Manometerstandes gemäß S. 583 berechnen.

Handelt es sich um die Prüfung des ganzen Rohrnetzes bei Inbetriebsetzung, so kann man auch die Druckreglerglocke zur Prüfung auf Dichtheit verwenden. Man verbindet den Druckregler, nachdem die Glocke in ihre höchste Stellung gebracht wurde, mit dem Rohrnetze, während der Eingang des Reglers abgesperrt wird. Zuzufolge der vorhandenen Undichtheiten sinkt die Reglerglocke, und man kann aus der Geschwindigkeit des Sinkens die Größe der Undichtheiten des Gesamtrohrnetzes bemessen.

Wenn auch das Absperren einzelner Rohrstränge das sicherste Mittel zur Auffindung des Ortes von Undichtheiten ist, so ist doch dieses Mittel leider nicht häufig anwendbar, da es eine Störung im Gasabsatz hervorruft. Um Undichtheiten bei im Betriebe stehenden Leitungen zu finden, muß man sich darauf beschränken, das aus Undichtheiten ausströmende Gas auf irgend eine Weise nachzuweisen.

Da sich geringe Ausströmungen von Gasmengen im Freien nicht durch den Geruch zu erkennen geben, so ist es notwendig, die gashaltige Luft aus der Erde knapp oberhalb den Rohren abzunehmen und durch ein Rohr an die Straßenoberfläche zu führen. Dies geschieht am besten in der Weise, daß man ein schmiedeeisernes Rohr in ein Loch steckt, welches vorher mit einem Vorbohrer in die Erde geschlagen wurde. Da man die Stelle nicht kennt, an welcher sich die Undichtheit befindet, so ist es notwendig, in Entfernungen von 2 bis 3 m längs des ganzen Rohrstranges derartige Rohre in den Boden einzuschlagen. Man nennt dies das „Abbohren“ des Rohrnetzes. Sie werden dann oben abgeschlossen und einige Zeit stehen gelassen. Das Gas, welches von unten Zutritt und sich in den Rohren ansammelt, kann dann nach Abheben des Verschlusses durch den Geruch nachgewiesen werden.

Das Anzünden des Gases an diesen sogenannten Riechrohren ist unbedingt zu verwerfen, da bei größeren Ansammlungen von Gas im Straßenboden durch

<sup>1)</sup> Siry, Lizars & Co., Journ. f. Gasbel. 1906, S. 960.

die Entzündung ganze Straßenstrecken aufgeworfen werden könnten. Oft bildet sich durch Setzungen des Erdreiches in der Nähe des Rohres ein längs des ganzen Rohrstranges hinlaufender Hohlraum, der dann vollständig mit Gas und Luft gefüllt ist, bei dessen Explosion nicht unbeträchtliche Schäden hervorgerufen werden können.

Viel empfindlicher als der Geruch ist die Probe auf ausströmendes Gas mit Hilfe des Palladiumchlorürs. Um diese Probe auszuführen, taucht man einen Streifen Filtrierpapier in Palladiumchlorürlösung in der Konzentration 1:500. Dieselbe darf jedoch kein Chlorid enthalten <sup>1)</sup>. Der Streifen soll feucht sein, darf aber nicht zu naß sein. Man hängt den Streifen mittels eines Hakens an die Kappe, mit welcher man das Proberohr verschließt und läßt denselben einige Zeit darin. Ist eine Gasausströmung an dieser Stelle vorhanden, so bewirkt der Kohlenoxydgehalt des Gases die Schwarzfärbung des Palladiumchlorürestreifens.

Noch empfindlicher wird diese Probe, wenn man das Gas aus diesem Rohre mit Hilfe irgend einer Aussaugvorrichtung über den Palladiumchlorürestreifen hinwegsaugt <sup>2)</sup>.

In ähnlicher Weise wie das Palladiumchlorürpapier kann man auch das sogenannte Gasoskop <sup>3)</sup> zur Prüfung des in dem Rohre angesammelten Gases benutzen. Zu diesem Zwecke schließt man oben das Proberohr mit einem  $1\frac{1}{2}$  zölligen Hahn ab, läßt das Gas sich dort einige Zeit ansammeln, dann stülpt man über den Auslaß des Hahnes den Unterteil des Gasoskops (vgl. S. 262) und öffnet dann den Hahn. Das Gasoskop zeigt mit Hilfe seines Zeigers quantitativ den Gasgehalt des im Rohre angesammelten Gasluftgemisches an und man erkennt nun durch Prüfung sämtlicher Proberohre die Stelle, wo der Ausschlag am stärksten ist, d. h. wo sich die größte Gasmenge angesammelt hat. Dort wird dann durch Aufgrabung die Undichtheit zu finden sein.

Allerdings geben alle diese Mittel zur Aufsuchung der undichten Stellen nicht unbedingt genaue Angaben, denn es kann vorkommen, daß durch die längs der Rohrleitungen sich hinziehenden Hohlräume im Erdreiche Gas auf große Entfernungen fortgeleitet wird, und das Gas ziemlich weit entfernt von der wirklichen Undichtheit zur Erdoberfläche austritt. Man wird eben dann von der Stelle aus, wo sich der größte Gasgehalt im Proberohre gezeigt hat, weiter das Rohr freilegen müssen, um schließlich auf die Undichtheit zu kommen.

Dort, wo elektrische Kabel im Straßenboden verlegt sind, muß das Einbohren der Proberohre mit entsprechender Vorsicht vorgenommen werden. Unter Umständen muß davon ganz abgesehen werden. Der Verein der Gas- und Wasserfachmänner in Österreich-Ungarn hat hierüber folgende Leitsätze aufgestellt:

„Die Beurteilung der Frage, ob und wann die Anwendung von Bohrstangen zur Aufsuchung von Gebrechen am Gasrohrnetz zulässig ist, wird von den jeweils herrschenden örtlichen Verhältnissen beeinflusst. Liegt das Gasrohrnetz in einem unruhigen Erdkörper (Bergbaugebiet), so ist eine eingehende Untersuchung des gesamten Rohrnetzes notwendig, falls sich aus der

<sup>1)</sup> Göpfert, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 558. — <sup>2)</sup> Nestler, ebend. 1906, S. 1011. — <sup>3)</sup> Ebend. 1909, S. 314.

Größe des Gasverlustes auf eine vorhandene größere Undichtheit schließen läßt. Solche Undichtheiten, deren örtliche Lage zumeist unbekannt ist, durch Aufgrabungen festzustellen, ist wirtschaftlich und aus Verkehrsrücksichten in der Regel untunlich, da dies in gewissen Zeitabschnitten zur Freilegung des größten Teiles des Rohrnetzes führen würde. Es bleibt daher nur als Hilfsmittel das Abbohren mit der Bohrstange.

Liegen im Bereiche des Rohrnetzes keine anderen empfindlichen Einbauten (Kabel u. dgl.), so steht der Verwendung der Bohrstange ohne Zuhilfenahme besonderer Vorsichtsmaßregeln nichts entgegen. Sind jedoch in der Nähe des zu untersuchenden Rohrstranges Kabel verlegt, so ist die Lage dieser zum Rohrstrange an Hand der Pläne und unter Beiziehung von straßenkundigen Angestellten der in Betracht kommenden Unternehmungen festzustellen. In zweifelhaften Fällen (Kreuzungen) hat an Stelle der Bohrstange die Bloßlegung des Rohrstranges durch Aufgrabung zu treten. Handelt es sich um die Untersuchung eines Gebrechens, dessen ungefähre Lage sich durch eine bereits örtlich geltend machende Ausströmung bestimmen läßt, so ist die Gebrechenstelle in einem Straßenkörper mit empfindlichen Einbauten durch Aufgrabungen, in solchen ohne oder mit unempfindlichen Einbauten, durch die Bohrstange örtlich zu ermitteln.

In Städten mit ruhigem Erdkörper und gutem Rohrnetz (z. B. Wien) wird eine ständige Untersuchung des Rohrnetzes nicht durchgeführt. Man beschränkt sich beim Aufsuchen von Gebrechen, falls sich solche durch ausströmendes Gas bemerkbar machen, da die Lage der vermutlichen Undichtheit bereits örtlich begrenzt ist, ausschließlich auf Aufgrabungen.

Wird durch einen unruhigen Boden der Bestand des Rohrnetzes ständig gefährdet, so empfiehlt sich der Einbau von Riechrohrenlagen, gelegentlich der aus irgendwelchem Grunde erfolgten Bloßlegung von Teilen des Rohrnetzes. Hierdurch vermeidet man die Notwendigkeit etwaiger Aufgrabungen oder die Anwendung der Bohrstange bei späteren Rohrnetzuntersuchungen.“

Bei Asphalt oder anderem festen Straßenpflaster ist überhaupt die Einmauerung von ständigen Überwachungsrohren außerordentlich zweckmäßig. Dieselbe erfolgt gemäß Fig. 267. In diesem Falle ist zunächst die Bedeckung des Rohrstranges mit einer Schicht von grobkörnigem Schotter zweckmäßig, damit das Gas sich dort ansammeln kann und an jener Stelle, wo die Undichtheit ist, in das Riechrohr entweicht, während bei direktem Auflegen des Erdreiches sich dort Kanäle bilden können, die eine unkontrollierbare Lage haben und das Gas somit an eine Stelle führen, die von der undichten Stelle entfernt gelegen ist.

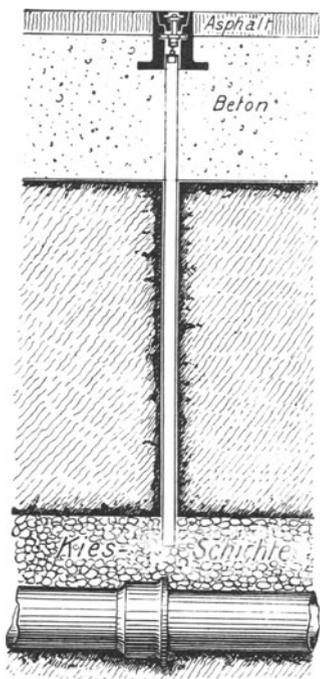
Verstopfungen der Rohrleitungen können entweder durch Wasser oder durch Eis oder durch Naphtalin hervorgerufen werden.

Die Beseitigung des Wassers erfolgt durch die Wassertöpfe, wie bereits auf S. 586 beschrieben. Die Beseitigung von Eis erfolgt entweder durch Erwärmung des Rohres oder aber auch, wenn das Rohr zugänglich ist, durch das Einblasen von Spiritus. Dieser löst Eiskristalle rasch auf. An solchen Stellen, wo Rohrleitungen durch starke Fröste gefährdet sind und nicht auf andere Weise vor dem Einfrieren geschützt werden können, ist es sehr zweckmäßig, dem Gase überhaupt etwas Spiritusdampf beizufügen. Man gibt dann pro 1 m<sup>3</sup> etwa 4 bis 8 g Spiritusdampf. Die Verdampfung des Spiritus

erfolgt entweder am Gaswerke, dann am besten unter Zuhilfenahme von Wasserdampf als Heizmittel, oder lokal an einzelnen Stellen, wobei dann eine kleine Gasflamme als Heizmittel verwendet wird <sup>1)</sup>.

Schwieriger zu beseitigende und umfangreichere Verstopfungen treten durch die Abscheidung von Naphtalinkristallen in Rohrleitungen ein. Zwar wird auch Naphtalin durch Einblasen von Spiritusdampf gelöst, aber die Auflösung desselben gelingt viel leichter durch Einblasen von Xyloidampf, den man in möglichster Nähe der Stelle, wo die Verstopfung vorhanden ist, in das Rohr einbläst. Zu diesem Zwecke können auch transportable Xylolverdampfer verwendet werden, welche man dann zur distriktweisen Reinigung des Rohrnetzes von Naphtalin- und Teeransätzen benutzt <sup>2)</sup>. Das Rohrnetz wird zu diesem Zwecke am besten mit besonderen Anschlußrohren versehen. Druckmessungen an diesen Stellen zeigen dann, wann der Apparat anzuschließen ist, und der Anschluß erfolgt an denselben Rohren, an denen die Druckmessung vorgenommen wurde <sup>3)</sup>.

Fig. 267.



Seit die elektrischen Straßenbahnen in den größeren Städten verkehren, ist ein neuer Übelstand aufgetreten, welcher zu beträchtlichen Undichtheiten der Rohrnetze geführt hat. Es ist die elektrolytische Zerstörung der Rohrleitungen durch die sogenannten vagabundierenden Erdströme. Die Zuleitung des elektrischen Stromes zu den Straßenbahnwagen erfolgt bekanntlich gewöhnlich oberirdisch. Die Rückleitung des Stromes hingegen zum Elektrizitätswerk erfolgt durch die Schienen. Die Schienen stehen jedoch mit dem Erdreiche in leitender Verbindung, namentlich dann, wenn das letztere feucht ist.

Der elektrische Strom geht nun, dem Ohmschen Gesetze entsprechend, zum größten Teil jenen Weg, wo er den geringsten Widerstand findet. Bei den oft vielfach gewundenen Wegen, welche die Schienen zurücklegen und bei der oft mangelhaften Verbindung der einzelnen Schienen untereinander ist nun der Widerstand der gesamten Schienen oft ein größerer als der Widerstand des Erdreiches, in welchem der Strom in gerader Linie direkt zum Elektrizitätswerke zurückgelangen kann. Dies tritt namentlich dann ein, wenn der Strom unterwegs eiserne Wasserleitungen oder Gasleitungen findet, durch welche er auf kürzerem Wege und bei geringerem Widerstande zufolge der großen Querschnitte dieser eisernen Rohrleitungen zum Elektrizitätswerke zurückgelangen kann. Beim Eintritt des Stromes in die Rohrleitungen werden diese nicht angegriffen. Hingegen findet beim Austritt des Stromes aus den Rohrleitungen

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 53. — <sup>2)</sup> Gülich, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 704. — <sup>3)</sup> Andere Xylolverdampfer s. ebenda 1899, S. 426; 1910, S. 992.

in das Erdreich zunächst eine Zersetzung des Wassers im Erdreiche statt, das ja immer geringe Mengen von Salzen enthält und daher elektrolytisch leitet. Hierbei wird an der Austrittsstelle Sauerstoff abgeschieden, welcher das Eisen sofort oxydiert und daher zerstört.

Diese elektrolytische Zerstörung der Rohrleitungen ist oft eine so heftige, daß innerhalb weniger Wochen große Löcher in die Leitungen gefressen

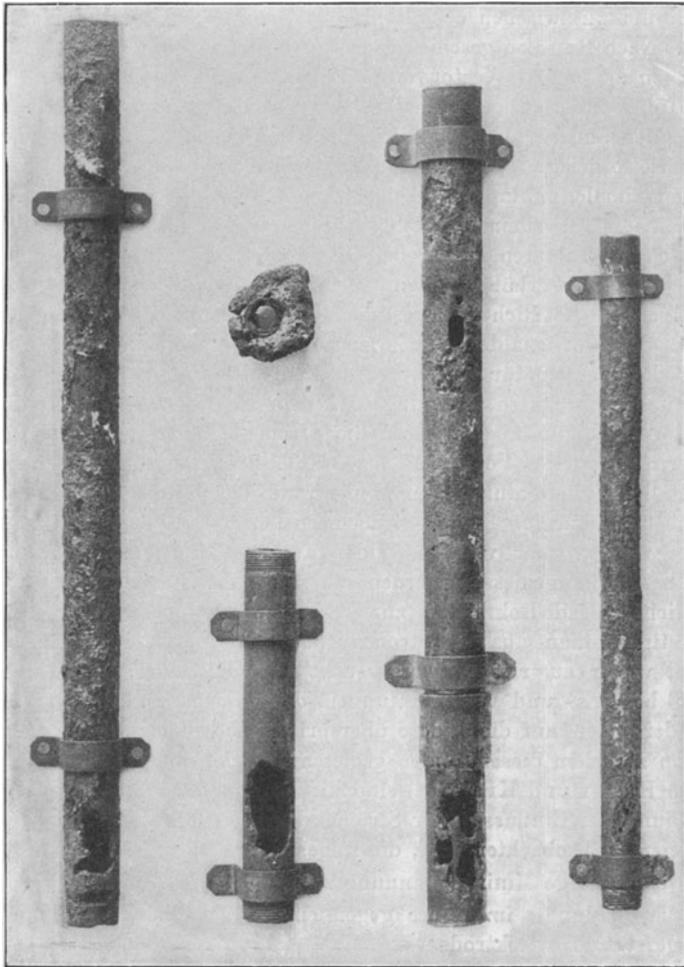


Fig. 268.

werden, wie dies z. B. Fig. 268 an schmiedeeisernen Rohrleitungen zeigt. Die Rohre werden durchaus nicht nur an der den Schienen zugewendeten Seite angefressen. Auf der Versammlung der Manchester District Institution of Gas-engineers<sup>1)</sup> wurden bei der Sheffield Gaslight Comp. Versuche mit einem 300 m langen Versuchsrohre, welches in recht verschiedene Bodenarten gelegt wurde, unternommen. Parallel zu einem der Rohrstränge wurde ein Schienenstrang in die Erde gebettet und zwischen beiden eine Spannung von 1,5 Volt

<sup>1)</sup> Journ. of Gaslighting, 2. März 1909; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 271.

entsprechend einem Strome von 0,25 Amp. durch 570 Tage aufrecht erhalten. Aus den Versuchen war zu schließen, daß die von der Board of trade festgesetzte obere Grenze der Spannung zwischen Rohr und Schiene (1,5 Volt) keinen nennenswerten unmittelbaren Schaden an dem Rohre verursacht.

Um das Rohrnetz vor diesen vagabundierenden elektrischen Strömen zu schützen, ist es vor allem notwendig, daß das Auftreten dieser Ströme bei Zeiten wahrgenommen wird. Dies erfolgt durch Bestimmung der elektrischen Potentialdifferenz zwischen dem Rohre und den Geleisen an möglichst vielen Punkten. Nach Bencke geschieht dies am besten unter Benutzung der Hausgasleitungen mit einem Westonvoltmeter mit Nullpunkt und Teilung mit 1,5, 15 und 150 Volt <sup>1)</sup>. Die Hausleitung wird sorgsam gereinigt und ein Draht angelegt, der andere an ein rauhes flaches Kontaktschliffstück gelötet und auf das Geleise gelegt. Die Ablesungen werden alle zehn Minuten wiederholt und der maximale, minimale und durchschnittliche Ausschlag notiert. Trägt man nun in ein Diagramm die Rohrleitungen als Abszissen und die Potentialdifferenzen als Ordinaten auf, wobei die positiven rot und die negativen blau angelegt werden, so erhält man ein übersichtliches Bild der Potentialdifferenz. Die wahrscheinliche Richtung des zu dem Rohre fließenden Stromes kann dann aus den Potentialdifferenzen zwischen zwei Rohrpunkten, welche ein Westonmillivoltmeter für 10 und 100 Millivoltteilung anzeigt, beobachtet werden, und wird diese Richtung auf dem Plane vermerkt. Daraus erhält man Anhaltspunkte dafür, wo die Stromstärke gemessen werden muß. Hierzu wird dasselbe Voltmeter mit 100 Millivoltteilung verwendet. Der Potentialfall dividiert durch den Widerstand der betreffenden Rohrstrecke ergibt die Stromstärke. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß Knie- und Verbindungsstücke sehr variable Widerstände besitzen, die nicht geschätzt, sondern besonders gemessen werden müssen. Es ist daher zu empfehlen, nur möglichst gerade Rohrstücke zur Messung der Stromstärke zu verwenden. Dann bestimmt man aus den Stromstärken die Punkte, wo der Strom ein- und jene, wo er austritt und untersucht dort die Rohre. Zu bemerken ist noch, daß bei Gas- und Wasserleitungen, die nebeneinanderliegen, der Strom oft von der einen auf die andere überspringt und daher auch die Potentialdifferenzen zwischen diesen beiden gemessen werden müssen <sup>2)</sup>.

Nach Haber und Krassa <sup>3)</sup> sind die wichtigsten Größen, welche bei der Untersuchung des Einflusses der Ströme der elektrischen Straßenbahnen auf Gasleitungen zu beobachten sind, die folgenden:

1. Die zulässige Minimalspannung zwischen Rohr und Schiene.
2. Die Spannung im Rohre gegen eine unmittelbar benachbart in die Erde eingesetzte Tastelektrode.
3. Die zulässige größte Stromdichte beim Austritt aus dem Rohre.

Nach Haber und Krassa genügen schon erheblich geringere Spannungen als 1 Volt zwischen Rohr und Schiene, um einen merklichen Strom hervorzubringen. Bei der Untersuchung teilweise aufgegrabener Rohrstrecken ergab sich die Bildung einer Art eines galvanischen Elementes, bei welchem die aufgegrabenen Rohrteile als Anode wirkten und die Kathode durch den Sauer-

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 165. — <sup>2)</sup> Siehe auch Hole, The distribution of gas. Allan & Co. London. — <sup>3)</sup> Zeitschr. f. Elektrochem. 1909, S. 705; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 118.

stoff der Luft gegeben war, die infolge des Aufgrabens in die das Rohr unmittelbar umgebende Erdschicht eindrang. Diese Erscheinung wurde durch einen mit Leitungswasser gefüllten Topf reproduziert, wobei eine gußeiserne noch mit der Gußhaut versehene und daneben eine frisch abgedrehte schmiedeiserne Platte als Elektroden verwendet wurden.

Die Genannten möchten die früher mit 1,0 Milliamp. angegebene obere Grenze der zulässigen Stromdichte auf 0,75 Milliamp. pro Quadratdezimeter herabsetzen.

Die Angreifbarkeit des Eisens durch Wechselstrom erwies sich bei 15 bis 30 Perioden in der Sekunde als sehr gering. Die Gußhaut bildet gegen den elektrolytischen und chemischen Angriff einen Schutz, der jedoch vergänglich ist. Haber und Krassa halten es nicht für ausgeschlossen, daß man durch entsprechende Wahl und Behandlung des Gußeisens widerstandsfähigere Gußhäute erhalten könnte.

Harper <sup>1)</sup> untersuchte verschiedene Deckmittel zur Verhütung des Angriffes der eisernen Rohre durch Elektrolyse. Diese lassen sich in vier Gruppen teilen:

1. Flüssige Mittel, wie Anstriche oder dgl.
2. Feste Mittel aus organischen Verbindungen, die geschmolzen werden, wie Pech, Asphalt usw.
3. Anorganische Mischungen, die durch Eintauchen in einen Schmelzfluß oder durch Elektrolyse aufgetragen werden, wie Oxyde, Emaille usw.
4. Feste Umhüllungen wie Teerpappe u. dgl. oder dickwandigere Mischungen aus Zement und anderen Substanzen.

Bedingung für derartige Schutzmittel ist, daß sie luft- und wasserdicht bleiben und in mechanischer Hinsicht widerstandsfähig sein müssen. Ebenso müssen sie leicht zu erneuern sein. Die Versuche über 40 verschiedene Schutzmittel ergaben bei keinem einen vollkommenen Schutz, weil bei allen die Wasserdurchlässigkeit und Widerstandsfähigkeit allmählich verloren geht. Emaille ist kostspielig und spröde, springt auch leicht ab. Beton bietet wegen seiner Wasserdurchlässigkeit keinen genügenden Schutz. Andere Umhüllungen neigen zum Faulen. Zusätze von Kalk, Leim usw. vermindern die Wirksamkeit.

Um die Gefahren, welche für die Rohrleitungen bei der Anlage elektrischer Straßenbahnen entstehen, auf das geringste Maß herabzudrücken, wurde seitens des deutschen Gasfachmännervereins und des Verbandes deutscher Elektrotechniker sowie des Vereins deutscher Straßenbahnverwaltungen eine gemischte Kommission eingesetzt: die vereinigte Erdstromkommission, welche Vorschriften ausarbeitete, die bei der Neuanlage von Straßenbahnen einzuhalten sind.

Diese Vorschriften <sup>2)</sup> sind für die Vorausberechnung neu zu errichtender Anlagen eingerichtet. Maßgebend für die Gefährlichkeit ist die Stromdichte, mit welcher der Strom das Rohr verläßt. Da sich jedoch die Stromdichte nicht vorausberechnen läßt, wurde das Augenmerk auf die Weise gerichtet, wie die Rückleitungsanlage einzurichten sei, damit die Stromdichte möglichst gering werde, und dies führte zu der Frage, welcher Spannungsabfall im Schienennetze zugelassen werden darf.

Damit nun die Besitzer von Rohrleitungen ein Mittel an der Hand haben, sich auch nachträglich gegen die Zerstörungen ihrer Leitungen zu verwahren,

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 744. — <sup>2)</sup> Ebend. 1910, S. 649.

ist ein Höchstmaß für die zulässige Stromdichte angegeben worden, welches, wie schon Haber vorgeschlagen hatte, mit 0,75 Milliamp. pro Quadratdezimeter festgesetzt wurde.

Die Erdstromkommission blieb überdies bestehen, damit etwaige Streitfragen durch dieselbe erledigt werden können und damit auch Messungen, wenn irgend welche Städte das Bedürfnis hierzu zeigen, durchgeführt werden können.

Die genannten Vorschriften der vereinigten Erdstromkommission haben keine Anwendung auf Schienenstränge, welche mehr als 200 m von dem Rohrnetze entfernt sind, und enthalten folgende wesentliche Punkte:

1. Die Schienen sind als möglichst vollkommene und zuverlässige Leiter auszubilden.

2. Im Inneren verzweigte Schienennetze sollen bei mittlerem Betriebe die rechnerisch sich ergebende Spannung zwischen zwei beliebigen Schienenpunkten von 2,5 Volt nicht überschreiten. Auf den auslaufenden Strecken soll das größte Spannungsfälle nicht mehr als 1 Volt pro Kilometer betragen.

3. Der Widerstand zwischen dem Schienennetze und der Erde muß möglichst hoch gehalten werden. Die Geleise dürfen weder mit den Röhren noch mit sonstigen Metallmassen in der Erde metallisch verbunden sein. Der Abstand zwischen Schiebern und Rohrnetzteilen muß so groß wie möglich, mindestens 1 m gehalten sein. Behufs Erhöhung des Widerstandes zwischen Schiene und Erde ist die Schiene auf möglichst schlecht leitender, gut entwässerter Unterbettung zu verlegen. Wo die Stromdichte den Mittelwert von 0,75 Milliamp. pro Quadratdezimeter erreicht, ist die Rohrleitung unbedingt als gefährdet zu bezeichnen.

4. Um die Potentiale an dem Schienenanschluß prüfen zu können, sind für jedes Stromabgabegebiet von entsprechenden Punkten Drähte zu einer Sammelstelle zu führen.

5. Die Schienenstoßverbindungen sind alljährlich einmal mittels eines Schienenstoßprüfers genau nachzuprüfen.

Um einen Rohrstrang vor der Einwirkung des elektrischen Stromes zu schützen, wenn ein solcher bereits nachgewiesen wurde, haben Geppert und Liese <sup>1)</sup> einen Schutz auf elektrischem Wege vorgeschlagen. Wie schon erwähnt, hat nur der aus einem Rohre austretende Strom zerstörende Eigenschaften, während ein in das Rohr eintretender Strom, der es zum negativen Pol macht, gegen Elektrolyse zufolge Wasserstoffentwicklung schützt. Dieser Effekt wurde bei einem Versuche in Karlsruhe dadurch erzielt, daß in der Nähe der Rohre Elektroden in die Erde versenkt wurden, welche mit dem positiven Pol einer niedervoltigen Stromquelle verbunden wurden, während die zu schützenden Rohre mit dem negativen Pol der gleichen Stromquelle verbunden waren <sup>2)</sup>. Als Elektroden wurden parallel zu dem zu schützenden Rohre alte Gußrohre kleinerer Dimensionen eingelegt, die mittels Bleimuffendichtung verbunden waren. Als Leitungswiderstand ergab sich für Muffen:

Mit Blei vergossen . . . . .	0,0033 Ohm
„ Bleiwolle . . . . .	0,01 „
Metallisch verbunden . . . . .	0,00066 „

Ein vollkommener Schutz des Rohres ergab sich bei 5 Volt Elektroden-spannung. Der Kraftbedarf spielt gegenüber dem Bedarf der Straßenbahn

<sup>1)</sup> D. R.-P. Nr. 211 612. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 953.

keine Rolle. Die Rohre erwiesen sich nach 15 Monaten vollständig frei von Anfrassungen<sup>1)</sup>.

Die Zerstörungen der Rohrleitungen durch vagabundierende Ströme erstrecken sich jedoch nicht nur auf die Hauptrohrleitungen in den Straßen, sondern auch auf die Gasleitungen in den Häusern und nicht nur auf Straßenbahnstrom, sondern auch die Ausgleichleiter von Dreileiteranlagen können Ursache der Beschädigung von Gasleitungen sein<sup>2)</sup>. Der Mittelleiter der Dreileiteranlagen ist gewöhnlich blank, nur mit asphaltierter Jute überzogen in die Erde verlegt. Bei Querschnittverringerungen durch Oxydation übernimmt dann ein parallel liegendes Gasrohr die Funktion des Mittelleiters und wird an den Ausgangsstellen des elektrischen Stromes zerstört. So zeigten sich z. B. an Kreuzungsstellen von Hauszuleitungen mit Mittelleitern ausgedehnte, die ganze Rohrwand durchgreifende Korrosionen, weil der Mittelleiter durch Oxydation auf eine längere Strecke unterbrochen war.

Ebenso gaben Isolationsfehler an elektrischen Hausinstallationen Zerstörungen von Schmiederohren, z. B. an einer im Keller freiliegenden Leitung, dort wo die Rohrhaken die Verbindung des Rohres mit der Mauer herstellten. Das elektrische Kabel war auf Isolatoren und in Bergmannrohren verlegt und zeigte Isolationschäden. Kabel und Rohr waren dabei 25 cm voneinander entfernt und der Stromübertritt erfolgte durch das feuchte Kellermauerwerk. Gleiches ergab sich bei einem erst zwei Monate verlegten gußeisernen Rohre und bei einem angeschlossenen Gasmesser, dessen Blechfläche zerstört wurde. Auch hier kam der Strom durch einen Isolationsfehler an einem armierten Bergmannrohre. Es wird daher der Erdstromkommission des deutschen Vereins der Gas- und Wasserfachmänner die Untersuchung dieser Möglichkeiten empfohlen.

Eisele<sup>3)</sup> verwies darauf, daß auch durch die kombinierten Leuchter für Gas und elektrisches Licht oder durch umgeänderte Beleuchtungskörper die Gefahr des direkten Stromüberganges auf die Gasleitung entstehen kann, wobei Durchschmelzungen oder Elektrolyse eintreten kann. Er gab diesbezügliche Beispiele aus Kassel:

Durch einen Kurzschluß, der im Straßenbahnbetriebe eintrat, ging der Strom auf die Wasserleitung über und schmolz in diese sowie in die Gasleitung Löcher, beschädigte Badeöfen und erschreckte die Badenden durch Feuerstrahlen, welche an den Badeöfen sichtbar wurden. Eisele empfiehlt, die Gas- und Wasserleitungen beim Eingange in die Häuser kräftig metallisch miteinander zu verbinden und dieselben durchwegs in mindestens 10 cm Abstand zu verlegen, so daß ein Überspringen des Stromes von der einen auf die andere Leitung nicht so leicht stattfinden kann.

Auch in Darmstadt<sup>4)</sup> wurden durch einen abgeirrten Strom 40 10 bis 15 mm weite Löcher in die Gasleitung gefressen. Es waren hier ebenfalls Isolationsfehler vorhanden, so daß der Strom in das Mauerwerk eintreten konnte, von wo er an Stellen, wo die Gasleitung an der Mauer auflag, auf das Rohr übergang.

Über zwei ähnliche Fälle in Königsberg berichtete Pohl<sup>5)</sup>. In das die elektrische Lichtleitung kreuzende Gasrohr waren durch einen Strom, welcher

<sup>1)</sup> Die Einrichtung in Karlsruhe wurde vom Ingenieur Jörger in Karlsruhe, Glückstr. 48, ausgeführt. — <sup>2)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 121. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 324; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 209. — <sup>4)</sup> Kalbfuß, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 663. — <sup>5)</sup> Ebend. 1910, S. 1047.

einem defekten Kabel entsprang, Öffnungen eingeschmolzen worden, aus denen das Gas ausströmte, sich entzündete und benachbarte Gegenstände in Brand setzte. Im zweiten Falle war ein durch Elektrolyse zerstörtes Gasrohr schuldtragend. Die elektrische Lichtleitung im Keller hatte nicht genügend Isolation, und obwohl das Gasrohr einen Abstand von 30 cm hatte, wurde dasselbe doch zerstört. Der Strom war durch die feuchte Wand gegangen und benutzte die Gasrohrleitung als Rückleitung zur Erde.

Auch der vielfach ausgeführte Anschluß von Blitzableiteranlagen an die Gasrohrleitung ist nicht empfehlenswert, denn auch durch Blitzschläge können Schäden an Gasleitungen entstehen.

#### 49. Hausinstallationen.

Die Gaswerksleitung soll stets einen wesentlichen Einfluß auf die Ausführung der Hausinstallationen ausüben, da es nicht nur im Interesse des Konsumenten, sondern auch im Interesse des Gaswerkes gelegen ist, daß die Installationen ordnungsgemäß, zum Gebrauch geeignet, ausgeführt werden und die nötigen Sicherheiten bieten.

Während die Leitungen im Hause gewöhnlich vom Hausbesitzer oder den Wohnungsinhabern ausgeführt werden, wird die Zuleitung des Gases vom Hauptrohrstrang zu dem betreffenden Hause und die Aufstellung des Gasmessers wohl überall vom Gaswerk allein ausgeführt. Hier liegt ja eine Arbeit an dem Gashauptrohr vor und diese kann naturgemäß nur von dem Besitzer desselben, dem Gaswerk, ausgeführt werden. Ebenso werden die Gasmesser wohl in den meisten Fällen von der Gaswerksleitung leihweise beigestellt, und deshalb muß auch die Aufstellung dieser vom Gaswerk aus durchgeführt werden.

Die Art der Durchführung der Anbohrung des Hauptrohrstranges haben wir bereits auf S. 584 besprochen. Die Weite der Zuleitung richtet sich nach dem Gasverbrauch, welcher von der Zuleitung gedeckt werden soll. Da derselbe gewöhnlich nach der Anzahl der zu speisenden Flammen angegeben wird, so geben wir in der nachstehenden Tabelle die Größe der Zuleitung nach Flammenzahl. Es ist dabei eine Flamme von 150 Liter stündlichem Verbrauch angenommen, wie dies früher für offene Flammen zutraf. Gasglühlichtlampen brauchen allerdings weniger Gas, jedoch ist es nur vorteilhaft, wenn die Zuleitung etwas weiter gewählt wird, und schadet es daher nicht, wenn man auch bei Gasglühlichtflammen die nachstehende Tabelle gelten läßt.

Anzahl der Flammen zu 150 Liter Stundenkonsum	Lichte Weite der Zuleitung
	mm
1—5	20
6—15	25
16—25	30
26—40	35
41—100	50
101—150	60
151—250	75
251—500	100

Als Material für die Zuleitungen wählt man beinahe ausschließlich Schmiedeeisen, welches, wie bereits auf S. 585 erwähnt, durch entsprechende

Teerung oder Einbettung in Asphalt vor dem Rosten geschützt werden muß. Nur in Ausnahmefällen, wenn es sich um längere Zuleitungen von größeren Dimensionen handelt, wählt man Gußrohre. Die Anwendung des Gußeisens ist nicht zweckmäßig, weil die Zuleitung oft Bewegungen ausgesetzt ist, welche das Gußeisen nicht mitmachen kann, so daß es abbricht.

Auch die Zuleitung muß entsprechendes Gefälle erhalten, um Kondensationsprodukte abscheiden zu können. Aus diesem Grunde baut man auch zweckmäßig in die Zuleitung einen Kondenstopf ein. Da nun die Zuleitung auch eine Absperrvorrichtung erhalten soll, so ist es zweckmäßig, den Kondenstopf so einzurichten, daß durch Anfüllung desselben mit Wasser auch ein Abschluß des Gases erzielt werden kann. Anderenfalls soll die Zuleitung auch einen Absperrhahn besitzen. Diese Absperrvorrichtung soll nicht im Hause, sondern außerhalb desselben angebracht sein, um im Falle von Bränden oder sonstigen Gefahren die Absperrung des Gases von außen besorgen zu können. Eine Absperrvorrichtung im Inneren des Hauses erfüllt schon deshalb nicht ganz ihren Zweck, weil der Eintritt des Zuleitungsrohres in das Haus gewöhnlich in den Kellerräumlichkeiten liegt, wo sie nicht genügend zugänglich ist.

Innerhalb des Hauses wird an das Zuleitungsrohr der Gasmesser angeschlossen. Wir werden die verschiedenen Arten der Gasmesser, die bei den Konsumenten verwendet werden, unter dem Kapitel 50 „Gasmesser“ (S. 618) besprechen. Der Anschluß des Gasmessers erfolgt entweder durch schmiedeeiserne Rohre, wie sie für die Zuleitung verwendet wurden, oder aber auch durch Bleirohre, wie dies z. B. in Österreich-Ungarn üblich ist. Werden Bleirohre verwendet, so ist der Gashaupthahn unbedingt vor dem Bleirohr einzuschalten, so daß bei etwaigem Defekt des letzteren der Hahn abgedreht werden kann. Die Anwendung des Bleies zur Verbindung des Gasmessers bietet den Vorteil, daß diese Verbindung etwas beweglich ist, und daher der Gasmesser an jeder beliebigen Stelle aufgestellt werden kann. Das Bleirohr muß natürlich mit dem Anschlußstutzen des Gasmessers und dem Haupthahn vollständig dicht verlötet sein.

Als Material für die Rohrleitungen im Inneren der Gebäude verwendet man beinahe ausschließlich schmiedeeiserne gezogene Rohre. Die gezogenen Rohre sind in einer Längsnaht geschweißt. Diese Längsnaht bietet manchmal Anlaß zu Undichtigkeiten und ist daher jedes Rohr vor der Verwendung sorgfältigst zu prüfen. Schadhafte Stellen sind abzuschneiden. Manchmal verwendet man auch verzinkte schmiedeeiserne Rohre, so z. B. zur Verteilung von reinem Wassergas zur Beleuchtung, da dieses mit blankem metallischen Eisen nicht in Berührung kommen darf (vgl. Kap. 60). In neuerer Zeit werden auch öfters Mannesmannrohre angewendet, welche aus einem Stück gezogen sind und daher keine Längsnaht besitzen. Sie sind solider als die gezogenen Rohre, aber auch wesentlich teurer. Aus diesem Grunde wendet man sie nur dort an, wo man Rohre an unzugänglichen Stellen verlegen muß, so daß man von vorneherein die Sicherheit haben muß, daß fehlerfreie Rohre zur Anwendung gelangen. Ganz dünne Rohre als Zuleitungen zu einzelnen Flammen werden manchmal aus Messing gewählt. Dies ist besonders dann vorteilhaft, wenn im Inneren eines Zimmers eine Rohrleitung freigelegt werden soll, da das Messingröhrchen einen besseren Eindruck macht als die plumpen schmiedeeisernen Rohrleitungen.

Als kleinste schmiedeeiserne Rohrleitungen sind  $\frac{1}{4}$  zöllige üblich. Dann steigt die Dimension derselben von  $\frac{1}{8}$  zu  $\frac{1}{8}$  Zoll bis zur Größe von 1 Zoll lichte Weite. Von 1 bis 3 Zoll steigt die Dimension von  $\frac{1}{4}$  zu  $\frac{1}{4}$  Zoll, von 3 bis 4 Zoll von  $\frac{1}{2}$  zu  $\frac{1}{2}$  Zoll.

An den Enden der Schmiederohre werden Gewinde aufgeschnitten, auf welche Muffen aufgeschraubt werden, mittels welchen dann die Verbindung der Rohre untereinander erfolgt. Die üblichen sogenannten Gasgewinde besitzen bei einem Durchmesser bis zu  $\frac{3}{8}$  Zoll 19 Gänge pro 1 Zoll, bei dem Durchmesser von  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{3}{4}$  Zoll 14 Gänge und bei dem Durchmesser von 1 bis 4 Zoll 11 Gänge pro 1 Zoll. Die Dichtung der Gewinde erfolgt durch Umwickeln mit Hanf, welchen man in Leinölkitt tränkt. Als Kitt kann entweder ein Gemisch von Leinöl mit Mennige, welches als Minium bezeichnet wird, verwendet werden, was jedoch wegen seiner Giftigkeit bedenklich ist und daher besser durch andere giftfreie Leinöle, z. B. Fehr, zu ersetzen ist.

Die Anwendung von Asphaltlack als Dichtmittel oder von Weichlot ist wegen zu geringer Haltbarkeit unzulässig. Auch das Verstemmen undichter Stellen an den Verschraubungen ist verboten. Die Einschraubtiefe des Rohres in die Muffe soll betragen:

Für $\frac{1}{4}$ Zoll . . . . .	7 mm	Für 1 Zoll . . . . .	14 mm
" $\frac{3}{8}$ " . . . . .	8 "	" $1\frac{1}{4}$ " . . . . .	16 "
" $\frac{1}{2}$ " . . . . .	11 "	" $1\frac{1}{2}$ " . . . . .	19 "
" $\frac{3}{4}$ " . . . . .	14 "	" 2 " . . . . .	21 "

Vor dem Zusammenschrauben der Rohrleitungen muß man kontrollieren, ob die Rohrleitungen vollständig freien Durchgang haben. Auch der beim Abschneiden der Rohre entstehende nach einwärts gerichtete Grat ist wegzufilen, da dieser den Durchgang des Gases behindert. Ferner muß dafür gesorgt werden, daß keine Hanffäden in das Innere des Rohres hineinragen.

Werden schmiedeeiserne Rohre durch feuchte Räume oder durch solche, welche saure Dämpfe enthalten, verlegt, so ist die Rohrleitung mit einem dauerhaften starken Anstrich zu versehen, der stets rechtzeitig erneuert werden muß.

Die Rohrleitungen sollen möglichst frei zugänglich und frostsicher verlegt sein. Soll die Rohrleitung, wie dies z. B. meistens in Wohnungen der Fall ist, unsichtbar bleiben, so ist dieselbe in Kanäle zu legen, welche aus dem Mauerwerk ausgestemmt werden, und sind diese Kanäle dann mit einer Holzlatte oder dergleichen zu bedecken. Das vollständige Einmauern der Rohrleitungen, wie dies häufig geübt wird, ist nicht zweckmäßig, da sonst die spätere Kontrolle derselben beinahe unmöglich gemacht wird. Wird dennoch Verputz (Estrich) direkt auf die Rohrleitung aufgetragen, so muß man besorgt sein, daß die Zusammensetzung des Verputzes nicht eine derartige ist, daß das Rohr dadurch angegriffen wird. Es gelangen z. B. Mischungen zur Anwendung, welche Magnesiumoxychlorid enthalten und dürfen diese nur mit dem entsprechenden Kalkzusatz verwendet werden. Anderenfalls kann freies Magnesiumchlorid<sup>1)</sup> vorhanden sein, welches eiserne Rohre stark angreift. Auch die Verlegung in Schlacke ist nicht ratsam; besser ist trockener Sand<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Westdeutsche Bauztg. 1909, S. 6; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 65. — <sup>2)</sup> Zeitschr. f. Blechindustrie 1910, Heft 49; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 92.

Wird eine Rohrleitung durch eine Mauer oder durch einen größeren Hohlraum hindurchgeführt, so ist zunächst ein weiteres Umhüllungsrohr einzusetzen, durch welches die Rohrleitung hindurchgesteckt werden kann. Durch Kanäle oder Schornsteine dürfen Rohrleitungen nie hindurchgeführt werden. Innerhalb der Mauern oder innerhalb unzugänglicher Hohlräume sind Verbindungen der Rohre nicht anzuordnen, da diese dort nicht zugänglich sind.

Auch die Rohrleitungen im Inneren der Häuser müssen mit schwachem Gefälle verlegt werden, so daß die Kondensationsprodukte abfließen können. Es sind dann an den tiefsten Stellen Wassersäcke anzuordnen, die mit irgend einer Vorrichtung zum bequemen Entleeren versehen sein müssen. Man bringt an der tiefsten Stelle entweder einen abschraubbaren Stopfen oder ein kleines Hähnchen an, um das Wasser ablaufen lassen zu können.

Gelangt ein nasser Gasmesser zur Anwendung, so ist die Neigung der Rohre gegen diesen zu wählen, damit die Kondensationsprodukte in den Gasmesser fließen. Bei trockenen Gasmessern erhalten die Rohrleitungen das umgekehrte Gefälle, da die trockenen Gasmesser durch das Einfließen von Kondensationsprodukten Schaden leiden.

Zum Zwecke der Bestimmung des Durchmessers der einzelnen Rohrleitungsstränge dient die im Anhang beigegefügte Tabelle der Rohrleitungen. Liegen die Rohrleitungen ganz oder teilweise in Räumen, in denen die Temperatur unter Null herabgeht, so sind die Dimensionen wegen der Gefahr des Einfrierens noch weiter zu wählen, als aus dieser Tabelle ersichtlich. Außerdem ist in diesen Fällen ein geeigneter mit einer Verschraubung versehener Ansatz vorzusehen, durch welchen Alkohol eingegossen werden kann, der zur Auflösung des Eises dient.

Die einzelnen Rohre sind an den Wänden durch Rohrhaken, die mindestens alle 1,5 m in die Wand einzuschlagen sind, zu befestigen. Die Befestigung muß eine derartige sein, daß sich die Rohrleitungen nicht bewegen können. Zum Anschluß der Gasverbrauchsapparate sind Wand- oder Deckenscheiben zu verwenden, welche das Ende der Rohrleitung entsprechend befestigen.

Gelangen Kronleuchter von mehr als 40 kg Gewicht zur Anwendung, so dürfen dieselben nicht nur an der Rohrleitung hängen, sondern sie müssen durch Drahtseile oder Ketten direkt an der Deckenkonstruktion befestigt sein.

Die gesamte Rohrleitung im Inneren eines Hauses oder einer Wohnung ist einer sorgfältigen Prüfung zu unterziehen, bevor dieselbe mit dem Anstrich versehen ist und noch bevor die Kanäle in den Mauern, welche die Rohrleitung aufnehmen, verschlossen werden. Zum Zwecke der Prüfung werden zunächst alle Auslässe mit eingeschraubten und sorgfältig abgedichteten eisernen Stopfen verschlossen. An einer Stelle wird eine Pumpe und ein Manometer angeschlossen. Das Manometer kann entweder mit Wasser oder mit Quecksilber gefüllt sein. Man pumpt dann so lange Luft ein, bis das Manometer den vorgeschriebenen Stand erreicht hat, und läßt dasselbe längere Zeit stehen. Hat man ein Quecksilbermanometer verwendet und den Druck bis auf 50 mm Quecksilbersäule aufgeblasen, so darf das Manometer innerhalb 5 Minuten nicht mehr als um 5 mm zurückgehen. Benutzt man ein Wassermanometer mit 250 bis 300 mm Druck, so darf sich innerhalb 10 Minuten keinerlei Zurückgehen des Manometers zeigen. Es ist jedoch zu beachten, daß sich nach dem Aufpumpen zunächst die Temperatur im Rohre ausgleichen

muß (vgl. S. 584). Die Beobachtung soll daher erst einige Minuten nach dem Aufpumpen beginnen.

Bei den Dichtigkeitsproben von Hausinstallationen ist man häufig Täuschungen durch die Monteure ausgesetzt<sup>1)</sup>. Entweder versuchen manche Monteure eine vorübergehende Dichtigkeit der Leitung herzustellen oder es werden Mittel angewendet, um das Sinken des Prüfungsmanometers hintanzuhalten. Eine vorübergehende Dichtung wird erreicht, indem angesäuertes Wasser in das Rohr gegeben wird, das einen Rostansatz verursacht, der die Leitung für einige Wochen dichtet. Zur Kontrolle ist es zweckmäßig, das in den Wassersäcken angesammelte Wasser auf seinen Säuregehalt zu prüfen. Ferner werden die undichten Stellen häufig bandagiert, mit irgend einem Klebemittel bestrichen und mit einem Isoliergummiband überwickelt. Häufig wird auch die undichte Stelle nach Anwärmen mit Wachs eingelassen. Zur Auffindung solcher vorschriftswidriger Dichtungen ist eine genaue Kontrolle der ganzen Leitung erforderlich.

Um das Fallen des Prüfungsmanometers hintanzuhalten, stellen die Monteure dasselbe manchmal auf einen angewärmten Stein oder es wird das Rohr an einer abseits gelegenen Stelle angewärmt. Hierzu bedient man sich manchmal auch eines kleinen mit warmem Sand gefüllten Sackes. Besonders erfahrene Monteure stellen dann an einer abseits gelegenen Stelle ein zweites Manometer auf, um die Anwärmung der Leitung dem jeweiligen Bedarf anzupassen.

Ein anderes Mittel zur Täuschung liegt in dem Schließen von Sektionshähnen. Um die diesbezügliche Kontrolle zu erschweren, wird die Durchgangsmarke am Vierkant des Hahnes dann abgefeilt und verkehrt aufgesetzt. Oft wird auch ein verpfropftes Probierstück angewendet, so daß bei der Probe überhaupt nur das Manometer und der Verbindungsschlauch unter Druck steht oder es wird in einem durchhängenden Schlauch Wasser eingefüllt.

Alle diese Täuschungen sind erkenntlich, wenn nach der Probe durch Öffnen von einzelnen Pfropfen an weit entfernten Stellen der Druck aus dem Rohre abgelassen wird, wobei natürlich das Manometer sofort sinken muß. Jedoch hat der Erfindungsgeist der Monteure auch dagegen ein Hilfsmittel gefunden: es wird dann in die Muffe des Probierstückes nahe dem Schlauchansatz ein Gummiventil eingesetzt, welches sich öffnet, wenn Luft in die Rohrleitung gepreßt wird. Ist der vorgeschriebene Druck erreicht und sinkt derselbe dann in der Rohrleitung, so hält das Gummiventil den Druck im Manometer unverrückt fest. Erst durch plötzliche Entlastung beim Öffnen der Leitung läßt das Ventil den Druck entweichen. Gegen solche Vorrichtungen kann nur eine gründliche Untersuchung des betreffenden Manometers einschließlich der Schlauchleitung schützen.

Oft wird auch in irgend einem Wassersack ein Stückchen mit Wasser befeuchtetes Calciumcarbid gelegt, um die entweichende Luft durch Acetylen-gas zu ersetzen. Eine genaue Kontrolle des Druckes, eventuell durch Ablassen des ganzen Druckes und Beobachtung des Manometers nach neuerlichem Schließen des Rohres wird diese Täuschung auch entdecken, denn in diesem Falle wird das Manometer neuerlich zu steigen beginnen.

---

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasvereins 1910, S. 130.

Nach Prüfung der neuen Leitung mit Hilfe des Manometers führt man noch eine Prüfung nach Anschluß des Gasmessers aus. Zunächst überzeugt man sich, ob der freie Durchgang in der ganzen Rohrleitung gewahrt ist, indem man sämtliche angeschlossene Gasverbrauchsapparate entzündet und bei größeren Installationen eventuell an einzelnen Stellen den Druck mißt. Dann schließt man sämtliche Hähne der Gasverbrauchsapparate ab und beobachtet neuerdings den Gasdurchgang am Gasmesser. Derselbe darf durch mindestens eine halbe Stunde keinerlei Durchgang anzeigen.

Die Prüfung mit Hilfe des Manometers kann stets nur ohne Anschluß des Gasmessers und ohne Anschluß der Gasverbrauchsapparate vorgenommen werden. Durch diese nachträglich vorgenommenen Anschlußarbeiten können

Fig. 269.

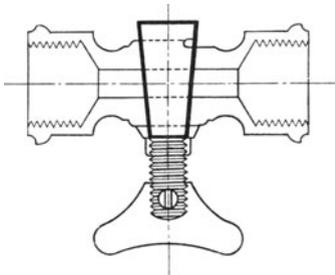
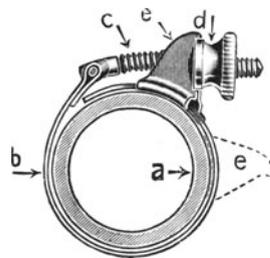


Fig. 270.



neue Undichtigkeiten entstehen, welche durch die Prüfung mit Hilfe des Gasmessers festgestellt werden. Eine Kontrolle jedes einzelnen Hahnes vervollständigt dann die Prüfung der ganzen Installation.

Die Hähne, welche zu den Gasverbrauchsapparaten führen, müssen an sich vollständig dicht sein und dürfen sich zufolge eines Anschlages um nicht mehr als eine Vierteldrehung drehen lassen. Anderenfalls könnte durch Überdrehen des Hahnes über seine richtige Stellung der Hahn nach Ablöschen der Flamme irrtümlich wieder geöffnet werden. Aus der Stellung des Hahnes soll stets erkennbar sein, ob derselbe geöffnet oder geschlossen ist. Die Handhabe des Hahnkükens soll immer in derselben Richtung stehen wie die Bohrung desselben. Steht also der Handgriff parallel zur Rohrleitung, so ist der Hahn geöffnet, steht er senkrecht dazu, so ist er geschlossen. Die Hahnkükens müssen durch eine besondere festangezogene Schraube vor dem Herausfallen aus ihrem Gehäuse gesichert sein.

Bei dem neuerdings von Trees<sup>1)</sup> angegebenen Hahn ist der Konus nach der umgekehrten Seite gerichtet, wie Fig. 269 zeigt, so daß ein Herausfallen ausgeschlossen ist.

Die Gasverbrauchsapparate sollen im allgemeinen fest mit der Leitung verbunden sein. Nur ganz kleine einflammige Brenner, eventuell noch zweiflammige Rechauds, dürfen mittels Schlauchleitungen an die Gasleitung angeschlossen werden. Derartige Schlauchleitungen bieten immer eine Quelle der Gefahr. Wenigstens die Hälfte der in den Privathäusern verursachten Gasvergiftungen erfolgt dadurch, daß der an einem offen gelassenen Gashahn befestigte Gasschlauch abrutscht<sup>2)</sup>. Das beste Mittel, sich dagegen zu sichern,

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 508. — <sup>2)</sup> Peischer, ebend. 1908, S. 393.

ist das feste Anbinden des Schlauches sowohl an der Gaszufuhrleitung, als auch an dem Gasverbrauchsapparat. Außerdem ist die Wahl eines Gummischlauches von guter Qualität sehr wichtig. Die Farbe desselben: ob rot, grau oder schwarz, ist ohne Bedeutung. Dagegen darf derselbe bei starkem Auseinanderziehen niemals einreißen und muß auch bei stärkster Kraftanstrengung dehnbar bleiben. Die Haltbarkeit eines Schlauches kann je nach seiner Qualität Monate oder Jahre betragen. Jeder Schlauch verliert schließlich einmal seine Schmiegsamkeit und wird brüchig. Die oben genannte Probe muß daher von Zeit zu Zeit wiederholt werden, und jeder Schlauch, der mit dem Finger zerrißen werden kann, ist unbedingt zu verwerfen und durch einen neuen zu ersetzen.

Aber nicht nur das Reißen des Schlauches bedingt das Abfallen, sondern die allmähliche Erweiterung des Schlauches, die dadurch eintritt, daß derselbe wiederholt an einen Apparat angeschlossen und wieder abgenommen wird. Dies soll daher tunlichst vermieden werden.

Eine Vorrichtung, um das Abspringen der Schläuche zu vermeiden, ist in Fig. 270 dargestellt<sup>1)</sup>. Ein Metallband mit Scharnier und Schraube wird mit einem verschiebbaren Gleitbock, welcher mit einer Kralle in entsprechende Löcher paßt, festgezogen. Zweckmäßig sind dabei Gummimuffen zu verwenden, die im Inneren Rillen haben und sich an die Schlauchtüllen und an die eventuell angewendeten Metallschläuche gut anlegen<sup>2)</sup>.

Eine einfache Schlauchsicherung, welche ein besseres Festhalten des Schlauches an der Schlauchtülle bewirken soll, besteht aus einem Schutzring aus Spiraldraht<sup>3)</sup>, welcher über den Schlauch am Ansatz übergeschoben wird und denselben festhält. Eine solche Vorrichtung schützt jedoch nicht gegen das Aufplatzen der Schläuche. Sie empfiehlt sich nur bei häufig zu lösenden Schlauchverbindungen.

Ferner ist eine Anzahl Vorrichtungen konstruiert worden, welche das Ausströmen des Gases verhindern sollen, im Falle der Schlauch abspringt. So hat z. B. Keller<sup>4)</sup> einen Sicherheitshahn konstruiert, der durch das Ansetzen des Schlauches offengehalten wird. In dem Augenblick, als der Schlauch vom Ansatz abgleitet, wird der Hahn durch ein Gewicht geschlossen. Natürlich ist ein zweiter Hahn zum beliebigen Auf- und Abdrehen der Gaszufuhr erforderlich. Später hat Keller<sup>5)</sup> diesen etwas teuren Sicherheitsschlauchhahn verbessert, indem er jetzt nurmehr einen einzigen horizontal gestellten Schlauchhahn verwendet, der an Stelle des gewöhnlichen Handgriffes einen Hebel besitzt. Dieser Hebel ist durch eine Kette mit einer Klammer verbunden, welche über das eine Ende des Gasschlauches geschoben wird. Wenn nun der Schlauch abfällt, so zieht das Gewicht des Schlauches und der Klammer den Hebel nach abwärts, so daß sich der Hahn schließt. Diese Sicherheitsvorrichtung kann auch ohne Hahn geliefert werden, indem nur der Hebel auf den gewöhnlichen Handgriff aufgesetzt wird. Bedingung bei dieser Vorrichtung ist allerdings, daß der Schlauch frei nach abwärts fallen kann, um den nötigen Zug an dem Hahnhebel auszuüben.

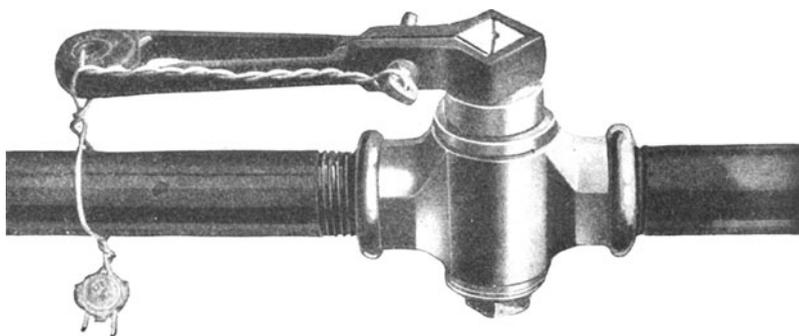
<sup>1)</sup> Hergestellt von Gebrüder Jacob in Zwickau, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 715. — <sup>2)</sup> Geliefert von Gebrüder Jacob. — <sup>3)</sup> Geliefert von der Firma Bernhard Tonacz, Berlin. Chem.-Ztg. 1910, S. 1061; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 583. — <sup>4)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 392; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 834. — <sup>5)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 561.

Diese Schlauchsicherungen treten allerdings nur dann in Funktion, wenn der Schlauch von dem Gasauslaßhahn an der Wand abspringt. Sie funktionieren aber nicht, wenn der Schlauch sich von dem betreffenden Gasapparat ablöst.

Auf alle Fälle ist es erforderlich, daß jeder Gasauslaß, welcher dazu bestimmt ist, einen Schlauch aufzunehmen, einen Hahn erhält, und daß dieser Hahn jedesmal nach Beendigung des Gasverbrauches abgeschlossen wird. Dies ist nun leider nicht immer der Fall, weil die Gasverbrauchsapparate gewöhnlich selbst Hähne besitzen, deren Abschluß das Erlöschen der Flamme bewirkt. Peischer<sup>1)</sup> empfiehlt daher das Weglassen der Absperrhähne an den Gaskochern, damit der Konsument genötigt ist, den Hahn an der Wand zu schließen und somit die besagten Unglücksfälle zu vermeiden. Dieses sehr zweckmäßige Mittel befürwortet auch Kohler<sup>2)</sup>.

Dort, wo die Gasleitung in die mit Gas versorgte Wohnung eintritt, wird stets ein Haupthahn angebracht.

Fig. 271.



Häufig entstehen Unglücksfälle dadurch, daß die Stellung des Haupthahnes nicht ohne weiteres erkannt werden kann. Die Hahnschlüssel werden oft in verkehrter Richtung aufgesteckt, so daß man über die Stellung des Hahnes irregeleitet wird. Feith gibt nun eine Hahnkonstruktion an, bei welcher zufolge Abflachung auf einer Seite der Schlüssel zwangsläufig nur in einer Richtung aufgesetzt werden kann, so daß die Stellung des Schlüssels stets auch die Stellung des Hahnes anzeigt<sup>3)</sup>.

Dem gleichen Übelstande kann übrigens dadurch abgeholfen werden, daß der Schlüssel in der richtigen Stellung an dem Hahnküken festgeschraubt wird. Um für verschiedene Hahngrößen nicht ebenso viele verschiedene Größen von Schlüsseln benutzen zu müssen, hat Schäfer<sup>4)</sup> gemäß Fig. 271 einen zweiteiligen Hahnschlüssel angegeben, bei welchem die beiden Hälften aneinandergeschraubt werden und bei welchem mit nur zwei Größen sämtliche Hähne von  $\frac{3}{8}$  Zoll bis 2 Zoll Durchgang geöffnet werden können. Diese Schlüssel sind übrigens auch plombierfähig, so daß man sie in einer bestimmten Stellung befestigen kann.

Um unbemerktes Ausströmen von Gas während der Nachtzeit zu vermeiden, ist es üblich, den vor dem Gasmesser angebrachten Haupthahn am

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 393. — <sup>2)</sup> Ebend., S. 435. — <sup>3)</sup> Von Schäffer und Öhlmann, Berlin-N. — <sup>4)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1091.

Abend zu schließen. Bei kleineren Installationen, die leicht übersichtlich sind, ist dies ganz zweckmäßig. Besteht jedoch eine Wohnung aus einer großen Zahl von Zimmern und sonstigen Räumlichkeiten, wo Gas verwendet wird, so kann das Schließen des Haupthahnes eher zum Nachteil werden<sup>1)</sup>. Brennen

Fig. 272.

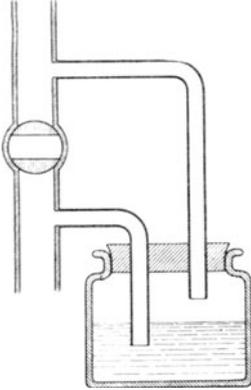
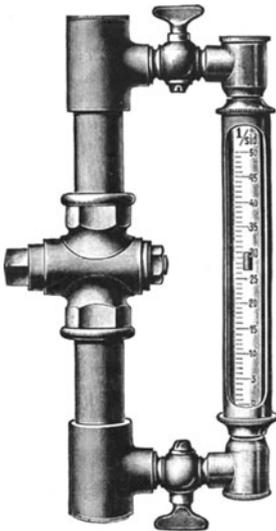


Fig. 273.



nämlich zur Zeit des Absperrens des Haupthahnes noch einzelne Flammen, so werden diese durch das Schließen des Haupthahnes gelöscht und am anderen Tage, nach Wiederöffnen des Haupthahnes, treten an dieser Stelle Gasausströmungen ein, welche oft nicht gleich bemerkt werden. Dies ist namentlich in Wohnungen gefährlich, wo auch im Schlafzimmer Gas verwendet wird und wo gleichzeitig Gas zur Zubereitung des Frühstücks zur Anwendung gelangt. Dann muß zur Morgenzeit, wenn das Schlafzimmer noch benutzt wird, der Gashaupthahn geöffnet werden und es kann aus einem im Schlafzimmer offen gebliebenen Beleuchtungsbrenner Gas ausströmen, das die Schlafenden betäuben kann. Ein derartiger Unfall kann jedoch nicht eintreten, wenn der Haupthahn nicht geschlossen wird. Die Meinungen über den Wert des Schließens des Haupthahnes sind daher noch geteilte. Das Schließen ist nur dann zweckmäßig, wenn irgend ein Kontrollmittel angewendet wird, um sich vor dem Schließen oder beim Schließen zu überzeugen, daß nirgends mehr ein Gasauslaß offen geblieben ist. So z. B. empfiehlt Forster<sup>2)</sup>, vor dem Schließen des Hahnes eine Flamme in der Nähe des Gasmessers anzuzünden und klein zu drehen, welche sofort erlischt, wenn der Haupthahn geschlossen wird und gleichzeitig ein anderer Hahn noch offen steht, während diese Flamme zufolge des in der Leitung noch enthaltenen Druckes eine Weile weiter brennt im Falle alle Hähne geschlossen sind. Dieses Mittel wird wohl für den im Gebrauche des Gases Geübteren zweckmäßig sein, kann aber nicht als in den Händen Ungeübter genügende Sicherheit bietend betrachtet werden. Auch die Anbringung eines kleinen Manometers,

welches die Druckdifferenz zwischen den Leitungen vor und hinter dem Haupthahn anzeigt, erfüllt den gleichen Zweck. Da jedoch ein solches Manometer aus Glas sein muß und daher gebrechlich ist, so wird die Unsicherheit wieder durch die Gebrechlichkeit erhöht. Am besten dürfte die Anwendung einer starkwandigen Glasflasche sein, welche gemäß Fig. 272 durch feste eiserne Rohrleitungen mit den Rohren vor und hinter dem Haupthahn in Verbindung steht. Sie wird zum Teil mit einer Flüssigkeit gefüllt, und eines

<sup>1)</sup> Kohler, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 435; Gjedde, ebend., S. 494. — <sup>2)</sup> Ebend., S. 595.

der Rohre taucht in diese ein. Wird der Haupthahn geschlossen und befindet sich irgendwo noch eine Öffnung in der Gasleitung, aus der Gas entweichen kann, so muß das Gas in Form von Blasen durch die Flüssigkeit hindurchgurgeln, was leicht wahrzunehmen ist. Um das Nachfüllen infolge der Verdunstung zu vermeiden, wendet man zweckmäßig Petroleum als Sperrflüssigkeit an. Natürlich darf das Rohr nicht tiefer in das Petroleum eintauchen, als dem geringsten Gasdruck entspricht, also etwa 10 bis 20 mm.

Eine ähnliche Vorrichtung, welche jedoch gleichzeitig die Größe der Ausströmung anzeigt und in Fig. 273 dargestellt ist, wird von der Duisburger Apparatebaugesellschaft<sup>1)</sup> auf den Markt gebracht.

Eine auf dem Auslaß des Gasmessers anzubringende Sicherheitsvorrichtung wurde auch von Rutten<sup>2)</sup> angegeben. Bei Anwendung derselben kann nach Abschluß des Haupthahns kein Gas in die Leitung gelangen, wenn dieselbe vorher nicht dicht abgeschlossen war. Ein anderer Sicherheitsapparat, genannt Monitor<sup>3)</sup>, wirkt in der Weise, daß derselbe, an den Haupthahn angeschlossen, ein Glockensignal gibt, im Falle bei Abschluß des Haupthahns noch eine Gasausströmung offen steht.

Ein Sicherheitsabschlußventil für Gasleitungen, welches dann in Funktion tritt, wenn die Gaszufuhr aus irgend einem Grunde unterbrochen wurde oder wenn etwa durch Abspringen eines Schlauches ein zu großer Konsum eintritt, ist von der Bamag konstruiert worden. Dieses Ventil besteht aus einem Gehäuse, welches oben einen Hufeisenmagnet trägt. Die Ventilstange trägt einen Anker aus leichtem Eisen und ist so bemessen, daß das Ventil gerade geschlossen ist, wenn der Anker vom Magnet gehalten wird. Das Ventilgehäuse ist durch eine Membrane in zwei Hälften geteilt, deren obere unter dem Gasdruck steht, während die Membrane von unten durch eine Feder belastet ist. Wird die Gaszufuhr unterbrochen, so sinkt der Druck oberhalb der Membrane, die Feder treibt das Ventil nach oben, indem sie dasselbe schließt, und das Ventil wird durch den Magnet geschlossen gehalten, so daß auch dann, wenn die Gaszufuhr wieder stattfindet, das Ventil geschlossen bleibt und erst von Hand wieder geöffnet werden muß. Der Abschluß tritt auch dann ein, wenn zufolge plötzlichen Sinkens des Gasdruckes durch das Abspringen eines Gasschlauches die Membrane plötzlich entlastet wird. Der Wert dieses Apparates liegt aber aus dem ersterwähnten Grunde auch darin, daß nach plötzlichem Aufhören des Gaszutrittes zu einer Einrichtung Unglücksfälle vermieden sind. Es kann nämlich vorkommen, daß bei einer im vollen Betriebe stehenden Einrichtung die Gaszufuhr aus irgend einem Grunde unterbrochen wird; so z. B. bei Ausführung von Rohrverlegungsarbeiten auf der Straße oder dergleichen. Wird dann später das Gas wieder zugeleitet, so strömt dasselbe aus allen Verbrauchsgegenständen aus, und dieses Ausströmen wird dann oft zu spät bemerkt. Dies verhindert aber der oben genannte Apparat.

Um Gasausströmungen rechtzeitig zu entdecken und daher Unfälle zu vermeiden, wäre es sehr erwünscht, einen Apparat zu besitzen, welcher mit unbedingter Verlässlichkeit einen Gasaustritt in die Luft anzeigen würde. Leider besitzt man bis jetzt einen solchen unbedingt verlässlich wirkenden

---

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1094. D. R.-P. 239224. — <sup>2)</sup> Ebend., S. 914. — <sup>3)</sup> Ebend., S. 208.

Apparat nicht. Alle Apparate aber, welche diesen Zweck erfüllen sollen und nicht immer, unter allen Umständen und ohne besonders sorgsame Behandlung funktionieren, wirken eher nachteilig, da sie den Konsumenten in Sicherheit wiegen, ohne daß diese im entsprechenden Maße vorhanden ist. Ist aber eine regelmäßige Kontrolle oder Beaufsichtigung eines derartigen Sicherheitsapparates notwendig, so wäre diese Kontrolle zweckmäßiger der richtigen Instandhaltung der Rohrleitung und dem Abschluß aller Hähne zuzuwenden. Immerhin seien im nachstehenden einige derartige Apparate erwähnt, um die Mittel anzuzeigen, welche zur Konstruktion solcher Apparate verwendet werden können.

Vielfach ist schon vorgeschlagen worden, Ausströmungen von Gas in die Luft durch Diffusion in eine Tonzelle vermittelt der Drucksteigerung anzuzeigen, welche innerhalb derselben stattfindet, wenn die Außenluft ein spezifisch leichteres Gas beigemischt enthält. Pausinger<sup>1)</sup> hat eine Anzeigevorrichtung konstruiert, welche die Erwärmung benutzt, die Platinmohr erfährt, wenn man es in gashaltige Luft bringt. Bei starkem Gasgehalt wird ja bekanntlich eine Platinmohrpille zufolge der katalytischen Verbrennung glühend, aber schon bei ganz geringem Gasgehalt erwärmt sich die Pille so weit, daß ein feiner Faden aus leicht schmelzbarer Woodscher Legierung abschmilzt und eine daran gehängte Kugel abfallen läßt, welche eine elektrische Kontaktvorrichtung mit Klingel in Tätigkeit setzt. Zur Vermeidung von Explosionen, welche durch die glühende Pille hervorgerufen werden könnten, wird diese Pille in eine Tonzelle eingesetzt und wird eine Flüssigkeit in den unteren Teil des Apparates gebracht, so daß sie beim Abfallen abgekühlt wird und nicht zur Entzündung des Gasgemisches führen kann. Dieser Apparat tritt bei einer unteren Grenze des Gasgehaltes von 1 bis 1½ Proz. in Tätigkeit. Es ist aber abzuwarten, ob die Platinpillen auf die Dauer ihre Fähigkeit behalten, sich bei Berührung mit geringem Gasgehalte so weit zu erwärmen, daß ein Abschmelzen des genannten Drahtes stattfindet. Längere diesbezügliche Erfahrungen liegen bis jetzt noch nicht vor.

Bei anderen ähnlichen Apparaten wird ebenfalls die Fähigkeit des Platinmohres, sich zu erwärmen, wenn gashaltige Luft darauftrifft, zur Anzeige des Gasgehaltes benutzt, indem eine Thermometerkugel mit einer Hülle von solchem Platinmohr umgeben ist. Das steigende Quecksilber schließt dann einen elektrischen Kontakt, so daß eine Klingel ertönt. Auch hierbei beeinträchtigt die Unbeständigkeit des Platinmohres und die Schwierigkeit, dasselbe stets in gleicher Qualität herzustellen, die Sicherheit dieser Apparate. Jedenfalls sollten derartige Apparate nur dann eingeführt werden, wenn sie einer umfangreichen und gründlichen Erprobung unterzogen sind. Leider ist dies bei den in letzter Zeit im Handel erschienenen Apparaten durchaus nicht immer der Fall gewesen, so daß ein gewisses Mißtrauen gegen solche Apparate aufgetreten ist. Dadurch sollte aber das Bestreben nicht gemindert werden, wirklich gute derartige Gasanzeigegeräte zu erhalten.

Ein Apparat, welcher durch Erwärmung von Platinmohr zum Abschluß des Gashaupthahnes führen soll, ist von Agudio<sup>2)</sup> angegeben worden, dürfte aber auch nicht verlässlicher sein als die übrigen.

<sup>1)</sup> Kropf, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 214. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 915.

Die Störungen, welche bei den Hausgaseinrichtungen eintreten können, beziehen sich auf Verstopfungen und auf Undichtheiten. Verstopfungen können entstehen entweder durch Kondensationsprodukte: Wasser, Teer, Eis oder Naphthalin. Zur Beseitigung des Wassers dienen die Kondenswasser-säcke, die wir bereits auf S. 607 erwähnt haben. Das Einfrieren der Leitungen kann nur dort stattfinden, wo die Leitung durch kalte Räume gelegt ist, und wird das Auftauen entweder durch Erwärmung der Leitung, wenn dieselbe entsprechend zugänglich ist, oder aber besser durch Eingießen von Alkohol beschleunigt. Naphthalin und teerige Produkte entfernt man am besten durch das Ausblasen der Leitung. Zu diesem Zwecke wird die Leitung vom Gasmesser abgetrennt, einer der Gasverbrauchsgegenstände abgenommen und dort eine Pumpe angesetzt, welche mit einem Windkessel versehen ist. Man pumpt nun mit Hilfe der Pumpe zunächst den Windkessel auf etwa 2 bis 3 Atm. Druck auf, was ein daran angebrachtes Manometer anzeigt, bringt dann den Windkessel mit Hilfe eines starkwandigen Druckschlauches mit der Leitung in Verbindung und öffnet plötzlich den Hahn, welcher den Windkessel abschließt. Der in der Leitung dann plötzlich auftretende Druck wirft alle Unreinigkeiten heraus. Nach dem Wiederanschließen der Leitung an den Gasmesser und Anschrauben der Gasverbrauchsgegenstände muß die Leitung mit Hilfe des Gasmessers neuerdings auf ihre Dichtheit geprüft werden.

Undichtheiten treten in Gasleitungen, die richtig und den Vorschriften gemäß verlegt sind, niemals ein. Solche Undichtheiten können nur dann vorkommen, wenn z. B. schadhafte Leitungsrohre (vgl. S. 607) verwendet worden sind oder wenn undichte Verschraubungen nur oberflächlich durch Kitt oder dgl. gedichtet sind. Um derartige später auftretende Undichtheiten zu finden, dient in erster Linie das Abriechnen. Dies ist natürlich nur bei Gasen möglich, die einen intensiven Geruch besitzen. Indessen werden heute wohl nur Gase zur Verteilung an die Konsumenten gebracht, welche einen starken Geruch besitzen. Aus diesem Grunde ist auch das unkarburierte Wassergas, welches an sich geruchlos ist, künstlich mit einem Geruch zu versehen (vgl. Kapitel 60).

Das Abriechnen läßt nicht immer die Stelle erkennen, an welcher sich die Undichtheit befindet. Rascher führt dazu das Abhorchen, wenn einmal beiläufig die Gegend festgestellt ist, wo eine Gasausströmung stattfindet. Zu diesem Zwecke ist allerdings vollständige Ruhe in der Umgebung erforderlich. Um das sausende Geräusch des austretenden Gases möglichst zu verstärken, nimmt man den Gasmesser ab, schließt die Druckpumpe an und stellt die Leitung unter möglichst hohen Druck.

Liegt die Leitung vollständig frei, so kann man durch das Abseifen die undichte Stelle genau finden. Es sind dann alle Stellen, wo Undichtheiten vorhanden sein könnten, mittels eines Pinsels mit einem stark schaumwerfenden Seifenwasser einzupinseln. Gasausströmungen zeigen sich durch auftretende Seifenblasen an.

Ein Mittel, um den Gasaustritt in einen Raum quantitativ wenigstens beiläufig festsetzen zu können, ist das Gasoskop, welches wir bereits auf S. 261 u. 598 beschrieben haben. Dasselbe kann auch dazu dienen, die undichte Stelle einer Gasleitung zu finden, indem man dieses Instrument an der Gasleitung entlang führt und beobachtet, an welcher Stelle das Maximum des Ausschlages des Zeigers eintritt. Das Hinführen des Instrumentes über die

Gasleitung muß allerdings sehr langsam erfolgen und immer derart, daß sich der untere Hohlraum desselben nach abwärts gerichtet befindet.

Ein sehr häufig angewendetes, aber verbotenes Mittel zur Auffindung von Undichtheiten ist das Ableuchten. Es ist deshalb so beliebt, weil es sehr rasch zum Ziele führt, indem ein Gasflämmchen die undichte Stelle anzeigt. Bei größeren Gasausströmungen ist es vollständig unzulässig, weil Explosionen hervorgerufen werden können, wenn sich bereits ein größerer Teil des Raumes mit explosivem Gasluftgemisch gefüllt hat. Bei kleinen Gasausströmungen wäre das Ableuchten ungefährlich, aber man kann den Monteuren nicht gestatten, nur durch den Geruch ein Urteil darüber zu fällen, ob der Gasgehalt bereits so groß ist, daß das Ableuchten zur Explosion führen kann oder nicht. Die Anwendung des Gasoskops zur Prüfung, ob die in dem Raum enthaltene Luft explosiv ist oder nicht, ermöglicht die objektive Festsetzung, ohne sich auf den Geruch verlassen zu müssen. Allerdings ist auch dann das Ableuchten nur zulässig, wenn das Gasoskop einen ganz geringen Betrag an Gas anzeigt, etwa unter 1 Proz. Denn bei höherem Gasgehalte kann es vorkommen, daß doch einzelne Partien des Gasluftgemisches mehr Gas enthalten, welches bereits zur Entzündung gebracht werden könnte. Auch muß man sich vorher von dem guten Gang des Gasoskops überzeugt haben.

Über die Schäden, welche Hausgaseinrichtungen durch elektrische Leitungen zufolge von Kurzschlüssen oder Elektrolyse erfahren können, haben wir bereits auf S. 605 gesprochen.

## XII.

### 50. Gasmesser.

Zum Zwecke der Preisbestimmung beim Verkaufe des Gases muß das den Abnehmern zufließende Gas gemessen werden. Der einfachste Gasmesser wäre eine Glocke, die in Wasser schwimmt wie ein Gasbehälter und die mit einer Skala versehen ist, so daß man aus dem Stande derselben das in ihr enthaltene Gasvolumen abmessen kann. Eine solche Gasglocke nannte man früher, eben weil man mit ihrer Hilfe die Menge des Gasvolumens bestimmen konnte, Gasometer. Dieser Ausdruck hat sich nun im Volksmunde sowohl auf die Gasbehälter übertragen, die in den Gaswerken zur Aufspeicherung des Gases dienen, als auch auf die eigentlichen Gasmesser bei den Konsumenten. Der Ausdruck „Gasometer“ ist daher zweideutig geworden und es ist besser, ihn je nach dem Verwendungszweck durch „Gasbehälter“ und „Gasmesser“ zu ersetzen.

Würde man eine derartige Gasglocke zur Abmessung des Gases benutzen, so könnte dies nur so lange geschehen, bis das in dem Behälter vorhandene Gas verbraucht ist. Da jedoch der Konsument einen ununterbrochenen Gaszufluß braucht, müßte bei Anwendung derartiger Gasglocken eine Umsteuervorrichtung vorhanden sein, welche die Glocke nach der Entleerung selbsttätig wieder füllt. In der Tat wurden bei Einführung der Gasbeleuchtung zu Anfang des vorigen Jahrhunderts ähnliche Vorrichtungen angewendet, bei denen zwei Gasglocken abwechselnd sich füllten und entleerten und der Auf- und Niedergang der beiden Glocken registriert wurde. Da jedoch derartige Vorrichtungen zu Druckschwankungen Veranlassung gaben, sah man bei der

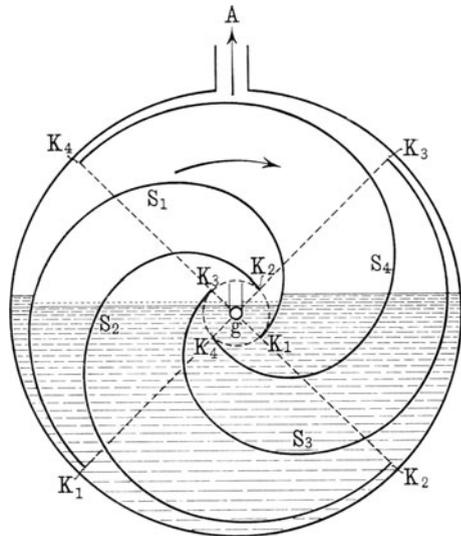
ersten Einführung der Gasbeleuchtung von der Abmessung des Gases überhaupt ab und berechnete den Gasverbrauch einfach pauschal nach der Flammzahl. Dabei konnte jedoch die Brenndauer nicht berücksichtigt werden. Eine gerechte Bemessung des Gaskonsums konnte erst eingeführt werden, nachdem man zur Konstruktion ununterbrochen wirkender Gasmesser gelangt war.

Man kann die Abmessung eines Gasstromes in zweierlei Weise vornehmen: entweder man mißt direkt das Gasvolumen, wie dies bei der Gasglocke der Fall ist, oder man mißt die Geschwindigkeit des Gasstromes. Heute sind zur Bemessung des Gasverbrauches der Konsumenten ausschließlich die Volumengasmesser in Anwendung, da diese weit genauere Resultate ergeben, als die nur zu Versuchszwecken dienenden Geschwindigkeitsmesser. Unter den Volumenmessern haben wir wieder solche zu unterscheiden, bei denen das Gasvolumen durch einen Wasserspiegel abgeschlossen wird und solche, die keinen Wasserabschluß besitzen. Die ersten nennt man nasse Gasmesser, die letzteren trockene.

Bei den nassen Gasmessern hat man die auf- und abwärts gehende Bewegung der Gasbehälterglocke, die oben erwähnt wurde, durch eine rotierende Bewegung der Gasmeßgefäße ersetzt. Das Prinzip der nassen Gasmesser ist durch Fig. 274 gegeben.

Taucht man ein halbzyylinderförmig zusammengebogenes Blech, welches auf der vorderen und rückwärtigen Stirnwand geschlossen ist, wie in der Zeichnung durch  $S_1$  dargestellt ist mit der unten offenen Seite ins Wasser, so erhält dieser Halbzyylinder einen Auftrieb. Wird derselbe nun exzentrisch an einer Achse befestigt, so wird er sich um die Achse nach aufwärts zu drehen suchen. Dadurch vergrößert sich aber das im Halbzyylinder durch das Wasser abgeschlossene Gasvolumen, d. h. also, diese Drehung kann nur stattfinden, wenn gleichzeitig Gas zuströmt. Der Zufluß des Gases erfolgt durch ein in der Richtung der Drehungsachse eintretendes Gasrohr, welches nach oben gekrümmt ist und in der Zeichnung den Buchstaben  $g$  trägt. Sobald die äußere Kante  $K_1$  dieses schaufelförmig gekrümmten Meßgefäßes  $S_1$  das Wasser verlassen hat, würde an dieser Stelle das Gas austreten können, ohne daß eine weitere Drehung der Schaufel  $S_1$  stattfindet. Fügt man jedoch unterhalb der Schaufel  $S_1$  eine zweite ebenso geartete  $S_2$  hinzu, deren innere Kante  $K_2$  bereits unter das Wasser taucht, wenn die Drehung so weit erfolgt ist, daß die äußere Kante  $K_1$  der erst genannten Schaufel das Wasser verlassen hat, so ist dadurch ein neuer abgeschlossener Gasraum oberhalb des Wasserniveaus gegeben, welcher durch die Schaufel  $S_2$  gebildet ist, so daß nunmehr diese den Auftrieb erhält. Auch die Schaufel  $S_2$  sitzt an der

Fig. 274.



gemeinsamen Welle. Diese wird also durch den Auftrieb weiter gedreht, und zwar so lange, bis die äußere Kante  $K_2$  der zweiten Schaufel  $S_2$  das Wasserniveau verläßt. In diesem Moment aber taucht bereits die innere Kante  $K_3$  der Schaufel  $S_3$  in das Wasser ein, so daß sich neuerdings ein abgeschlossenes Gasvolumen bildet, noch bevor die äußere Kante  $K_2$  der Schaufel  $S_2$  das Wasserniveau verlassen hat. In dieser Weise kann eine beliebige Anzahl von Schaufeln um eine gemeinsame Achse angebracht sein, die dann durch den Gasstrom in ununterbrochene Drehung versetzt werden. Befinden sich alle diese Schaufeln in einem gemeinsamen zylindrischen Gehäuse, so wird das Gas, welches sich oberhalb der Schaufeln zwischen dem Gehäuse und diesen befindet, durch die Drehung der Schaufeln durch den Gasauslaß  $A$  hinausgedrückt. Wir haben also durch das Rohr  $g$  einen dauernden Gaszufluß, durch das Rohr  $A$  einen ununterbrochenen Gasaustritt und dabei eine beständige Drehung der Welle, welche die hindurchgegangene Gasmenge anzeigt.

Derartig ausgebildete Gasmesser haben jedoch einen Nachteil. In dem Momente nämlich, wo die innere Kante  $K$  irgend einer Schaufel eben gerade in das Wasserniveau eintaucht, ist die Fläche der Schaufel, auf welche das Gas zu wirken vermag, d. h. seinen Auftrieb ausübt, verhältnismäßig klein. Im weiteren Verlauf der Drehung wird diese Fläche größer und daher ist auch die drehende Wirkung eine größere. Die Kraft, mit welcher eine solche Gasmessertrommel gedreht wird, ist somit keine gleichbleibende. Die vorhandene Reibung wird also einmal leichter, einmal schwieriger überwunden; dem entspricht ein schwankender Druckverlust, d. h. ein schwankender Druck in der Gasableitung.

Gibt man hingegen den Schaufeln die Form, wie dies Fig. 275 zeigt, derart, daß eine ebene Fläche der Schaufel in dem Momente aus dem Wasser tritt, wenn die innere Kante  $K$  in dasselbe eintaucht, so ist dieser Übelstand behoben. Der Gaszutritt zu dieser Meßkammer, welcher durch die Schaufel einerseits und das Wasserniveau andererseits gebildet ist, kann nun auch von der Stirnseite aus erfolgen. Es müssen dann an der Stirnwandung Schlitze für jede Kammer angebracht sein. Diese Schlitze bedeckt man durch einen gemeinsamen Sammelraum, der durch Auflöten eines gewölbten Bodens auf die eine Stirnfläche erhalten wird und Vorhof genannt wird. Der Austritt des Gases aus den einzelnen Meßkammern erfolgt dann rückwärts durch ebenso angebrachte Schlitze, welche jedoch nicht in einen eigenen Vorhof zu münden brauchen, sondern das Gas direkt in das Gehäuse des Gasmessers entweichen lassen, d. h. in den Raum außerhalb der Gasmessertrommel, welcher von dieser einerseits und von dem Gehäuse und dem Wasserniveau andererseits abgeschlossen ist. Das bei  $g$  eintretende Gas verläßt somit nach Durchgang durch die Trommel und Drehung derselben bei  $a$  das Gasmessergehäuse.

Anstatt nun den Schaufeln die Fortsätze  $f$  zu geben, welche in der Fig. 275 parallel zur Zylinderwandung laufen, kann man diese Fortsätze auch durch Teile der Stirnwandung des Zylinders hervorbringen, wie dies Fig. 276 zeigt. Man nennt diese Fortsätze Deckschaufeln. Ferner würde eine Schaufel, wenn sie sich parallel zu sich selbst durch das Wasser hindurch bewegen würde, einen großen Widerstand im Wasser erfahren, und dadurch einen großen Druckverlust herbeiführen. Daher ist es zweckmäßig, den Schaufeln eine geneigte Lage zur Achse, meist  $70^\circ$  gegen die Normale, zu geben, wie dies ebenfalls in Fig. 275 dargestellt ist. Diese Schaufeln sind von einer ge-

meinsamen zylindrischen Umhüllung umgeben, wodurch die Meßkammern gebildet werden.

Die Gasmessertrommel ist zuerst von Croßley<sup>1)</sup> nach dieser Art ausgebildet worden und wird heute ausschließlich in dieser Art verwendet. Die Funktion der Croßleytrommel ist aus den beiden Fig. 277 u. 278 zu ersehen. Das Gas tritt in der Richtung der Achse zunächst in den Vorhof ein, gelangt dann durch die über das Wasserniveau hervorragenden Schlitz in die Meßkammer II, dreht diese nach links und verdrängt dabei das in der Meßkammer I befind-

Fig. 275.

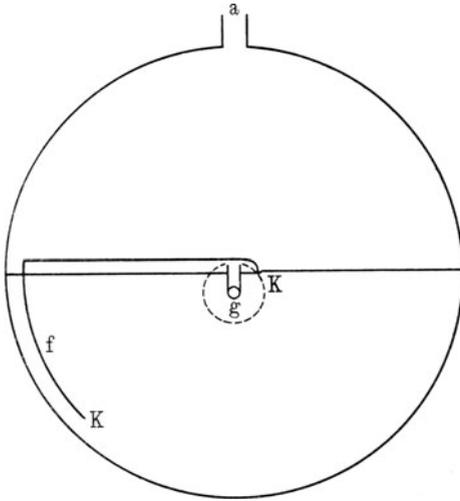


Fig. 276.

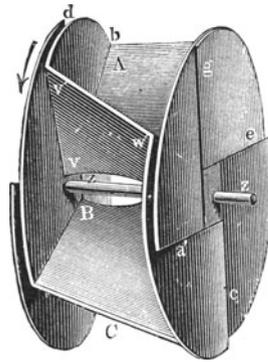


Fig. 277.

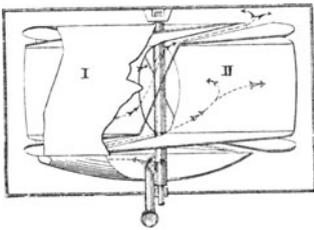
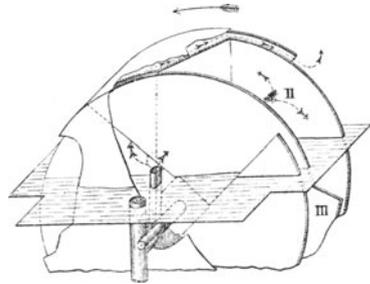


Fig. 278.



liche Gas nach rückwärts durch den zwischen den rückwärtigen Deckschaufeln freigelassenen Schlitz heraus in das Gasmessergehäuse. Der rückwärtige Schlitz der Meßkammer II darf erst dann das Wasserniveau verlassen, bis der vordere Schlitz der Meßkammer II sich so weit nach links gedreht hat, daß er bereits wieder in den Wasserspiegel eintaucht, so daß dann die Meßkammer III eine drehende Wirkung auf die Gasmessertrommel ausübt.

Das vordere Ende der Drehungsachse der Gasmessertrommel kann innerhalb des Gehäuses gelagert sein und ist das Lager meist an dem Gaseintrittsrohre befestigt. Das hintere Ende der Trommelachse muß hingegen durch eine Stopfbüchse nach außen geführt sein, um dort ein Zählwerk zu betätigen.

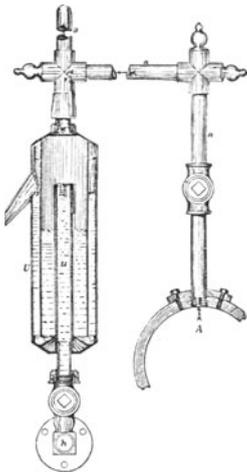
<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1893, S. 645.

Ein dort an der Achse befestigtes Schneckenrad bewegt ein Zahnrad, welches die Zeiger an den Zifferblättern antreibt.

Wie aus der vorstehenden Erläuterung ersichtlich, wird das Gas in den Kammern gemessen, welche durch den Wasserspiegel begrenzt sind; während sich die Gasmessertrommel einmal im vollen Kreise dreht, wird jene Gasmenge hindurchgelassen, welche gleich ist dem Inhalt des Hohlräumes sämtlicher Kammern oberhalb des Wasserspiegels. Daraus geht hervor, daß die Höhe des Wasserspiegels einen wesentlichen Einfluß auf die abgemessene Gasmenge besitzt. Um also gleichbleibende Resultate zu erzielen, muß man den Wasserspiegel konstant halten. Dies erfolgt in verschiedener Weise, je nachdem welchen Verwendungszweck der betreffende Gasmesser hat.

Die Gasmesser dienen nicht nur zum Zwecke der Bemessung des Gases an die Verbraucher, sondern auch zur Messung des im Gaswerke selbst erzeugten Gases. Diese sogenannten Stationsgasmesser

Fig. 279.



müssen oft eine ganz beträchtliche Größe besitzen. Die Gleichhaltung des Wasserniveaus ist bei diesen eine verhältnismäßig einfache. Man läßt beständig Wasser zulaufen und läßt die überschüssige Wassermenge durch einen Überlauf abfließen. Das Wasser innerhalb der Gasmessertrommel und auch außerhalb der Gasmessertrommel im Gehäuse des Gasmessers steht jedoch unter dem Druck des Gases. Diese beiden Drucke sind nicht gleich, da die Drehung der Gasmessertrommel eine gewisse Kraft benötigt, also einen Druckverlust hervorruft. Es ist nun aber erforderlich, nicht das Wasserniveau im Gehäuse des Gasmessers, sondern jenes innerhalb der Meßkammern konstant zu halten. Dies wird durch den Kingschen Überlauf, Fig. 279, erreicht. Das Überlaufrohr *u*, welches mit dem Gehäuse in Verbindung steht, ist bei diesem mit einer Kappe bedeckt, welche durch das Rohr *a* mit dem Gaseingangsrohr *A* in Verbindung steht.

Dadurch wirkt der Druck des eintretenden Gases auf den Überlauf derart, daß sich das Wasser hier ebenso hoch stellt, wie im Inneren der Meßkammer. Um dem überlaufenden Wasser den Austritt zu gestatten, ohne daß gleichzeitig Gas entweicht, ist die ganze Vorrichtung in der Büchse *U* montiert, welche das Wasser bei *d* ausfließen läßt.

Selbstredend muß jeder derartige Gasmesser genau horizontal gestellt werden, damit die einzelnen Meßkammern das durch den Wasserspiegel abgeschlossene Volumen beibehalten.

Die Gehäuse der Stationsgasmesser müssen außerdem einen Wasserablaß erhalten, damit zum Zwecke der Reinigung das gesamte Wasser abgelassen werden kann. Beim Ablassen des Wassers aus dem Gehäuse entleeren sich jedoch die Meßkammern nicht vollständig. Daher müssen auch an den entsprechenden Punkten der Gasmessertrommel durch Schrauben verschlossene Öffnungen angebracht sein, um im Bedarfsfalle auch das Wasser aus der Trommel ablassen zu können. Um diese Schrauben öffnen zu können, muß in dem Gehäuse bei kleineren Stationsgasmessern ein Handloch, bei größeren ein Mannloch angebracht sein. Ebenso werden zum Zwecke der Reinigung

auch im Trommelmantel korrespondierende Mannlöcher angebracht, so daß man die Reinigung der Trommel auch im Inneren vornehmen kann.

Schneider<sup>1)</sup> hat eine Vorrichtung angegeben, welche das Ablassen des Wassers aus den Stationsgasmessern erleichtert. Sie besteht aus kleinen Heberchen, welche die einzelnen Kammern miteinander verbinden, so daß das Wasser in der untersten Stellung von einer Kammer zur anderen abfließen kann, während in den oberen Stellungen das Gas nicht von einer Kammer in die andere treten kann, weil sich in den Heberchen ein Wasserabschluß bildet.

Bei großen Stationsgasmessern ist der einseitige Druck, welcher auf die Drehungsachse ausgeübt wird, ein sehr beträchtlicher. Durch die Konstruktion der sogenannten Duplextrommel ist dieser einseitige Druck vermieden, indem die Meßkammern symmetrisch auf jeder Seite der Trommel angeordnet sind. Bei diesen Duplexgasmessern ist daher nur ein entsprechend langes Lager an Stelle der sonst üblichen zwei Lager erforderlich. Aus dem gleichen Grunde kann eine viel größere Rotationsgeschwindigkeit der Trommel zugelassen werden, so daß die Abmessungen des Gasmessers wesentlich geringere werden.

Die Füllung der Stationsgasmesser erfolgt beinahe ausschließlich mit Wasser. Nur an jenen Stellen, wo Frostgefahr vorliegt, kann dem Wasser auch Glycerin zugesetzt werden. Wir werden hierüber Näheres bei Besprechung der Hausgasmesser S. 629 erfahren.

Während das Gehäuse der Stationsgasmesser immer aus Gußeisen angefertigt wird, besteht es bei den Hausgasmessern gewöhnlich aus Weißblech oder besser aus Britanniametall, um das Durchrosten zu vermeiden. Die Zwischenwandungen sind nach Wellard<sup>2)</sup> am besten aus Hartblei anzufertigen. Roche<sup>3)</sup> empfiehlt, die Anwendung des Aluminiums zu berücksichtigen.

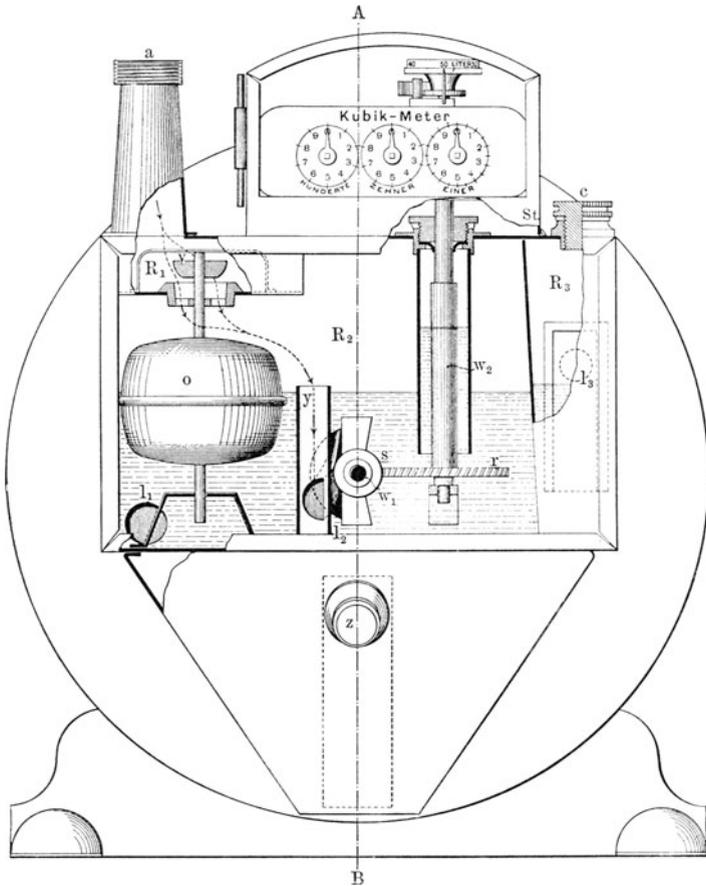
Die Erhaltung des Wasserniveaus bietet bei den Hausgasmessern eine größere Schwierigkeit als bei den Stationsgasmessern, da bei ersteren ein beständiger Wasserzufluß und ein Ablauf des Überlaufwassers nicht angeordnet werden kann. Das Nachfüllen des Wassers muß bei den Hausgasmessern zeitweilig vorgenommen werden, und ist bei diesen daher eine Einrichtung getroffen, daß beim Nachfüllen kein Gas entweichen kann. Zu diesem Zwecke ist bei den Hausgasmessern eine Vorkammer (Brustkasten) angelötet, welche in Fig. 280 im Schnitt gezeichnet ist, während Fig. 281 einen Schnitt durch die Gasmessertrommel zeigt.

Das Nachfüllen des Wassers erfolgt durch die Füllschraube  $c$  in den Siphonkasten  $R_3$ . An der Rückwand desselben ist ein Blechkanal derart angelötet, daß das Wasser durch die Öffnung  $l_3$  in das Gasmessergehäuse fließen kann, während das Gas aus diesem nicht zurücktreten kann, weil dieses durch die Wassertauchung, welche durch diesen Blechkanal im Siphonkasten  $R_3$  hervorgerufen ist, abgesperrt ist. Die Eintauchtiefe dieses Blechkanals muß also größer sein als der maximale Gasdruck, welcher während des Wassernachfüllens herrscht. Das Überlaufwasser aus dem Gasmessergehäuse tritt durch die Öffnung  $l_1$  in den Brustkasten und füllt denselben so lange, bis der Wasserspiegel die Höhe des Überlaufrohres  $y$  erreicht hat. Hier fließt das Wasser, wie aus der Schnittzeichnung, Fig. 281, ersichtlich ist, in den

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 229. — <sup>2)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 413. — <sup>3)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, S. 119; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1097.

unteren Siphonkasten  $R_4$ , der wieder eine Tauchung besitzt derart, daß bei Öffnen der Überlaufschraube  $Z$  nur Wasser aber kein Gas entweichen kann. Auch diese Tauchung muß so hoch sein, wie dies dem maximalen Gasdrucke während des Füllens entspricht. Links neben dem Überlauf  $y$  ist ein Schwimmer angeordnet, dessen Spindel oben ein Gaseinlaßventil  $V$  trägt. Dieses ist in dem Blechkasten  $R_1$  angeordnet, der vom Eingangsrohre  $a$  mit Gas gespeist

Fig. 280<sup>1)</sup>.

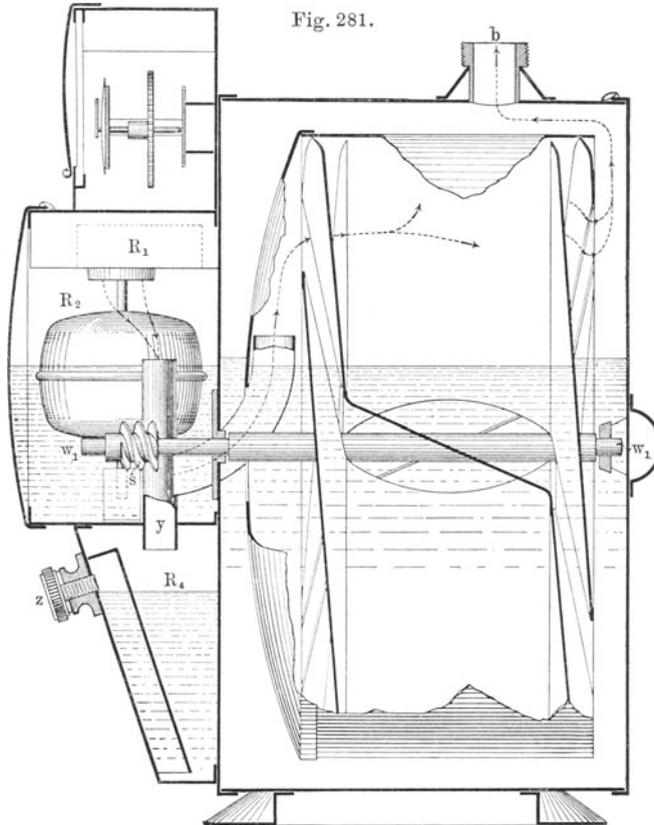


wird. Der Gaszufluß kann somit nur so lange stattfinden, als das Schwimmerventil geöffnet ist. Sinkt der Wasserspiegel, so schließt sich dieses Ventil und der Gaskonsum wird abgeschnitten. Die Gasmesserkommission des deutschen Vereins der Gas- und Wasserfachmänner hat die Frage erwogen, ob die jetzt üblichen Schwimmerventile zur Absperrung des Gasdurchganges bei zu geringem Wasserstand nicht durch ein Wasserstandsglas zu ersetzen wären, hat hierin jedoch keine Vorteile erkannt<sup>2)</sup>. Dagegen ist es zulässig, die Schwimmerventile so einzurichten, daß sie bei niedrigem Wasserstande nicht vollständig abschließen.

<sup>1)</sup> Aus Bertelsmann: Lehrbuch der Leuchtgasindustrie. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 566.

Der Fehler, welcher durch einen zu niedrigen Wasserstand hervorgerufen wird, liegt in einer zu geringen Umdrehungsgeschwindigkeit des Gasmessers und dadurch hervorgerufenen zu geringen Anzeige. Nach Elster beträgt der Fehler bei einer Niveaudifferenz von 10 mm bei einem 3 flammigen Gasmesser 8 Proz., bei einem 60 flammigen Gasmesser 3 Proz.

Um diese Fehler zu vermeiden, sind verschiedene Konstruktionen aufgetaucht, bei welchen das Wasser automatisch nachgefüllt wird. So hat z. B. Peischer das Prinzip der Mariotteschen Flasche benutzt, um jeweils so viel



Wasser nachfließen zu lassen, als aus dem Gasmesser verdunstet. Es befindet sich ein größerer Wasserbehälter oberhalb des Gasmessers, der oben vollständig luftdicht abgeschlossen ist. Ein Rohr reicht von dem Wasserbehälter nach abwärts in die Vorkammer des Gasmessers. Solange dieses Rohr in den Wasserspiegel eintaucht, kann kein Wasser nachfließen, weil keine Luft in den Wasserbehälter nachdringen kann. Erst wenn das Wasserniveau in der Vorkammer sinkt, können Gasblasen durch dieses Rohr in den Wasserbehälter eintreten und dementsprechend fließt eine gewisse Wassermenge aus, solange bis das Niveau wieder so hoch gestiegen ist, daß das weitere Eintreten von Gasblasen in das Rohr des Wasserbehälters ausgeschlossen ist. Ein Übelstand dieser Anordnung ist, daß bei steigender Temperatur größere Wassermengen aus dem Behälter ausfließen.

Ein anderer Gasmesser mit Konstanthaltung des Wasserniveaus ist bekannt unter dem Namen „Danubia“<sup>1)</sup>. Bei diesem sind<sup>2)</sup> an der Meßtrommel Ohren befestigt, die Gas mit unter das Wasser nehmen, dasselbe dort zufolge der Drehung freilassen, welches mit Hilfe eines Injektors Wasser mit nach oben reißt, derartig, daß dasselbe aus einem Vorratsbehälter in den Gasmesserraum gelangt<sup>3)</sup>. Ähnlich ist der Gasmesser Duplex konstruiert<sup>4)</sup>. Auch bei diesem wird vermittelt eines Löffels und eines Injektors durch die Rotation der Gasmessertrommel der Wasserspiegel im Meßraum auf gleicher Höhe gehalten. Das Wasser wird einem Vorratsbehälter entnommen, welcher für 400 bis 500 m<sup>3</sup> Gas ausreichend ist.

Anstatt mit Hilfe des Gases Wasser durch die Drehung der Meßtrommel emporreißen zu lassen, kann man auch durch die Drehung mit Hilfe von Schöpföffeln Wasser aus dem Vorratsbehälter in die Höhe führen und in den Meßraum abtropfen lassen. Nach diesem Prinzip ist der von Wobbe angegebene neue Schöpfungsmesser<sup>5)</sup> konstruiert. Bei diesem ist an der Achse der Gasmessertrommel eine Schöpfvorrichtung mit zwei Bechern angeordnet, welche Wasser schöpft und in den Meßraum tropfen läßt. Durch einen Überlauf fließt das zuviel gehobene Wasser in den Vorratsraum zurück. Letzterer ist so bemessen, daß das Niveau durch drei Monate konstant gehalten wird. Ganz ähnlich ist auch der Isaria-Schöpfungsmesser<sup>6)</sup> konstruiert.

Obwohl die nassen Gasmesser nicht in Räumen aufgestellt werden dürfen, die unter zu großer Kälte leiden, so muß doch auch andererseits berücksichtigt werden, daß dieselben nicht in zu hoher Temperatur stehen dürfen. In diesem Falle wäre die Wasserverdunstung eine noch größere. Sie beträgt im Mittel 0,4 Liter pro 100 m<sup>3</sup> durchgegangenes Gas. Würde ein nasser Gasmesser durch zwei Monate nicht nachgefüllt, so würde er um 6<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Proz. zu gering anzeigen. Um die Gasmesser auch in kälteren Räumen anwenden zu können, ist es zweckmäßig, dieselben zu bedecken<sup>7)</sup>, und dem Wasser etwas Alkohol beizugeben. Derselbe muß allerdings öfter erneuert werden; dadurch wird das Einfrieren vermieden.

Eine andere Methode, das Wasserniveau konstant zu halten, ist die von Elster angegebene. Hierbei wird durch einen Halbzylinderschwimmer, wie wir ihn auf S. 192 bereits kennen gelernt haben, das Niveau konstant gehalten.

Um den durch das Sinken des Wasserspiegels verursachten Fehler zu beseitigen, haben Warner und Cowan einen Gasmesser angegeben, bei welchem zentral innerhalb der Gasmessertrommel eine zweite umgekehrt angeordnete Trommel eingebaut ist, durch welche ein Teil des gemessenen Gases zum Eingang zurückgeleitet wird. Diese sogenannte Rückmeßtrommel besitzt ungefähr <sup>2</sup>/<sub>3</sub> der Tiefe der Haupttrommel und beim Sinken des Wasserspiegels werden die Meßräume der Rückmeßtrommel verhältnismäßig stärker beeinflusst als die Meßräume der Haupttrommel, so daß dann eine größere Gasmenge zurückgeleitet wird, wodurch das größere Volumen des Meßraumes der Haupttrommel ausgeglichen wird.

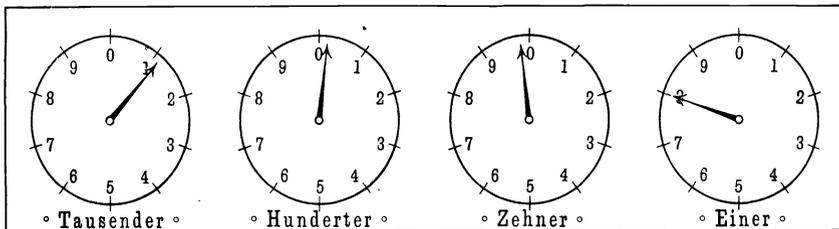
Unrichtige Anzeigen der Gasmesser werden auch hervorgerufen, wenn die Umdrehungszahl der Gasmessertrommel eine zu hohe wird. Es treten

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 749. — <sup>2)</sup> Ebend. 1908, S. 1096. — <sup>3)</sup> Ebend. 1906, S. 960. — <sup>4)</sup> Wellard, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 413. — <sup>5)</sup> Ebend. 1909, S. 51. — <sup>6)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 894. — <sup>7)</sup> Wellard, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 413.

dann Schwankungen des Wasserspiegels der Meßkammern ein und außerdem wird der Druckverlust ein ungewöhnlich hoher, wegen des Widerstandes, welchen das Wasser der rotierenden Trommel bzw. den Schaufeln entgegensetzt. Bei kleinen Gasmessern soll die Tourenzahl 120 pro Stunde nicht überschreiten. Bei großen Stationsgasmessern sind nur stündlich 60 Umdrehungen zulässig. Die Gasmesser dürfen daher nie zu klein gewählt werden. So z. B. mißt ein 30 flammiger nasser Gasmesser bei  $5 \text{ m}^3$  Gasdurchgang pro Stunde noch genau, wogegen er bei  $8,4 \text{ m}^3$  Gasdurchgang bereits um 2,5 Proz. zurückbleibt, bei  $11,2 \text{ m}^3$  um 7,5 Proz. und bei  $14 \text{ m}^3$  stündlichem Gasdurchgang sogar um 10 Proz.<sup>1)</sup> Dies ist besonders wichtig bei der Aufstellung von Gasmessern vor Motoren, weil der Motor ruckweise das Gas ansaugt und daher ein viel größerer Gasmesser gewählt werden muß, als dem einfachen Stundenverbrauch des Motors entspricht.

Wie bereits aus der auf S. 624 besprochenen Fig. 280 hervorgeht, befindet sich in der Vorkammer der Hausgasmesser auch die Anordnung zum Antriebe des Zählwerkes. Sie besteht aus einem Schneckenrad und einem darin ein-

Fig. 282.



greifenden Zahnrad. Dieses treibt die Zeiger der Zifferblätter an. Die Zifferblätter der Gasmesser sind gewöhnlich derart angeordnet, daß, wie Fig. 282 zeigt, je ein Zifferblatt für Einer, Zehner, Hunderter, Tausender usw. vorhanden ist, welches je 10 Zahlen trägt, und auf der je ein Zeiger durch gleichmäßiges Vorrücken die dem Verbrauch entsprechende Zahl anzeigt. Nun stehen aber diese Zeiger zufolge ihres gleichmäßigen Fortschreitens nicht immer auf einer Ziffer, sondern meistens zwischen den Ziffern. Die Ablesung hat dann so zu erfolgen, daß man von jedem Zifferblatt jene Ziffer notiert, die vom Zeiger bereits überschritten ist. Um die Konstruktion des Zählwerkes so einfach wie möglich zu gestalten, greifen häufig die Zahnräder der einzelnen Zeiger direkt ineinander ein, so daß sich die nebeneinander befindlichen Zeiger in entgegengesetzter Richtung drehen. Schon dadurch werden häufig Irrtümer hervorgerufen, weil man z. B., wenn der Zeiger beiläufig senkrecht nach abwärts gerichtet ist, bei dem einen Zifferblatt die links des Zeigers stehende Zahl, beim andern Zeiger die rechts desselben stehende Zahl ablesen muß, d. h. immer die Zahl, die bereits überschritten ist. Weitere Irrtümer können aber leicht dadurch hervorgerufen werden, daß die einzelnen Zeiger nicht in genau richtiger Lage an der Welle festsitzen. Steht dann ein Zeiger in der Nähe der Zahl 0, so kann zufolge eines geringen Fehlers in der Stellung des Zeigers dieser bereits die Null überschritten haben, während

<sup>1)</sup> Journ. des Usines à Gaz 1911, No. 6; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 732.

er in Wirklichkeit noch kurz vor der Null stehen sollte. Dies ist in Fig. 282 angedeutet. Liest man dann, ohne näher zu überlegen, schematisch ab, derart, daß man die überschrittene Zahl als maßgeblich betrachtet, so würde man z. B. bei der in Fig. 282 wiedergegebenen Zeigerstellung die Zahlen ablesen: 1, 0, 9, 8, das ist 1098. Überlegt man aber genauer, so findet man, daß der zweite Zeiger, welcher die Zahl 0 nur wenig überschritten hat, nur ein klein wenig falsch steht. Er sollte nämlich kurz vor der Null stehen, denn wäre wirklich die richtige Zahl 1098, so müßte sich der die Hunderter anzeigende Zeiger ja nicht in der Nähe der Zahl 0, sondern in der Nähe der Zahl 1 befinden, allerdings hätte er diese noch nicht überschritten, denn die Zahl 1098 ist ja nahe bei der Zahl 1100. Aus der gleichen Überlegung geht aber auch hervor, daß auch der erste Zeiger, welcher die 1 bereits überschritten hat, nicht ganz richtig stehen kann. Denn wenn der zweite, die Hunderter anzeigende Zeiger die 0 noch nicht erreicht hat, so lauten die drei letzten Zahlen 9, 9, 8, das ist 998. Hätte nun der erste Zeiger die Zahl 1 bereits überschritten, so würde die Gesamtzahl lauten 1998. Das ist aber unmöglich, denn dann müßte ja der erste Zeiger die 2 nahezu schon erreicht haben, und dies ist nicht der Fall. Also ist auch die Stellung des ersten Zeigers, welcher die Tausender anzeigt, eine unrichtige und der Zeiger würde ein klein wenig zurückgehören, so daß er die 1 noch nicht erreicht hat. Dann wäre also die richtige Zahl 0, 9, 9, 8, das ist 998 m<sup>3</sup>.

Aber nicht nur, wenn ein Zeiger in der Nähe von Null steht, sondern auch bei anderen Zahlen können Irrtümer entstehen, wenn der Zeiger nahe an der betreffenden Zahl steht. Man muß also diesfalls sorgfältigst überlegen, an welcher Stelle ungefähr der Zeiger stehen muß, wenn die abgelesene Zahl wirklich den Tatsachen entspricht. Im vorgenannten Falle würde ja durch eine gedankenlose Ablesung ein Irrtum von 100 m<sup>3</sup> oder unter Umständen auch von 1000 m<sup>3</sup> eintreten. Um diesen zu vermeiden und daran sich knüpfende Reklamationen der Konsumenten zu vermeiden, werden neuerdings Kontrollgasmesser mit springenden oder schleichenden Ziffern konstruiert<sup>1)</sup>. Bei diesen erscheinen die Ziffern in Ausnehmungen auf einem Zifferblatt, so daß Irrtümer von vornherein ausgeschlossen sind.

Sehr zweckmäßig ist auch eine Neuerung an Gasmessern, bei welcher auf einer Scheibe die Geldsumme für die verbrauchte Gasmenge angegeben wird. Die Scheibe wird so eingerichtet, daß sie nach jeder Ablesung wieder auf den Nullpunkt eingerichtet werden kann. Dadurch werden alle Differenzrechnungen beseitigt, und der Konsument kann in jedem Augenblicke sehen, welche Auslage er für das verbrauchte Gas zu leisten hat<sup>2)</sup>.

Die Größe der Hausgasmesser kennzeichnet man gewöhnlich nach der Flammenzahl zum Unterschiede von den Stationsgasmessern, welche nach der Zahl der stündlich durchgehenden Kubikmeter dimensioniert werden. Der Konsum einer Flamme wird dabei mit 150 Litern stündlich berechnet. Bei der jetzigen Gasglühlichtbeleuchtung ist der Flammenkonsum allerdings nicht so hoch, so daß die Hausgasmesser gewöhnlich eine größere Flammenzahl bewältigen können, als die Zahl andeutet, welche ihre Größe bezeichnet. Zweckmäßig ist es daher immer, außer der Flammenzahl auch noch den Stundenverbrauch in Kubikmetern anzugeben.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 899. — <sup>2)</sup> Ebend. 1910, S. 371.

Um das Einfrieren der Gasmesser, welche an kühlen Orten stehen, zu verhindern, wendet man anstatt der Wasserfüllung auch häufig Glycerin an. In diesem Falle muß man dafür sorgen, daß nur vollständig säurefreies Glycerin verwendet wird, da andernfalls die Gasmessertrommeln von diesem angegriffen werden können. Konzentriertes Glycerin ist zu dickflüssig und verursacht einen zu großen Druckverlust im Gasmesser. Man soll daher das Glycerin mit Wasser verdünnen, derart, daß es eben nur den Gefrierpunkt hat, welcher unter der niedrigsten Temperatur des betreffenden Raumes liegt. Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die Gefrierpunkte verschiedener Glycerinlösungen und deren spezifisches Gewicht, so daß man mit Hilfe des Areometers sofort einen Anhaltspunkt über den Gefrierpunkt der betreffenden Glycerinlösung gewinnen kann.

Gewichtsprocente Glycerin	Gefrierpunkt	Spezifisches Gewicht
Proz.	°C	
30	6,2	1,0771
45	— 26,2	1,1183
60	— 35,0	1,1582

An Stelle von Glycerin werden auch häufig Lösungen von Chlorcalcium ( $\text{CaCl}_2$ ) oder Chlormagnesium ( $\text{MgCl}_2$ ) empfohlen. Diese sind wesentlich billiger, greifen jedoch häufig die Gasmesser an, da sich aus derartigen Lösungen leicht Salzsäure abspaltet. Besonders leicht tritt dies ein, wenn Sauerstoff im Gase enthalten ist. Glycerin ist daher vorzuziehen.

Neuestens hat Achtermann<sup>1)</sup> Calciumoxychlorid, welches den Namen Calcidum erhalten hat, empfohlen, und auch Mineralöle werden angewendet.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts hat man den Absatz des Gases zu Koch- und Heizzwecken dadurch wesentlich gefördert, daß man einen billigeren Preis des Gases speziell für diese Zwecke einfuhrte. Man hatte infolgedessen zweierlei Gasmesser nötig, den einen für das Leuchtgas, den andern für das Koch- und Heizgas. Hinter diesen Gasmessern müssen dann die einzelnen Leitungen getrennt geführt werden; die eine zu den Leuchtflammen, die andere zu den Koch- und Heizflammen. Bei vielen Gaseinrichtungen ist es einfacher, einen Hauptgasmesser zur Messung des gesamten Gasverbrauches aufzustellen und einen zweiten Gasmesser, welcher an der betreffenden Stelle das Heizgas allein mißt, so daß der Heizgasverbrauch von dem Gesamtkonsum abgezogen werden muß, wenn man den Verbrauch an Leuchtgas ermitteln will. Solche Gasmesser nennt man dann Kontrollgasmesser.

Da es nun kostspielig ist, zweierlei Gasmesser für Leuchtgas einerseits und Koch- und Heizgas andererseits aufzustellen, so war man vielfach bemüht, diese zwei Funktionen in einem einzigen Gasmesser zu vereinigen. Man hat Gasmesser mit Doppel- oder mit Wechselzählwerk konstruiert. Bei beiden befinden sich zweierlei Zifferblätter an dem Gasmesser. Beim Doppelzählwerk bleibt das eine Zählwerk beständig mit dem Gasmesser in Verbindung, so daß dort die Gesamtmenge des verbrauchten Gases registriert wird, während das

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1024.

andere Zählwerk dazu da ist, nach Betätigung eines Hahnes oder irgend einer anderen Umschaltung das Koch- und Heizgas allein anzuzeigen, so daß man durch Subtraktion dieses letzteren von dem ersteren den Verbrauch an Leuchtgas ermitteln kann, so wie dies bei den Kontrollgasmessern der Fall ist. Bei den Gasmessern mit Wechselzählwerk wird das eine durch die Umschaltung gänzlich ausgeschaltet und das andere dafür eingeschaltet, so daß ohne jede Rechnung der Verbrauch an Gas für Leuchtzwecke und für Koch- und Heizzwecke direkt abgelesen werden kann.

Die Umschaltung der Zählwerke kann entweder durch ein Uhrwerk erfolgen, oder durch die Umstellung eines Hahnes. Der Zweck, ein billigeres Koch- und Heizgas abzugeben, liegt ja hauptsächlich darin, den Verbrauch an Tagesgas zu fördern. Das Rohrnetz der Gaswerke ist bei Nacht stark belastet und dies speziell in den Abendstunden, wenn der Maximalkonsum stattfindet und diesem größten Verbrauch entsprechend muß das Rohrnetz dimensioniert werden. Durch die Abgabe von Gas zu anderen Stunden des Tages wird daher das Rohrnetz nicht belastet und man kann somit zu diesen Stunden das Gas zu einem billigeren Preise verkaufen. Man nennt dieses während der Tagesstunden konsumierte Gas Tagesgas. Es ist also zweifellos richtiger, das Tagesgas zu einem billigeren Preis abzugeben und nicht das Gas, welches zu Koch- und Heizzwecken benutzt wird. Dementsprechend ist es das richtigste, das Umschalten der Zählwerke durch ein Uhrwerk besorgen zu lassen. Die Anordnung eines Uhrwerkes und die Bedienung desselben ist jedoch außerordentlich umständlich, so daß man davon abgekommen ist.

Haas hat dagegen einen Gasmesser konstruiert, welcher zweierlei Auslässe besitzt. An dem einen Auslaß ist die Leitung für das Leuchtgas angeschlossen, an dem anderen Auslaß hingegen jene für die Koch- und Heizstellen. Die Umschaltung der Zählwerke ist mit der Stellung des Hauptahnes der Leuchtgasleitung verbunden, derart, daß, wenn die Leuchtgasleitung geöffnet wird, das Zählwerk auf das Abendgas gestellt wird, während bei geschlossenem Hahn für Beleuchtungszwecke das Zählwerk auf Tagesgas steht. Dadurch ist es dem Konsumenten ermöglicht, Gas zu dem billigen Preise des Tagesgases zu beziehen, solange er keine Flamme angezündet hat. In dem Momente jedoch, wenn er nur eine Leuchtflamme entzünden will, muß er die Leuchtgasleitung öffnen und dann schaltet er damit gleichzeitig automatisch das Zählwerk auf Abendgas um.

Ein Gasmesser, welcher sich besonders als Kontrollgasmesser eignet, ist der Messer der Isariazählerwerke in München. Dieser registriert jedoch nicht das Gasvolumen, sondern nur den Stundenkonsum<sup>1)</sup>.

Den Zweck, den Heizgaskonsum eines Kochapparates von dem Leuchtgasverbrauch abziehen zu können, ohne einen kostspieligen Gasmesser anwenden zu müssen, verfolgt auch der Reduktionsgasmesser von Thorp u. Marsh<sup>2)</sup>. Derselbe soll sich jedoch in Amsterdam und Maastricht nicht bewährt haben. Auch die Firma Elster u. Co. in Rotterdam hat für denselben Zweck einen kleinen Gasmesser konstruiert, welcher nur *M* 17 kostet.

Die Hausgasmesser bei den Konsumenten werden gewöhnlich am Fußboden oder besser erhöht aufgestellt, so daß sie jederzeit leicht abgelesen

<sup>1)</sup> Schilling, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 531. — <sup>2)</sup> Het Gas 1909, Nr. 7; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 788.

werden können. Zum Schutze werden dieselben gewöhnlich mit einem hölzernen Kästchen umgeben. Ist kein geeigneter Standpunkt in mäßiger Höhe zu finden, so stellt man die Gasmesser zweckmäßig auf schmiedeeiserne Konsolen, welche in der Mauer eingelassen sind. Eine neue Art derartiger Konsolen hat Knüpfer<sup>1)</sup> empfohlen. Dieselben bestehen aus Schmiedeeisen und sind so eingerichtet, daß bei der Befestigung an der Wand die Fugen zwischen den Steinen verwendet werden können.

Eine verstellbare Gasmesserstütze, die aus einem Stück gestanz ist und mit zwei Schrauben mittels Längsschlitz an der Wand befestigt werden kann, liefert Wilhelm Schneiders<sup>2)</sup> in Hagen i. W. Sie bietet den Vorteil, daß der Gasmesser nach Verschieben der Stütze nach unten bequem auf- und abmontiert werden kann.

Nicht selten kommen Defraudationen von Gas vor. Es ist z. B. möglich, daß der Konsument nach Aufnahme des Gasmesserstandes den Gasmesser durch Abschrauben der Verbindungsstücke entfernt, eine provisorische Verbindungsleitung zwischen dem Ein- und Ausgangsrohr herstellt, so während des ganzen Monats ungemessenes Gas bezieht, und vor der Ablesung am Schluß des Monats den Gasmesser wieder an Ort und Stelle setzt. Um dies zu verhindern, hat Rombach<sup>3)</sup> Verbindungsstücke hergestellt, welche durch Plomben gesichert werden können. Bei in Betrieb befindlichen Gasmessern werden Blechhülsen über die Verschraubungen gestülpt und mit Plomben verschlossen, derart, daß es nicht möglich ist, den Gasmesser abzuschrauben, ohne die Plombe zu verletzen. Bei neuen Gasmessern befindet sich eine Schelle an dem Rohrstücke, welches zur Sicherung der Schraube mittels Plombe dient.

In neuester Zeit sind neue Anforderungen auch an die nassen Gasmesser gestellt worden, indem für verschiedene Zwecke Gas unter hohem Druck zur Verteilung kommt. Dies betrifft nicht nur das Acetylen (Kapitel 56), welches beinahe überall unter dem höheren Druck von etwa 150 bis 200 mm Wassersäule verteilt wird, sondern auch das Preßgas (vgl. Kap. 66), welches eine größere Wirtschaftlichkeit der Gasbeleuchtung gestattet und bei welchem Drucke bis zu 1500 mm Wassersäule vorkommen. Bei derart hohen Drucken können natürlich die Siphonverschlüsse, wie wir sie auf S. 623 kennen gelernt haben, nicht angewendet werden. Man hat jedoch bereits Gasmesser hergestellt, welche auch dieser Bedingung entsprechen<sup>4)</sup>.

Die Haltbarkeit der nassen Gasmesser ist eine außerordentlich große. Man kann sie auf etwa 20 Jahre schätzen. Sie werden nur dann angegriffen, wenn das Gas gleichzeitig Sauerstoff und Cyanwasserstoff enthält, oder aber wenn zur Füllung entweder säurehaltiges Glycerin oder aber Auflösungen von Chlorcalcium oder Chlormagnesium verwendet werden (vgl. S. 629).

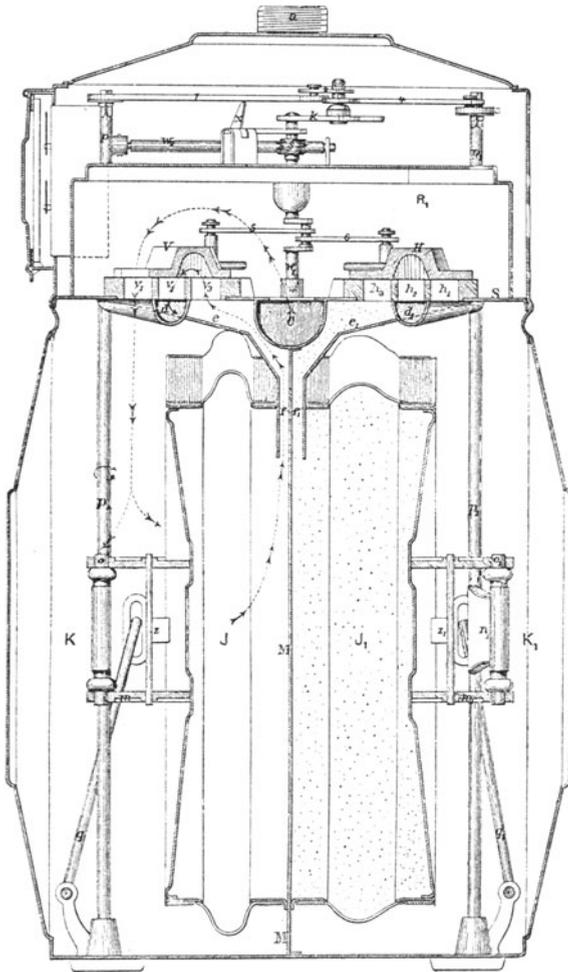
Der größte Nachteil der nassen Gasmesser ist bedingt durch die Notwendigkeit des zeitweisen Nachfüllens. Derselbe ist durch die neuen Konstruktionen von Gasmessern mit konstantem Niveau (vgl. S. 625) zwar zum großen Teile behoben, da bei diesen nur alle vier bis sechs Monate ein Nachfüllen notwendig ist, aber man hat es doch in den letzten Jahrzehnten vorgezogen, in ausgedehntem Maße die sogenannten trockenen Gasmesser zur Anwendung zu bringen.

1) Journ. f. Gasbel. 1910, S. 120. — 2) Ebend. 1911, S. 846. — 3) Ebend. 1910, S. 855. — 4) Sommerfeld, ebend. 1908, S. 837.

Die erste Konstruktion eines trockenen Gasmessers rührt von Malam<sup>1)</sup> her.

Die trockenen Gasmesser bestehen aus Ledermembranen oder Membranen aus anderen Stoffen, die sich in der Art von Blasebälgen durch den Gasdruck abwechselnd aufblasen und dabei einen Bewegungsmechanismus für das Zählwerk antreiben.

Fig. 283.



Ein trockener Gasmesser ist in Fig. 283 dargestellt. Die durch die Membranen gebildeten Bälge  $J$  und  $J_1$  sitzen in dem Gehäuse aus Weißblech, welches durch die mittlere Scheidewand  $M$  in zwei Teile geteilt ist. Es sind somit vier Räume für das Gas geschaffen, nämlich von links nach rechts gehend  $K$ ,  $J$ ,  $J_1$  und  $K_1$ . Durch eine besondere Schieberkonstruktion, welche sich oberhalb dieser Räume befindet, wird abwechselnd das Gas in das Innere der Bälge  $J$  und  $J_1$  und abwechselnd in die Außenräume  $K$  und  $K_1$  geleitet. Das Gas tritt durch den Kanal  $b$  in den Gasmesser ein und gelangt in den Raum  $R_1$ , welcher sich oberhalb der Schieber in einem luftdichten Kasten befindet. Bei der in der Zeichnung dargestellten Stellung der Schieber  $V$  und  $H$  gelangt das Gas

durch die Öffnung  $v_1$  in den Raum  $K$  außerhalb des Balges  $J$  und verdrängt daher das Gas innerhalb des Balges  $J$ , welches durch den Kanal  $e$  und die Öffnung  $v_3$  ferner durch den  $D$ -Schieber  $V$  und  $v_2$  in den Kanal  $d$  nach dem Ausgang entweicht. Die rechte Seite des ganzen Gasmessers, welche den Balg  $J_1$  und die Kammer  $K_1$  enthält, ist bei dieser Stellung noch gänzlich untätig, weil der Schieber  $H$  sowohl den Eintritt des Gases durch die Öffnung  $h_3$

<sup>1)</sup> Bertelsmann, Lehrb. d. Leuchtgasindustrie, I. Bd., S. 333. Stuttgart 1911. Ferdinand Enke.

in den Kanal  $e_1$  und in das Innere des Balges  $J_1$  als auch die Öffnung vom Kanal  $d_2$  her durch  $h_2$  abschließt.

Durch die Bewegung des linken Balges  $J$  wird aber ein Hebelwerk in Bewegung gesetzt, welches die den beiden Seiten des Gasmessers gemeinsame Welle  $W_1$  in Drehung setzt. Dadurch werden die beiden Schieber  $V$  und  $H$  betätigt und so gestellt, daß nunmehr das Gas in die linke Kammer  $K_1$  eintreten kann und das im Inneren des Balges  $J_1$  befindliche Gas nach dem Ausgange drängt. Dann schieben sich die Schieber  $V$  und  $H$  noch weiter, so daß das Gas in das Innere des Balges  $J$  eintritt und aus der linken Kammer  $K_2$  verdrängt wird, schließlich das Gas dann in die rechte Seite des Balges  $J_1$  eintritt und aus der Kammer  $K_1$  verdrängt wird. Diese vier Funktionen erfolgen derart abwechselnd und sind mittels des Hebelwerkes an der Oberseite des Gasmessers derart auf die Welle übertragen, daß diese eine ständige drehende Bewegung annimmt. Diese Bewegung wird dann auf das Zählwerk übertragen.

Bedingung bei diesen Gasmessern ist natürlich, daß die Schieber unbedingt dicht schließen und dabei leicht gehen. Sind die Schieber undicht, so geht das Gas ungemessen hindurch, da dieses dann vom Eingangskanal  $b$  direkt zu den Ausgangskanälen  $d$  übergeht. Sind dagegen die Schieber nicht leicht beweglich, so wird dadurch ein Druckverlust und eine Schwankung des Druckes im Gasausgangsrohre veranlaßt. Die Schieber funktionieren daher nur so lange gut, als sie genügend rein bleiben. Trockene Gasmesser lassen sich daher nur dort anwenden, wo das Gas in genügend reinem teerfreien Zustande zu den Konsumenten gelangt.

Die Membranen, welche für die Bälge der trockenen Gasmesser benutzt werden, sind Ursache mannigfacher Übelstände. Früher benutzte man ausschließlich Leder, welches mit Öl getränkt wurde. Jetzt werden besonders imprägnierte Stoffe angewendet. Die Membranen schrumpfen jedoch mit der Zeit ein und dadurch werden die Meßräume, welche von denselben abgegrenzt werden, kleiner. Dementsprechend erfolgt eine kleine Erhöhung der Anzeige, d. h. der Gasmesser zeigt dann zu viel an. Außerdem aber werden die Membranen leicht brüchig und undicht. Das im Gase enthaltene Benzol löst das zur Imprägnierung verwendete Öl weg, auch die andere zur Herstellung der Membranen verwendete Imprägnierung wird durch das Benzol, namentlich wenn der Benzolgehalt des Gases ein hoher ist, teilweise zerstört.

Die Gasmesserkommission des deutschen Vereins<sup>1)</sup> hatte Versuche an gestellt, eine Membrane für trockene Gasmesser zu finden, welche allen Ansprüchen genügt. Es wurde schließlich eine mit Leinöl von mindestens 82 Proz. Linoxyngehalt getränkte Baumwollmembrane gewählt, welche sich als widerstandsfähig erwies. Die Erprobung in Gasmessern zeigte jedoch, daß schon nach kurzer Zeit ein Schrumpfen der Membrane durch Wasseraufnahme stattfand, welches ein starkes Zuvielzeigen der Gasmesser (bis zu 25 Proz.) verursachte. Die Kommission setzt jedoch ihre Bemühungen fort.

Besondere Konstruktionen von trockenen Gasmessern, die sich in umfangreicher Weise in die Praxis eingeführt haben, sind ausgeführt worden von Kromschöder, Pintsch, Schirmer-Richter u. Co., Elster u. a. Der letztere verwendet an Stelle von zwei Bälgen drei Bälge, wovon zwei immer in

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 679.

voller Tätigkeit sind. Eine Erhöhung der Meßgenauigkeit erzielt er dadurch, daß die Bälge nicht vollständig durch die Membranen gebildet sind, sondern aus Blechdreiecken, welche nur an den Kanten durch die Membrane verbunden sind. Außerdem werden beim Gasmesser von Haas die Meßräume durch das rautenartige Gehäuse begrenzt, so daß auch hierdurch die Meßgenauigkeit erhöht wird.

Die Schieber, welche zur Steuerung des Gases in den trockenen Gasmessern dienen, können nach einer Mitteilung von Baumann<sup>1)</sup> beinahe nie absolut dicht hergestellt werden, oder sie werden doch schon nach kurzer Benutzungsdauer undicht. 20 bis 25 Liter stündlicher Gasdurchgang kommen infolgedessen überhaupt gar nicht mehr zur Anzeige. Auch bei neuen trockenen Gasmessern beginnt die Genauigkeit erst bei 3 Proz. der größten Belastung.

Die trockenen Gasmesser werden nur in den kleineren Ausführungen etwa bis zu 1,5 m<sup>3</sup> Stundendurchgang benutzt. Ausschließliche Verwendung haben dieselben bei Anlagen zur Verteilung uncarburierten Wassergases gefunden (vgl. Kap. 60), weil dieses im trockenen Zustande zur Verteilung gelangt und daher einesteils eine rasche Verdunstung des Wassers aus den nassen Gasmessern zur Folge haben würde, außerdem aber auch das Wassergas wieder durch den Wasserdampf befeuchtet würde, was eine, wenn auch geringe Herabsetzung der Leuchtkraft zur Folge hätte und wodurch die Möglichkeit vorhanden ist, daß Kondensationen in den Rohrleitungen hervorgerufen werden, die bei dem trockenen uncarburierten Wassergas von vornherein ausgeschlossen sind.

Die oben genannten Übelstände und Fehlerquellen, welche durch die Membranen hervorgerufen sind, machen es erforderlich, daß die trockenen Gasmesser, wenn sie einige Jahre im Betriebe stehen, wieder nachgeeicht werden müssen. Anderenfalls kann es vorkommen, daß der scheinbare Gasverlust (vgl. S. 595) durch die fehlerhaften zu geringen Anzeigen der trockenen Gasmesser wesentlich zu hoch berechnet wird. Da aber die zu geringe Anzeige des Gaskonsums nicht nur eine Erhöhung des scheinbaren Verlustes, sondern einen Entgang der Zahlung für tatsächlich geliefertes Gas darstellt und somit einen effektiven finanziellen Verlust bedeutet, so ist die häufige Nachprüfung der trockenen Gasmesser unter allen Umständen rentabel. Sie soll mindestens alle fünf Jahre einmal vorgenommen werden. Nach Angaben Viewegs<sup>2)</sup> ergab sich nach 10-jähriger Betriebsdauer, daß nur 40,97 Proz. der trockenen Gasmesser richtig zeigten, während von den nassen Messern 97,7 Proz., also nahezu noch alle eine richtige Anzeige ergaben.

Die gesamte Lebensdauer der trockenen Gasmesser ist auch wesentlich geringer als die der nassen Gasmesser, was ja durch ihre kompliziertere maschinelle Konstruktion bedingt ist. Als Lebensdauer der trockenen Gasmesser kann man 12 Jahre annehmen, während die Dauer der nassen Messer auf 20 Jahre zu schätzen ist.

Gegenüber diesen Nachteilen der trockenen Messer sind aber auch bedeutende Vorzüge im Vergleich zu den nassen Messern hervorzuheben, und zwar: die einfachere Bedienung, weil das Nachfüllen entfällt, das geringe Gewicht und die Unmöglichkeit des Einfrierens.

Eine ganz wesentliche Steigerung des Gasabsatzes hat man in den letzten beiden Jahrzehnten dadurch erzielt, daß man den Gasverbrauch nicht, wie

---

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 11. — <sup>2)</sup> Ebend. 1911, S. 888.

dies bei Verwendung der gewöhnlichen Gasmesser üblich ist, alle Monate einmal verrechnet und sich den Betrag monatlich bezahlen läßt, sondern daß man Automaten aufstellt, welche nach Einwurf eines Geldstückes eine bestimmte Menge Gas liefern, so daß Leute, welche gewöhnt sind, ihren Bedarf an Brenn- und Leuchtmaterial von Tag zu Tag zu decken, hier eine gleiche Bezahlungsweise vorfinden. Die Hebung des Gasabsatzes mit Hilfe der Gasautomaten wird auch noch dadurch gestärkt, daß man für den Gasautomaten keine besondere Miete verlangt, wie dies bei den gewöhnlichen Gasmessern der Fall ist, und auch die sonstige Hausgaseinrichtung frei beistellt, indem man eine entsprechende Amortisationsquote für die ganze Einrichtung dadurch einhebt, daß man einen kleinen Aufschlag auf den Preis des Gases einhebt. Der Gasautomat wird also derart eingerichtet, daß er für einen bestimmten Betrag etwas weniger Gas liefert, als nach der gewöhnlichen Berechnungsweise.

Diese Gasautomaten haben namentlich in England eine ganz ungewöhnliche Steigerung des Gaskonsums hervorgerufen.

Im Jahre 1909 standen dort bereits  $2\frac{1}{2}$  Millionen Stück Gasautomaten, während im Jahre 1897 ihre Zahl nur  $\frac{1}{4}$  Million betrug. Nach einem Bericht der East Greenwich and South Metropolitan Gas Co. besitzt dieselbe von 350 000 aufgestellten Gasmessern allein 245 000 Automaten. Den Gasautomaten ist in England auch der außerordentlich hohe Gaskonsum pro Kopf der Bevölkerung zu verdanken. Dort ist jeder fünfte Einwohner des Gasversorgungsgebietes Gaskonsument<sup>1)</sup>.

Von 125 Werken in England hat keines einen geringeren Konsum als  $131 \text{ m}^3$  pro Kopf und bei einzelnen steigt derselbe bis auf  $376 \text{ m}^3$  (Margate). Eine Stadt von 2560 Einwohnern hat bereits  $345\,000 \text{ m}^3$  Jahreskonsum. Übrigens ist auch die Zunahme der Gasautomaten in Deutschland ganz beträchtlich, wie die regelmäßigen Monatsberichte der Zentrale für Gasverwertung in Berlin zeigen.

Der Gasautomat vermehrt jedoch nicht nur den absoluten Konsum, sondern auch die Anschlußdichte. 100 neue Anschlüsse mit neuen Automaten kosten weniger Geld als 100 neue Anschlüsse ohne Automat, trotzdem mit dem Automat auch die Leitung, Beleuchtungskörper und Gaskocher gratis beigelegt werden, weil bei der Aufstellung von Automaten im alten Beleuchtungsrayon keine Rohrnetzverlängerung nötig ist<sup>2)</sup>. Die mittlere Anschlußdichte in England ist jetzt 131, in Glasgow sogar 368 Gasmesser pro Kilometer. Ein englischer Gasfachmann sagte daher mit Recht: „The prepayment meter has done far more for the British gas industry than even the Welsbach burner.“

Auch einzelne Werke in Deutschland berichten schon von einem außerordentlichen Aufschwung des Gasabsatzes durch Aufstellung von Gasautomaten. So z. B. in Königsberg<sup>3)</sup>. Das Anlagekapital des dortigen neuen Gaswerkes, welches mehr als  $9\,000\,000 \text{ M}$  betrug, brachte zufolge der Gasautomaten bereits in den ersten fünf Jahren außer dem Erneuerungsfonds 70,76 Proz. des Anlagekapitals herein, gewiß ein außerordentlich günstiges Ergebnis.

<sup>1)</sup> Schäfer, Gasautomaten in England und Deutschland, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1017. — <sup>2)</sup> Vgl. auch Het Gas 1909, Nr. 7; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 788. — <sup>3)</sup> Kobbert, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 913.

Auch in Wien haben die Gasautomaten bereits zu einem guten Erfolge geführt. Bis zum Jahre 1909 wurden, innerhalb fünf Jahren, 16 098 Automatenanlagen mit einem Gesamtaufwand von 2 720 000 Kronen errichtet, die einen jährlichen Gasverbrauch von 3 430 000 m<sup>3</sup> ergaben. Die Anzahl der Gasmesser, die auf 1 km Rohrnetz entfallen, stieg hier von 105 auf 161.

Die Jahresabgabe an Gas, welche pro Automat im Durchschnitt zu erreichen ist, schwankt natürlich stark. Sie beträgt im Mittel 120 bis 600 m<sup>3</sup>, durchschnittlich 240 m<sup>3</sup>.

Die Gasautomaten sollen stets so eingerichtet sein, daß man eine größere Anzahl von Geldstücken vorausbezahlen kann. Auch muß dann an einer Skala ersichtlich sein, wie viele Geldstücke noch unverbraucht vorhanden sind. Das Wesen dieser Gasautomaten besteht darin, daß der Einwurf des Geldstückes die Drehung einer Kurbel ermöglicht, welche letztere das Ventil öffnet. Durch eine gewisse Anzahl von Drehungen der Gasmessertrommel wird das Ventil allmählich wieder geschlossen. Der Verbrauch der eingeworfenen Geldstücke kennzeichnet sich dem Konsumenten dadurch, daß durch Schließung des Ventiles der Gasdruck allmählich geringer wird und daher die Flammen kleiner werden.

Die Geldstücke fallen in eine Büchse, welche allmonatlich einmal vom Gaswerke kontrolliert wird. Dabei soll aber auch gleichzeitig eine Kontrolle des abgegebenen Gases nach Kubikmetern durchgeführt werden, um zu ermitteln, ob der eingefallene Betrag dem Gasverbrauch entspricht.

Zweckmäßig ist eine von Bessin angegebene Einrichtung, nach welcher man die Automatenanlage vom Gasmesser abnehmen kann, so daß dann ein gewöhnlicher Gasmesser zurückbleibt. Eine Einrichtung von Frank<sup>1)</sup> läßt auch stets den Geldwert des verbrauchten Gases ablesen. Die South Suburban Gas Co.<sup>2)</sup> verwendet bei ihren Automaten Alarmklingeln, welche in Tätigkeit treten, wenn die Geldbüchse unbefugterweise geöffnet wird.

Die Eichung der Gasmesser erfolgt durch den sogenannten Kubizierapparat. Es ist dies eine kleine Gasbehälterglocke von etwa 150 oder 300 Liter Inhalt, welche durch ein Gegengewicht ausbalanciert ist, und außerdem eine Vorrichtung trägt, um den gleichen Druck in jeder Stellung zu gewährleisten. Dies erfolgt gewöhnlich dadurch, daß das Entlastungsgewicht mittels des Seiles, an dem es hängt, eine Rolle bewegt, an welcher sich eine Spirale befindet, die sich gleichzeitig mit der Rolle dreht und die ein zweites kleines Entlastungsgewicht trägt. Das Seil, an welchem das letztere hängt, legt sich um diese Spirale und dementsprechend übt dieses kleine Entlastungsgewicht einen verschiedenen Druck auf die Glocke aus, je nachdem ob dieselbe höher oder tiefer steht. In den tieferen Stellungen der Glocke ist die Verdrängung des Wassers durch das eingetauchte Blech größer als in den höheren, es ist daher ein größerer Auftrieb vorhanden, so daß die Glocke einen geringeren Druck gibt. Dieser wird dadurch ausgeglichen, daß das kleine Entlastungsgewicht an einer Stelle der Spirale angreift, die weiter vom Drehpunkt der Rolle entfernt ist, so daß ein höherer Druck auf die Glocke ausgeübt wird. Die Glocke des Kubizierapparates muß außerdem ein Thermometer tragen, so daß die Temperatur des eingeschlossenen Gases stets kontrolliert werden kann,

---

<sup>1)</sup> Messinger, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 598. — <sup>2)</sup> Journ. of Gaslighting 1911, S. 517; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 750.

und ein Manometer, um den Gasdruck in derselben festzusetzen. Eine genaue Teilung, welche an einer seitlich an der Glocke angebrachten Meßplatte eingeschnitten ist, läßt mit Hilfe einer an dem Behälterranda angebrachten Richtplatte stets die genaue Stellung der Glocke ablesen. Die Ablesung kann auf Zehntelliter genau erfolgen. Natürlich muß dafür gesorgt werden, daß die Temperatur der Glocke stets gleich bleibt.

Die Prüfung des Kubizierapparates erfolgt mit Hilfe des sogenannten Eichkolbens. Bei der Prüfung einzelner Gasmesser verwendet man oft auch den Eichkolben direkt. Es ist dies ein Gefäß aus Eisenblech von etwa 50 Liter Inhalt, in welches ein verstellbarer Zylinder eingesetzt ist, der sogenannte Justierzylinder. Mit Hilfe des letzteren kann man durch Hineinschrauben oder Herausschrauben den Inhalt des Gefäßes etwas verändern, so daß derselbe auf genau 50 Liter gebracht werden kann. Die Ausmessung erfolgt durch Anfüllen mit Wasser und Wägen.

Um einzelne Gasmesser auf ihre Richtigkeit zu prüfen, kann man, wenn ein Kubizierapparat nicht vorhanden ist, eine mit Wasser gefüllte Flasche benutzen, welche unten einen Ablauf besitzen muß. Ist dieser nicht vorhanden, so kann man den Ablauf mit Hilfe eines Hebers besorgen. Oben ist die Flasche dicht verschlossen und ist mittels eines Gummistopfens ein Rohr eingesetzt, an welches der Gasmesser mittels Gummischlauches angeschlossen wird. Läßt man das Wasser abfließen, so wird Luft nachgesogen, die durch den Gasmesser gemessen wird. Man wägt dann die ausgeflossene Wassermenge und findet daher das von ihr angesogene Luftvolumen.

Die Temperatur der Glasflasche und des Wassers muß genau die gleiche sein wie die Temperatur des durch den Gasmesser strömenden Gases; ebenso muß der Druck in beiden gleich sein, was dadurch erreicht wird, daß die Verbindungsleitung zwischen Gasmesser und Flasche sehr weit gewählt wird und die Regulierung des Gasdurchflusses nicht durch Drosselung dieser Leitung, sondern durch Drosselung des aus der Flasche ablaufenden Wassers erfolgt.

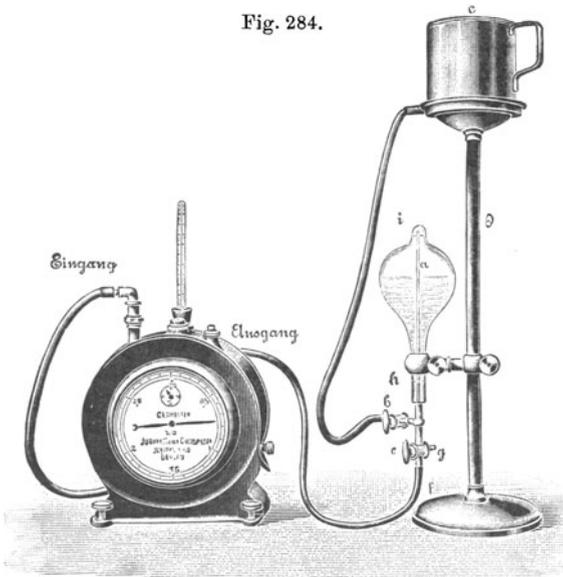
Die Prüfung der Gasmesser muß natürlich in einem Raume von vollständig gleichmäßiger Temperatur durchgeführt werden. Die Gasmesser müssen dabei auf eine genau horizontale Unterlage gestellt werden, dem sogenannten Eichtisch. Die Prüfung erfolgt bei einem Druck von 40 mm Wassersäule. Die Temperatur des Wassers soll nicht mehr als 1° von der Außentemperatur abweichen. Selbstverständlich müssen sowohl die Kubizierapparate als auch sämtliche Leitungen vorher auf ihre vollständige Dichtheit geprüft werden. Gleichzeitig mit der Eichung der Gasmesser erfolgt auch die Prüfung auf den Druckverlust. Der Druck des austretenden Gases darf keinen Schwankungen unterworfen sein.

Bei der Prüfung großer Gasmesser, bei denen Kubizierapparate, welche letztere mit dem größten Inhalt von 1000 Liter hergestellt werden, nicht mehr verwendet werden können, verwendet man manchmal Kontrollgasmesser, die aber dann sehr genau sein müssen. Dieselben dürfen nur 0,8 Proz. Abweichungen zeigen. Im übrigen dürfen die Gasmesser bei der Eichung keine größere Abweichung als 2 Proz. ergeben.

Für Experimentierzwecke wird eine besondere Art von Gasmessern hergestellt. Dieselben werden gewöhnlich als nasse Gasmesser ausgebildet. Diese müssen nicht nur einen größeren Grad der Genauigkeit, sondern sie sollen auch eine Vorrichtung besitzen, mittels welcher man den Stundenkonsum ablesen

kann, indem man nur eine Minute lang beobachtet. Es ist also am Zifferblatt eine Teilung angebracht, welche 60 mal soviel Gasdurchgang anzeigt, als dem wirklichen Gasdurchgang entspricht. An den Experimentiergasmessern ist eine Einrichtung sehr zweckmäßig, welche es ermöglicht, die Drehung des Zeigers in jedem beliebigen Momente zu arretieren. Ferner soll der Zeiger um seine Achse mit leichter Reibung drehbar sein, so daß man ihn beliebig einstellen kann. Die Messung erfolgt dann derart, daß man zunächst den Zeiger in eine Lage etwas vor der Nullstelle bringt, dann löst man die Arretierung, so daß sich der Zeiger zu drehen beginnt, und läßt eine Stoppuhr laufen in dem Augenblick, wenn der Zeiger den Nullpunkt passiert. Zweckmäßig ist es, die Stoppuhr am Gasmesser selbst anzubringen. Man läßt diese

Fig. 284.



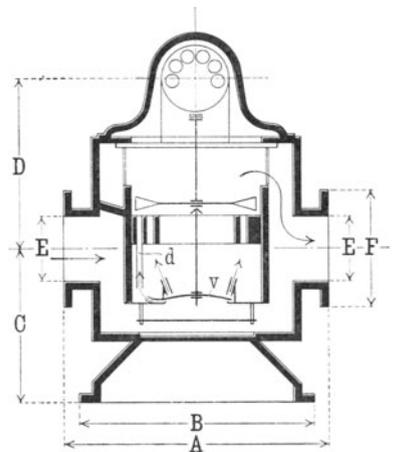
nun eine Minute lang laufen und in dem Augenblick, wenn der Zeiger der Stoppuhr die Nulllage wieder passiert, d. h. wenn genau eine Minute abgelaufen ist, arretiert man den Zeiger der Gasuhr wieder und liest die Zahl ab, auf welcher dieser Zeiger steht. Derselbe gibt dann sofort den Gasdurchgang pro Stunde an.

Der Experimentiergasmesser muß natürlich ebenfalls genau horizontal aufgestellt werden. Um dies zu kontrollieren, trägt derselbe entweder ein Lot oder eine Wasserwaage und drei Stellschrauben zur richtigen Einstellung. Ferner muß auch der Experimentiergasmesser ein in das Innere des Gasmessers reichendes Thermometer tragen, damit die Temperatur des Gases jederzeit abgelesen werden kann. Das Einfüllen des Wassers erfolgt durch eine Füllschraube und der Überlauf durch eine entsprechende Überlaufschraube. Zweckmäßig ist es jedoch, auch bei den Experimentiergasmessern, ein Wasserstandsglas zu haben, an welchem der genaue Stand der Flüssigkeit abgelesen werden kann. Sehr vorteilhaft ist diesbezüglich eine von Pintsch eingeführte Anordnung, wonach seitlich an dem Experimentiergasmesser ein kleiner Stutzen angelötet ist, der vorn ein blankes Schauglas, rückwärts eine Milchglasplatte trägt, und in welchen der Wasserspiegel hineinreicht. An einer an dem Schauglas angebrachten horizontalen Strichmarke kann dann der Wasserstand abgelesen werden, wenn man die Milchglasplatte von rückwärts beleuchtet.

Um den Durchgang bei Experimentiergasmessern genau abzulesen, ist es erforderlich, nach jeder Aufstellung eine besondere Eichung vorzunehmen. Am besten geschieht dies mit Hilfe des Junker'schen Eichkolbens. Derselbe

ist in Fig. 284 dargestellt. Es ist dies ein Gefäß aus Glas, in welches ein Rohr *a* hineinragt, das zwei Hähne *b* und *g* trägt. In dem verengten Teil im Unterteil und im Oberteil des Gefäßes bei *i* und bei *h* befinden sich Marken, die genau ein bestimmtes Volumen einschließen. Man läßt nun zunächst aus dem Wassergefäß *e* so viel Wasser eintreten, daß dasselbe bei der Marke *h* steht. Dieser Wasserzufluß erfolgt durch den Hahn *b*. Dann schließt man mit Hilfe des Gummischlauches *f* den Experimentiergasmesser an, und zwar an den Hahn *c*, welcher mit dem Rohre *a* in Verbindung steht. Durch Öffnen der beiden Hähne *b* und *g* läßt man Wasser eintreten, so lange, bis dasselbe die obere Marke *i* erreicht hat. Es ist dann genau ein Liter Luft aus dem Eichkolben verdrängt worden. Da die Anzeige des Gasmessers niemals genau übereinstimmt, liest man entsprechend der Angabe des Zeigers ab und führt einen Korrektionsfaktor ein, mit dem dann alle Angaben des Gasmessers multipliziert werden müssen, um den richtigen Gasdurchgang zu erhalten. Natürlich ist auch bei Verwendung des Junkersschen Eichkolbens genau darauf zu achten, daß Temperatur und Gasdruck in diesem und im Gasmesser vollständig übereinstimmen. Ferner ist zu beachten, daß der Wasserstand im Inneren der Meßkammern ein anderer ist, wenn der Gasmesser läuft oder wenn er stillsteht. Es soll daher bei genauen Eichungen der Gasmesser immer in jener Drehungsgeschwindigkeit geeicht werden, in welcher er zur Anwendung gelangt, was am besten mittels der Aspiratorflasche (vgl. S. 637) geschieht.

Fig. 285.



Eine gänzlich andere Art der Gasmessung besteht darin, daß man die Geschwindigkeit des Gasstromes mißt und dann mit dem Querschnitt des Rohres multipliziert, um das pro Zeiteinheit hindurchfließende Gasvolumen kennen zu lernen.

Zur Messung geringer Gasgeschwindigkeiten wird das Anemometer verwendet. Es besteht aus einem Flügelrad, welches außerordentlich leicht drehbar gelagert ist und dessen Drehungen auf ein Zählwerk übertragen werden. Je größer die Geschwindigkeit des Gasstromes ist, in welchen man das Anemometer bringt, desto größer ist die Tourenzahl des Flügelrades, und man kann somit die Geschwindigkeit des Gasstromes kennen lernen, wenn man den Zeiger des Anemometers eine Minute lang beobachtet und feststellt, wieviel Teilstriche derselbe zurückgelegt hat, d. h. also, wenn man die Tourenzahl des Flügelrades pro Zeiteinheit bestimmt.

In ganz gleicher Weise wie das Anemometer funktioniert der Flügelradgasmesser von Marsh (Fig. 285). In England trägt derselbe den Namen Rotarymeter wegen der raschen Drehung des Flügelrades. Beim Flügelradgasmesser wird der Gasstrom durch einige enge Kanäle gedrosselt, so daß die Geschwindigkeit desselben wesentlich erhöht wird. Diese Kanäle liegen in einem zylindrischen Körper, in welchem das Gas von unten nach aufwärts streicht. Das durch die Kanäle hindurchtretende Gas trifft direkt auf die unter  $45^\circ$  geneigten

Flügel und versetzt dieselben in rasche Drehung, welche durch die Spindel des Flügelrades auf ein Zählwerk übertragen wird <sup>1)</sup>.

Bei ganz geringen Gasstromgeschwindigkeiten funktioniert das Flügelrad nicht, weil die Überwindung der Reibung eine gewisse Stromstärke erfordert. Um nun diese auch bei geringeren Gasgeschwindigkeiten zu erreichen, ist am Boden des zylindrischen Körpers bei  $v$  ein Ventil eingebaut, welches bei ganz geringen Geschwindigkeiten geschlossen ist und erst bei größeren Geschwindigkeiten zufolge des höheren Druckes unterhalb des Ventiles gehoben wird. Es gelangt somit das Gas bei geringen Geschwindigkeiten nur durch eine gewisse Anzahl von Kanälen zu dem Flügelrade, so daß auch hierbei eine genügende Stromgeschwindigkeit erzielt wird, und somit auch bei diesen geringen Geschwindigkeiten das Flügelrad in Drehung versetzt wird. Die Achse dieses Rades dreht sich in Steinlagern, wodurch die denkbar geringste Reibung hervorgerufen wird.

Eine entsprechende Meßgenauigkeit kann bei diesen Gasmessern nur bei großen Gasmengen erzielt werden <sup>2)</sup>. Unterhalb 10 Proz. des Maximalkonsums ist die Meßgenauigkeit eine ungenügende. Außerdem muß berücksichtigt werden, daß Gase von verschiedenem spezifischen Gewicht einen anderen Einfluß auf die Drehungsgeschwindigkeit des Flügelrades haben. Je höher das spezifische Gewicht ist, desto größer ist die kinetische Energie der Gasteilchen bei bestimmter Geschwindigkeit und desto größer ist deshalb die Tourenzahl des Rades. Die Flügelradgasmesser haben jedoch den Vorteil, daß sie einen außerordentlich geringen Raum einnehmen und verhältnismäßig billig sind. Außerdem entfällt, da keine Flüssigkeit zur Anwendung gelangt, auch die Frostgefahr. Zuzufolge ihrer Kleinheit können Gasmesser bis zu 400 000 m<sup>3</sup> Stundendurchgang hergestellt werden. Zuzufolge der Ungenauigkeiten sind aber die Flügelradmesser nicht eichfähig.

Diese Gasmesser werden vielfach in Wassergasanstalten verwendet, welche das Gas dem Steinkohlengas beimischen, denn in diesem Falle handelt es sich nicht um die Messung kleiner Gasmengen, sondern die pro Stunde erzeugte Gasmenge ist ungefähr gleich, und der Flügelradgasmesser kann daher dem betreffenden Durchgang genau angepaßt werden. Außerdem sind hier kleine Ungenauigkeiten in der Angabe belanglos. Ebenso kann der Flügelradgasmesser vorzügliche Dienste leisten, wo der Gasdurchgang durch einzelne Rohrstränge festzusetzen ist oder wo es sich um die Messung von Teilgasströmen für Versuchszwecke handelt.

Ein anderes Prinzip zur Messung der Gasstromgeschwindigkeit liegt in der Messung der Druckdifferenz vor und hinter einer Drosselung von bestimmtem Querschnitt (Pitotsche Röhre). Diesbezügliche Gasgeschwindigkeitsmesser sind angegeben worden von Stack <sup>3)</sup> und ebensolche werden von der Hydro-Apparate-Bauanstalt in Düsseldorf in den Handel gebracht. Ebenso ist beim Betrieb von Wassergasanlagen ein Gasstromgeschwindigkeitsmesser in Anwendung, welcher den Namen „Produktions-Registrator“ <sup>4)</sup> führt und den wir im Kapitel 60 „Wassergas“ näher kennen lernen werden.

Ist bei den vorgenannten Gasstromgeschwindigkeitsmessern die Drosselung, welche den Druckverlust im Gase hervorruft, von konstanter Größe, so ist bei

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1906, S. 213. — <sup>2)</sup> Sommerfeld, ebend. 1908, S. 837. — <sup>3)</sup> „Glück auf“ 1906, S. 1590. — <sup>4)</sup> Journ. f. Gasbel. 1907, S. 885.

den folgenden Meßinstrumenten die Druckdifferenz konstant und die Größe der Öffnung variabel.

Schon seit langem ist der Taschengasmesser bekannt (Fig. 286), welcher dazu dient, den stündlichen Verbrauch einer Gasflamme rasch zu ermitteln. Bei demselben wird ein Schwimmkörper in einem konischen Glasrohr durch einen Gasstrom um so höher in die Höhe gehoben, je größer der Gasdurchgang ist. Der Schwimmkörper hat ein gleichbleibendes Gewicht und dementsprechend ist zu seiner Hebung eine Druckdifferenz von gleichbleibender Größe erforderlich. Je mehr aber der Schwimmkörper in die Höhe gehoben wird, desto größer wird der freibleibende ringförmige Raum zwischen ihm und dem konischen Glasrohr, desto größer wird also der Gasdurchfluß bei der gleichbleibenden Druckdifferenz. Aus dem Stande des Schwimmkörpers ist daher der stündliche Gasdurchfluß ohne weiteres abzulesen. Derartige Meßinstrumente entsprechen dem Ampèremeter bei der Messung elektrischer Ströme.

Der Taschengasmesser hat jedoch den Nachteil, daß seine Anzeigen zufolge der Reibung zwischen dem Schwimmkörper und dem Glasrohre ungenaue waren. Diesem Übelstand hat Küppers<sup>1)</sup> durch Ausführung seines Rotamessers, der von den Rotawerken in Aachen<sup>2)</sup> in den Handel gebracht wird, abgeholfen. Der zylindrische Schwimmkörper besitzt am Rande schräge Kanäle derart, daß er durch einen senkrechten Gasstrom in Drehung versetzt wird. Dadurch wird die Reibung zwischen dem Schwimmer und dem Glasrohr vermieden<sup>3)</sup>.

Fig. 287 zeigt einen Rotamesser für kleine Gasmengen. Für ganz große Gasmengen wird die Anordnung gemäß Fig. 288 benutzt, für mittlere Gasmengen dient die Anordnung Fig. 289.

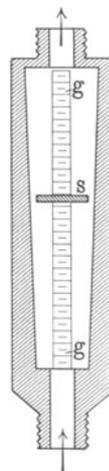
Bei großen Gasmengen wird nur ein Teilstrom des Gases im Rotamesser gemessen, während die Skala desselben sich auf den ganzen Strom bezieht.

Die Teilung der Skala des Rotamessers wird empirisch vorgenommen. Sie ist durchaus nicht gleichmäßig, weil die allmähliche Erweiterung des Glasrohres durchaus nicht gleichmäßig verläuft. Natürlich hängt die Eichung vom spezifischen Gewicht des Gases ab. Erfolgt also die Eichung mit Luft, so zeigt der Apparat einen Gasdurchgang an, der annähernd im Verhältnis der spezifischen Gewichte kleiner ist, als das Quadrat des wahren Durchganges. Ist der Apparat auf ein spezifisches Gewicht  $s$  geeicht und wird er für ein Gas vom spezifischen Gewicht  $s_1$  verwendet, so steht die wirkliche Durchflußmenge  $V_1$  zu der angezeigten Gasmenge  $V$  in dem Verhältnis:

$$V_1 = \sqrt{V^2 \cdot \frac{s}{s_1}}.$$

Diese Abhängigkeit vom spezifischen Gewicht, zu der noch eine Abhängigkeit von der Temperatur hinzukommt, ist auch die Ursache, daß der Rotamesser nicht für genaue Messungen verwendet werden kann<sup>4)</sup>. Dagegen ist diese Vorrichtung auch zur Anzeige geringster Gasmengen, die sonst kaum

Fig. 286.



<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 351. — <sup>2)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 210. — <sup>3)</sup> D. R.-P. 215 225; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 585. — <sup>4)</sup> Ebend., S. 645.

fortlaufend gemessen werden könnten, geeignet. So z. B. vermag dieselbe  $\frac{1}{60000}$  Liter Wasserstoffdurchgang pro Sekunde anzuzeigen <sup>1)</sup>.

Die fortlaufende Anzeige der Gasstromgeschwindigkeit gibt dem Instrument ein weit verbreitetes Anwendungsgebiet, so kann es z. B. dienen zur Messung des Gasverbrauches bei Gasbrennern, Gasöfen, Kochern usw., zur Kontrolle der Gasmesser, zur Feststellung von Gasverlusten, beim Photometrieren, zur

Fig. 287.

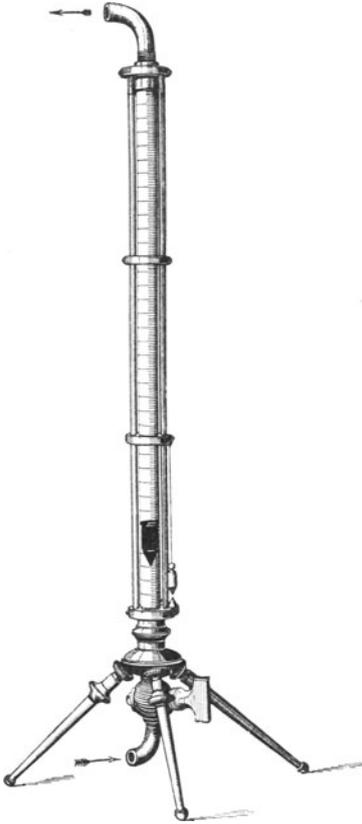


Fig. 288.

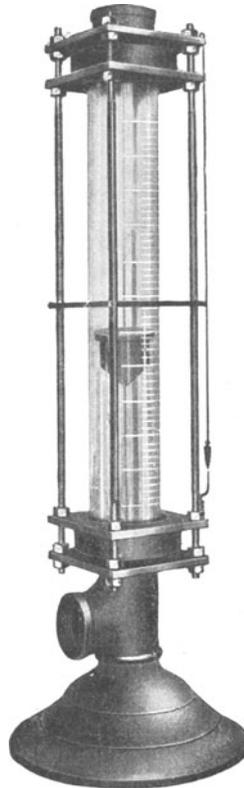
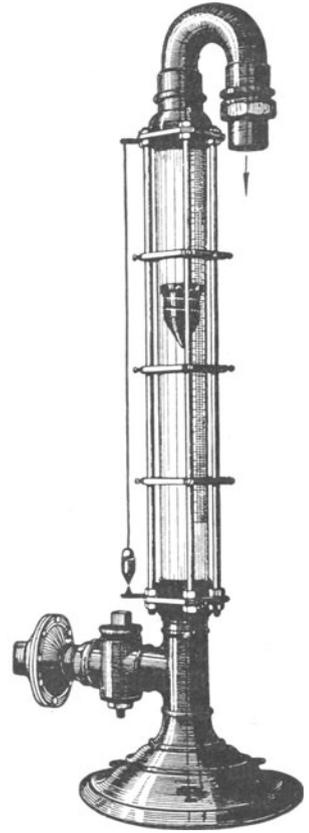


Fig. 289.



Bestimmung der Leistung von Kompressoren, Ventilatoren, Preßgas- und Preßluftzeugern, bei der autogenen Metallbearbeitung, Kontrolle der Luftzuführung bei Hochofenanlagen, bei Narkoseapparaten, zur Messung des Luftzusatzes bei der Regeneration der Reinigungsmasse, zum Mischen verschiedener Gasarten und ebenso kann es zur Messung von Gasen dienen, welche Metalle angreifen, also in gewöhnlichen Gasmessern gar nicht gemessen werden können.

Die neuen Druckmesser für geringe Drucke und Druckdifferenzen sind derart vervollkommen, daß es nun auch möglich ist, die Geschwindigkeit eines Gasstromes zu ermitteln, ohne eine einen wesentlichen Druckverlust hervorrufende Drosselung des Gasstromes anzuwenden. Dies ist zufolge der

<sup>1)</sup> Böhnke, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 499.

von Krell ausgeführten Arbeiten möglich geworden. Läßt man den Gasstrom auf die Mündung eines Rohres auftreffen, das der Richtung des Gasstromes entgegensteht, so entsteht in dem Rohr ein Druck, der von der Geschwindigkeit des Gasstromes abhängig ist. Bringt man ein zweites Rohr in den Gasstrom, das in der Richtung des Gasstromes gelegen ist und seine Öffnung in der Richtung des abströmenden Gases besitzt, so entsteht in diesem Rohr eine Saugwirkung, die ebenfalls von der Geschwindigkeit des Gasstromes abhängig ist. Bestimmt man die Druckdifferenz, die zwischen diesen beiden Rohren herrscht, so erhält man demgemäß einen erhöhten Ausschlag, der von dem absoluten Druck des Gases unabhängig ist. Diese Arbeiten von Recknagel und Krell scheinen sehr wenig bekannt zu sein, wie Doschl<sup>1)</sup> hervorhebt. Das Ergebnis dieser Untersuchung hat Krell sen. in seiner Schrift über hydrostatische Meßinstrumente zusammengefaßt. Krell jun. schrieb über die Messung von dynamischem und statischem Druck bewegter Luft. Er hat auf dieser Grundlage sein Pneumometer (Fig. 290) konstruiert, bei welchem die oben genannten Rohre durch Öffnungen in einer Stauscheibe ersetzt sind. Bezeichnet man mit  $k$  einen Koeffizienten, mit  $v$  die Geschwindigkeit des Gases in Metern pro Sekunde, mit  $g$  die Erdbeschleunigung (9,81 m), mit  $s$  das Gewicht des Gases pro Kubikzentimeter, so ergibt sich die Druckdifferenz in Millimetern Wassersäule nach der Formel:

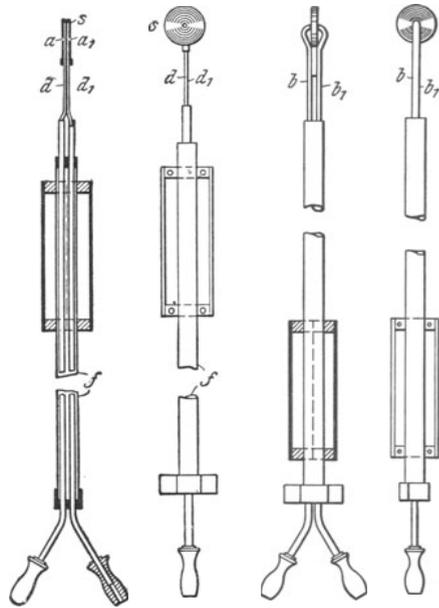
$$h_v = k \cdot \frac{v^2}{2g} s.$$

Nach neueren Versuchen ist der Koeffizient  $k = 1,45$  bis  $1,50$  zu setzen. Bei sehr staubigen Gasen werden Pneumometer nach Prandtl (Fig. 291) benutzt. Dort kommt eine volle Stauscheibe zur Anwendung, wobei die Röhrrchen  $d$  und  $d_1$  gegen die Scheibe umgebogen sind.

An Stelle der Stauscheibe mit den beiden zu dem Differentialmanometer führenden Röhrrchen kann zur Messung von Gasstromgeschwindigkeiten in weiten Rohren auch eine vereinfachte Vorrichtung angewendet werden. Man führt in die Mitte des Rohres ein dünnes schmiedeeisernes Gasrohr von etwa  $\frac{1}{8}$  bis  $\frac{1}{4}$  Zoll lichter Weite und setzt im Inneren ein Kniestück an, welches in der Richtung gegen den Gasstrom gedreht wird. In einigen Zentimetern Entfernung von diesem Rohr wird ein zweites Rohr eingesetzt, das ein eben-

Fig. 290.

Fig. 291.



<sup>1)</sup> Messung von Gasgeschwindigkeiten und Gasmengen, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1091.

solches Kniestück trägt, welches jedoch in die entgegengesetzte Richtung, also im selben Sinne wie der Gasstrom, gedreht wird. Die Druckdifferenz zwischen diesen beiden Rohren wird dann in einem beliebigen Differentialmanometer gemessen. Eine solche Vorrichtung ist besonders zur raschen Ermittlung der Windgeschwindigkeit in Gebläseleitungen zweckmäßig. Für Luft lassen sich die Geschwindigkeiten aus der nachstehenden Tabelle ermitteln:

Geschwindigkeit in Meter	Druckdifferenz in Millimeter Wassersäule	Luftdurchgang pro 1 dm <sup>2</sup> Querschnitt des Rohres in m <sup>3</sup> pro Minute
1	0,1	0,6
2	0,4	1,2
3	0,8	1,8
5	2,3	3
10	9,0	6
20	35	12
30	80	18
40	140	24
50	220	30
100	900	60

Ein neues Prinzip zur Messung eines Gasstromes wurde ferner von Thomas<sup>1)</sup> angegeben. Derselbe wird an einem elektrisch beheizten Platindraht vorbeigeführt, und die Temperaturerhöhung, die der Gasstrom erfährt, wird durch Thermolemente gemessen. Der Temperaturunterschied beim Eintritt und Austritt des Gases aus dem Instrumente ist von der Schnelligkeit des Gasstromes beeinflusst. Auch dieses Meßinstrument ist natürlich nur für Versuchszwecke geeignet und nicht eichfähig. Simon<sup>2)</sup> wies darauf hin, daß die Vorzüge des Thomasschen Gasmessers, der namentlich in großen Gasleitungen angewendet wird, in dem Mangel aller beweglichen Teile liegen, daß die Genauigkeit vom Druck und der Geschwindigkeit unabhängig ist, daß seine Anwendung sowohl bei höchsten wie niedrigsten Drucken zulässig ist, daß man eine fortlaufende Aufzeichnung erhält und der Apparat bei kleinen Abmessungen eine große Kapazität besitzt. Ferner kann die Registrierung weit vom Aufstellungsort entfernt vorgenommen werden. Ein Nachteil dieses Messers ist hingegen, daß der Wasserdampfgehalt des Gases einen sehr starken Einfluß hat. Die Gase müssen daher vorher getrocknet werden, wenn man genaue Anzeigen erhalten will.

### XIII. Verschiedene Gasarten.

#### 51. Steinkohlengas und Destillationsgase aus anderen festen Brennstoffen.

Die Erzeugung des Steinkohlengases haben wir bereits in den vorstehenden Kapiteln VI und X ausführlich besprochen. Hier wollen wir nur noch einiges über die Qualität des Steinkohlengases ausführen.

Als Steinkohlengas ist jenes Gemisch von Gasen zu betrachten, welches bei der Erhitzung einer gasreichen Kohle (Gaskohle) unter Ausschluß fremder

<sup>1)</sup> Journ. of Gaslighting 1907, S. 241, 440 u. 726. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 952.

Gase (Luft, Wasserdampf oder dgl.) entsteht. Diese Definition ist, so einfach sie auch erscheint, heute nicht mehr genau eingehalten, denn man bezeichnet jetzt auch noch als Steinkohlengas ein Gemisch desselben mit Wassergas, das besser den Namen „Mischgas“ tragen sollte (Kap. 61). Ferner bezeichnet man das Gas, welches von den Kokereien in den Koksöfen erzeugt wird und welches nach der obigen Definition ebenfalls als Steinkohlengas zu betrachten wäre, als Koksofengas. Koksofengas ist jedoch nur eine besondere Art des Steinkohlengases, d. h. ein auf besondere Weise erzeugtes Steinkohlengas. Wenn wir es hier trotzdem in einem eigenen Kapitel behandeln, so geschieht dies nur, weil zufolge der anderen Erzeugungsart andere Verhältnisse auftreten, welche die Zusammenfassung in ein besonderes Kapitel rechtfertigt. Wir bleiben also bei der obigen Definition und behandeln in besonderen Kapiteln Steinkohlengas, Koksofengas als besondere Art des Steinkohlengases und Mischgas als ein Gemisch von Steinkohlengas und Wassergas. Dabei ist auch das in den Vertikalöfen durch die sogenannte nasse Vergasung, d. h. unter Zusatz von Wasserdampf (S. 355) erzeugte Gas nicht als reines Steinkohlengas, sondern als Mischgas aufzufassen, obwohl dasselbe gewöhnlich den Namen Steinkohlengas trägt.

Durch die Zusammensetzung kann man das Steinkohlengas schwer definieren, weil dessen Zusammensetzung nach der Erzeugungsart bedeutenden Schwankungen unterworfen ist. Nicht nur die Anwendung der verschiedenen Kohlenarten, sondern auch die Art der Entgasung und die dabei verwendeten Apparate sind von großem Einfluß auf die Zusammensetzung des Gases. So wird z. B. in den Kammeröfen heute ein Gas gewonnen, welches einen höheren Stickstoffgehalt hat und das sich kaum mehr vom Koksofengas unterscheidet. Trotzdem muß das Kammerofengas aber als Steinkohlengas betrachtet werden, denn die Art, wie die Beheizung der Entgasungsöfen erfolgt, darf für die Definition nicht mit herangezogen werden.

Wir haben schon auf S. 306 erörtert, daß die Zusammensetzung des Gases wesentlich von der Temperatur beeinflußt ist, bei welcher die Entgasung erfolgt. Die nachstehenden Zahlen zeigen die Grenzen, innerhalb welchen die Prozentsätze der einzelnen Bestandteile schwanken können. Die zuerst genannten Zahlen entsprechen dabei einer niederen Entgasungstemperatur, die letztgenannten einer hohen Temperatur.

Bestandteil	Volumprozent	
	von	bis
H <sub>2</sub> . . . . .	45	54
CH <sub>4</sub> . . . . .	40	27
CO . . . . .	6	11
C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> . . . . .	5	1
CO <sub>2</sub> . . . . .	3	1
N <sub>2</sub> . . . . .	1	6
Heizwert, oberer 0° . . . . .	6500	4800
Spezifisches Gewicht . . . . .	0,45	0,38
Leuchtkraft . . . . .	18 HK	6 HK

Wenn in der obigen Tabelle das spezifische Gewicht zwischen 0,38 und 0,45 schwankend angegeben ist, so entspricht dies den oben genannten Grenz-

zahlen des Gehaltes an den verschiedenen Bestandteilen. Die Grenzen des spezifischen Gewichtes liegen jedoch weiter auseinander, als diesen Zahlen entspricht. Dies rührt daher, daß bei einer Zusammensetzung des Steinkohlengases, welches den obigen Grenzwerten noch durchaus entspricht, das spezifische Gewicht ein anderes sein kann, wenn z. B. hauptsächlich nur die leichteren Stoffe vertreten sind. Z. B. würde ein Gas von der Zusammensetzung

	Volumprozent
H <sub>2</sub> . . . . .	54
CH <sub>4</sub> . . . . .	40
C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> . . . . .	1
CO . . . . .	5
Summe . .	100

das spez. Gew. 0,323 besitzen, obwohl es den in der obigen Zusammenstellung gegebenen Grenzen der Bestandteile entspricht. Man kann das spezifische Gewicht des Steinkohlengases als zwischen 0,3 und 0,5 schwankend annehmen.

Als spezielles Beispiel einer Durchschnittsanalyse von gereinigtem Gas<sup>1)</sup> sei nachstehendes angeführt<sup>2)</sup>.

Bestandteile des gereinigten Leuchtgases	Volum- prozent	Gewichts- prozent	1 m <sup>3</sup> Gas enthält g	100 kg Kohle geben 300 m <sup>3</sup> Gas mit kg
Wasserstoff, H <sub>2</sub> . . . . .	51	8,7	46	1,38
Methan, CH <sub>4</sub> . . . . .	32	43,7	229	6,87
Kohlenoxyd, CO . . . . .	8	19,1	100	3,00
Äthylen und Homologe, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> . .	3	7,1	37	1,11
Benzol und Homologe, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> . . .	1	6,7	35	1,05
Kohlensäure, CO <sub>2</sub> . . . . .	2	7,5	39	1,17
Stickstoff, N <sub>2</sub> . . . . .	3	7,2	38	1,14
Summe . .	100	100,0	524	15,72

(Spezifisches Gewicht des Gases = 0,414.)

Unter den Bestandteilen des Steinkohlengases unterscheidet man solche, welche brennbar sind, aber deren Flamme keine selbstleuchtende ist. Man nennt diese Bestandteile die Lichtträger. Es sind dies: Wasserstoff, Sumpfgas und Kohlenoxyd. Dagegen nennt man jene Bestandteile, die in der Flamme zunächst Kohlenstoff ausscheiden und deren Flamme daher selbstleuchtend ist, die Lichtgeber. Es sind dies in erster Linie das Äthylen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) und der Benzoldampf (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>). Daneben sind dann noch die sogenannten inaktiven Bestandteile vorhanden, es sind das jene, welche überhaupt nicht brennbar sind, nämlich Kohlensäure und Stickstoff. Schließlich kommen beim unreinen, d. h. noch nicht gereinigten Gase die Verunreinigungen in Betracht, die wir bereits

<sup>1)</sup> Die Zusammensetzung des Rohgases, siehe S. 317. — <sup>2)</sup> Aus Schäfer: Einrichtung und Betrieb eines Gaswerkes, 3. Aufl., S. 85.

bei der Besprechung der Entgasung der Kohle (S. 317) kennen gelernt haben, nämlich Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Cyanwasserstoff und Schwefelkohlenstoff.

Um zu erkennen, wie die Leuchtkraft des Gases von der Leuchtkraft seiner einzelnen Bestandteile beeinflusst ist, sei die nachstehende Tabelle<sup>1)</sup> betrachtet. In derselben kommen Wasserstoff und Kohlenoxyd überhaupt nicht vor, weil deren Leuchtkraft gleich Null ist. Das Methan dagegen (Sumpfgas), welches wir oben als Lichtträger, als mit nichtleuchtender Flamme brennend bezeichnet haben, erscheint in dieser Tabelle, weil die Flamme desselben nicht vollständig nichtleuchtend ist, sondern nur in so geringem Maße leuchtend, daß man es eben nicht als Lichtgeber betrachten kann.

Bestandteil	Oberer Heizwert von 150 Liter in Wärmeeinheiten	Leuchtkraft pro 150 Stunden- liter in HK	Wärmeaufwand pro HK-Stunde in Wärmeeinheiten
Methan . . . . .	1429	6	238
Äthan . . . . .	2485	35	71
Propan . . . . .	3537	54	65
Äthylen . . . . .	2237	68	33
Acetylen . . . . .	2079	240	8,6
Benzol . . . . .	5180	420	12

Das Benzol und das Acetylen haben also weitaus überwiegend die größte Leuchtkraft auf den gleichen Gaskonsum in Litern gerechnet. Aber auch der Wärmeaufwand, welcher erforderlich ist, um eine HK pro Stunde zu erzielen, ist bei diesen Gasen der geringste. Da nun Acetylen in nur verschwindend kleinen Mengen im Gase vorkommt, so ist das Benzol als der Hauptlichtgeber zu betrachten. Man kann daher die Leuchtkraft eines Gases ganz wesentlich erhöhen, wenn man demselben Benzoldampf zusetzt. Man nennt dies die Carburation des Gases, auf die wir gelegentlich der Besprechung des Wassergases (Kapitel 60) noch zurückkommen werden. Diese Carburation wird allerdings nicht immer nur mit Benzol vorgenommen, obwohl dies, wie obige Tabelle zeigt, das günstigste ist. Man kann auch eine Carburation durch Petroleumbenzin erreichen. Dieses enthält keine Benzolkohlenwasserstoffe, sondern Kohlenwasserstoffe der gesättigten Reihe, z. B. Propan, Butan, Pentan u. dgl. Diese ergeben jedoch, wie obige Tabelle für Propan zeigt, eine viel geringere Lichtstärke als das Benzol. Die Leuchtkraft des Steinkohlengases hat heute nicht mehr dieselbe Bedeutung wie in früheren Zeiten. Früher war man auf die Kohlenwasserstoffe angewiesen, die im Gase enthalten sind und in der Flamme zunächst Kohlenstoff ausscheiden, der zu hoher Glut kommt und die Leuchtkraft in der offenen Flamme des Gases bewirkt. Man erzielte in den Schnittbrennern in der Horizontalen, und zwar senkrecht zur Flammenebene gemessen, bei 150 Liter Stundenkonsum etwa 12 bis 14 Kerzen, im Argandbrenner 14 bis 16 Kerzen. Heute wird das Gas beinahe ausschließlich zur Erhitzung der Glühkörper benötigt und daher spielt die Flammentemperatur die Hauptrolle, nicht aber der Gehalt an Kohlenwasser-

<sup>1)</sup> Aus Gaskursus 1906.

stoffen. Wie wir später bei Besprechung des Gasglühlichtes (Kap. 64) noch genauer sehen werden, ist sogar der Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen nachteilig, weil dieselben eine große Luftmenge zur Verbrennung benötigen und diese von dem Bunsenbrenner nicht so leicht angesogen werden kann.

In dem am meisten verwendeten Gasglühlichtbrenner (Auer C) erzielt man heute eine mittlere horizontale Lichtstärke von 70 bis 90 HK bei einem Verbrauch von 120 bis 140 Litern stündlich. Im Hängelichtbrenner normaler Größe 90 bis 110 HK unterer hemisphärischer Lichtstärke bei 100 bis 130 Litern stündlichem Gasverbrauch.

Heute ist die Flammentemperatur des Gases maßgeblich, da von dieser die Umsetzung des Heizwertes des Gases in Licht im Glühlicht abhängig ist. Für die Flammentemperatur des Gases kann man jedoch kein bequem festzusetzendes Maß finden. Außerdem wird das Steinkohlengas heute schon im ausgedehnten Maße zur Beheizung verwendet, und für diesen Zweck ist natürlich nicht oder nur in beschränkterem Maße die Flammentemperatur maßgeblich, sondern vornehmlich der Heizwert des Gases. Der Heizwert ist aber auch für die Gasglühlichtbeleuchtung insofern maßgeblich, als ja der Heizwert in Lichteffect umgesetzt werden soll. Nun ist zwar diese Umsetzung durch die Flammentemperatur beeinflusst, in der Art, daß die Umsetzung eine um so günstigere ist, je höher die Flammentemperatur ist, aber man kann, um wenigstens einen rohen Maßstab zu besitzen, doch den Heizwert des Gases als ein wichtiges Kennzeichen für die Güte des Gases betrachten; jedenfalls als ein besseres Kennzeichen für die Verwendungsfähigkeit als es die Leuchtkraft ist.

Die Festsetzung der Leuchtkraft des Gases, die in früheren Zeiten einen wichtigen Punkt in Verträgen zwischen Gaserzeuger und Gaskonsument darstellte, ist also heute gegenstandslos und sie sollte überall durch die Festsetzung des Heizwertes ersetzt werden. Deutschland ist in dieser Beziehung allen anderen Staaten vorausgegangen. Jetzt wird aber die Frage der Abschaffung der Leuchtkraftnorm auch in England diskutiert, doch muß es sich selbstverständlich um den wirklichen Ersatz der Leuchtkraftnorm durch die Heizkraftnorm handeln und nicht darum, außer der Leuchtkraftnorm auch noch den Heizwert festzusetzen<sup>1)</sup>, wie dies z. B. in London geschehen ist<sup>2)</sup>. Diese beiden Normen schließen einander sogar aus, weil heute durch den Zusatz von carburiertem Wassergas zum Steinkohlengas ein Gas von z. B. 16 HK Leuchtkraft einen wesentlich geringeren Heizwert hat, als wenn es sich um reines Steinkohlengas handeln würde; umgekehrt wird durch den Zusatz von uncarburiertem Wassergas der Leuchtwert stärker herabgesetzt als der Heizwert. Auch in Amerika wurde bereits eine Konferenz abgehalten<sup>3)</sup>, die sich mit dieser Frage befaßte. Ein Bericht über diesbezüglich vorbereitende Untersuchungen liegt bereits vor. Es wurden dort Heizwertbestimmungen von Kohlengas, carburiertem Wassergas und Gemische derselben ausgeführt, die Beziehungen zwischen Lichtstärke der offenen Flamme und der Heizwerte ermittelt, ferner wurde bestimmt, wieviel Gas für solche Zwecke gebraucht wird, für welche der Heizwert und die Leuchtkraft wichtig sind. Diese Untersuchungen haben ergeben, daß auch bei dem in Amerika zur Verteilung

<sup>1)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, S. 658; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 725. — <sup>2)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, S. 254; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 89. — <sup>3)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, S. 30; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 315.

kommenden Gasgemisch die Heizkraft im allgemeinen zwischen 4900 und 6200 Kal. lag. Die Untersuchung des Londoner Gases der Gas-Light & Coke Co. im Jahre 1908 bis 1909 ergab einen unteren Heizwert pro Kubikmeter zwischen 4440 und 4650 Kal.<sup>1)</sup> Leider sind hier keine Angaben über die Temperatur gemacht, für welche dieser Heizwert gilt.

Noch wichtiger als die absolute Höhe des Heizwertes des verteilten Gases ist die stets gleichbleibende Qualität des Gases<sup>2)</sup>. Sowohl die Größe der Flamme als auch die Temperatur der Flamme in einem Bunsenbrenner ist dadurch bedingt, ob das Gas mehr oder weniger der zur Verbrennung erforderlichen Luft durch die Injektordüse mit ansaugt. Ist der Heizwert des Gases ein schwankender, so ist auch dessen Luftbedarf ein veränderlicher, d. h. der Bunsenbrenner bringt, wenn er stets die gleiche Luftmenge ansaugt, was ja bei gleichem Druck stets der Fall ist, das eine Mal prozentuell mehr, das andere Mal weniger der zur Verbrennung erforderlichen Luft in die Flamme mit. Dementsprechend wird die Größe der Flamme eine verschiedene sein und dies ist für das Gasglühlicht ganz besonders nachteilig, weil die Flamme der Form des Glühkörpers und der Größe desselben genau angepaßt sein muß, um die günstigste Lichtwirkung zu ergeben. Bei großen Schwankungen im Luftbedarf kann sogar auch ein Rußen eintreten, wenn der Luftbedarf des Gases plötzlich sehr hoch ist und umgekehrt ein Zurückschlagen der Flamme, wenn der Luftbedarf plötzlich ein sehr geringer wird. Daher kommt auch das Flackern der Flamme, das sich namentlich beim Hängelicht bei Änderungen im Luftbedarf des Gases leicht einstellt. Aus all diesen Gründen soll der Heizwert des Gases niemals um mehr als 200 Kal. auf oder ab schwanken.

Man wird in einem Gasglühlichtbrenner mit der gleichen Gasmenge durchschnittlich viel mehr Licht gewinnen können, wenn das Gas z. B. dauernd den Heizwert von 4600 Kal. besitzt, als wenn es den Heizwert zwischen 5000 und 5500 Kal. wechselt. Im letzteren Falle wird nämlich niemals die Einstellung des Bunsenbrenners erzielt werden können, welche auch nur annähernd den günstigsten Effekt gibt, und dies ist viel maßgeblicher als die absolute Höhe des Heizwertes.

Als ein Übelstand ist es auch zu betrachten, wenn das Gas in verschiedenen Städten mit verschiedenem Heizwert abgegeben wird, wenn auch dieser Übelstand lange nicht so groß ist wie der Übelstand der schwankenden Zusammensetzung des Gases, das in einer und derselben Stadt abgegeben wird. Die Fabrikanten der Gasglühlichtbrenner dimensionieren ihre Brenner nach dem Gase, welches ihnen in ihrer Fabrik zur Verfügung steht oder nach dem Gase großer Städte, an welche sie die Hauptmenge ihrer Gasglühlichtbrenner liefern. Werden nun die gleichen Brenner an andere Gaswerke in andere Städte geliefert, so entsprechen diese natürlich dort nicht dem Heizwert bzw. dem Luftbedarfe des Gases und geben dann nicht die gleich günstigen Resultate. Es ist dabei nicht nur der Heizwert und der Luftbedarf des Gases maßgeblich, sondern auch das spezifische Gewicht desselben, weil von diesem die Ausströmungsgeschwindigkeit bei einem bestimmten Druck abhängt.

Um nun das Gas in den verschiedenen Städten möglichst einheitlich zu gestalten, fand in Karlsruhe eine Konferenz der Gasanstaltschemiker statt,

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 20. — <sup>2)</sup> Ebend. 1910, S. 945.

welche als ein normales Gas ein solches bezeichnete, das einen oberen Heizwert von 5200 Kal. bei 0° und 760 mm Barometerstand besitzt. Betreffs der sonstigen Eigenschaften eines normalen Steinkohlengases betonte diese Konferenz gleichzeitig, daß die Bestimmung der Leuchtkraft entbehrlich sei und daß das Gas bis zu 25 Proz. Kohlenoxyd enthalten dürfe; letzteres mit Rücksicht auf den Zusatz von Wassergas. Schwefelwasserstoff dürfe das Gas nicht enthalten, dagegen könnten die anderen Schwefelverbindungen im Gase nicht begrenzt werden, da es heute kein praktisches Mittel gäbe, um dieselben leicht zu entfernen.

Diese in der Konferenz in Karlsruhe festgesetzte Norm darf jedoch nicht so aufgefaßt werden, als ob damit gesagt werden sollte, daß die Qualität eines Gases für Beleuchtungszwecke ausschließlich durch den Heizwert desselben bedingt sei. St. Claire Deville hat zwar zu zeigen versucht, daß die Leuchtkraft im Gasglühlicht ungefähr proportional dem Heizwerte des Gases sei, es hat sich jedoch gezeigt, daß die Flammentemperatur und das Flammenvolumen dabei doch noch von bedeutendem Einfluß sind.

So haben z. B. Mayer & Schmiedt<sup>1)</sup> Versuche mit Steinkohlengas unter Zusatz von 10 bis 75 Proz. Wasserstoff und 15 bis 60 Proz. Kohlenoxyd gemacht. Die Gasgemische hatten dabei einen Heizwert von 3200 bis 5250 Kal. Es ergab sich, daß bei höherem Gaskonsum die Lichtzunahme pro Kalorie nicht mehr die gleiche wie bei geringerem ist. Dagegen ist die gesamte Ausbeute an Kerzen pro Kalorie bei höherem Gaskonsum eine größere<sup>2)</sup>. Ferner läßt sich aus diesen Versuchen ersehen, daß bei den theoretischen Grenztemperaturen der Flamme, die zwischen 1929 und 2033° liegen, bei Wassergaszusatz Schwankungen von 350 bis 400 Kerzen und bei Kohlenoxydzusatz sogar Schwankungen zwischen 300 und 450 Kerzen vorkommen. Eine Bestätigung der Regel, daß die Leuchtkraft des Gasglühlichtes unter sonst gleichen Umständen nahezu proportional der in der Zeiteinheit zugeführten Wärmemenge sei und daher proportional dem Heizwerte des Gases angenommen werden könne, ist also aus diesen Versuchen nicht zu entnehmen.

Der Verfasser betonte auch, daß die beiläufige Proportionalität zwischen Heizwert und Leuchtkraft im Gasglühlicht nur dann auftrete, wenn dem Gase im Brenner die theoretische Primärluftmenge, welche zur vollkommenen Verbrennung nötig ist, zugeführt werde. Die Versuche von Mayer & Schmiedt und von St. Claire Deville sind unter Zufuhr der theoretischen Primärluftmenge durchgeführt, entsprechen daher nur der Leuchtkraft des Preßgases oder des Preßluftlichtes. Im gewöhnlichen stehenden oder hängenden Gasglühlicht wird ein Gas von geringerem Heizwert auch schon deshalb besser ausgenutzt als ein Gas von hohem, weil es die zur Verbrennung erforderliche Luftmenge, wie schon erwähnt, leichter ansaugen kann. Es darf also von einer Proportionalität zwischen Heizwert und Leuchtkraft des Gases nicht gesprochen werden.

Es wäre für die Entwicklung der Gasindustrie sehr hinderlich, wenn die Heizkraft des Gases in der Weise festgelegt würde, daß ein Gas von geringerem Heizwert als 5000 Kal. nicht abgegeben werden soll. In dem Karlsruher Beschlusse ist dies allerdings auch nicht ausgesprochen, denn mit diesem wurde ja nur der heute übliche Heizwert des Gases ausgesprochen.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 1137. — <sup>2)</sup> Jahrbuch über die Fortschritte der Gasbeleuchtung 1909, S. 7.

Wie wir gesehen haben, sind die Schwankungen in der Zusammensetzung und also auch im Heizwerte des Gases während der Entgasung der Kohle (S. 317) ganz beträchtlich. Es ist also nicht immer ganz leicht, den Heizwert des Gases vollkommen gleichbleibend zu halten. Wesentlich erleichtert wird dies, wenn man dem Gase Wassergas zusetzt, es kann dies sowohl carburiertes als auch uncarburirtes Wassergas sein. Im ersteren Falle kann man durch den Carburationsgrad des Wassergases den Heizwert beliebig regeln, worauf wir im Kapitel 60 „Wassergas“ zu sprechen kommen. Im letzteren Falle erfolgt die Regelung des Heizwertes durch den Prozentsatz an uncarburirtem Wassergas, welcher dem Steinkohlengas beigemischt wird. Durch den Wassergaszusatz ist es leicht möglich, den Heizwert des Gases bis auf 100 Kal. konstant zu erhalten. Der Zusatz erfolgt heute gewöhnlich derart, daß der obere Heizwert des Gases bei 0° auf 5000 Kal. erhalten wird. Dies entspricht einem Heizwert von 4750 Kal. bei 15°, oder einem unteren Heizwert von 4500 Kal. bei 0°, oder einem unteren Heizwert von 4265 Kal. bei 15°. Die Leuchtkraft beträgt dann gewöhnlich 10 bis 12 HK bei 150 Litern Stundenkonsum.

Das Gas muß stets vollständig frei von Schwefelwasserstoff sein, und es ist zweckmäßig, den Gehalt auch an anderen Schwefelverbindungen derart festzusetzen, daß derselbe 50 bis 70 g pro 100 m<sup>3</sup> nicht übersteigt.

Schließlich sei noch bemerkt, daß Gaswerke, welche in beträchtlicher Höhe liegen, wie dies z. B. in Innsbruck der Fall ist, zufolge des geringen Luftdruckes ein sehr verdünntes Gas abgeben und daß solche daher ein reicheres heizkräftigeres Gas abgeben müssen, um die Konsumenten zu befriedigen<sup>1)</sup>.

Die Entgasung der anderen festen Brennmaterialien (Holz, Torf, Braunkohle oder dgl.) erfolgt in derselben Weise wie die Entgasung der Steinkohle in der Retorte. Speziell das Holzgas war zu Anfang des vorigen Jahrhunderts ein im ausgedehnteren Maße verwendetes Beleuchtungsmittel als das Steinkohlengas. München war durch lange Zeit hindurch ausschließlich mit Holzgas beleuchtet und dieses leistete trotz seines hohen Gehaltes an Kohlenoxyd, der heute so häufig im Gase getadelt wird (vgl. Wassergas, Kap. 60), vorzügliche Dienste. Es wurde von Pettenkofer eingeführt, der sich in der Leuchtgasindustrie dadurch ein außerordentliches Verdienst erwarb. Die Vorteile des Holzgases waren zu jener Zeit besonders hervorragend, da das Holz noch verhältnismäßig billig war und die Reinigung des Holzgases leichter durchzuführen war als die des Steinkohlengases. Das aus dem Holz erzeugte Gas enthält nämlich keinerlei Schwefelverbindungen, kein Ammoniak und auch keine Cyanverbindung. Es genügt daher eine vollständige Kühlung und Abscheidung des Teeres und die Abscheidung der Kohlensäure, um das Gas zur Verwendung brauchbar zu machen. Allerdings ist der Kohlensäuregehalt des Gases ein außergewöhnlich hoher. Er beträgt nämlich 15 bis 25 Proz. und es sind pro 100 m<sup>3</sup> Gas 130 kg gebrannter Kalk erforderlich, um die Kohlensäure zu entfernen<sup>2)</sup>.

Zur Entgasung des Holzes genügt eine Temperatur von 700 bis 900°. Aus diesem Grunde werden gewöhnlich eiserne Retorten zur Holzentgasung angewendet. Das Holz, welches oft große Quantitäten von Wasser enthält,

---

<sup>1)</sup> Peischer, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 219. — <sup>2)</sup> v. Jüptner, Chem. Technol. d. Energien, 3. Bd., S. 214.

ist zweckmäßig vorher zu trocknen, was man mit Hilfe der Abgase erreichen kann. Auch bei der Holzentgasung ist die Art der Zersetzung von der Art der Erhitzung abhängig. Auch bei der Entgasung des Holzes hängt der Grad der Zersetzung der Teerdämpfe von der Temperatur ab, welche dieselben zu erleiden haben. Erhitzt man das Holz nur auf geringe Temperatur, so erhält man eine große Menge von Teer. Läßt man dagegen die Teerdämpfe in längerer Berührung mit glühenden Oberflächen, so zersetzen sich dieselben unter Bildung beträchtlicher Mengen gut leuchtenden Gases. Diesen Umständen ist es auch zuzuschreiben, daß die Angaben über die Ausbeute, Leuchtkraft und Zusammensetzung des Holzgases so außerordentlich verschieden sind, denn sie sind eben bei verschiedenen Erhitzungsmethoden erhalten worden.

Im großen ganzen geben 100 kg Holz etwa:

Gas . . . . .	34—40 m <sup>3</sup>
Holzkohle. . . . .	25—30 kg
Teer . . . . .	4—5 „
Dünnen Holzessig . . . . .	40—45 „

Die Verkohlung des Holzes unterscheidet sich also von der Verkokung der Steinkohle vornehmlich dadurch, daß sich eine viel größere Menge wässriger Produkte bildet. Dieser sogenannte Holzessig enthält beträchtliche Mengen von Essigsäure, Aceton und Methylalkohol, welche Produkte als wertvolle Nebenerzeugnisse der Holzdestillation anzusehen sind. Der Teer enthält beträchtliche Mengen von Kreosot.

Nach Pettenkofer ergaben 100 kg verschiedener Holzsorten folgende Ausbeuten:

Weidenholz . . . . .	37,4 m <sup>3</sup> Gas
Tannenholz . . . . .	35,8 „ „
Lindenholz . . . . .	35,7 „ „
Birkenholz . . . . .	35,1 „ „
Eichenholz . . . . .	34,0 „ „
Buchenholz . . . . .	33,4 „ „
Fichtenholz . . . . .	32,5 „ „
Lärchenholz . . . . .	31,2 „ „

Die Gattung des Holzes scheint somit auf die Ausbeute keinen besonderen Einfluß zu haben, dagegen ist, wie erwähnt, die Art der Erhitzung von Wichtigkeit. Diese übt namentlich auch auf die Zusammensetzung des erzeugten Holzgases einen großen Einfluß und wurden in dem gereinigten, d. h. von Kohlensäure befreiten Gase nach Barth folgende Werte gefunden <sup>1)</sup>:

Wasserstoff . . . . .	18,4 bis 48,7 Proz.
Kohlenoxyd . . . . .	21,3 „ 61,8 „
Sumpfgas und andere leichte Kohlenwasserstoffe . . . . .	9,4 „ 35,3 „
Schwere Kohlenwasserstoffe . . . . .	6,5 „ 10,6 „

Das Gas enthält auch noch Dämpfe der leicht flüchtigen Verbindungen, nämlich Essigsäure, Kreosot, Aldehyd, Methylalkohol usw. Essigsäure und Kreosot werden von der kalten Reinigungsmasse zurückgehalten. Die anderen Dämpfe bleiben dagegen im Gase, doch schaden diese demselben nicht. Der hohe Gehalt des Holzgases an schweren Kohlenwasserstoffen sichert demselben

<sup>1)</sup> v. Jüptner, Chem. Technol. d. Energien, 3. Bd., S. 215.

eine beträchtliche Leuchtkraft, die meist über 20 Kerzen pro 150 Liter Stundenkonsum beträgt.

Die Entwicklung des Holzgases bei der Erhitzung erfolgt sehr plötzlich. Die ganze Dauer der Destillation übersteigt kaum zwei Stunden.

Das spezifische Gewicht des Holzgases ist mit Rücksicht auf seinen höheren Gehalt an Kohlenoxyd und schweren Kohlenwasserstoffen ein höheres als das des Steinkohlengases und beträgt etwa 0,7 Proz.

Auch Torf kann man in Retorten vergasen. Reissig<sup>1)</sup> erhielt aus 100 kg Münchener Specktorf 24,7 m<sup>3</sup> Gas. Das gereinigte Gas enthielt bei zwei Versuchen :

	Versuch I	Versuch II
	Proz.	Proz.
Wasserstoff . . . . .	27,50	35,18
Kohlenoxyd . . . . .	20,33	18,34
Sumpfgas . . . . .	42,65	33,00
Schwere Kohlenwasserstoffe . . . .	9,52	13,16

Auch Braunkohle wird in manchen Gaswerken, die in der Nähe der Braunkohlengebiete liegen, zur Gaserzeugung verwendet, gewöhnlich, indem die Braunkohle der Steinkohle beigemischt wird. In manchen Werken jedoch kommt auch Braunkohle allein zur Anwendung. Es sind hierüber nur wenige Daten veröffentlicht worden, so z. B. gibt Tasche<sup>2)</sup> an, daß aus 100 kg Braunkohle 17,6 m<sup>3</sup> Gas und 32 bis 36,4 kg Koks gewonnen wurden. Diese Angaben müssen sich jedoch auf eine sehr junge Braunkohle beziehen, da z. B. die böhmischen Braunkohlen 45 bis 50 Proz. Koks ergeben, und auch eine weit größere Gasmenge liefern, als hier angegeben ist. Man kann die Gasausbeute aus 100 kg guter Braunkohle mit 15 bis 30 m<sup>3</sup> und die Koksausbeute mit 30 bis 50 kg annehmen. Auch die Braunkohle gibt ein sehr kohlenensäurereiches Gas, wenn auch nicht so kohlenäurereich wie das Holzgas. Es ist jedoch nicht üblich, die Kohlensäure aus dem Braunkohlengas zu entfernen, da dies wegen der großen Mengen des hierzu erforderlichen Kalkes beträchtliche Kosten verursacht, namentlich durch die hohen Arbeitslöhne und weil der erhaltene kohlenäure Kalk keine Verwendung hat.

Da sich bei der trockenen Destillation aller organischen Substanzen brennbare Gase entwickeln, läßt sich auch aus den Abfallprodukten der Städte: Müll und Schlamm, Gas gewinnen. Die Müllvergasung in Retorten ist von Loos in Wien ausgearbeitet worden. Allerdings ist dabei ein Aufwand an Unterfeuerung erforderlich, der zuzüglich der Arbeitslöhne den Wert des erzeugten Gases übersteigt, doch liegt der Vorteil der Müllvergasung in der vollständigen Unschädlichmachung des Mülls, die allerdings auch durch die Müllverbrennung, wie sie heute bereits vielfach geübt wird, erzielt wird.

Die Vergasung des aus den Abwässern gewinnbaren Schlammes haben kürzlich Bayer und Fabre<sup>3)</sup> empfohlen. Sie entwässern den Schlamm zunächst auf einem Filter, unter dem ein Vakuum erzeugt wird, dann wird durch Preßluft die Schlammenschicht abgehoben und getrocknet. Die Vergasung erfolgt

<sup>1)</sup> v. Jüptner, Chem. Technol. d. Energien, Bd. 3, S. 215. — <sup>2)</sup> Ebend. S. 216. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1113.

bei 600 bis 700°. Aus 100 kg Schlamm wurden 23,8 m<sup>3</sup> Gas von 4100 bis 4800 Kal. (unterem?) Heizwert, 0,957 kg Ammoniak und 52,63 kg Koks von nur 2300 Kal. Heizwert gewonnen. Der Koks hat zufolge des hohen Aschengehaltes des Schlammes (42 Proz.) einen so niedrigen Heizwert, der nicht genügt, um den Schlamm zu trocknen; es müssen vielmehr pro 100 kg Schlamm noch 2 kg Abfallkohle zugesetzt werden.

Sämtliche Gasarten, die wir bis jetzt besprochen haben, die bei der trockenen Destillation der festen Brennstoffe entstehen und die im wesentlichen aus Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen zusammengesetzt sind, lassen sich, wie wir schon gesehen haben, in der Hitze zersetzen, indem sich dabei Kohlenstoff abscheidet und ein wasserstoffreiches Gas gewonnen wird. Somit ist es möglich, aus Destillationsgasen ein sehr wasserstoffreiches Gas von geringem spezifischen Gewicht zu erhalten, welches für Ballonzwecke geeignet ist. Wir werden diese Umwandlung des Steinkohlengases unter dem Kapitel 63 „Ballongase“ besprechen.

## 52. Koksofengas.

Das Koksofengas unterscheidet sich vom Steinkohlengas nicht wesentlich durch seine Zusammensetzung (vgl. S. 645), sondern vielmehr durch seine Darstellung. Es ist das Nebenprodukt der Kokereien, in welchen Koks als Hauptprodukt durch die Entgasung der Kohle erzeugt wird. Dem Zwecke entsprechend wird in den Kokereien nicht der zurückbleibende Koks zur Erhitzung der Entgasungskammer benutzt, sondern das als Nebenprodukt abfallende Gas. Die heiztechnische Vervollkommnung der Koksöfen hat dahin geführt, daß nicht alles Gas zur Beheizung erforderlich ist, sondern ein großer Teil desselben überschüssig verbleibt. Zunächst wurde natürlich dieses Überschußgas in den Kokereien selbst zu allerhand Betriebszwecken verwendet, so z. B. zum Betriebe von Gasmotoren, zur Beheizung von Dampfkesseln usw.

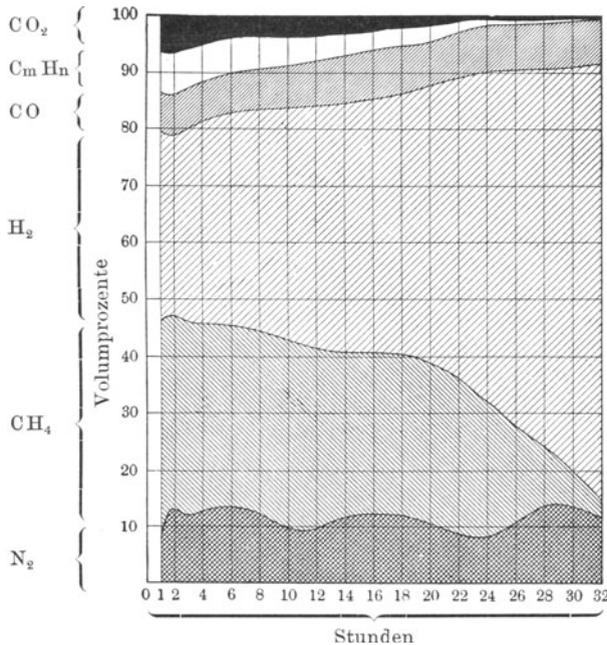
Da man zu diesem Zwecke keine großen Anforderungen an die Qualität des Gases stellt, so hat man stets wenig darauf geachtet, das Gas von hohem Heizwerte oder von besonders gleichbleibender Qualität zu erzeugen. Die Kammern der Koksöfen sind nicht wie die Retorten der Gaswerke aus ganzen Stücken gebildet, sondern aus einzelnen kleinen Steinen zusammengesetzt, und wenn man keine besondere Sorgfalt auf den Bau und die Erhaltung dieser Kammern legt, so können im Schamottemauerwerk Fugen entstehen, welche entweder wesentliche Gasverluste bedingen, indem Gas durch diese Fugen in die Heizkanäle austritt oder, wenn man mit dem Exhaustor arbeitet und in den Kammern einen Unterdruck aufrecht erhält, so erhält das Gas dann einen hohen Gehalt an Stickstoff. Durch sorgfältigen Bau und sorgfältige Erhaltung der Koksöfen ist es aber möglich, diesem Übelstande abzuhelfen, und dann ist das Gas auch zu Beleuchtungszwecken geeignet.

In den Kokereien ist es üblich, die Ausstehzeiten sehr lange zu wählen, so daß verhältnismäßig breite Kammern angewendet werden können und viel Kohle auf einmal in einer Kammer entgast werden kann. Es sind dann 48stündige oder noch längere Chargen erforderlich, um eine vollkommene Entgasung der Kohle bis ins Innere der Ladung zu erzielen. Das hat aber zur weiteren Folge, daß die Qualität des Gases in diesen großen Zeiträumen stark schwankt, weil beim Beginn der Entgasung durch viele Stunden ein

reiches heizkräftiges Gas erzeugt wird, während am Schluß der Entgasung ein sehr armes Gas geliefert wird. Um dem auszuweichen, kann man eine große Anzahl von Koksofenkammern, die ja auf den großen Kokereien stets vorhanden ist, derart abwechselnd chargieren, daß man im Durchschnitt ein gleichbleibendes Gas erhält. Andererseits kann man aber auch durch die sogenannte fraktionierte Entgasung ein beliebig hochwertiges Gas erzeugen.

Die Zusammensetzung des Koksofengases ändert sich im Laufe der Entgasung in ungefähr gleicher Weise wie die Zusammensetzung des Steinkohlengases. Nur wird durch die längere Dauer der Entgasung der Koks stark

Fig. 292.



ausgast, und daher besitzt das Koksofengas am Schluß der Destillation eine wesentlich größere Menge von Wasserstoff und nur mehr ganz geringe Mengen von Sumpfgas. Fig. 292 zeigt die Änderung der Gaszusammensetzung während der Entgasung innerhalb 32 Stunden.

Die fraktionierte Entgasung besteht nun darin, daß man das in der ersten Zeit der Entgasung gewonnene reiche Gas (auch Reichgas genannt) in einem besonderen Behälter aufspeichert, und das in der letzten Zeit erzeugte Gas (Armgas) zur Beheizung der Koksöfen verwendet.

Trotz aller dieser Vorsichtsmaßregeln ist das Koksofengas im allgemeinen doch weniger heizkräftig als das gewöhnliche Steinkohlengas, was meistens durch einen höheren Stickstoffgehalt des Koksofengases bedingt ist. Dies ist eben eine Folge des Eintretens der Verbrennungsgase in die Entgasungskammern. So z. B. berichtet Hase<sup>1)</sup> über ein Koksofengas, welches über

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 101; vgl. auch Schreiber, ebend. 1910, S. 244.

16 Proz. Stickstoff enthielt. Auch Sauerstoff kommt oft in großen Mengen vor, wenn infolge zu starken Absaugens der Gase Luft durch eine undichte Stelle außerhalb der Feuerung angesogen wird.

Ein Gas mit hohem Stickstoff- und Sauerstoffgehalt ist allerdings zur Beleuchtung wenig geeignet, insbesondere da durch die Undichtheiten nicht stets die gleichen Stickstoff- und Sauerstoffmengen in das Gas gelangen und somit starke Schwankungen in der Zusammensetzung des Gases vorkommen. Aber wie bereits erwähnt, kann eine so ungünstige Zusammensetzung bei guter Aufsicht über die Kammern vermieden werden. So z. B. wird aus der Kokerei in Everett, Amerika, die Zusammensetzung des in fraktionierter Entgasung gewonnenen Reichgases und Armgases wie folgt berichtet<sup>1)</sup>:

Bestandteil	Reichgas	Armgas
	Vol.-Proz.	Vol.-Proz.
Wasserstoff . . . . .	44,3	51,8
Methan . . . . .	37,4	29,2
Kohlenoxyd . . . . .	6,2	5,0
Schwere Kohlenwasserstoffe . .	5,0	2,5
Kohlensäure . . . . .	2,9	2,0
Sauerstoff . . . . .	0,1	0,4
Stickstoff . . . . .	4,1	9,1
Heizwert . . . . .	6300 Kal.	4580 Kal.
Leuchtkraft . . . . .	16,3 HK	8,0 HK

Die Menge des in Koksöfen erhältlichen Überschußgases ergibt sich wie folgt: 60 Koksöfen erzeugen in 24 Stunden 60 000 bis 69 000 m<sup>3</sup> Gas und verbrauchen zur Unterfeuerung 36 000 bis 39 000 m<sup>3</sup>. Es bleiben somit für die Abgabe 24 000 bis 30 000 m<sup>3</sup>, das ist 35 bis 50 Proz. des erzeugten Gases, verfügbar.

Förster<sup>2)</sup> erwähnte eine statistische Zusammenstellung, wonach im Oberwerksbezirksamt Dortmund im Jahre 1908 täglich 60 000 t Kohlen verkokt wurden. Bei einer Ausbeute von 290 m<sup>3</sup> pro Tonne könnten je 85 m<sup>3</sup> Reichgas abgegeben werden, während der Rest zur Beheizung der Koksöfen erforderlich ist. Würden alle Kokereien in dieser Weise vorgehen, so ständen täglich über 5 000 000 m<sup>3</sup> Reichgas zur Verfügung, und die rheinisch-westfälischen Kokereien wären dann in der Lage, die ganze Jahresabgabe aller Städte der Rheinprovinz, die im Jahre 1907 230 000 000 m<sup>3</sup> betrug, innerhalb drei Monaten zu decken. Rechnet man den Kubikmeter mit 2  $\mathcal{J}$ , so würden dadurch nach Försters Meinung dem Nationalvermögen jährlich 20 000 000  $\mathcal{M}$  zufließen.

In dieser Annahme ist jedoch ein Irrtum enthalten<sup>3)</sup>. Würde z. B. ganz Deutschland mit Koksofengas versorgt und würde dementsprechend der Gaskoks vollständig verschwinden, so müßten die Kokereien um so viel mehr Koks machen, als jetzt in den Gaswerken erzeugt wird. Dadurch würde aber ebensoviel Gas wieder überschüssig bleiben, als die Kokereien jetzt überschüssig haben, so daß also der nationalökonomische Vorteil effektiv nicht

<sup>1)</sup> Jahrbuch über die Fortschritte 1909, S. 67. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 385. — <sup>3)</sup> Düsseldorfer Ztg. vom 23. März 1911.

vorhanden ist. Trotzdem bietet natürlich die Versorgung mit Koksofengas in bestimmten Fällen große Vorteile. So berichtet Förster z. B., daß in Mülheim a. d. Ruhr der Neubau eines Gaswerkes 3 000 000  $\mathcal{M}$  gekostet hätte. Dies würde bei 7 Proz. Verzinsung und Amortisation 3  $\text{§}$  pro Kubikmeter betragen haben, zuzüglich der Erzeugungskosten mit 2  $\text{§}$  würde also das Gas 5  $\text{§}$  pro Kubikmeter gekostet haben. Dagegen konnte für Koksofengas ein Schluß mit nur 2,5  $\text{§}$  pro Kubikmeter erzielt werden.

Seit diesem ersten Abschluß, welcher zwischen der Stadt Mülheim a. d. Ruhr und später auch Essen und den Stinnesschen Werken stattfand, hat sich die Versorgung mit Koksofengas auf viele Städte, speziell in Westfalen erstreckt. Zunächst kam dabei allerdings nur das Industriegebiet in Frage, in welchem eine größere Anzahl großer Städte in geringer Entfernung von den Kokereien liegt. Aber durch Hochdruckleitungen (S. 588) läßt sich das Gas auch auf weite Entfernung leiten, und das Koksofengas kann daher unter Umständen auch zur Versorgung entfernt gelegener Städte dienen. Es bestand sogar die Absicht, das ganze rheinisch-westfälische Industriegebiet mit Koksofengas zu versorgen. Tatsächlich haben sich außer den Städten Essen und Mülheim a. d. Ruhr auch Gelsenkirchen, Borbeck<sup>1)</sup>, Barmen u. a. der Koksofengasversorgung zugewendet.

In Mülheim a. d. Ruhr wird das Koksofengas auf eine Entfernung von 13 km durch eine 200 mm weite Leitung unter 1000 bis 1500 mm Druck befördert. Barmen bezieht sein Koksofengas auf eine Entfernung von 45 km. Auch an der Saar werden Vorbereitungen zur Versorgung mit Koksofengas getroffen. Beträchtliche Fortschritte hat die Versorgung der Städte mit Koksofengas auch in Amerika gemacht. So z. B. wird in Camden, New Jersey, das Gas 90 Meilen weit den Städten Trenton, New Brunswick und Plainfield zugeführt. Ebenso sind die Städte Duluth, Superior, teilweise auch Baltimore und Boston, mit Koksofengas versorgt. Die modernste Anlage ist in Indianapolis, wo Leuchtgas zu 9  $\text{§}$  pro Kubikmeter an die Konsumenten abgegeben wird. Aus der Kokerei in Everett (Amerika) wird die Stadt Boston und Umgebung mit Koksofengas versorgt.

In den meisten Fällen wird die fraktionierte Entgasung angewendet, wobei, wie erwähnt, das anfänglich reiche Gas und das später auftretende arme Gas getrennt wird. Das erstere entsteht in Everett in den ersten 14 Stunden und das letztere in den weiteren 19 Stunden.

Die Städte können sich natürlich nur dann dazu entschließen, den Betrieb ihrer Gaswerke einzustellen und zur Anwendung des Koksofengases überzugehen, wenn dasselbe seitens der Kokereien zur Stadt gefördert billiger zu stehen kommt, als das Gas im eigenen Betriebe. So z. B. wird in Barmen<sup>2)</sup>, das sein Koksofengas zu 3,5 bis 4,5  $\text{§}$  bezieht, ein jährlicher Überschuß von 100 000  $\mathcal{M}$  zugunsten der Gemeinde durch Anwendung des Koksofengases erwartet. Die finanziellen Vorteile sind aber nicht überall so offensichtlich. Manche Städte vermögen ihr Steinkohlengas billiger selbst zu erzeugen, und andererseits ist natürlich auch die örtliche Lage sehr wichtig, weil die Kosten der Leitung doch oft zu beträchtliche werden können.

Das Projekt, alle westfälischen und rheinischen Städte mit Koksofengas zu versorgen, dürfte daher nicht durchdringen.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 950. — <sup>2)</sup> Ebend. 1910, S. 338 u. 1911, S. 417.

Lürmann hat in einem Artikel in „Stahl und Eisen“ berechnet, daß der Reingewinn, welcher aus der Abgabe von Koksofengas für das Koks-  
werk resultiert, pro 1 t Koks 3,18  $\mathcal{M}$  beträgt, das wären etwa 15 Proz. des  
Gaspreises. Er nimmt dabei einen Preis von 2,5  $\mathcal{J}$  für das Gas an, dazu  
kommen noch die Kosten der Fernleitung mit 1  $\mathcal{J}$  pro 100 m<sup>3</sup> und km, so  
daß bei einer Entfernung von 100 km die Kosten des Gases bereits 3,5  $\mathcal{J}$   
beträgen würden. Dazu kommen noch 5 bis 10 Proz. Gasverluste, so daß die  
Gesamtkosten auf 3,7  $\mathcal{J}$  kommen würden, also höher als die Kosten der Er-  
zeugung von Steinkohlengas in den meisten Fällen in den größeren Gas-  
werken betragen. Lürmann gibt ferner eine Berechnung über die Fern-  
leitung von Koksofengas auf eine Strecke von 40 km bei einer Jahresproduktion  
von 46 000 000 und 97 000 000 m<sup>3</sup>. Es stellen sich danach:

	Bei 46 000 000 m <sup>3</sup> Jahresverbrauch $\mathcal{J}$	Bei 97 000 000 m <sup>3</sup> Jahresverbrauch $\mathcal{J}$
Betriebsausgaben in Pfennig pro Kubikmeter	5,92	5,54
Betriebseinnahmen in Pfennig pro Kubikmeter	3,23	3,34
Somit reine Erzeugungskosten . . . . .	2,69	2,20
Verzinsung und Amortisation . . . . .	1,99	1,16
Summe . . . . .	4,68	3,36

Ein Nachteil bei der vollständigen Versorgung der Städte mit Koksofen-  
gas ist die Abhängigkeit vom Betriebe der Kokereien. Treten dort z. B.  
Streiks ein, so kann es vorkommen, daß die Lieferung des Koksofengases  
plötzlich versagt. Ist daher eine Stadt auf die Versorgung mit Koksofengas  
angewiesen, so wird es notwendig sein, daß dieselbe zur Sicherung des öffent-  
lichen Beleuchtungsdienstes eine besondere Reserveanlage in Bereitschaft hält.  
Zu diesem Zwecke sind Anlagen für carburiertes Wassergas (Kapitel 60) be-  
sonders geeignet.

Aber nicht nur der vollständige Ersatz des Steinkohlengases durch Koks-  
ofengas ist zu berücksichtigen, sondern auch die Verwendung des Koks-  
ofengases als Zusatzgas derart, wie man es heute mit dem Wassergaszusatz  
betreibt. Die Gasverteilungszentralen leiden an dem Übelstande, daß der  
Konsum im Winter ein wesentlich höherer ist als im Sommer (vgl. S. 556).  
Deshalb müssen alle Apparate des Gaswerkes für den größten Konsum im  
Winter eingerichtet sein, und sie werden im Sommer ungenügend ausgenützt.  
Steht dagegen ein Gas zur Verfügung, welches fallweise rasch und in großen  
Quantitäten hergestellt werden kann, wie z. B. das Wassergas oder das  
hier erläuterte Koksofengas, welches zwar nicht rasch erzeugt wird, aber jeden  
Augenblick zur Verfügung steht, so kann dadurch an Anlagekosten im Gas-  
werke gespart werden. Es ergibt sich dann ein sehr gleichmäßiger Gaswerks-  
betrieb, da alle Apparate das ganze Jahr hindurch gleichmäßig verwendet  
werden. In Essen a. d. Ruhr hat man auf diese Weise im Jahresdurchschnitt  
46 Proz. (1906 bis 1907) Koksofengas zugesetzt. Allerdings stellten sich dort  
anfänglich Schwierigkeiten ein, die in der Ungleichmäßigkeit des gelieferten  
Gases bestanden. Durch eine scharfe und ununterbrochene Betriebskontrolle  
und Registrierung des Heizwertes wurden diese Schwierigkeiten jedoch herab-  
gemindert.

Die Vorteile des Koksofengaszusatzes liegen in der Stütze der Entwicklung der Industrie des betreffenden Gebietes, in dem volkswirtschaftlichen Vorteile zufolge der weitgehenden Ausnützung der Kohle und in der Verbilligung der Produktionskosten im Großbetriebe. Auch der Umstand, daß die großen Kokereien rascher mit dem Fortschritte gehen können als die Gaswerke, weil ihnen mehr Geld für Experimente zur Verfügung steht, ist zu beachten <sup>1)</sup>. Die Nachteile hingegen für den Gaswerksbetrieb sind die Abhängigkeit von einer fremden Industrie, die Verquickung öffentlicher und privater Interessen, der Verlust an Einheitlichkeit des Betriebes, der Verlust an Betriebsreserve und dadurch hervorgerufene geringere Betriebssicherheit und schließlich der Umstand, daß keine Garantie wegen ungestörter Gaslieferung geboten werden kann.

Es wäre noch die Frage zu erörtern, ob es vorteilhaft ist, auf dem Gaswerk selbst Koksöfen mit Gasheizung zu errichten <sup>2)</sup>. Solche Koksofengasanlagen würden pro 100 m<sup>3</sup> erzeugten Gases 778 kg Koks liefern, und es würden pro 100 kg Koks nur 9 m<sup>3</sup> Gas verfügbar bleiben. Diese Koksöfen könnten daher nur so eingerichtet sein, daß sie fallweise entweder mit Koks, mit Kohlengas oder mit Wassergas beheizbar wären.

In den modernen Kokereien wird dem Koksofengas das Benzol entzogen, um dasselbe zu verwerten. Dies ist natürlich für die Verwendung des Gases nicht vorteilhaft, da hierdurch der Heizwert des Gases herabgesetzt wird. Es wird z. B. über einen Fall berichtet <sup>3)</sup>, bei welchem der Heizwert, der ohnedies nur 3133 Kal. betragen hatte, auf 2974 Kal., das ist um 5 Proz. sank, so daß die Koksöfen, welche ohnedies schon ohne Gasüberschuß arbeiteten, eine zu schwache Heizung erhielten. Solche krasse Fälle sind allerdings nur bei der Anwendung schlechter Kohle möglich und treten wohl im allgemeinen nicht auf.

Die Benzolgewinnung aus dem Koksofengas geht wie folgt vor sich: Das Gas wird in Teeröl gewaschen, und zwar mit einer Fraktion, welche zwischen 200 und 300° siedet. In den Wäschern rieselt das Waschöl dem Gasstrom entgegen und löst dabei das Benzol aus dem Gase auf. Sobald das Waschöl mit Benzol gesättigt ist, wird es der Destillation unterworfen, nachdem es zunächst einen Wärmeaustauscher passiert hat, in welchem es auf 75 bis 80° vorgewärmt wird. Dann erfolgt eine weitere Vorwärmung mittels Dampf auf 125 bis 140°, und schließlich gelangt das Öl in einen Abtreibeapparat, wo das Benzol ausgetrieben wird. Das letztere wird in einem Wasserkühler verdichtet, wo sich Benzol und Wasser abscheiden. Das von Benzol befreite Öl gelangt wieder zum Wäscher, nachdem es vorher den obengenannten Vorwärmer passiert und so auf 60°, schließlich in einem Ölkühler auf 20° abgekühlt wurde. Das aus dem Waschöl gewonnene Benzol ist 50gradig. Es wird in einem, mit dem beschriebenen ähnlichen Apparat auf 90gradiges Benzol verarbeitet. Dieses enthält dann noch Schwefelverbindungen, namentlich Schwefelkohlenstoff und Thiophen. Letztere werden durch Behandlung mit Schwefelsäure und Natronlauge und darauffolgende Rektifikation entfernt, wodurch Reinbenzol gewonnen wird.

Wir wollen nun die Koksöfen besprechen, wie sie sich im Laufe der Zeit entwickelt haben. Ebenso wie man das Holz ursprünglich in Meilern ver-

<sup>1)</sup> Fürth, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1030. — <sup>2)</sup> Kobbert, ebend. 1907, S. 781. — <sup>3)</sup> Ebend. 1909, S. 452.

kohlte, indem man durch teilweise Verbrennung des Holzes die nötige Wärme erzeugte, um das Holz zu entgasen, ebenso erzeugte man auch den Koks durch Verbrennung eines Teiles desselben im Inneren der Verkokungskammern. Die Gase, welche dabei entstanden, enthielten natürlich große Mengen von Verbrennungsgasen, nämlich Kohlensäure und Stickstoff, so daß sie nicht als Steinkohlengas betrachtet werden können. So z. B. gab ein Ofen zu Seraing nach Ebelmen<sup>1)</sup> ein Gas von der nachstehenden Zusammensetzung:

Wasserstoff . . . . .	1,1 bis	6,3	Proz.
Methan . . . . .	0,4	„	1,7
Kohlenoxyd . . . . .	2,2	„	4,2
Kohlensäure . . . . .	9,6	„	13,1
Stickstoff . . . . .	77,9	„	83,3

Auch dieses Gas enthielt noch eine, wenn auch geringe Verbrennungswärme und konnte daher noch zur Dampfkesselheizung verwendet werden. Diese rohe Art mußte natürlich später der Verkokung der Steinkohle in Räumen mit Außenheizung weichen. Während jedoch die Steinkohlengasbereitung zu den verhältnismäßig kleinen Retorten griff, um für ein verhältnismäßig kleines Quantum Kohle eine möglichst große Heizfläche zu haben und dadurch eine rasche Verkokung bzw. Gasentwicklung zu erzielen, so suchte man bei den Kokereien möglichst große Mengen von Kohle auf einmal zu entgasen und mußte daher große Kammern verwenden. Diese Kammern werden immer von oben gefüllt. Hingegen ist das Herausnehmen des Kokes bei verschiedenen Systemen verschieden. Die Kammern können entweder stehend angeordnet sein, wonach der Koks durch Öffnen einer unten angebrachten Klappe herausfällt, oder sie können in geneigter Lage sein, wie wir dies bei den Schrägkammeröfen der Steinkohlengaserzeugung (S. 368) kennen gelernt haben, oder schließlich die Kammern der Koksöfen liegen horizontal, dann muß das Herausbringen des Kokes maschinell durch eine Ausdrückvorrichtung geschehen.

Der erste stehende Koksöfen, der sich in die Praxis einführte, ist der Appolt-Ofen. Derselbe ist auf gußeisernen Säulen aufgebaut und enthält nebeneinander eine Anzahl rechteckiger vertikaler Kammern.

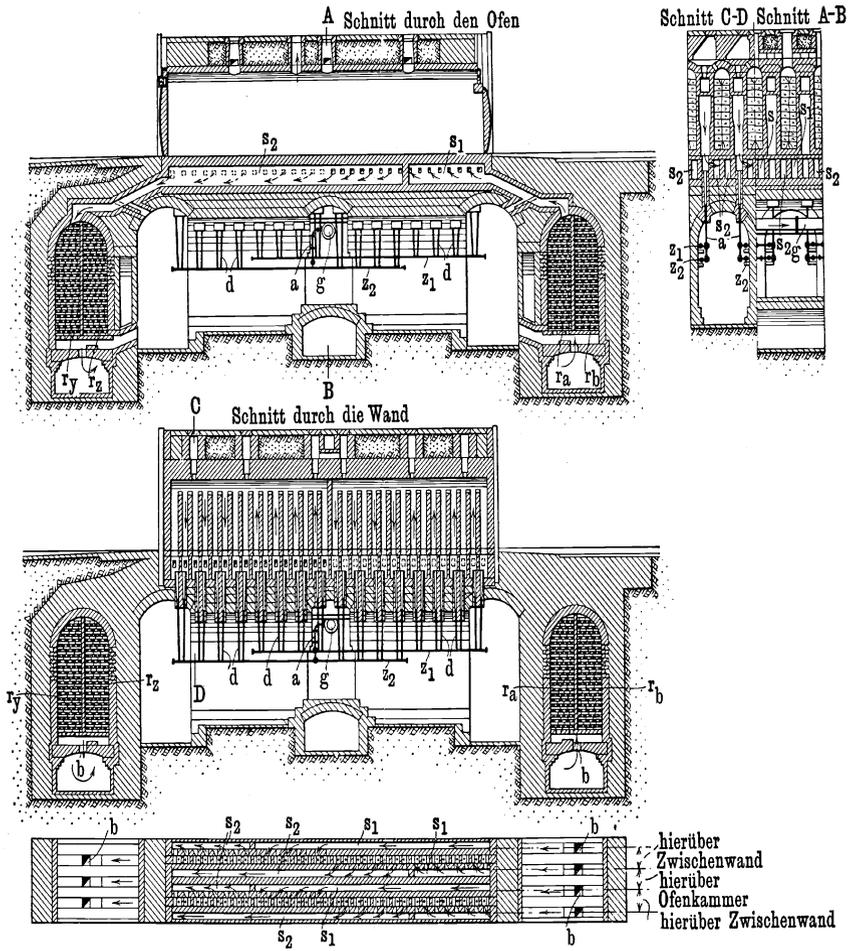
Die Kammern sind konisch nach unten erweitert, damit der Koks leichter nach unten herausfällt, ferner aber auch, weil die größte Entwicklung der Wärme im Unterteile des Ofens stattfindet, während nach oben nur die Reste der Abhitze gelangen und somit dort eine geringere Kohlenmenge vorhanden sein muß, damit dieselbe in der gleichen Zeit vollständig entgast wird.

Der Appolt-Ofen sowie überhaupt stehende Koksöfen sind später gänzlich verlassen worden, da sie sehr kostspielig in der Anlage sind. Ebenso vermochte sich der geneigt stehende Koksöfen von Powel und Dubochet nicht in die Praxis einzuführen. Die Kokereien verwenden vielmehr seit langer Zeit ausschließlich liegende Koksöfen.

Ein liegender Koksöfen, welcher im vorigen Jahrhundert vielfach angewendet wurde, ist jener nach System François. Bei diesem gelangt das bei der Verkokung entstehende Gas wie beim Appolt-Ofen aus den Kammern direkt durch eine Öffnung in der Decke derselben und durch einen nach abwärts gehenden Kanal in die Heizzüge, um von diesen dann in den darunter liegenden Schornsteinkanal zu treten.

<sup>1)</sup> Nach v. Jüptner, Chem. Technol. d. Energien 1. Band, 1. Abt., S. 251.

Fig. 293.



Andere ähnlich arbeitende Koksöfen sind von Coppée und von Otto angegeben und ausgeführt worden.

Die Destillationsprodukte der Steinkohle enthalten beträchtliche Mengen wertvoller Bestandteile, insbesondere Teer und Ammoniak. Ferner aber enthält auch das entstehende Steinkohlengas beträchtliche Mengen von Benzoldampf, welche gewonnen werden können. Bei den oben angeführten Koksöfen gelangen alle diese wertvollen Produkte nutzlos zur Verbrennung, da das Gas aus den Entkokungskammern direkt in die Heizung geleitet wird.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts erkannte man die Vorteile, welche darin liegen, diese Nebenprodukte auch bei der Entgasung der Kohle in Koksöfen zu gewinnen. Gleichzeitig bildete man die Befuerung der Koksöfen heiztechnisch vollkommener aus.

Ein Ofen, der sich in sehr umfangreicher Weise Eingang in die Praxis verschaffte, ist der Ottosche Unterfeuerungsofen, den wir hier als Beispiel besprechen wollen. Er ist in Fig. 293 dargestellt. Oben ist ein Schnitt durch die Kammer und unten ein Schnitt durch die Heizwand dargestellt. Wie der erstere zeigt, entweichen die Gase und Teerdämpfe aus dem Oberteil der sehr geräumig und lang ausgebildeten Kammer durch ein vertikales Rohr zu den Kondensationsapparaten behufs Gewinnung der Nebenprodukte. Das von diesen gereinigte Gas gelangt durch die Rohrleitung *d* zu den einzelnen Brennern, die in dem oben gezeichneten Schnitt durch die Heizwand dargestellt sind. Es sind dies Bunsenbrenner, d. h. solche, bei denen Gas und Luft vor der Verbrennung gemischt werden. Die Feuergase werden durch eine Anzahl eingebauter Querwände in viele Ströme zerlegt, um eine gleichmäßige Beheizung der ganzen Wand zu erzielen. Sie sammeln sich dann oben wieder in einem horizontalen Kanal und fallen von je drei Brennern gemeinsam durch den vertikal nach abwärts führenden Kanal *d* zu den Öffnungen ab, welche in einen horizontalen Kanal unterhalb des Bodens führen, von wo sie schließlich zu den Regeneratoren gelangen, die zur Vorwärmung der Verbrennungsluft dienen.

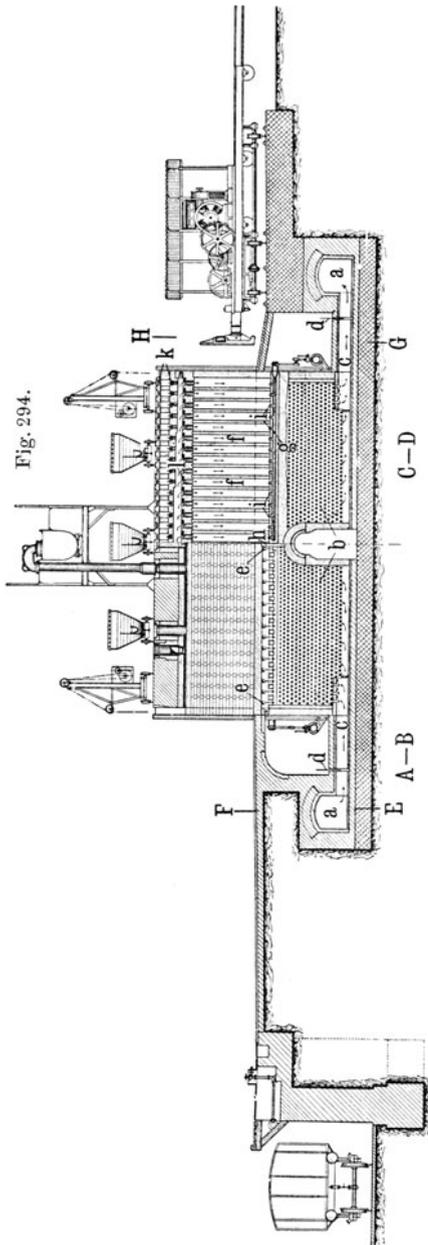
Die Anwendung einer großen Zahl von Brennern für eine Kammer ist günstig, weil dadurch eine gleichmäßige Verteilung der Wärme erzielt wird. Auch die Beheizung der Kammer durch Abgase, welche von unten nach oben streichen, ist vorteilhaft, weil der umgekehrte Weg den Oberteil der Kammer zu heiß machen würde, wodurch eine starke Zersetzung des Gases und der wertvollen Nebenprodukte (namentlich Ammoniak und Benzoldampf) eintreten würde<sup>1)</sup>.

Wie die nebenstehende Zeichnung erkennen läßt, haben die Kammern der Koksöfen recht beträchtliche Abmessungen. Sie besitzen meist eine Länge von 10 m, eine Höhe von 2 m und eine Dicke von je 0,5 m. Die Gaszufuhr ist beim Otto'schen Unterfeuerungsofen für jede Ofenwand besonders regulierbar, ebenso ist die zu den Bunsenbrennern hinzutretende Luft regulierbar, so daß dadurch der günstigste Heizeffekt erzielt werden kann.

Eine große Anzahl von Brennern besitzt auch der Ofen von Koppers<sup>2)</sup>. Derselbe trägt, wie Fig. 294 zeigt, für jeden der in jeder Ofenwand enthaltenen 28 bis 30 Heizzüge je einen besonderen Brenner. Aus dem links gezeichneten Schnitt ist ersichtlich, daß auch hier das Gas aus der Decke

<sup>1)</sup> Peters, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 231. — <sup>2)</sup> Ebend. 1909, S. 233.

der Kammer durch ein gußeisernes Rohr nach der Vorlage entweicht. Dasselbe wird durch Rohre den einzelnen Brennern zugeführt. Der Schnitt durch die Heizzüge ist rechts dargestellt. Auch bei diesem Ofen erfolgt die Beheizung von unten nach oben. Die Heizgase gehen dann nach abwärts, gelangen in einen Regenerator, wo sie ihre Wärme an Schamottesteine abgeben. Die auf diese Weise abgekühlten Heizgase gelangen dann schließlich durch den am Boden angebrachten Kanal *c* durch den Schieber *d* in den Abgaskanal *a*.



Die Verbrennungsluft tritt durch den zentral gelegenen Luftkanal *b* ein und wird durch eine Wechsellvorrichtung abwechselnd in den rechts oder links gelegenen Regenerator geleitet. Ebenso wird der Gang der Abgase umgesteuert, so daß der Regenerator einmal von den Abgasen, das andere Mal von Luft durchstrichen wird. Die Luft erreicht dadurch eine Vorwärmung bis auf 1000°, wodurch natürlich der Heizeffekt wesentlich verbessert wird, so daß eine geringere Gasmenge zur Beheizung der Öfen erforderlich ist, und daher mehr Überschußgas erzielt wird. Sowohl der Ottosche als der Kopperssche Ofen lassen sich auch ohne Regeneratoren als einfache Abhitzeöfen ausbilden, wobei dann die Abhitze zur Beheizung von Dampfkesseln benutzt wird.

Zum Herausdrücken des Kokes aus der Kammer dient die rechts gezeichnete Ausstoßmaschine. Sie drückt den Koks auf eine links gezeichnete Bühne, von welcher aus er direkt in die Waggonen verladen werden kann, natürlich nachdem er durch Aufspritzen von Wasser gelöscht worden ist.

Ein besonderes Kennzeichen des Koppersschen Koksofens ist die Regulierbarkeit jedes einzelnen Essenkanals. Die Regulierung erfolgt durch Öffnungen, welche in der Decke des Ofens angebracht sind und durch welche

Schiebersteine verstellt werden können, die sich an den oberen Öffnungen der Heizkanäle befinden.

Bei diesem Kopperschen Regenerativofen werden nur 50 Proz. des gewonnenen Gases verfeuert, so daß 50 Proz. Überschuß erzielt werden, d. h. also 150 bis 160 m<sup>3</sup> pro Tonne vergaster Kohle. Für andere Fälle, wo nicht soviel Wert auf die Gewinnung eines großen Überschusses von Gas gelegt wird, kann man an Stelle der Regenerativöfen die Kopperschen Abhitzeöfen verwenden. Bei diesen entfällt die Regeneration und werden die heißen Abgase direkt unter einen Dampfkessel geleitet, um sie so zur Kesselfeuerung auszunutzen. Es wird dabei noch immerhin ein Überschuß von 100 m<sup>3</sup> Gas pro Tonne vergaster Kohle erzielt.

Um die beim Füllen der Koksöfen auftretenden lästigen Gase zu beseitigen, kann eine Vorrichtung angewendet werden, die aus einer Hilfsvorlage besteht, welche mit Wasser gefüllt ist und für jedes Steigerrohr, das aus jeder einzelnen Kammer kommt, ein Glockenventil trägt. Dieses ist beim Betriebe des Ofens niedergeschraubt, beim Einfüllen mit Kohle jedoch so hoch gehoben, daß es noch 65 mm Tauchung hat. Durch einen angeschlossenen Dampfstrahlexhaustor werden die Gase durch die Tauchung hindurchgesogen. Dies hat den Zweck, etwaige Flammen abzulöschen, welche Explosionen verursachen könnten. Die Reinigunsklappe des Steigerrohres ist dabei geöffnet und der Exhaustor so reguliert, daß keine Luft mit angesogen wird.

### 53. Ölgas.

Die Entstehung des Ölgases wurde bereits im Jahre 1815 durch Taylor entdeckt, indem er fand, daß Öldämpfe in der Glühhitze in ein mit stark leuchtender Flamme brennendes Gas zerlegt werden. Das Ölgas wurde auch schon vor der Einführung des Steinkohlengases in England eingeführt. Es verschwand jedoch wieder, als das Steinkohlengas festen Fuß faßte.

Das Ölgas entsteht ebenso durch pyrogene Zersetzung organischer Stoffe wie das Steinkohlengas; dementsprechend ist es auch ähnlich zusammengesetzt wie das Steinkohlengas, jedoch unterscheidet es sich von diesem durch einen besonders hohen Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen; durch diesen ist ein hoher Leuchtwert und ein hoher Heizwert des Ölgases bedingt. Das Ölgas ist jedoch wesentlich teurer als das Steinkohlengas, und außerdem wirken die häufigen stark schwankenden Preise des Öles nachteilig auf die wirtschaftlichen Resultate der Ölgasanlagen, und dies ist wohl der Hauptgrund, warum sich dieselben für die Versorgung größerer Städte nicht einführen konnten. Ölgasanlagen werden daher im allgemeinen nur für besondere Zwecke errichtet, wo es nämlich darauf ankommt, mit einem verhältnismäßig geringen Volumen an Gas eine hohe Lichtstärke oder eine hohe Wärmewirkung zu erzielen. Ferner ist dasselbe zur Aufbesserung von Gasen vielfach in Anwendung gekommen, da dessen Zusatz zu anderen weniger leuchtkräftigen Gasen zufolge der hohen Leuchtkraft und des hohen Heizwertes des Ölgases diese anderen Gase verbessert.

In dieser Beziehung ist besonders die Carburatation von Wassergas hervorzuheben, ein Gas, welches mit einer nichtleuchtenden blauen Flamme brennt und welches erst durch Zusatz von Kohlenwasserstoffen, sei dies nun Benzoldampf oder Ölgas, eine selbstleuchtende Flamme erhält. Aber auch

für diese Zwecke konnte sich die Vergasung des Öles in Deutschland nicht so rasch einbürgern wie in anderen Staaten, z. B. in Amerika, weil die hohen Zölle auf Mineralöle dies verhinderten. Deutschland sah Interesse darin, die beinahe ausschließlich aus dem Auslande stammenden Mineralöle mit einem hohen Zolle zu belegen, und erst im letzten Jahrzehnt ist es dem Deutschen Verein der Gas- und Wasserfachmänner gelungen, die Herabsetzung der Ölzölle zum Zwecke der Carburatation des Wassergases zu erzielen, dadurch wurde die Vergasung des Öles auch in Deutschland umfangreich angewendet. Die Regierung beschränkte jedoch die Herabsetzung des Zolles auf Öle vom spez. Gew. 0,83 bis 0,88, damit nicht leichtere Petroleumdestillate zu diesem verminderten Zollsatz eingeführt werden könnten. Diese Beschränkung des spezifischen Gewichtes verhindert allerdings auch die Einföhrung von Ölen aus Rumänien. Deutschland ist daher beinahe ausschließlich auf die Einföhrung des Öles aus Galizien und aus den Vereinigten Staaten angewiesen. Zufolge dieser beschränkten Konkurrenz ist den Öllieferanten ein großer Teil des Vorteiles, den die Gaswerke zufolge der Herabsetzung der Ölzölle haben wollten, zugefallen, indem die Preise der Öle entsprechend stiegen. Dem könnte wenigstens teilweise entgegengewirkt werden, wenn man die obere Grenze des zulässigen spezifischen Gewichtes noch höher hinaufsetzen würde<sup>1)</sup>.

Außer zur Erzeugung von carburiertem Wassergas wird die Vergasung des Öles besonders bei der Waggonbeleuchtung in umfangreicher Weise verwendet. Wir werden darüber später unter dem besonderen Kapitel 69 über Waggonbeleuchtung Näheres darüber hören.

Als Rohstoffe für die Ölgasbereitung kommen in Betracht: Mineralöle und die Destillate desselben, worunter auch die sogenannten Gasöle gehören, ferner die Braunkohlenschweelöle, welche dadurch erzeugt werden, daß die Braunkohle unter beschränkter Luftzufuhr unter teilweiser Verbrennung erhitzt wird, wodurch sich teerige Destillationsprodukte ergeben, die als Schweelöle Verwendung finden. Die Braunkohlenschweelerei hat speziell in Deutschland festen Fuß gefaßt, weil sie eben hier durch die hohen Ölzölle vor der Konkurrenz der Mineralöle geschützt ist. Ferner kommen in Betracht der sogenannte Messelner Schieferteer, welcher aus bituminösem Schiefer durch Erwärmung in ähnlicher Weise wie die Schweelöle aus Braunkohle gewonnen wird, ferner sonstige Schieferöle, die in gleicher Art erzeugt werden, und schließlich verschiedene Öle und Fette, Schmierölrückstände u. dgl., welche alle bei der Erhitzung ein intensiv leuchtendes Gas liefern. Deutschlands Produktion an Gasölen betrug im Jahre 1909 etwa 8000 t<sup>2)</sup>, an Braunkohlenteer- und Schieferölen 41 000 t; dazu mußten aber noch 30 000 t Gasöle aus Galizien eingeführt werden<sup>3)</sup>. Ebenso kann ein ähnliches Gas aus Harz gewonnen werden, ferner aus verschiedenen Abfallstoffen, z. B. Seifenwasser, aus welchem die Fettsäuren durch Schwefelsäure oder in Form ihrer Kalksalze abgeschieden werden. So z. B. werden in Rheims aus dem Waschwasser von 200 000 Spindeln täglich 105 m<sup>3</sup> Gas gewonnen<sup>4)</sup>. Nach dem ersteren Verfahren wird das Wollenseifenwasser mit 2 Proz. Schwefelsäure zersetzt, und die nach längerem Stehen an der Oberfläche sich absetzenden Fettsäuren werden dann geschmolzen und zur Seifenfabrikation verwendet. Der ab-

<sup>1)</sup> Schütte, Journ. f. Gasbel. 1907, S. 825. — <sup>2)</sup> Müller, Zeitschr. f. Dampfkessel- und Maschinenbetrieb 1910, S. 245. — <sup>3)</sup> Allner, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1025. — <sup>4)</sup> v. Jüptner, Chem. Technol. d. Energien, Bd. 3, S. 231.

fallende feste Rückstand wird zur Gasfabrikation benutzt. Zum Zwecke der Abscheidung der Fettsäuren in Form ihrer Kalksalze läßt man das Seifenwasser mit Kalkmilch stehen, seiht die entstehende Kalkseife ab und trocknet sie. Diese wird dann in den Retorten der Destillation unterworfen. Auf 100 Liter Seifenwasser werden dabei  $\frac{3}{4}$  bis  $1\frac{1}{2}$  kg gebrannter Kalk verwendet und werden daraus 1,2 bis 1,6 Liter Ölgas erzielt.

Im wesentlichen wird aber doch zur Fabrikation des Ölgases hauptsächlich das sogenannte Gasöl, welches bei der Mineralö raffinerie gewonnen wird, verwendet. Als Gasöle bezeichnet man jene Fraktionen der Destillation des Rohpetroleums, welche zwischen 250 und 360° übergehen. Sie betragen etwa 10 bis 15 Proz. des Gewichtes des angewendeten Rohöles und stellen dickflüssige braune bis gelbe Flüssigkeiten dar, welche sich durch ihre grüne oder blaue Fluoreszenz auszeichnen. Das spezifische Gewicht derselben schwankt zwischen 0,8 bis 0,9. Die Viskosität beträgt das  $1\frac{1}{2}$ - bis 3fache des Wassers. Der Kohlenstoffgehalt beträgt 84 bis 85 Proz., der Wasserstoffgehalt etwa 12 Proz.; der Rest von etwa 0,5 bis 4 Proz. ist Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel. Der Heizwert von 1 kg des Gasöles beträgt etwa 10000 bis 11000 Kal. (oberer Heizwert). Die Schwankungen des Heizwertes sind bei den verschiedensten Mineralölen keine sehr großen und bewegen sich im allgemeinen in den genannten Grenzen.

In den Gasölen kommen ebenso wie in den Mineralölen überhaupt sehr verschiedenartige Kohlenwasserstoffe vor. Es sind sowohl Kohlenwasserstoffe der Paraffinreihe als auch ungesättigte Kohlenwasserstoffe sowie auch zyklische Kohlenwasserstoffe, sogenannte Naphtene vorhanden. Nach Ross u. Leather<sup>1)</sup> geben die Kohlenwasserstoffe der Paraffinreihe das meiste und das beste Gas. Ungesättigte Kohlenwasserstoffe geben weniger und die zyklischen Kohlenwasserstoffe am wenigsten Ölgas. Niedrig siedende Kohlenwasserstoffe geben mehr Gas als höher siedende. Diese Kohlenwasserstoffe haben 10 bis 23 At. Kohlenstoff im Molekül<sup>2)</sup>.

Bei der Überhitzung der Dämpfe der Gasöle erfolgt nach den Untersuchungen von Haver nicht eine Wasserstoffabspaltung, sondern eine Wasserstoffverschiebung, indem sich gleichzeitig Methan, Äthan und Äthylen abspalten. Dabei tritt die Abspaltung der am Ende stehenden Glieder der Kette eines Kohlenwasserstoffmoleküls als Hauptreaktion in den Vordergrund. Diese Abspaltung ist mit keiner wesentlichen Kohlenstoffabspaltung verbunden. Die zurückbleibenden ungesättigten Reste kondensieren sich, indem sich Moleküle mit höherem Kohlenstoffgehalt bilden. Die zunächst entstehenden Gase sind jedoch instabil und liefern bei ihrem Zerfall Wasserstoff. Zuzufolge der Abspaltung einatomiger Endgruppen enthält das Ölgas beträchtliche Mengen von Äthan, das aus einem Gase mit höherem Kohlenstoffgehalt im größeren Umfange gar nicht entsteht. Mischt man bei der Vergasung den Öldämpfen gleichzeitig Wasserstoff bei, so steigert sich die Ausbeute an Methan, Äthan und auch Äthylen. Bei Vergasung im Kohlenoxyd- oder Stickstoffstromen sinkt der Prozentgehalt des Gases an Methan, während sich der Gehalt an Äthylen steigert, was eine Erhöhung der Leuchtkraft ergibt. Bei den Versuchen der Vergasung im Wassergasstromen bei einer Temperatur

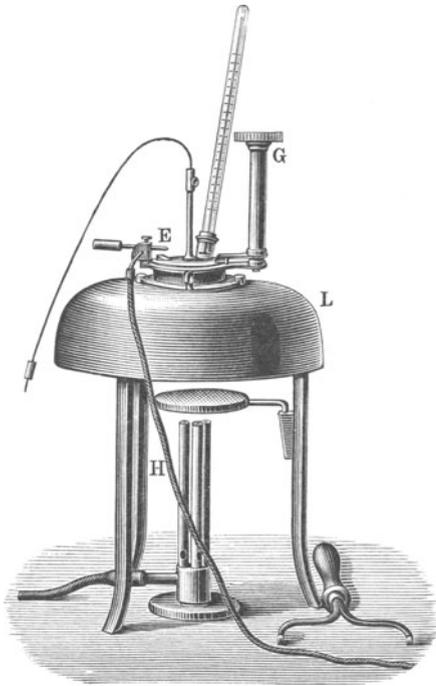
---

<sup>1)</sup> Analyst 1907, S. 241; Zeitschr. f. angew. Chem. 1908, S. 602; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 111. — <sup>2)</sup> Hempel, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 53, 77, 101 und 137.

von 740 bis 880° zeigte sich in großem Umfange eine Anlagerung von Wasserstoff an die Spaltprodukte und wurde dabei aus dem Öle selbst kein Wasserstoff mehr abgespalten. Gleichzeitig verminderte sich die Teerbildung. Daraus ergab sich ein Gewinn an Energie im erhaltenen Gase von 15 Proz. der Verbrennungswärme des reinen Öles.

Auch das Rohöl, so wie es der Grube entströmt, kann mit Vorteil zur Vergasung verwendet werden. Besonders zur Erzeugung des ölcarburierten Wassergases erscheint es gut verwendbar, obwohl es noch nicht die umfang-

Fig. 295.



reiche Anwendung gewonnen hat, die es verdient. Dies mag wohl daran liegen, daß das Rohöl zunächst von seinen größten Unreinigkeiten befreit werden muß. Dies ist in erster Linie der Sand, welcher die engeren Rohrleitungen und die Düsen zum Einspritzen des Öles verlegt, der sich jedoch absetzt, wenn man das Öl längere Zeit in größeren Behältern stehen läßt und den Abfluß aus dem Ölreservoir um einige Centimeter höher über dem Boden ansetzt, so daß darunter ein Raum bleibt, wo sich der Sand absetzen kann. Ferner ist es das Wasser, welches dem Rohöle beigemischt ist, das beim Einspritzen in die mit Schamotte ausgesetzten Verdampfer der Wassergasanlagen (Kap. 60) ein rasches Zugrundegehen der Schamottesteine verursacht. Aber auch das Wasser setzt sich zufolge seines höheren spezifischen Gewichtes ab, wenn man das Öl genügend lange lagern läßt.

Zur Untersuchung der zur Vergasung bestimmten Öle hat man die nachstehend genannten Bestimmungen auszuführen:

1. Das spezifische Gewicht. Es wird durch Einsenken eines Areometers bei einer Temperatur von 15° bestimmt. Soll ein Öl in Deutschland mit ermäßigtem Zoll eingeführt werden, so darf das spezifische Gewicht nicht außerhalb der Grenze 0,83 bis 0,88 liegen. Übrigens ist das Öl zur Vergasung besser, je leichter dasselbe ist<sup>1)</sup>.

2. Den Flammpunkt bestimmt man nach Pensky in dem in Fig. 295 wiedergegebenen Apparat. Derselbe besteht aus einem Messinggefäß *E*, das zylindrisch ist und von der Glocke *L* umgeben ist, so daß dieselbe ein Luftbad zur Erwärmung des Gefäßes *E* darstellt. Die Beheizung erfolgt durch einen darunter gestellten Bunsenbrenner. In dem Deckel des Gefäßes *E* ist ein Thermometer und zentral eine Rührvorrichtung eingesetzt. Bei *E* befindet

<sup>1)</sup> Kalbfuß, Wertbestimmung der Carburieröle, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 933.

sich ein Uhrwerk, welches von Zeit zu Zeit eine im Deckel angebrachte Klappe öffnet und gleichzeitig durch diese Öffnung ein kleines Zündflämmchen in das Gefäß *E* eintaucht. Durch die Erwärmung treten Dämpfe in dem Gefäße *E* auf, welche sich mit der darin enthaltenen Luft mischen, so daß diese entzündlich wird, wenn die Menge der vorhandenen Dämpfe genügend groß ist. Diese Temperatur, bei welcher eine Entzündung der Dämpfe eben möglich ist, nennt man den Entflammungspunkt. Er ist zur Beurteilung der betreffenden Öle wichtig, denn je höher der Entflammungspunkt liegt, desto weniger Gefahr besteht, daß sich dessen Dämpfe durch irgend welchen Zufall entzünden. Jedenfalls soll der Entflammungspunkt eines Gasöles über 100° liegen.

Die Prüfung auf Feuergefährlichkeit des Öles kann auch in der Weise erfolgen, daß man die Flüssigkeit in einem kochenden Wasserbade erwärmt und für Kondensation der Dämpfe in einem Kühler Sorge trägt. Ergeben sich während einer bestimmten Dauer der Erhitzung flüssige brennbare Destillate, so ist die Flüssigkeit als leicht entzündlich zu betrachten<sup>1)</sup>.

3. Der Siedepunkt, bzw. die fraktionierte Destillation; dieselbe erfolgt in der üblichen Weise, indem die innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen übergelassenen Mengen gemessen werden. Da die Resultate von der Destillationsgeschwindigkeit beeinflußt sind, hat Ubbelohde<sup>2)</sup> einen Normalapparat hierfür angegeben.

4. Der Gefrierpunkt. Man bestimmt denselben durch Eintauchen einer kleinen Probe in eine Kältemischung. Ein zu hoher Gefrierpunkt des Öles kann Nachteile im Betriebe bringen, indem sich die Rohrleitungen verstopfen. Der Gefrierpunkt soll nicht höher als bei  $-5^{\circ}\text{C}$  liegen.

5. Die Elementaranalyse. Die Bestimmung des Kohlenstoffgehaltes eines Öles ist für die Beurteilung desselben nahezu wertlos. Wichtiger ist schon die Kenntnis des Wasserstoffgehaltes, und Spiegel versuchte, den Wert eines Öles durch Bestimmung des Wasserstoffgehaltes zu charakterisieren<sup>3)</sup>. Dieser gibt aber nur einen geringen Anhaltspunkt über die aus dem Öle zu gewinnende Gasmenge.

6. Die Heizwertbestimmung. Dieselbe wird am besten mit Hilfe des Junkersschen Kalorimeters ausgeführt, wie wir dies auf S. 120 besprochen haben, oder mittels der kalorimetrischen Bombe (S. 129), wobei das Öl in einem Celluloseblöckchen aufgesogen wird, dessen Heizwert pro Gewichtseinheit man vorher bestimmt hat. Auch der Heizwert des Öles ist ohne besondere Bedeutung für die Gasmenge, welche man daraus gewinnen kann.

7. Kreosotgehalt. Dieser wurde ebenfalls zur Wertbestimmung des Öles vorgeschlagen. Derselbe kann wohl zur Charakterisierung eines Öles und zur Bestimmung der Herkunft desselben dienen, aber für die Entgasung ist er beinahe ohne jede Bedeutung.

8. Der Lichtbrechungskoeffizient. Dieser wurde von Ross u. Leather zur Beurteilung der Öle vorgeschlagen<sup>4)</sup>, ist jedoch ebenfalls für die Gasausbeute ohne Belang.

9. Der Wassergehalt. Derselbe kann entweder durch Destillation und Messung des übergelassenen Wassers oder nach Wightrick u. Traser<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup> Merz, Mähr.-schles. Gewerbeztg. 1909, Nr. 11; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 354. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 620. — <sup>3)</sup> Ebend. 1907, S. 45. — <sup>4)</sup> Analyst 1909, S. 241; Zeitschr. f. angew. Chem. 1908, S. 602; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 111. — <sup>5)</sup> Zeitschr. f. angew. Chem. 1911, S. 1452; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1190.

durch Behandlung des Öles mit Calciumcarbid und Messen des entwickelten Acetylens ermittelt werden.

Das einzige verlässliche Mittel zur Bestimmung des Wertes eines Gasöles für die Vergasung ist die Probevergasung. Allerdings hängen die Werte, die man hierbei bekommt, auch von vielerlei Umständen, insbesondere von der bei der Vergasung angewendeten Temperatur ab, so daß man je nach der angewendeten Art der Vergasung recht verschiedene Werte erhalten kann. Man muß also, um ganz verlässliche Werte zu erhalten, das Öl genau unter den Umständen wie im großen vergasen, wie sie in irgend einem Betriebe eben gegeben sind. Da dies aber große Quantitäten von Öl und eine langwierige und umständliche Arbeit bedeutet, so sucht man durch Vergasungen im Laboratorium Werte zu erhalten, welche wenigstens einigermaßen mit dem Großbetriebe in Parallele zu stellen sind.

Bisher verwendete man zur Probevergasung im Laboratorium den Apparat von Wernecke, oder man berechnete auch die Wertzahl nach der empirischen Zusammensetzung mit Hilfe der Formeln von Hirzel u. Helfers<sup>1)</sup>. Derartige Berechnungen geben jedoch noch weniger zutreffende Resultate. Da sich auch bei der Ölvergasung bei höheren Temperaturen die Kohlenwasserstoffe zersetzen, indem sie dabei ein größeres Gasvolumen von geringerem Heizwert erzeugen, gerade so wie dies bei der Entgasung der Kohle der Fall ist (vgl. S. 306), so erhält man besser übereinstimmende Werte, wenn man nicht die erhaltenen Gasvolumina und die Qualität des Gases vergleicht, sondern wenn man die Wertzahl als Produkt aus der Menge und der Qualität aufstellt. Ross<sup>2)</sup> hat vorgeschlagen, die Wertzahl als das Produkt der erhaltenen Gasmenge und der Volumprocente an schweren Kohlenwasserstoffen zu berechnen. Er fand dabei Schwankungen in der Wertzahl von 7000 bei Borneoölen, bis 16000 bei russischen Ölen. Ferner kann man auch die Wertzahl als Produkt der Leuchtkraft mit der Gasausbeute darstellen; da jedoch heute bei den meisten Gasen der Heizwert eine größere Rolle spielt als die Leuchtkraft (vgl. S. 647), so ist es wohl das richtigste, die Heizwertzahl zu bilden, indem man die Ausbeute multipliziert mit dem Heizwert des Gases pro Volumeneinheit.

Der Werneckesche Apparat läßt das Öl in einen vertikal stehenden gußeisernen Zylinder eintropfen, der von unten durch einen großen Bunsenbrenner beheizt ist. Das Öl fließt durch ein Nadelventil ein, welches mit einem U-förmigen Einlaufsiphon verbunden ist. Der eine Schenkel dieses U-Rohres besteht aus einem Glasrohre, so daß man den Flüssigkeitsstand hier immer ablesen und daraus den Druck ermitteln kann, unter welchem das Öl in die Retorte einfließt. Das Öl wird dann durch eine Kappe, die oben mit einer kreisförmigen Rille versehen ist, gleichmäßig verteilt und fließt an den Wandungen der Retorte hinunter, indem es dabei vergast. Das Gas entweicht durch ein zentral angeordnetes Gasentbindungsrohr und durch den in der Zeichnung rechts angedeuteten Stutzen zur Vorlage und zu einem Teerabscheider. Das zentrale Gasentbindungsrohr kann mit Hilfe eines Schabers, der oben durch eine Stopfbüchse eingeführt ist, ständig reingehalten und somit vor Ver-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1897, S. 281; s. auch Lunge, Untersuchungsmethoden; ferner die Arbeiten von Berthelot, Louis, Haber (Journ. f. Gasbel. 1896, S. 377), Samoylowicz, Oechelhäuser und E. Müller. — <sup>2)</sup> Bewertung von Gasölen, Journ. of Gaslighting No. 2249, p. 785; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 111.

stopfungen bewahrt werden. Zur vollständigen Abscheidung des Teeres läßt man das Gas durch einen Zylinder streichen, der einige durchlochte Bleche enthält, zum Schluß kann man noch einige Glaskugeln oder Glaswolle einfüllen, welche die letzten Reste des Teeres zurückhalten.

Der Werneckesche Apparat hat den Fehler, daß keine genügend große Flächen von konstanter Temperatur vorhanden sind und kein ausreichender Inhalt da ist, in welchem das Gas genügend lange erhitzt wird. Die Resultate sind daher von der Temperatur stark beeinflusst. Hempel<sup>1)</sup> erhielt z. B. bei einem und demselben Melzerner Öl im Temperaturgebiet von 832 bis 711° Wertzahlen, welche von 12600 bis auf 19500 schwankten. Hempel führte daher Untersuchungen mit einem Apparate aus, welcher eine große Oberfläche von konstanter Temperatur und eine ausreichende Länge aufwies. Diese Untersuchungen ergaben nur geringe Unterschiede bei den verschiedenen Ölen, hingegen eine weitgehende Abhängigkeit von der Vergasungstemperatur.

Die Vergasung wurde bei dieser Untersuchung in einem eisernen Rohre vorgenommen, welches mit schwacher Neigung aufgestellt war und von unten durch eine Reihe von Bunsenbrennern erhitzt wurde.

Im ganzen untersuchte Hempel 14 verschiedene Öle. Die Teerproduktion wechselte zwischen 27 und 49 Proz. und war am höchsten bei rumänischem Öle. Eine reichliche Teerbildung ging stets auf Kosten der Gasausbeute. Die Heizwerte pro Kubikmeter bewegen sich zwischen 11400 und 12600 Kal. oberen Heizwertes und 10400 und 11600 unteren Heizwertes.

Im Intervall zwischen 711 und 832° C steigt die Gasausbeute mit der Temperatur. Leucht- und Heizwert nehmen jedoch gleichzeitig ab. Die Wertzahlen bleiben innerhalb 80° der Vergasungstemperatur konstant, ein Beweis, daß auf diese Art ein Vergleich möglich ist. Bei Erhöhung der Temperatur ergab sich eine umfangreiche Methanabspaltung. Bei 880° ist das Optimum der Vergasungsmöglichkeit bereits überschritten.

Als Beispiel sei eine Vergasung von Pechelbronner Öl angegeben, welche nachstehende Resultate ergab:

Vergasungstemperatur . . . . .	782°
Vergasungsgeschwindigkeit pro Minute . . . . .	0,89 Liter
Teer aus 100 g Öl . . . . .	23,38 g
Koks aus 100 g Öl . . . . .	3,63 „
Gas aus 100 g Öl (0° trocken) . . . . .	60,31 Liter
Leuchtkraft bei 35 Liter Gasverbrauch (0° trocken) . . . . .	10,26 HK
Spezifisches Gewicht (unkorrigiert) . . . . .	0,7182

Zusammensetzung des Gases:

CO <sub>2</sub> . . . . .	0,38 Proz.	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> . . . . .	6,43 Proz.
CO . . . . .	0,50 „	H <sub>2</sub> . . . . .	18,48 „
C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> . . . . .	26,37 „	N <sub>2</sub> . . . . .	4,17 „
CH <sub>4</sub> . . . . .	43,78 „	O <sub>2</sub> . . . . .	0,89 „
Oberer Heizwert . . . . .	10 809 Kal. (0°)		
Unterer Heizwert . . . . .	9 861 „ (0°)		

Die nachstehenden Zahlen (s. Tab. a. f. S.) geben eine Übersicht über die gesamten bei den verschiedenen Ölen erhaltenen Resultate.

Diese Zahlen lassen erkennen, daß mit abnehmendem Wasserstoffgehalt die Heizwertzahl der Gasöle sinkt.

<sup>1)</sup> Hempel, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 53, 77, 101 u. 137.

Art des Öles	Wasserstoffgehalt	Heizwertzahl bei
	Gew.-Proz.	Vergasung zwischen 740 bis 790°
Galizisches Gasöl B . . . . .	12,98	642
Pechelbronner Gasöl P . . . . .	12,97	663
Galizisches Gasöl A . . . . .	12,94	644
Gasöl aus schwerem Wietzer Rohöl . . . .	12,88	657
Melzerner Gasöl von 1908 . . . . .	12,85	656
„ „ „ 1907 . . . . .	12,75	599
Gasöl aus leichtem Wietzer Rohöl . . . .	12,73	646
Rumänisches Gasöl A . . . . .	12,25	555
„ „ B . . . . .	12,05	539
Gasöl der Montanwerke Riebeck . . . . .	11,95	550
Paraffinöl Riebeck . . . . .	11,35	511
Borneo-Residue . . . . .	11,33	495

Die Anlieferung des Gasöles erfolgt in größeren Werken stets in Kesselwagen. In kleineren Ölgasanstalten in hölzernen Fässern. Zur Aufspeicherung des Öles dienen in größeren Werken einige schmiedeeiserne Ölbehälter (Tanks), in welche das Öl aus dem Kesselwagen mit Hilfe von Preßluft gedrückt wird. Sind gleichzeitig Gasbehälter vorhanden, wie dies z. B. bei den Wassergasanlagen, die mit Ölcarburation arbeiten, der Fall ist, so ist eine von Pintsch eingeführte Neuerung sehr zweckmäßig, die darin besteht, daß im Inneren des Wasserbassins des Gasbehälters eine Ölzisterne eingebaut ist. Dieselbe kann auch durch einen konzentrischen zylindrischen Mantel in zwei Teile geteilt sein, so daß zwei verschiedene Öle aufgespeichert werden können. Die Gasbehälterglocke taucht in den ringförmigen, mit Wasser gefüllten Raum zwischen dem Ölbehälter und dem äußeren Mantel des Wasserbassins.

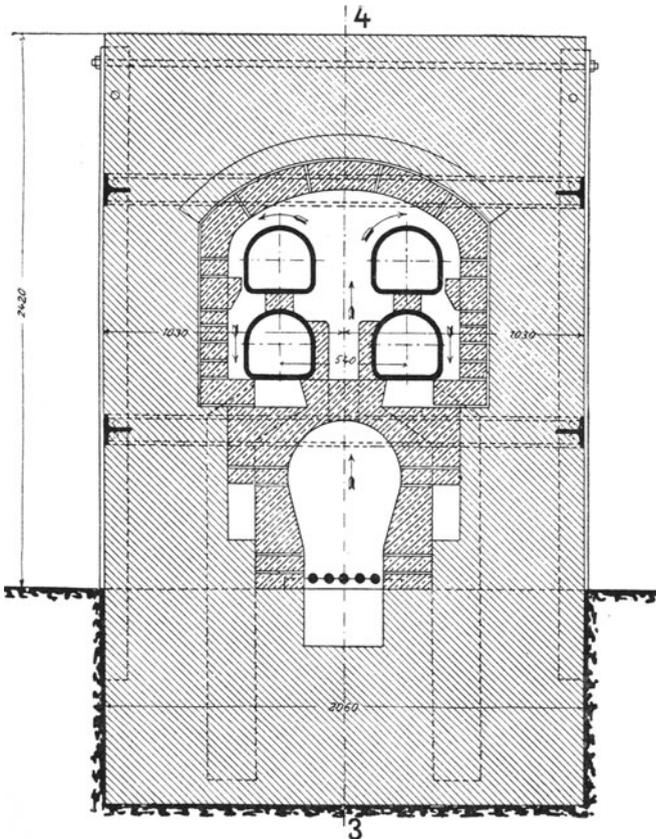
Bei kleinen Anlagen pumpt man das Öl aus den Fässern mit Hilfe einer gewöhnlichen Saug- und Druckpumpe in hochstehende schmiedeeiserne Vorratsbehälter, oder man entleert die Fässer direkt in Zisternen, welche sich im Erdboden versenkt befinden. Zur Beförderung des Öles aus dem Vorratsbehälter zu den Vergasungsapparaten werden ebenfalls Pumpen verwendet. Man soll dafür sorgen, daß die Saugleitungen dieser Pumpen nicht zu lang sind, da das namentlich in der Kälte sehr zähflüssige Öl einen großen Reibungswiderstand verursacht und dadurch die Pumpen in ihrer Leistung beeinträchtigt werden. Die Druckleitungen können hingegen beliebige Länge haben.

Im nachstehenden seien nun die Apparate beschrieben, welche zur Erzeugung des Ölgases dienen. Es sind dies Retortenöfen in ähnlicher Art, wie wir sie bei der Steinkohlengasfabrikation (S. 348) kennen gelernt haben, jedoch wendet man zum Unterschiede von jenen ausschließlich Retorten aus Gußeisen an, in neuerer Zeit manchmal auch Stahlguß. Die im Großbetriebe angewendete Entgasungstemperatur schwankt zwischen 700 und 800°. In den meisten Fällen ist es vorzuziehen, nicht über 750° hinauszugehen. Nur bei besonders schwer zersetzlichen Ölen kann unter Umständen die Temperatur von 900° erforderlich sein. Öfen mit stehenden Retorten sind konstruiert worden von Hirzel, Hübner, Küchler und Langen. Jetzt verwendet man jedoch hauptsächlich liegende Retorten, und es ist zweckmäßig, zwei derselben hintereinander zu schalten, derart, daß in der ersten das Öl

nur verdampft wird, während die eigentliche Zersetzung in Ölgas erst in der zweiten Retorte erfolgt. Die ausgebreitetste Verwendung haben die Ölgasöfen von Pintsch gefunden, die mit zwei übereinander liegenden horizontalen Retorten arbeiten.

Der von Pintsch eingeführte Ofen zur Ölgaserzeugung ist in Fig. 296 und 297 dargestellt. Er besitzt zwei Retortenpaare, die nebeneinander an-

Fig. 296.



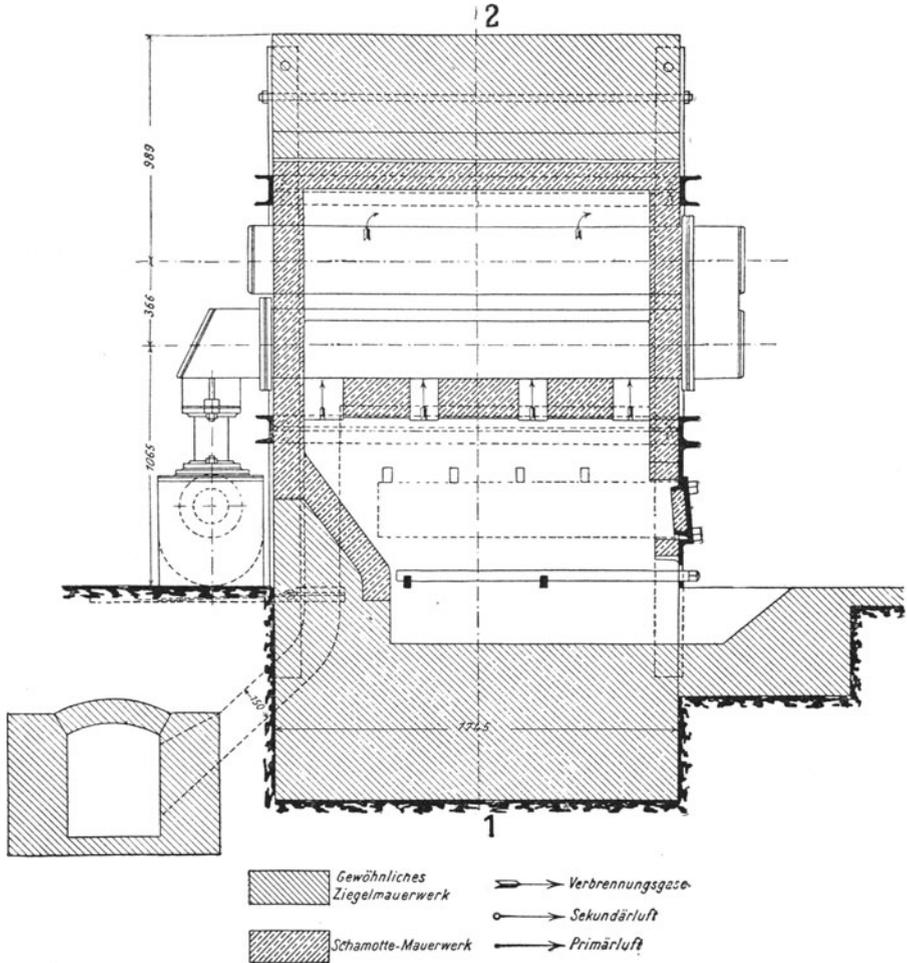
geordnet sind und von einer gemeinsamen Rostfeuerung aus beheizt werden. Der Gang der Heizgase ist der gleiche wie bei den gewöhnlichen Rostöfen für Steinkohlengas. Für ganz kleine Ölgasanlagen werden auch Öfen mit nur einem Retortenpaare gebaut.

Das in der Kälte zähflüssige Öl wird entweder durch die Abhitze oder durch Dampf in einem hochgestellten Behälter vorgewärmt, um die nötige Dünnsflüssigkeit zu erhalten. Es fließt dann durch einen Einlaufsiphon in die obere Retorte und gelangt dort auf eine Schale aus Eisenblech, die in die Retorte hineingeschoben wird und auf welcher das Öl verdampft. Die verbleibenden Rückstände verkoken dann in dieser Schale und können mit der Schale leicht aus der Retorte entfernt werden. Der Öldampf gelangt in die untere Retorte, welche die zur Zersetzung erforderliche Temperatur hat,

und dann in die Vorlage. Die Befuerung der Ölgasretortenöfen erfolgt gewöhnlich mittels Koks.

Ein anderer Ofen zur Erzeugung von Ölgas, speziell in kleinen Anlagen, ist jener von Drescher. Er besitzt eine einzige gußeiserne Retorte, welche

Fig. 297.



durch eine mittlere Scheidewand in zwei Teile geteilt ist. Die Befuerung derselben erfolgt mit Hilfe eines Treppenrostes.

Die Regeneration der Abhitze, d. h. die Nutzbarmachung derselben zur Luftvorwärmung, wird bei den Ölgasretortenöfen gewöhnlich nicht angewendet, da es sich hier meist darum handelt, die verhältnismäßig kleinen Anlagen billig zu gestalten. Außerdem ist der Verbrauch an Koks im Verhältnis zu den Kosten des Ölverbrauches unbedeutend, so daß sich die Komplikation, welche durch die Anwendung einer Regeneration entsteht, nicht bezahlt macht. Selbstverständlich aber besteht kein Hindernis, auch Ölgasretortenöfen mit Regeneration einzurichten, und dies ist tatsächlich in einigen Fällen ausgeführt worden.

Den Steigerohren, welche das Ölgas aus den Retorten in die Vorlage führen, gibt man gewöhnlich unten 125 mm, oben 100 mm lichten Durchmesser.

Den Grad der Zersetzung des Öldampfes kann man ziemlich genau beurteilen, wenn man das Gasmisch durch einen Probierhahn ausströmen läßt. Die Teerdämpfe kondensieren sich dann zu einem dicken Nebel. Ist die Temperatur in der Zersetzungsretorte zu gering und werden demgemäß die Öldämpfe nicht vollständig zersetzt, so kondensieren sich dieselben zu einem weißen Nebel. Der Nebel des Teeres hingegen, welcher nach der Zersetzung des Öles sich an der Luft kondensiert, ist hellbraun gefärbt. Ein dunkelbrauner Nebel dagegen zeigt an, daß die Temperatur der Retorte zu hoch ist. Führt die Zersetzung des Gases zur Abscheidung von Kohlenstoff in Rußform, so ist der Nebel schwarz. Diesfalls muß für eine rasche Verminderung der Temperatur in der Retorte gesorgt werden, da anderenfalls leicht die vollständige Verstopfung der Steigerohre mit abgeschiedenem Ruß stattfinden kann.

Die Regulierung der Temperatur in der Retorte erfolgt am zweckmäßigsten durch Regulierung des Ölzufflusses. Läßt man viel Öl einfließen, so wird die Temperatur der Retorte naturgemäß heruntersetzt. Genauer als durch die Betrachtung des Nebels kann man auch durch die Konsistenz des Teeres den Zersetzungsgrad des Öldampfes kontrollieren, wenn man einen aus einer Öffnung von etwa 1 bis 2 mm Durchmesser austretenden Gasstrahl auf Papier oder auf eine Porzellanplatte auftreffen läßt. Unzersetztes Öl zeigt sich dort durch Fettflecke auf dem Papiere, dünner Teer ruft einen fingerartigen, auseinandergedrückten Fleck auf dem Papiere hervor, dicker Teer hingegen, der eine zu hohe Temperatur anzeigt, setzt sich in einem Klumpen auf dem Papiere ab, und wenn die Zersetzung gar bis zur Ausscheidung von Kohlenstoff geht, so zeigt sich derselbe in Form eines schwarzen Pulvers auf dem Papiere, welches Pulver bei sehr hoher Temperatur derart trocken werden kann, daß man es von dem Papier fortblasen kann.

Nicht alle Öle erfordern die gleiche Temperatur. In den meisten Fällen aber tritt schon zwischen 800 und 900° die Rußbildung ein. Da aber die Zersetzungstemperatur des Öldampfes bei etwa 700 bis 750° liegt, so muß die Temperatur möglichst genau eingehalten werden, die für ein bestimmtes Öl als die beste gefunden wurde, was einige Übung erfordert.

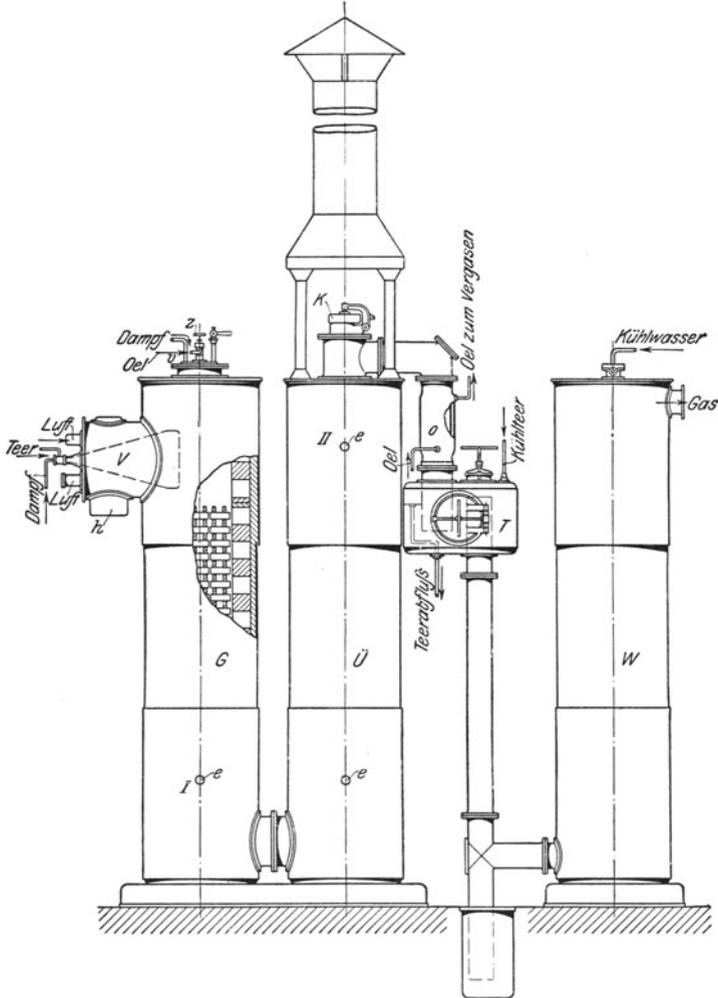
Die Abscheidung des Kohlenstoffes durch Überhitzung des Öldampfes erfolgt auch teilweise in Form von Graphit. Derselbe soll alle 24 Stunden mindestens einmal aus den Retorten entfernt werden.

Die Ausbeute an Gas, welche im praktischen Betriebe aus dem Öle erhalten wird, kann je nach der Qualität desselben zwischen 40 und 80 m<sup>3</sup> pro 100 Kilogramm des Öles schwanken. 80 m<sup>3</sup> Ausbeute können nur aus reinem Petroleum gewonnen werden. 20 bis 30 Proz. vom Gewicht des angewendeten Öles erscheinen als Teer, der sich aus dem Gase kondensiert. Derselbe hat ein spezifisches Gewicht von 0,83 bis 1,04. Das höhere spezifische Gewicht des Teeres entspricht einer höheren Temperatur in der Retorte. Man kann daher auch aus dem spezifischen Gewicht des Teeres auf die Temperatur der Retorte einen Schluß ziehen.

In neuerer Zeit hat man an verschiedenen Orten die Vergasung des Öles in Generatoren durchgeführt. Wir werden bei der Besprechung des ölcarburierten Wassergases sehen, daß sich Öl auch vergasen läßt, wenn

man es auf glühende Schamottesteine spritzt, wo es zunächst verdampft und dann durch die heißen Flächen der Schamottesteine in Gas verwandelt wird. Um nun die erforderliche Temperatur der Schamottesteine zu erreichen, muß man dieselben durch eine Feuerungsanlage erhitzen. Bei der Darstellung des

Fig. 298.



ölarburierten Wassergases bildet der mit Koks beschickte Wassergasgenerator gleichzeitig die Feuerstelle zur Beheizung der mit Schamottesteinen ausgesetzten Regeneratoren. Bei der Erzeugung des Ölgases allein zieht man es dagegen vor, den als Nebenprodukt gewonnenen Ölgasteer zur Befuerung zu verwenden.

In dieser Art ist z. B. der ebenfalls von Pintsch eingeführte Ölgasgenerator eingerichtet, der in Fig. 298 dargestellt ist<sup>1)</sup>. Derselbe besteht aus

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1909, Nr. 37, Art. Landsberg.

dem Ölverdampfer  $G$  und einem Öldampfüberhitzer  $\ddot{U}$ . Beide sind aus Eisenblech hergestellte zylindrische Körper, die innen mit Schamotte ausgemauert sind und eine gitterförmige Füllung mit Schamottesteinen erhalten. Die Beheizung erfolgt zunächst durch ein kleines Hilfsfeuer, welches in dem Ansatzstutzen  $V$  entzündet wird. Oberhalb des Stutzens  $h$  befindet sich hier ein Rost, auf dem das Brennmaterial zur Erhaltung dieses Hilfsfeuers aufgebracht wird. Man bläst durch einen seitlichen Stutzen Luft ein, und sobald die oberste Lage der Schamottesteine glühend ist, läßt man durch einen Teerzerstäuber Dampf und Teer eintreten, und das Gemisch von Teerstaub und Luft entzündet sich an den glühenden Schamottesteinen, indem es dieselben weiter erhitzt. Auf diese Weise wird nun zunächst sowohl der Verdampfer  $G$  als auch der Überhitzer  $\ddot{U}$  bis auf die zur Zersetzung des Öldampfes erforderliche Temperatur erhitzt. Dann erfolgt das Einspritzen von Öl von oben her in den Verdampfer. Das Öl verdampft an den heißen Steinen und kühlt dieselben so weit ab, daß hier eine Zersetzung des Öldampfes in nur geringem Maße eintritt. Die eigentliche Zersetzung geht erst in dem Erhitzer  $\ddot{U}$  vor sich.

Der Überhitzer trägt an seinem Oberteile eine Klappe  $K$ , welche während der Warmblaseperiode die Abgase in den Schornstein entweichen läßt. Vor Beginn des Öleinspritzens wird diese Klappe geschlossen, so daß das entstehende Ölgas gezwungen ist, in die Leitung  $o$  und in eine Vorlage zu entweichen, wo eine Tauchung angebracht ist, um das Zurücktreten des Gases aus dem Behälter zu verhindern. Dann geht das fertige Ölgas in den Wäscher  $W$ , der mit Koks beschickt und mit Kühlwasser berieselt ist. Von hier aus gelangt das Gas zu den Reinigungsapparaten.

Sobald die Temperatur in dem Apparate so weit gesunken ist, daß die Ölverdampfung oder -zersetzung nicht mehr in entsprechender Weise vor sich geht, schließt man den Ölzufluß und läßt nun Dampf in den Oberteil des Verdampfers eintreten, um den dort vorhandenen Öldampf und das im Überhitzer  $\ddot{U}$  vorhandene Ölgas aus dem Apparate in die Leitung zu verdrängen. Ist dies geschehen, so wird der Dampf abgestellt, die Abgasklappe  $K$  wieder geöffnet und es kann neuerdings ein Warmblasen der Apparate durch Einspritzen von Teer mit Hilfe des Teerzerstäubers stattfinden. Hierbei ist die abermalige Benutzung eines Hilfsfeuers nicht erforderlich, weil die Schamottesteine im Verdampfer noch glühend sind, und somit den eingeblasenen Teerstaub selbst entzünden.

An den Schamottesteinen setzt sich stets etwas Kohlenstoff ab, und es ist erforderlich, denselben zeitweise auszubrennen. Es erfolgt dies, indem man Luft durch den ganzen Apparat hindurchbläst, während sich die Schamottesteine im glühenden Zustande befinden.

Zur Beheizung des Apparates sind pro 100 kg Öl 15 kg Teer erforderlich, so daß noch ein Überschuß von Teer von etwa 10 bis 15 kg zum Verkaufe freibleibt.

Ein anderes Verfahren zur Erzeugung von Ölgas in Generatoren aus Rohöl ist in Kalifornien eingeführt worden. Es ist dies das Stutsche Verfahren<sup>1)</sup>. Auch dieses Verfahren wirkt intermittierend. An den Steinen, welche nur mäßig erhitzt sind, werden die flüchtigen Anteile des Rohöles vergast und

<sup>1)</sup> Journ. of Gaslighting 1908, S. 353; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 372.

die schwer flüchtigen Rückstände tropfen auf poröses Steinmaterial. Hier werden sie durch Einblasen von Luft verbrannt und liefern dabei die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um die Vergasung der leichter flüchtigen Produkte durchzuführen. Die Zusammensetzung des so erzeugten Ölgases ist folgende:

Cm Hn . . . . .	11,17	Proz.
CO . . . . .	4,17	"
CH <sub>4</sub> . . . . .	38,39	"
H <sub>2</sub> . . . . .	31,88	"
CO <sub>2</sub> . . . . .	1,87	"
O <sub>2</sub> . . . . .	0,88	"
N <sub>2</sub> . . . . .	11,64	"

Sowohl das Verfahren von Pintsch als jenes von Stut verdient namentlich in jenen Ländern Beachtung, welche Öl produzieren.

In ähnlicher Weise wie in Wassergasgeneratoren der Wasserdampf durch glühenden Koks zersetzt wird (vgl. Kapitel 60), haben Rincker und Wolter die Zersetzung des Öldampfes ebenfalls in Koksgeneratoren durchgeführt<sup>1)</sup>. Dieses Verfahren ist einfacher als die Darstellung des carburierten Wassergases. Für 100 m<sup>3</sup> Gas sind 100 kg einer Mischung von  $\frac{2}{3}$  Gasöl und  $\frac{1}{3}$  Wassergasteer, ferner 5 kg Hüttenkoks erforderlich. Der Heizwert des Gases beträgt 4900 Kal. und es hat nur 5 Proz. Kohlenoxydgehalt. Durch hohe Temperaturen können die Kohlenwasserstoffe so weit zersetzt werden, daß der Wasserstoffgehalt des Gases bis auf 85 Proz. steigt. Wir werden hierauf noch bei Besprechung der Ballongase zurückkommen (s. Kapitel 63). Hier erfolgt also das Warmblasen nicht durch Anwendung von Teer oder Öl, sondern durch Verbrennung von Koks. Es wird daher abwechselnd ein Luftstrom über den Koks geblasen und dann nach Erreichung der erforderlichen Temperatur Öl eingespritzt. Das Warmblasen dauert 1 $\frac{1}{2}$  bis 2 Minuten<sup>2)</sup>. Die Gaseperiode dauert 2 bis 3 Minuten. Ein solcher Apparat von 20 000 m<sup>3</sup> Tagesleistung wurde in Utrecht ausgeführt.

Das aus der Vorlage kommende Ölgas muß gerade wie das Steinkohlengas gekühlt, gewaschen und gereinigt werden. Die betreffenden Apparate sind aber kleiner als beim Steinkohlengas, weil das Ölgas weniger Verunreinigungen enthält.

Den Kühlern gibt man eine Kühlfläche von 3 bis 4 m<sup>2</sup> pro 100 m<sup>3</sup> in 24 Stunden erzeugten Gases.

Die Wäscher werden gewöhnlich mit Koks gefüllt und mit Wasser berieselt, und man richtet dieselben derart ein, daß sich das Gas in dem freien Raum des Wäschers (ohne Füllmaterial gerechnet) 8 bis 10 Minuten aufhalten würde.

Die Trockenreiniger, welche ebenso wie beim Steinkohlengas mit Raseneisenerz oder aber besser mit Luxscher Masse gefüllt werden, dimensioniert man derart, daß auf 100 m<sup>3</sup> pro 24 Stunden erzeugten Gases 0,1 m<sup>3</sup> Reinigungsmasse entfallen. Die Luxsche Masse ist vorzuziehen, weil das Ölgas kein Ammoniak enthält und die Masse wirksamer ist, wenn sie alkalisch ist, wie dies bei der Luxmasse der Fall ist (vgl. S. 458).

<sup>1)</sup> Neurdenburg, Het Gas 1909, No. 7; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 789. —

<sup>2)</sup> Derselbe, The Engineer 1909; Het Gas 1909, p. 363; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 17; Gas World, No. 311, p. 283.

Die Gasgeschwindigkeit in den Leitungen wählt man mit 0,7 bis 1 m pro Sekunde. Diese Geschwindigkeit, welche viel geringer ist, als bei Steinkohlengaswerken üblich, muß deshalb gewählt werden, weil man bei den verhältnismäßig kleinen Ölgasanlagen gewöhnlich keinen Exhaustor anwendet, und daher die Druckverluste möglichst gering sein sollen. Aber auch wegen des höheren spezifischen Gewichtes des Ölgases muß eine geringere Geschwindigkeit vorgesehen werden.

Das rasche Anheizen, welches die einfachen, mit weniger Schamottemauerwerk gebauten Ölgasretortenöfen und die gußeisernen Retorten ermöglichen, gestattet den Ölgasbetrieb mit Unterbrechungen zu führen, derart z. B., daß nur 12 Stunden pro Tag gegast wird. Dies ist ein wesentlicher Vorteil für kleine Gaswerke, weil dadurch das doppelte Personal, was sonst beim Nachtbetriebe erforderlich ist, entfällt. Bei Anlagen, die einen sehr geringen Gaskonsum haben, ist es sogar sehr zweckmäßig, nur alle 4 bis 6 Tage Gas zu erzeugen, und den Behälter so groß zu wählen, daß er den Konsum aller dieser Tage aufzuspeichern vermag. Bei täglichem Betriebe wählt man den Behälter hingegen gewöhnlich von der Größe des einmaligen Tageskonsums. Nach dem Behälter hat das Gas einen Druckregler zu passieren, welcher mit Rücksicht auf die Kleinheit gewöhnlich nur als Regler mit Gewichtsbelastung ausgebildet wird (S. 507).

Ein Beispiel der Einrichtung einer ganzen Ölgasanstalt werden wir im Kapitel „Waggonbeleuchtung“ besprechen (Kap. 69). Mit Rücksicht auf das geringe Volumen an Gas, welches auf eine bestimmte Leistung an Heizwert oder an Lichtstärke kommt, können die Hausgasmesser der Ölgasanlagen wesentlich kleiner gehalten sein. Man rechnet gewöhnlich ein Viertel von der Größe der beim Steinkohlengas erforderlichen Gasmesser.

Die Zusammensetzung des Ölgases ist wesentlich bedingt durch die Temperatur, welche bei der Entgasung angewendet wird (vgl. S. 669). Je geringer die Temperatur ist, desto höher ist der Gehalt des Gases an schweren Kohlenwasserstoffen. Steigert man hingegen die Temperatur, so erhöht sich der Gehalt an Methan und an Wasserstoff. Eine durchschnittliche Zusammensetzung des Ölgases ist nach Scheithauer<sup>1)</sup> wie folgt gegeben:

$C_m H_n$ . . . . .	33,0	Proz.
$CH_4$ . . . . .	46,0	„
$H_2$ . . . . .	15,0	„
$CO$ . . . . .	2,5	„
$CO_2$ . . . . .	1,0	„
$O_2$ . . . . .	0,5	„
$N_2$ . . . . .	2,0	„

Der Einfluß der Retortentemperatur auf die Zusammensetzung des Gases sowohl wie auf die Ausbeute und der Leuchtwert desselben ist aus der Tabelle (a. f. S.) ersichtlich<sup>2)</sup>.

Auch die nachstehende, von Llewellyn Prices Versuchen abgeleitete Tabelle<sup>3)</sup> (S. 679) zeigt die Abnahme des Gehaltes an schweren Kohlenwasserstoffen und dementsprechend auch an Leuchtkraft, bei Zunahme der Entgasungstemperatur. Nur bei sehr geringen Temperaturen ist die Leuchtkraft wieder geringer. Es rührt dies daher, daß dann das Öl nicht genügend zersetzt wird.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1898, S. 142. — <sup>2)</sup> v. Jüptner, Chemische Technologie der Energien, 3. Bd., S. 217. — <sup>3)</sup> Ebend., 3. Bd., S. 219.

Resultate der Vergasung von Ölen bei verschiedener Temperatur.  
(Pro Stunde wurde 1 Gallone = 4 1/2 Liter Öl vergast.)

Versuchsnummer	Russisches Öl										Schottisches Schieferöl			
	A. Lüsteröl				B. Solar-Destillat						C. Von den Eisenbahnen geliefert		D. Direkt bezogen	
	I	II	III	IV <sup>3)</sup>	I	II	III	III	I	II	I	II	I	II
Temperatur in der Retorte am Anfange	679	752	838	880	799	760	909	909	801	906	774	871	871	871
" " " Ende . . .	593	781	871	854	699	810	933	933	854	868	799	904	904	904
Mittlere Retortentemperatur . . . . .	636 <sup>1)</sup>	766	854	867	749	785	921	921	827	887	786	888	888	888
Gasausbeute in m <sup>3</sup> aus 100 Liter Öl auf 15° C reduziert . . . . .	27,6	46,4	63,0	72,9	36,1	51,6	74,9	74,9	51,3	58,9	41,4	51,7	51,7	51,7
Leuchtkraft in Ver.-Kerzen pro 150 Liter	30,8	49,6 <sup>2)</sup>	35,7	25,0	58,0	48,2	22,0	22,0	41,2	34,3	62,9	46,3	46,3	46,3
Stundenkerzen aus 1 Liter Öl . . . . .	57	153	150	121	106	166	117	117	141	135	174	160	160	160
Spezifisches Gewicht des Gases, Luft = 1	—	0,667	0,526	0,442	0,909	0,735	0,447	0,447	0,664	0,584	0,931	0,671	0,671	0,671
Schwere Kohlenwasserstoffe . . . . .	11,4	28,3	17,3	11,6	42,3	28,4	8,3	8,3	26,9	19,4	45,6	27,3	27,3	27,3
Methan . . . . .	23,6	41,6	—	43,2	—	37,5	—	—	51,3	—	35,9	—	—	—
Wasserstoff . . . . .	57,3	22,6	—	37,7	—	20,7	—	—	16,8	—	8,5	—	—	—
Kohlenoxyd . . . . .	2,7	1,0	2,4	0,7	—	3,5	—	—	0,8	—	2,1	—	—	—
Kohlensäure . . . . .	0,2	0,6	0,5	1,7	0,5	0,2	0,2	0,2	0,6	—	0,2	—	—	—
Sauerstoff . . . . .	0,3	0,6	0,4	0,5	—	0,4	—	—	0,3	—	0,1	—	—	—
Stickstoff . . . . .	4,5	5,3	—	4,6	—	9,2	—	—	3,3	—	7,6	—	—	—
Schwefelwasserstoff (g pro 1 m <sup>3</sup> ) . . . . .	fehlt	—	<0,014	—	fehlt	fehlt	Spur	Spur	fehlt	<0,014	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
Gesamtschwefel (g pro 1 m <sup>3</sup> ) . . . . .	0,069	—	0,24	—	—	0,205	—	—	0,046	0,071	0,085	0,041	0,041	0,041
Rückstand in der Retorte in Prozenten . . . . .	11,3	11,3	20,0	27,2	2,5	5,6	31,8	31,8	0,7	0,6	4,4	4,4	4,4	4,4
Teer in Prozenten . . . . .	56,8	18,8	10,0	0,4	37,1	46,5	0,4	0,4	24,6	7,2	31,1	12,0	12,0	12,0
Spezifisches Gewicht des Teers . . . . .	0,837	0,936	0,933	0,948	0,981	0,984	—	—	1,038	1,033	0,938	1,016	1,016	1,016
Gesamtrückstände in Prozenten . . . . .	68,1	30,1	30,0	27,6	38,9	52,1	32,2	32,2	25,3	7,8	35,5	16,4	16,4	16,4

Bemerkungen: Die beiden russischen Öle verstopften die Retorte nach einigen Stunden durch Kohlenabsatz (besonders das Solar-Destillat); dieses letztere kann über 927° C nicht mehr verarbeitet werden. Die schottischen Öle hinterlassen nur sehr wenig Rückstand und verarbeiten sich ohne Schwierigkeit.

1) Die Temperatur war zu niedrig; ein Teil des Öles blieb in der Retorte und verbrannte beim Öffnen. — 2) Hielt sich drei Wochen lang in einem Experimentierbehälter über Wasser unverändert. — 3) Bei diesen Versuche wurde das Öl über glühende Koke geleitet.

## Verhältnis zwischen dem Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen und der Leuchtkraft des Ölgases.

Öl	Mittlere Vergasungstemperatur °C	Leuchtkraft pro 150 Liter Deutsche Ver.-Kerzen	Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen Vol.-Proz.	Kerzen auf 1 Vol.-Proz. schwere Kohlenwasserstoffe
A. Lüsteröl . . . . .	636	30,8	11,4	2,70
	766	{ 49,6 60,6 <sup>1)</sup> }	28,3	{ 1,75 2,14 }
	854	35,7	17,3	2,06
	867	25,0	11,6	2,16
B. Solar-Destillat . . . . .	749	41,0	42,3	1,37
	785	48,2	28,4	1,70
	921	22,0	8,3	2,65
C. Schieferöl . . . . .	827	58,2	26,9	1,53
	887	34,3	19,4	1,77
D. Schieferöl . . . . .	786	62,9	45,6	1,34
Zum Vergleich gewöhnliches 16-Kerzen-Steinkohlengas	—	16	4	4

Diese letztere Tabelle zeigt auch, wie viele Kerzen Leuchtkraft auf 1 Vol.-Proz. schwere Kohlenwasserstoffe entfallen. Die Schwankungen, welche diese Zahlen zeigen, weisen darauf hin, daß die Leuchtkraft eben nicht ausschließlich von dem Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen in Volum-Prozenten bedingt ist, weil ja die Art derselben sowohl, wie auch die Art der anderen, im Ölgase enthaltenen Gase darauf von Einfluß ist. Aber immerhin zeigen sie, daß die schweren Kohlenwasserstoffe von wesentlichem Einfluß sind, da die Zahlen nur zwischen 1,34 und 2,70 schwanken.

Entsprechend der schwankenden Zusammensetzung des Ölgases ist auch der Heizwert ein verschiedener. Er variiert zwischen 9000 und 12000 Kal. (oberer Wert bei 0°).

Die Explosionsgrenzen des Ölgases liegen zwischen 5 und 14 Proz. Die Explosion ist am stärksten bei einem Gehalt der Luft von 7 Proz. Ölgas.

Das spezifische Gewicht des Ölgases schwankt entsprechend seiner Zusammensetzung zwischen 0,6 und 0,9. Das bei geringerer Temperatur hergestellte Ölgas ist zufolge seines höheren Gehaltes an schweren Kohlenwasserstoffen schwerer.

Der Schwefelgehalt des Ölgases ist, entsprechend dem geringen Schwefelgehalt des Öles, sehr klein. Er beträgt nach der Reinigung nur 4 bis 30 g pro 100 m<sup>3</sup> Gas.

Entsprechend dem schwankenden Heizwert des Ölgases schwankt auch der Luftbedarf desselben mit der Entgasungstemperatur. Bei geringer Entgasungstemperatur und hohem Gehalt an Kohlenwasserstoffen ist der Luftbedarf groß. Dies ist bei der Gasglühlichtbeleuchtung und namentlich bei der Anwendung des Invertlichtes von ganz besonderer Bedeutung. Sind die Brenner einmal für einen bestimmten Luftbedarf des Gases eingestellt, und

<sup>1)</sup> Steinkohlengas mit einem geringen Prozentsatze Ölgas gemischt, und der Leuchtkraftzuwachs auf die Ölmenge berechnet.

kommt dann ein Gas zum Brenner, welches einen höheren Luftbedarf hat, so wird die Flamme zu rußen beginnen oder zum mindesten eine unvollkommene Verbrennung ergeben. Umgekehrt wird ein Flackern der Flamme eintreten, eventuell sogar ein Zurückschlagen, wenn der Luftbedarf plötzlich geringer wird. Das spezifische Gewicht des Ölgases wirkt hier allerdings etwas ausgleichend. Wenn nämlich die Entgasungstemperatur gering war, so ist sowohl der Luftbedarf wie auch das spezifische Gewicht des Gases hoch. Zuzufolge des höheren spezifischen Gewichtes tritt aber aus den Ausströmungsdüsen der Brenner weniger Gas aus, wenn der Druck der gleiche bleibt, und somit wird der hohe Luftbedarf, der pro Volumeinheit des Gases erforderlich ist, durch die geringere ausströmende Gasmenge etwas ausgeglichen. Der Ausgleich ist aber kein vollkommener, so daß diesbezüglich betreffs der Ölgasglühlichtbeleuchtung Schwierigkeiten bestehen bleiben, die nur dadurch ausgeglichen werden können, daß der Betrieb betreffs der Entgasungstemperatur auf das genaueste beaufsichtigt wird.

Die Leuchtkraft des Ölgases wird gewöhnlich nicht auf den Konsum von 150 Litern pro Stunde bezogen, sondern nur auf den Konsum von 35 Litern pro Stunde, weil zufolge seiner hohen Leuchtkraft wesentlich kleinere Brenner verwendet werden. Die Leuchtkraft, in der offenen Schnittbrennerflamme gemessen, beträgt dann etwa 18 Kerzen. Auf 150 Liter pro Stunde gerechnet ergibt dies 40 bis 90 HK. Die Leuchtkraft des Ölgases ist somit auf das Dreifache bis Vierfache der Leuchtkraft des Steinkohlengases zu veranschlagen.

Der Druck, unter welchem das Öl gas verbrannt wird, beträgt gewöhnlich 20 bis 30 mm Wassersäule. Zuzufolge des hohen Luftbedarfes des Ölgases verwendet man als Leuchtbrenner gewöhnlich Zweilochbrenner (Braybrenner, siehe Kap. 68), welche eine intensivere Luftzufuhr zum Gase ergeben. Diese Brenner funktionieren aber nur bei den angegebenen Drucken gut, deshalb wurden bisher hauptsächlich nur diese Drucke angewendet. Wird jedoch das Öl gas zur Glühlichtbeleuchtung verwendet, so ist es zweckentsprechend, einen wesentlich höheren Druck zu geben, damit die Luftansaugung im Bunsenbrenner eine intensivere ist, und kleine Schwankungen in der Zusammensetzung des Gases keinen so hohen Einfluß üben. Der Öl gasverbrauch im Gasglühlicht beträgt beim stehenden Gasglühlicht etwa 0,60 Liter pro HK<sub>n</sub>-Stunde und beim Invertlicht etwa 0,45 Liter pro HK<sub>n</sub>-Stunde.

## 54. Blaugas.

Das Blaugas stellt die bei hohen Drucken verflüssigten flüchtigen Bestandteile des Ölgases dar und sei daher im Anschluß an die Öl gasbereitung erläutern.

Schon zu Beginn der Einführung der Steinkohlengasbeleuchtung suchte man die Anlage von Rohrleitungen dadurch zu vermeiden, daß man das Gas in eisernen Kesseln komprimierte und so den Konsumenten zuführte. Bei den Konsumenten waren dann ebenfalls derartige Rezipienten aufgestellt, in welche das Gas mit Druck eingelassen wurde und woraus es dem Brenner zuströmte. Damals standen jedoch nicht die Einrichtungen zur Verfügung, um auf einfache Weise Gas auf 100 Atm. und mehr komprimieren zu können, und außerdem ist das Volumen des Steinkohlengases, welches zur Erzielung

einer bestimmten Leuchtkraft erforderlich war, ein sehr großes, so daß sich diese Art der Steinkohlengasbeleuchtung (transportables Gas genannt) nicht auf die Dauer zu halten vermochte.

Die schweren Kohlenwasserstoffe des Ölgases vermögen sich hingegen durch einen Druck von 100 und mehr Atmosphären bei entsprechend verringerter Temperatur zu verflüssigen, so daß man flüssige Kohlenwasserstoffe, die nur den 400. Teil des Raumes des Gasvolumens einnehmen, transportieren und zur Beleuchtung verwenden kann. Das Gas ist auf diese Weise nahezu ebenso leicht transportabel wie Petroleum geworden und es besitzt doch vor diesem den Vorzug, ohne besondere Lampen direkt verbrannt werden zu können. Außerdem aber steht das Gas unter hohem Druck, so daß dadurch Effekte wie bei der Preßgasbeleuchtung (Kap. 66) erzielt werden können.

Der Erfinder dieser neuen Beleuchtungsart ist Blau, wodurch dieselben den Namen „Blaugas“ erhalten hat. Das Verfahren wird von der Fabrik Riedinger & Blau in Augsburg ausgebeutet. Das Wesen des Blauschen Verfahrens liegt darin, daß das Öl bei einer sehr geringen Temperatur vergast wird. Man hält Temperaturen von 550 bis 650° ein. Es entwickeln sich dabei nur ganz geringe Mengen von Wasserstoff und Methan und hauptsächlich Kohlenwasserstoffe, die sich leicht verflüssigen lassen. Das Gas wird dann zunächst auf 20 Atm. unter Wassereinspritzung komprimiert, wodurch sich die schwerer flüchtigen, benzinartigen Kohlenwasserstoffe in flüssiger Form abscheiden. Diese werden entfernt und besonders verwertet. Sie bestehen aus den höheren Paraffin- und Olefinkohlenwasserstoffen, enthalten jedoch kein Benzol, was ihren Unterschied von jenen Kohlenwasserstoffen darstellt, die sich bei der Komprimierung des Ölgases zum Zwecke der Waggonbeleuchtung (Kapitel 69) ausscheiden.

Das bei 20 Atm. sich nicht verflüssigende Gasgemisch wird dann weiter auf 100 Atm. komprimiert. Unter so hohem Druck verflüssigen sich dann sämtliche Gase, mit Ausnahme des Wasserstoffes und des Methans. Jedoch auch diese lösen sich in ganz beträchtlicher Menge in den flüssigen Kohlenwasserstoffen auf. Der Rest der Gase, welcher sich nicht verflüssigt, wird in eigene Behälter abgelassen, die das Gas unter hohem Druck aufspeichern. Sie werden dann aus diesen Vorratsbehältern abgelassen und zu anderen Zwecken verwendet.

Aus 100 kg Gasöl erhält man 30 bis 40 kg flüssiges Blaugas, 5 bis 6 kg Benzine, welche sich schon bei dem geringeren Druck von 20 Atm. abscheiden und 50 bis 55 kg Teer, ferner bleiben noch 5 bis 6 kg nicht verflüssigbare Gase übrig. 1m<sup>3</sup> des zunächst erzeugten Ölgases liefert 1 kg Blaugas.

Das verflüssigte Blaugas stellt eine wasserhelle, klare Flüssigkeit vom spez. Gew. 0,51 dar. Alle flüssigen Kohlenwasserstoffe sind durch geringes spezifisches Gewicht gekennzeichnet. Je leichter flüchtig dieselben sind, desto geringer ist das spezifische Gewicht. So z. B. haben die bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen Kohlenwasserstoffe Pentan, Hexan usw. ein spezifisches Gewicht von etwa 0,6 bis 0,7, während das Acetylen (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), d. i. der Kohlenwasserstoff, der das kleinste Molekulargewicht von jenen hat, welche sich verhältnismäßig leicht verflüssigen lassen, in flüssigem Zustand nur das spez. Gew. 0,451 besitzt. Das spezifische Gewicht des flüssigen Blaugases liegt somit zwischen jenen der bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen Kohlenwasserstoffe und des Acetylens und tatsächlich liegt auch sowohl sein Siedepunkt

wie sein Molekulargewicht zwischen denen des Acetylens und des Pentans oder Hexans. Der Siedepunkt des flüssigen Blaugases liegt bei  $-50$  bis  $-60^{\circ}$ .

Der Versand des komprimierten flüssigen Blaugases erfolgt in den sogenannten Bomben, das sind zylindrische Gefäße, meist aus Mannesmannrohren geschweißt, in denen auch alle anderen komprimierten Gase versandt werden. Die Entnahme des Gases aus diesen Bomben erfolgt zweckmäßig, indem man das Gas unter Zwischenschalten eines Druckreglers zunächst in einen Sammelkessel leitet, in welchem man es mit einem Druck von 6 Atm. aufspeichert. Hinter diesem Sammelkessel ist dann abermals ein Druckregler angeordnet, welcher den Druck von 6 Atm. auf den für die Beleuchtung zweckmäßigen Druck von 300 bis 1000 mm Wassersäule reduziert.

Das aus dem flüssigen Blaugas entstehende gasförmige Produkt hat ein hohes spez. Gew. von 0,964, da es wesentlich aus schwereren Kohlenwasserstoffen besteht, einen oberen Heizwert von 15 300 Kal. und einen unteren Heizwert von etwa 14 000 Kal. pro Kubikmeter bei  $0^{\circ}$ . Pro 1 kg beträgt der untere Heizwert 12 300 Kal.

Das Blaugas enthält im wesentlichen Kohlenwasserstoffe der Reihe  $C_nH_{2n}$ , das sind die sogenannten Olefine. Natürlich sind nur solche von geringerem Molekulargewicht vorhanden, da jene mit höherem Molekulargewicht schon bei höherer Temperatur flüssig sind; es sind also der Hauptsache nach vorhanden: Äthylen, Propylen, Butylen. Einen weiteren wesentlichen Bestandteil des Blaugases bilden Kohlenwasserstoffe der Reihe  $C_nH_{2n+2}$ , das sind die sogenannten Paraffinkohlenwasserstoffe. Die niedrigsten Glieder dieser Reihe, nämlich Methan und Äthan, fehlen jedoch, weil diese auch bei einem Druck von 100 Atm. bei gewöhnlicher Temperatur noch gasförmig bleiben. An Paraffinkohlenwasserstoffen sind daher im Blaugas vorhanden: Propan, Butan und Isobutan <sup>1)</sup>.

Kohlenoxyd oder andere giftige Substanzen sind in dem Blaugas nicht enthalten. Es ist aber wohl zu beachten, daß auch die Kohlenwasserstoffe teilweise eine giftige Wirkung auf den menschlichen Organismus ausüben können. Der Geruch des Blaugases ist jedoch außerordentlich intensiv, so daß sich auch geringe Mengen desselben leicht zu erkennen geben. Die Explosionsgrenzen des Blaugases liegen bei 4 bis 8 Vol.-Proz.

Nach einer von Schultz <sup>2)</sup> ausgeführten Untersuchung hatte das Blaugas nachstehende Zusammensetzung:

Olefine ( $C_nH_{2n}$ ) . . . . .	47,6	Proz.
Paraffine ( $C_nH_{2n+2}$ ) . . . . .	36,2	„
Wasserstoff ( $H_2$ ) . . . . .	6,4	„
Kohlensäure ( $CO_2$ ) . . . . .	1,8	„
Luft ( $N_2 + O_2$ ) . . . . .	8,0	„

Für die Kleinbeleuchtung und für Beleuchtungsanlagen, welche nur einen vorübergehenden Gebrauch haben, erscheint das Blaugas besonders geeignet, da es nur geringe Anlagekosten verursacht. Eine Stahlflasche mit 60 kg Gesamtgewicht und 10 kg flüssigem Inhalt enthält  $8\text{ m}^3$  Gas, auf normalen Atmosphärendruck bezogen. Die kleinsten Flaschen, welche im Handel erhältlich sind, besitzen 0,25 kg, die größten 25 kg Blaugasinhalt.

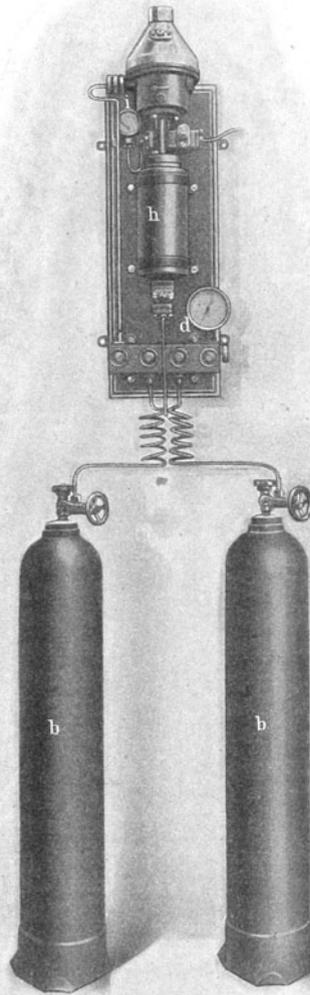
<sup>1)</sup> Hallock, Journ. of the Soc. Chem. Ind. 1908, p. 550; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 806; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 56. — <sup>2)</sup> Bertelsmann, Lehrbuch der Leuchtgasindustrie, Verlag Enke, 1911, S. 560.

Da ein normaler Brenner von 100 HK Leuchtkraft (Gasglühlicht) 35 g Blaugasflüssigkeit pro Stunde verbraucht, so beträgt bei Anwendung einer Flasche von 25 kg Blaugasinhalt die Brenndauer 700 Stunden, d. i. bei der durchschnittlichen täglichen Benutzungsdauer von zwei Stunden ein ganzes Jahr. Bei Anwendung einer 50kerzigen Flamme reicht der Inhalt von 25 kg also auf 1238 Stunden. Die Kosten pro 1 kg Blaugas betragen derzeit 1,20 *M.*

Eine kleine Einrichtung zum Brennen von Blaugas für stabile Flammen, wie sie von Pintsch ausgeführt wird, zeigt Fig. 299. *bb* sind die Bomben, welche das flüssige Gas enthalten. Durch zwei Reduzierventile wird das Gas in einen kleinen Ausgleichsbehälter *h* abgelassen. Das Manometer *d* zeigt dabei den in den Flaschen noch enthaltenen Druck an. Ein oberhalb dieses Ausgleichsbehälters angebrachtes Reduzierventil ermäßigt den Druck auf jenen, wie er im Brenner gebraucht wird. Ein zweites Manometer *i* zeigt diesen ermäßigten Druck an.

Wie bereits erwähnt, ist das flüssige Blaugas keine einheitliche Substanz, und es verdampfen daher die verschiedenen Stoffe, welche verschiedene Siedepunkte haben, nicht gleichmäßig, sondern die leichter flüchtigen Produkte gehen erst in die Gasform über, während die schwerer flüchtigen erst später verdampfen. Zufolge dieser ungleichmäßigen Verdampfung kann es vorkommen, daß Brenner, wenn sie bereits lange Zeit gebrannt haben, zum Schluß ein zu schweres Gas mit zu hohem Luftbedarf erhalten und daher

Fig. 299.



eine neue Einregulierung benötigen. Um dies zu vermeiden, schaltet man größere Behälter zwischen die Bomben und die Konsumleitung. Diese werden dann nur mit 2 Atm. Druck gefüllt und enthalten das Gas im gemischten Zustande.

Das Blaugas hat bereits viel Verwendung zur Beleuchtung von Boyen und ähnlichen Seezeichen erfahren, ebenso scheint eine Verwendung für die Waggonbeleuchtung möglich. Aber auch für die Straßenbeleuchtung ist es für solche Fälle empfehlenswert, wo sich eine andere Gasbeleuchtungsart zufolge der zu geringen Zahl von Flammen nicht anwenden läßt. So kann man z. B. die Stahlflaschen, welche das Blaugas enthalten, in einer Blechsäule unterbringen, worin auch der Druckregler, ein Füllschlauch, ein Füllventil, Sicherheitsventil, Manometer und der Haupthahn unterzubringen sind. Im oberen Teile dieser Säule befindet sich dann noch ein Gasbehälter von 400 Liter Inhalt und das ganze dient als Kandelaber für die betreffende Laterne<sup>1)</sup>. Auch für das autogene Schweißen ist das Blaugas an Stelle von Acetylen verwendbar, und wird sich auch diesbezüglich sicher ein umfassendes Anwendungsgebiet erwerben.

## 55. Luftgas.

Leitet man Luft über leicht flüchtige Kohlenwasserstoffe bei gewöhnlicher Temperatur, so verdampft ein Teil derselben, indem sich die Dämpfe der Luft beimischen. Dabei findet entsprechend der Verdampfungswärme eine Abkühlung der flüssigen Kohlenwasserstoffe statt, wodurch die Verdampfung verringert wird. Die Menge der Dämpfe von Kohlenwasserstoffen, welche von der Luft aufgenommen werden, hängt von der Dampftension der betreffenden Flüssigkeit ab. Die Dampftension ist jedoch um so höher, je höher die Temperatur wird. Oder mit anderen Worten, bei höherer Temperatur nimmt das gleiche Luftvolumen eine größere Menge von Kohlenwasserstoffdämpfen auf. Leitet man also Luft über flüssige Kohlenwasserstoffe, so wird sie sich zunächst mit einer größeren Menge von Kohlenwasserstoffdämpfen sättigen, dann später, wenn die Temperatur der Kohlenwasserstoffdämpfe abgenommen hat, wird die Luft weniger Kohlenwasserstoffe aufnehmen. Würde dabei jede Wärmezufuhr von außen vermieden, so würde sich die Temperatur der Flüssigkeit so weit erniedrigen, daß schließlich gar nichts mehr verdampfen würde. Es ist also stets eine Wärmezufuhr von außen erforderlich, um die Temperatur auf gleicher Höhe zu erhalten. Es wäre sehr umständlich, wenn man diese Wärmezufuhr auf künstlichem Wege besorgen wollte. Man zieht es in den meisten Fällen vor, die Verdampfung der Flüssigkeit durch die Wärme der Außenluft besorgen zu lassen. Dazu ist aber ein bestimmtes Temperaturgefälle erforderlich, d. h. eine Zufuhr von Wärme aus der Luft in das Innere des Apparates findet erst dann statt, wenn schon eine entsprechende Abkühlung der Flüssigkeit eingetreten ist, und man muß nur dadurch eine möglichst große Wärmetransmission, d. h. einen großen Wärmedurchgang herbeiführen, daß man dem betreffenden Verdampfungsgefäß eine

---

<sup>1)</sup> Hallock, Journ. of the Soc. of Chem. Ind. 1908, p. 550; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 806; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 56.

möglichst große Oberfläche gibt, welche mit der Außenluft in Berührung ist und derselben die Wärme entzieht.

Ein Gemisch von Luft mit Kohlenwasserstoffdämpfen kann unter Umständen explosiv sein, wie ja die vielen Benzinexplosionen beweisen, welche alljährlich vorkommen. Das Gemisch von Luft mit Kohlenwasserstoffen (Benzin) ist jedoch nicht mehr explosiv, wenn die Menge der Kohlenwasserstoffe eine bestimmte Grenze überschritten hat (obere Explosionsgrenze, S. 63). Dies ist bei der Erzeugung des Luftgases der Fall. Läßt man die Luft selbst beim Gefrierpunkt des Wassers sich mit Benzindampf sättigen, so ist eine Explosion derselben ausgeschlossen, weil eine zu große Menge von Benzindämpfen in dem Luftbenzingemisch vorhanden ist. Erst wenn eine größere Menge von Luft hinzukommt, die sich nicht vollkommen mit Benzindampf sättigen kann, kann das Gemisch entzündbar werden und zu einer Explosion führen. Dies kann aber nur dann eintreten, wenn entweder die Temperatur der Flüssigkeit so weit herabsinkt, daß sie nur in ungenügendem Maße verdampft, oder wenn nicht mehr genügend Benzin da ist, um die Luft mit den Dämpfen zu sättigen. Um also bei Luftgasapparaten Explosionen zu vermeiden, ist es unter allen Umständen erforderlich, dafür zu sorgen, daß dieselben stets in einem genügend warmen Raume stehen und daß stets genügend Benzin vorhanden ist.

Die Einführung des Luftgases wurde bereits in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts versucht. Umfangreiche Anwendung gewann dasselbe jedoch erst nach Auftreten des Gasglühlichtes. Die Ursache, warum die frei brennende Flamme des Luftgases keine größere Anwendung gewann, lag darin, daß bei den geringen Temperaturen, die das Luftgas noch ohne Kondensation aushalten können muß, der Benzingehalt der Luft ein so geringer ist, daß nur schwachleuchtende Flammen erzielt werden. Anders verhält sich dies beim Gasglühlicht. Hier ist ja die Zufuhr von möglichst viel Luft von großer Wichtigkeit, um eine heiße Flamme zu erreichen. Der erste, welcher Luftgas für Gasglühlichtbeleuchtung in praktischer Weise zur Anwendung brachte, war Markus in Wien. Der von ihm konstruierte Luftgasapparat trug den Namen „Sirius“, und dieses von ihm eingeführte System steht auch heute noch in ausgedehnter Verwendung.

Der Name „Luftgas“, welcher heute in der Beleuchtungstechnik allgemein für dieses Gas angewendet wird, wird leider häufig absichtlich durch andere Namen ersetzt, um damit den Anschein zu erwecken, daß es sich um neuere Beleuchtungsarten handelt. In den letzten Jahren hört man noch die Bezeichnungen Aerogengas, Benoidgas, Pentairgas. Auch ist der Name „Luftgas“ erst in letzter Zeit derart in den Sprachgebrauch eingeführt worden, daß er unzweideutig für das zu Beleuchtungs- und Heizzwecken dienende Gemisch aus Luft und Benzindämpfen dient. Früher verwendete man das Wort Luftgas häufig in Hüttenwerken für das Gasmisch, welches wir als Generatorgas (Kap. 58) bezeichnen und welches durch Einblasen von Luft über glühenden Kohlenstoff erhalten wird. Für dieses Gas sollte das Wort Generatorgas beibehalten werden, um Verwechslungen zu vermeiden.

Ebenso wie das Gas selbst hat auch die Flüssigkeit, welche zur Erzeugung desselben dient, nämlich das gewöhnliche Petroleumbenzin, mancherlei Namen erhalten, um deren eigentliche Abstammung zu verdecken. So z. B.

Gasolin, Solin, Hydrinin. In Laboratorien trägt es die Bezeichnung Petroleumäther.

Als Rohstoff zur Erzeugung des Luftgases dienen also die am leichtesten flüchtigen Produkte, welche bei der Rektifikation des Rohpetroleums gewonnen werden. Dieses sogenannte Petroleumbenzin ist durchaus keine einheitliche Substanz und hat daher auch kein einheitliches spezifisches Gewicht und keinen bestimmten Siedepunkt. Je nachdem, ob der eine oder der andere der Stoffe vorwaltet, kann das spezifische Gewicht zwischen 0,64 und 0,69 schwanken <sup>1)</sup>. Der Siedepunkt kann zwischen 35 und 80° C liegen. Wie bereits erwähnt, nimmt die Luft um so mehr von Dämpfen auf, je niedriger der Siedepunkt der Flüssigkeit liegt. Die nachstehende Tabelle <sup>2)</sup> gibt einige Anhaltspunkte hierüber.

Siedepunkt des Benzins ° C	Von 1 m <sup>3</sup> Luft werden aufgenommen g Benzin	Siedepunkt des Benzins ° C	Von 1 m <sup>3</sup> Luft werden aufgenommen g Benzin
35	2020	60	733
40	1426	65	524
45	1069	70	367
50	1017	75	295
55	830	80	217

Unter den Kohlenwasserstoffen, welche das Petroleumbenzin bilden, spielen das Pentan (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>) und das Hexan (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>) die Hauptrolle, doch sind auch andere höhere Kohlenwasserstoffe vorhanden. Zum Vergleich sei hervorgehoben, daß 1 Liter Pentandampf 3,225 g wiegt und daß die Tension bei 0° 81 mm, bei 15° 868 mm beträgt. Demnach kann die Luft bei 0° 10,63 Vol.-Proz., d. i. 339 g, bei 15° 22,10 Vol.-Proz., d. i. 707 g Pentandampf aufnehmen.

Der Heizwert eines Kubikmeters dieser reinen, nicht mit Luft gemischten Dämpfe beträgt etwa 11 000 Kal.

Ebenso, wie wir dies beim Blaugas (Kap. 54, S. 680) erörtert haben, ist also auch das Petroleumbenzin kein einheitlicher Stoff und verdampft daher in verschiedener Weise derart, daß sich die leichter flüchtigen Stoffe eher in Dampf bzw. in Gas verwandeln, als wie die schwerer flüchtigen. Würde man also die Luft stets mit den Dämpfen sättigen, so würde das Gemisch anfangs, solange noch leichter flüchtige Stoffe da sind, reicher an Kohlenwasserstoffen sein, und später, wenn nur mehr die schwerer flüchtigen vorhanden sind, nicht mehr so viele Kohlenwasserstoffe enthalten. Es würden also Schwankungen in der Zusammensetzung auftreten, welche die Gasglühlichtbeleuchtung unmöglich machen würden. Um dies zu vermeiden, darf man die Luft nicht vollständig mit den Dämpfen des Benzins sättigen, sondern man muß einer bestimmten Luftmenge immer eine ganz bestimmte Menge an Benzin zuführen, so daß diese vollständig oder nahezu vollständig verdampfen kann. Diese

<sup>1)</sup> Im Winter soll man nur Benzine mit keinem höheren spezifischen Gewicht als 0,66 verwenden, im Sommer kann dasselbe 0,69 betragen. — <sup>2)</sup> Gaskalender 1912, S. 187.

Menge darf ferner nicht so groß sein, daß sich beim Abkühlen des Gases auf die bei der Beleuchtung vorkommenden Temperaturen, d. i. etwa  $0^{\circ}$ , Kondensationen von Benzin ergeben, denn dadurch würde ja wieder die Zusammensetzung des Gemisches geändert. Man gibt daher auf  $1\text{ m}^3$  Luft 250 bis höchstens 300 g Benzin. Rechnet man 250 g Pentan, so ergibt sich die Zusammensetzung wie folgt:

Pentan ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ) . . . . .	7,7 Vol.-Proz.
Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) . . . . .	19,4 „
Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) . . . . .	72,9 „
Spezifisches Gewicht . . . . .	1,12 „
Unterer Heizwert pro Kubikmeter, $0^{\circ}$ . . .	2900 Kal.

Wenn aber die Luft bei  $0^{\circ}$  mit Benzindämpfen gesättigt ist, so muß man auch dafür sorgen, daß das Gas, welches zur Beleuchtung dient, in der ganzen Leitung niemals unter  $0^{\circ}$  abgekühlt wird. Dies beschränkt allerdings einigermaßen die Anwendbarkeit des Luftgases. Trotzdem bleibt dasselbe für sehr viele praktische Zwecke außerordentlich brauchbar.

Der Explosionsbereich des Luftgases liegt bei dieser Zusammensetzung zwischen 37 und 63 Proz. Strömt nämlich in die Außenluft eine solche Menge von Luftgas aus, so beträgt der gesamte Benzindampfgehalt der Luft 3 bis 5 Proz. und dies sind die Explosionsgrenzen für Benzindampf.

Bei stehendem Gasglühlicht beträgt der Verbrauch an Luftgas 1,7 bis 2 Liter pro HK-Stunde, bei hängendem Gasglühlicht 1,2 bis 1,5 Liter. In Gasmotoren werden 0,9 bis  $1,0\text{ m}^3$  Luftgas pro HP-Stunde verbraucht, was einem Benzinverbrauch von etwa 0,25 kg pro HP entspricht.

Von einigen Konstrukteuren von Luftgasapparaten wurde auch Benzol (Steinkohlenbenzin) zur Herstellung des Luftgases verwendet. Es gelang jedoch nicht, dasselbe zur allgemeinen Anwendung zu bringen, weil sich das Benzol bei niederen Temperaturen noch leichter kondensiert, wie das Petroleumbenzin. Dadurch entstehen noch größere Schwankungen in der Zusammensetzung als bei diesem.

Nach S. 318 beträgt die Menge von Benzoldampf, welche von  $1\text{ m}^3$  Luft aufgenommen wird, 3,33 Vol.-Proz. oder 116,1 g. Da der Heizwert des Benzols 10050 Kal. pro 1 kg beträgt, so ergibt sich der obere Heizwert ( $0^{\circ}$ ) des Benzolluftgases bei der Sättigungstemperatur von  $0^{\circ}$  zu 1167 Kal., also weit geringer als beim Luftgas aus Petroleumbenzin.

Auch der Rohstoff der Luftgasbereitung, das Benzin, muß natürlich in entsprechendem Vorrat gelagert werden, so daß man es stets zur Hand hat. Mit Rücksicht auf die Feuergefährlichkeit des Benzins müssen entsprechende Vorsichtsmaßregeln gebraucht werden. Am besten ist es, das Benzin in schmiedeeisernen Kesseln zu lagern, welche unter die Erde versenkt werden, wie dies z. B. beim System Martin und Hünecke der Fall ist. Der Raum im Kessel oberhalb der Flüssigkeit wird dann nicht mit Luft gefüllt, sondern man läßt Kohlensäure an Stelle der Luft eintreten, so daß auch innerhalb des Kessels eine Entzündung der Benzindämpfe ausgeschlossen ist. Es wird eine Entzündung ohnedies nicht stattfinden können, wenn die Temperatur der Flüssigkeit höher als  $0^{\circ}$  und eine genügende Menge von Flüssigkeit im Kessel vorhanden ist, denn dann ist die Luft mit Dämpfen derart gesättigt, daß sie nicht mehr entzündbar ist (vgl. S. 685). Die Entzündungsgefahr liegt jedoch dann vor, wenn der ganze Benzinvorrat verbraucht ist, und somit die Luft nicht

mehr mit Benzindämpfen gesättigt ist. Die Lagerung der Benzinvorräte unter der Erde bringt auch die Sicherheit, daß selbst bei Bränden keine Entzündungen des Benzins stattfinden können. Das Benzin wird aus dem Vorratsbehälter entweder durch Kohlensäuredruck oder durch Pumpen heraufgeführt, es tritt dann in kleinere Behälter, welche an den Apparaten für die Verdampfung des Benzins direkt angebracht sind.

Da das Luftgas, welches in die Leitung gelangen soll, einen bestimmten Druck besitzen muß, so ist es notwendig, die zur Erzeugung des Luftgases angewendete Luft unter Druck zu versetzen. Es geschieht dies mit Hilfe von Gebläsen, die mit Motoren angetrieben werden. Für je  $100 \text{ m}^3$  Tagesproduktion ist eine Antriebskraft von 0,06 HP erforderlich. Die Tagesproduktion ist dabei nicht auf 24 Stunden, sondern für 10 Stunden berechnet.

Die einfachsten Motoren zum Antrieb der Luftgasgebläse sind die Gewichtsmotoren. An einer mit einem Zahnrad versehenen Trommel wird ein Drahtseil aufgewunden, welches über Rollen geführt, an einem Flaschenzug ein schweres Gewicht in die Höhe hebt. Beim Herabsinken bewirkt dieses dann die Drehung der Trommel. Gewichtsmotoren sind jedoch nur für kleinere Leistungen geeignet, wie eine einfache Berechnung zeigt. Die 0,06 HP, welche für  $100 \text{ m}^3$  Leistung in 10 Stunden erforderlich sind, entsprechen, in Meterkilogramme umgerechnet, da eine HP-Sekunde 75 MK gleichkommt, 4,50 MK in der Sekunde oder 16 300 MK in der Stunde, d. h. es muß ein Gewicht von 1000 kg in der Stunde 16,2 m fallen können, um die Tagesleistung von  $100 \text{ m}^3$  in 10 Stunden zu ergeben. Da aber das Gewicht doch nur täglich einmal aufgezogen werden soll, so sind ganz gewaltige Gewichte und große Höhen erforderlich, wenn es sich um eine derartige Leistung handelt. In diesem Falle muß man also Gewichtstürme aufstellen, um die erforderliche Fallhöhe zu erhalten. Man macht sie gewöhnlich 10 m hoch. Bei so großen Leistungen ist jedoch der Antrieb mit anderen Motoren zweckmäßiger. Die Gewichtsmotoren verwendet man beinahe nur bei der Beleuchtung kleinerer Objekte. Die Motoren können je nach der zur Verfügung stehenden motorischen Kraft als Wassermotoren, Elektromotoren, Heißluft- oder Gasmotoren ausgebildet sein. In den letzteren beiden Fällen ist Wasser zur Kühlung des betreffenden Motors erforderlich, doch steht solches im Gasbehälter zur Verfügung und es ist sehr zweckmäßig, das Behälterwasser gleichzeitig zur Zirkulation durch den Motor zu benutzen, so daß das Behälterwasser geheizt und dadurch vor dem Einfrieren bewahrt wird, während gleichzeitig der Motor gekühlt wird. Steht eine im ständigen Betriebe befindliche Transmission zur Verfügung, wie dies z. B. bei Luftgasanlagen zur Beleuchtung von Fabriken der Fall ist, so kann das betreffende Gebläse auch von der Transmission angetrieben werden.

Die Luft, welche von dem Gebläse angesogen wird, soll zuvor getrocknet werden. Es hat dies den Vorteil, daß dann eine Abscheidung von Eiskristallen in den Leitungen ausgeschlossen ist. Am besten verwendet man zur Trocknung Chlorcalcium, welches man in einen mit einem Sieb- boden versehenen zylindrischen Turm bringt, durch welchen die Luft gesogen wird.

Zur Lieferung der erforderlichen Luftmenge verwendet man Gebläse, welche eine große Menge Luft bei geringem Kraftbedarf unter geringem

Druck zu liefern haben. Es sind hier also die Gebläse, wie man sie für andere Zwecke verwendet, wo es sich um weit höhere Drucke handelt, nicht zweckmäßig. Die gewöhnlichen rotierenden Gebläse haben bei der geringen Umdrehungszahl, die dem geringen Druck entspricht, einen schlechten Nutzeffekt. Kolbengebläse liefern die Luft stoßweise und sind außerdem zu teuer. Am einfachsten wäre eine Gasmessertrommel zu verwenden, wie wir sie im Kapitel 50 „Gasmesser“ (S. 621) kennen gelernt haben, die man dadurch in ein Gebläse verwandelt, daß man sie mit Hilfe einer Antriebskraft in Drehung versetzt. Dieselbe saugt dann an der Stelle, wo sich sonst der Gaseintritt befindet, Luft ein und bläst dieselbe aus dem Gehäuse heraus. Derartige Gasmessertrommeln könnten jedoch nur Luft von einem sehr geringen Druck liefern, entsprechend der Differenz in den Flüssigkeitsspiegeln innerhalb der Gasmessertrommel und im Gehäuse. Diese Differenz ist im gewöhnlichen Betriebe der Gasmesser sehr gering, denn hier beträgt sie nur ebenso viel wie der Druckverlust, welchen das Gas durch die Reibung der Trommel während der Rotation erleidet. Um die Gasmessertrommel als Gebläse auszubilden, ist also eine kleine Änderung derselben erforderlich. Es würde schon genügen, die ganze Trommel tiefer in das Wasserniveau einzutauchen, um größere Drucke überwinden zu können. Dann wird aber der Teil der Kammern, der sich beständig unter dem Wasser befindet, überflüssig und man kann daher die Kammern länglich ausbilden und an der Mantelfläche verteilen.

Wir werden bei Besprechung der einzelnen Typen der Luftgasapparate Gelegenheit haben, auch noch andere Gebläseeinrichtungen kennen zu lernen. Sie müssen so eingerichtet sein, daß sie einen Druck von mindestens 70 bis 75 mm Wassersäule zu liefern vermögen.

Außer dem Motor und dem Gebläse muß jeder Luftgasapparat eine Vorrichtung zur Benzinzufuhr und einen Benzinverdampfer besitzen. Es sind nun vier verschiedene Typen der Luftgasapparate, die sich vornehmlich in die Praxis eingeführt haben. Sie tragen die Namen Sirius-, Benoidgas-, Aerogengas- und Pentairgasapparate. Sie unterscheiden sich vornehmlich durch die Art der Ausführung dieser vier Konstruktionsteile.

Beim Siriusapparat dient als Gebläse ein Blasebalg, welcher durch einen Gewichtsmotor angetrieben wird.

Die Benoidgasapparate besitzen als Gebläse die Gasmessertrommel, wie sie oben beschrieben ist. Ebenso die Pentairgasapparate<sup>1)</sup>. Bei denselben dient die Gasmessertrommel gleichzeitig zur Messung der erzeugten Gasmenge, indem die Tourenzahl derselben registriert wird. Die Aerogengasapparate besitzen als Gebläse eine sogenannte Schraubenrohrpumpe, die auf demselben Prinzip beruht wie die genannte Gasmessertrommel, bei der jedoch die einzelnen Kammern als lange, spiralförmig gewundene Rohre ausgebildet sind, so daß mit diesen ein hoher Druck erzeugt werden kann.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Art der Benzinzufuhr. Wie wir schon gehört haben (S. 685), darf die Luft nicht mit Benzindampf gesättigt werden, sondern es muß auf 1 m<sup>3</sup> Luft eine stets gleichbleibende Menge Benzin zur Verdampfung gebracht werden. Es müssen also Konstruktionen angewendet werden, die für eine bestimmte Umdrehungszahl des Gebläses eine bestimmte Benzinmenge in den Verdampfer einführen. Jedes System hat hier seine be-

<sup>1)</sup> Busch, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 333.

sonderen Konstruktionen. Beim Benoidgasapparat wird durch jede Umdrehung des Gebläses ein Löffelchen, welches an einem Rohrende befestigt ist, in das Benzin eingetaucht und wieder herausgehoben, so daß das von ihm aufgenommene Benzin durch das Rohr in den Verdampfer fließt. Beim Aerogengasapparat ist eine Anzahl von kleinen Löffelchen an dem Umfange eines Rades angebracht, welche beim Eintauchen in das Benzin eine kleine Menge davon herausnehmen, dann außerhalb desselben an einer bestimmten Stelle umkippen und ihren Inhalt nach dem Verdampfer entleeren. In anderer Weise ist dieses Problem beim Pentairgasapparat gelöst. Hier wird ein Verdrängerkolben um so tiefer in den Benzinbehälter eingetaucht, je größer die Zahl der Umdrehungen ist, welche das Gebläse ausgeführt hat. Dadurch fließt bei jeder Umdrehung eine bestimmte Menge Benzin aus dem Behälter in den Verdampfer.

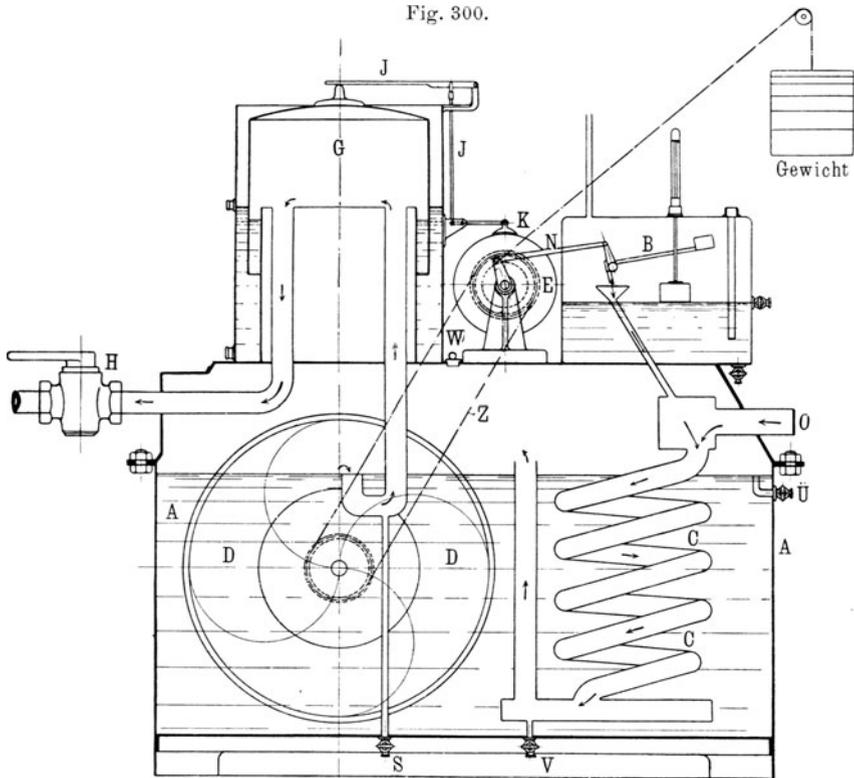
Auch der Verdampfer ist bei den verschiedenen Systemen verschieden ausgeführt. Der Pentairgasapparat besitzt einen Plattenverdampfer, bei welchem eine Anzahl von Platten derart angeordnet sind, daß das Benzin abwechselnd über dieselben herunterfließen muß. Der Luftstrom geht dabei im Gegenstrom nach aufwärts. Der Benoidgasapparat besitzt einen aus mehreren Kammern, die zickzackförmig übereinander angeordnet sind, bestehenden Flächenverdampfer. Die Einfuhr des Benzins in den Verdampfer erfolgt durch einen Siphon. Beim Benoidgasapparat ist dieser mit Glycerin gefüllt, so daß das Benzin durch das Glycerin hindurch sich seinen Weg bahnen muß, wodurch auch bei verdunstendem Benzin stets der Abschluß gewahrt bleibt. Die Verdampfer müssen stets so angeordnet sein, daß das Benzin bis auf einen ganz geringen Rückstand verdampft. Der letzte Rest ist dann zeitweise aus dem Apparat zu entfernen.

Das fertige Luftgas, d. h. die mit Benzindampf geschwängerte Luft, wird dann in einem kleinen Gasbehälter aufgefangen. Derselbe steht gewöhnlich mit den anderen Bestandteilen des Apparates in unmittelbarer Verbindung und regelt automatisch die Gasproduktion, indem er in seiner höchsten Stellung einen Ausrücker betätigt, welcher den Motor ausschaltet, sobald der Behälter vollständig gefüllt ist und ihn wieder einschaltet, wenn derselbe nahezu leer geworden ist. Bei Gewichtsmotoren wird vom Gasbehälter eine Bremse betätigt, wodurch der gleiche Zweck erreicht wird, daß der Apparat immer nur so viel Gas erzeugt, als gerade verbraucht wird. Bei den Siriusapparaten ist überhaupt keine Behälterglocke angeordnet, sondern es wirkt eine Kammer des Blasebalges als Luftbehälter.

Wie schon erwähnt, muß die Außenluft stets um einige Grade wärmer sein als der Benzinverdampfer, damit ein Temperaturgefälle herrscht, demzufolge jene Wärmemenge von außen in den Verdampfer eintritt, welche erforderlich ist, um die durch die Verdampfungswärme des Benzins erfolgte Abkühlung zu ersetzen. Da nun die Luft zu wenig Benzindampf aufnehmen würde, wenn ihre Temperatur unter  $0^{\circ}$  sinkt, so muß die Temperatur des Raumes mindestens 8 bis  $10^{\circ}$  über 0 betragen, um die nötige Benzinverdampfung zu erzielen.

Wir wollen nun eine Type eines Luftgasapparates näher besprechen, um daraus zu ersehen, in welcher Weise die einzelnen Teile zu einem Ganzen verbunden sind, und wählen hierzu den Benoidgasapparat. Derselbe ist in Fig. 300 schematisch dargestellt. Links ist ein Schnitt durch die Gebläse-

trommel und den Behälter des Benoidgasapparates ersichtlich. Wir sehen hier einen Apparat mit Gewichtsantrieb. *E* ist die Seiltrommel, auf welche das Seil aufgewickelt wird, an dem das Gewicht hängt. Mittels einer Riemenübertragung wird die Drehung der Seiltrommel auf die Gebläsetrommel *D* übertragen. Diese ist zu etwa zwei Drittel mit Sperrwasser gefüllt; das oberhalb desselben befindliche Luftvolumen entweicht durch ein siphonartig gebogenes Rohr, welches das fertige Luftgas zu dem Behälter *G* führt. Die



Gebläsetrommel *D* saugt die Luft aus dem Gehäuse *Z*, in welches die Luft durch den Verdampfer *C* eintritt. Sie kommt von außen her durch das Eintrittsrohr *O*, welches zum Schutze vor Verschmutzung durch ein Sieb abgeschlossen ist. Sie kommt also bereits mit Benzindämpfen gesättigt zur Gebläsetrommel *D*. Rechts oben ist ein Schnitt durch den Benzinzuführungsapparat wiedergegeben. Die Seiltrommel bewegt eine Kurbel, die mit Hilfe eines Hebelwerkes das Röhrchen mit dem Löffel *B* bei jeder Drehung einmal nach oben schlägt. Dabei fließt das Benzin durch das Röhrchen nach einem kleinen Trichter und zum Verdampfer. Die nicht verdampften Reste des Benzins können durch den Hahn *V* abgelassen werden.

Der Gasbehälter *G* betätigt einen Hebel *J*, welcher eine Bremse für den Gewichtsmotor in Tätigkeit setzt, sobald die Behälterglocke ihren höchsten Stand erreicht hat. Hier hat der Behälter eine sehr geringe Größe, der für kleine Anlagen genügt. Für städtische Anlagen fügt man einen besonderen

Behälter hinzu, dem man einen Inhalt gibt, welcher dem vierten Teil des Tagesverbrauches entspricht.

Luftgasanlagen sind besonders für kleine Beleuchtungsanlagen geeignet, da sie vollständig automatisch arbeiten und nur einige Stunden Bedienung im Tage benötigen. Die Bedienung beschränkt sich nämlich auf die Reinhaltung des Motors, auf das Nachfüllen des Benzins und auf das Reinigen der ganzen Anlage. Auch die Anlagekosten sind verhältnismäßig gering. Eine besondere Reinigung des Gases ist überhaupt nicht erforderlich.

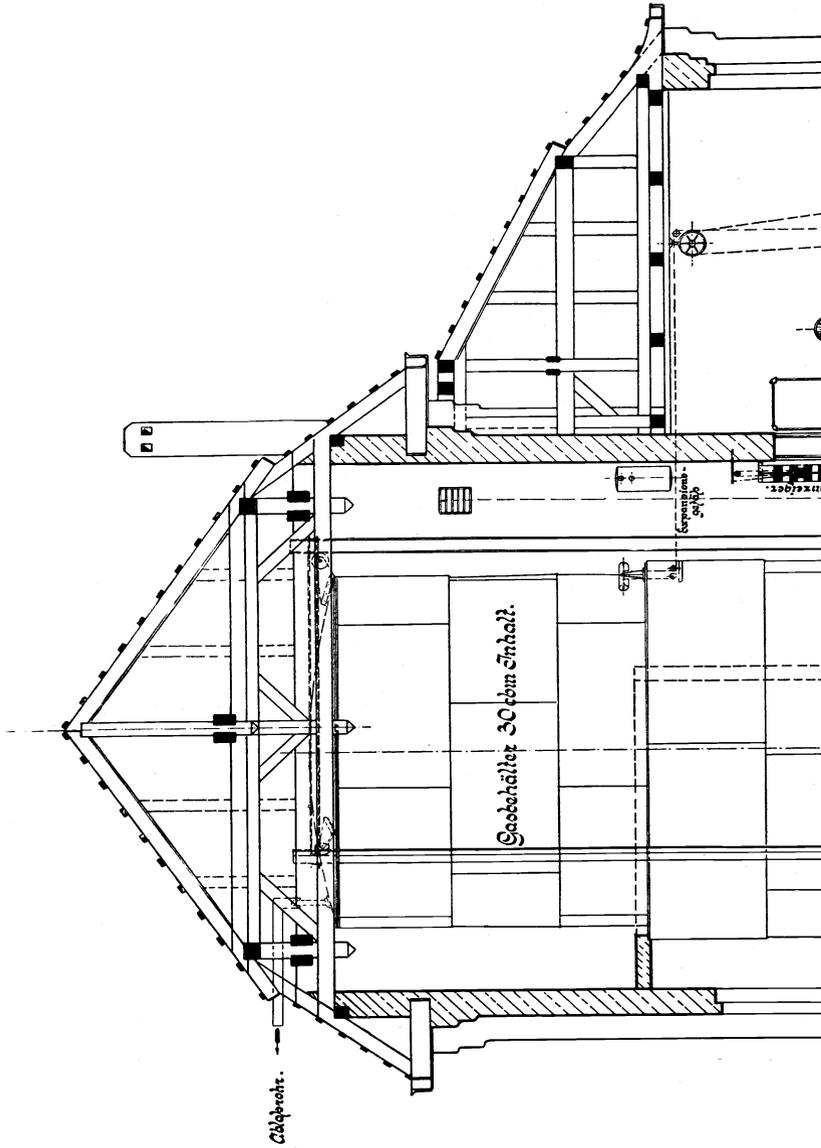
Die Grenze der Rentabilität von städtischen Luftgasanlagen liegt nach Busch<sup>1)</sup> zwischen 30 000 und 70 000 m<sup>3</sup> Jahresproduktion. Das Anlagekapital soll 1  $\mathcal{M}$  pro 0,8 m<sup>3</sup> Jahresleistung nicht übersteigen. Die Bedienungskosten sind mit 500 bis 800  $\mathcal{M}$  pro Jahr zu veranschlagen, da ein Mann 1 bis 2 Stunden täglich in der Anlage beschäftigt ist. Die Kosten des Betriebes betragen bei dem obengenannten Karburierungsgrade und bei den heutigen Benzinpreisen 10  $\text{ö}$  pro Kubikmeter. Die Gesamtauslagen für 40 000 m<sup>3</sup> Jahresproduktion, einschließlich 6 Proz. Verzinsung und Amortisation des Anlagekapitals, betragen 8300  $\mathcal{M}$ , das sind 20,7  $\text{ö}$  pro Kubikmeter.

Zweckmäßig ist es bei Anlagen, die einen unbedingt sicheren Betrieb gewährleisten müssen, wie dies bei städtischen Beleuchtungszentralen der Fall ist, Reserveapparate anzuordnen und zwar nicht nur Reservemotoren, die unbedingt notwendig sind, sondern auch Reservegebläse und Reserveverdampfer. Werden mehrere derartige Apparate in gleichzeitigem Betrieb verwendet, so wird die Ausrückung automatisch mit dem Behälter derart angeordnet, daß ein Apparat nach dem anderen in seiner Tätigkeit ausgeschaltet wird.

Das Minimum des Druckes gaben wir bereits mit 70 bis 75 mm an. Zweckmäßiger ist es jedoch, die Apparate mit höherem Druck arbeiten zu lassen und sind 130 bis 160 mm schon deshalb vorteilhafter zu verwenden, weil dann die Ausnutzung des Luftgases zur Lichtentwicklung im Gasglühlicht eine günstigere ist.

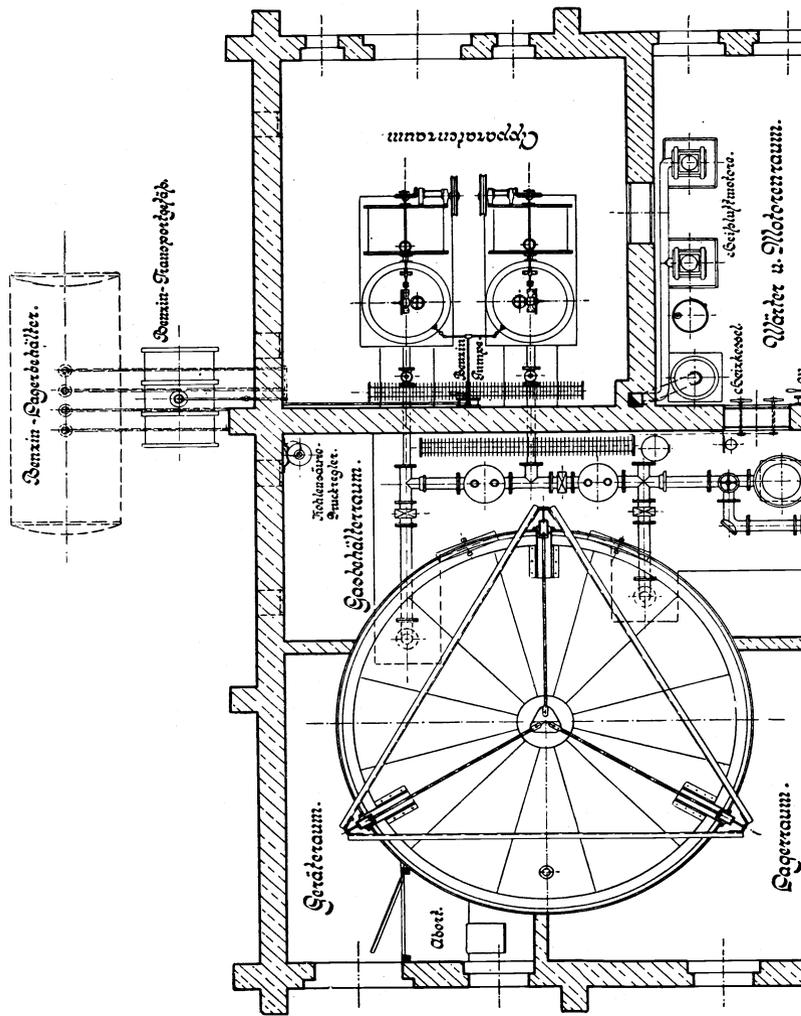
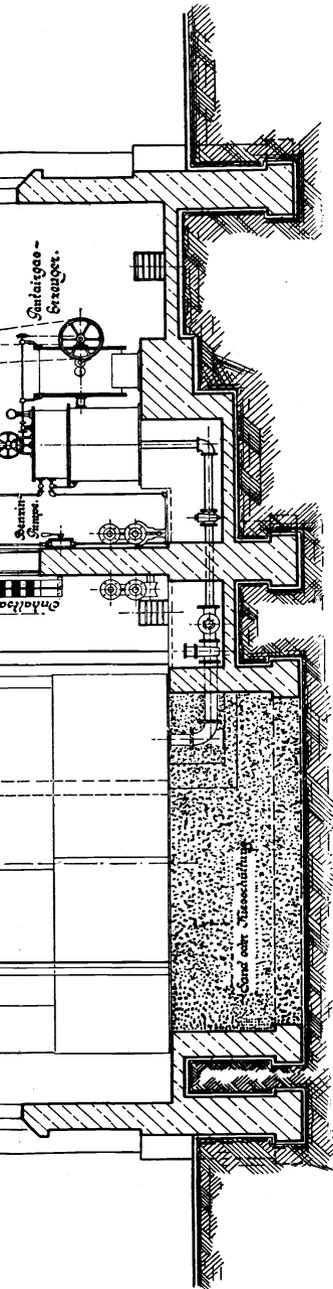
Wir wollen nun eine vollständige Pentairgasanlage betrachten, wie solche von der Firma Carl Francke in Bremen errichtet werden, und benutzen hierzu Fig. 301. Wir sehen hier in dem kleinen Gebäude einen Apparaterraum, in welchem sich zwei von einer Transmission aus angetriebene Pentairgaserzeuger befinden. In demselben Raume ist auch eine Flügelpumpe angebracht, welche das Benzin, von dem außerhalb des Gebäudes unterirdisch angeordneten Benzinlagerbehälter in die Pentairgaserzeuger pumpt. Fallweise kann auch das Benzin direkt aus einem Transportgefäß in die Erzeuger gepumpt werden. Ferner sehen wir daneben angeordnet einen Wärter- und Motorraum. In diesem befinden sich zwei Heißluftmotoren, von denen einer die Transmission antreibt, während der andere in Reserve steht. Neben diesen Räumen ist der Gasbehälter, ebenfalls innerhalb des Gebäudes, aufgestellt und läßt derselbe noch genügend Platz für einen Lagerraum und für einen Geräteraum frei. Ein im Wärter- und Motorraum aufgestellter Heizkessel beheizt die ganze Anlage, ebenso wie den Gasbehälter. (Die Beheizung des Behälterwassers erfolgt teilweise durch die Heißluftmotore, da es zur

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 333.

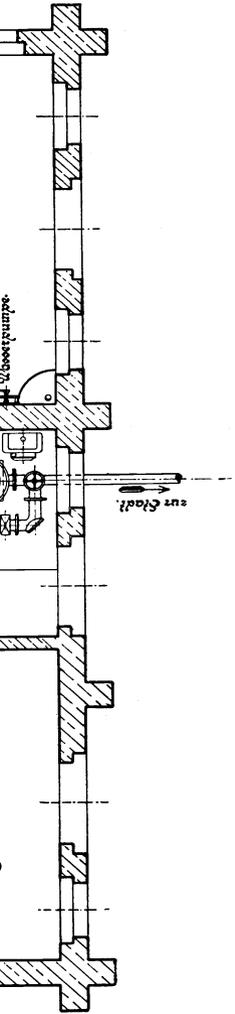


Strache, Gasbeleuchtung.

Fig. 301.



Zu Seite 692.



Kühlung derselben dient.) Die Leitungen erhalten Wassertöpfe, wie dies auch bei anderen Gaswerken der Fall ist. Ebenso ist auch das Rohrnetz an geeigneten tiefen Punkten mit Wassertöpfen zu versehen, da Kondensationen des Benzins vorkommen können.

Das Rohrnetz ist im allgemeinen so zu dimensionieren, wie es für Steinkohlengas üblich ist. Ist auch zunächst der Konsum von Luftgas noch klein, so kann man doch damit rechnen, daß bei künftiger Vergrößerung der Stadt einmal an Stelle eines Luftgaswerkes ein Steinkohlengaswerk errichtet wird, sobald die Rentabilität für einen teureren Bau gegeben ist und dann soll das vorhandene Rohrnetz auch zur Verteilung des Steinkohlengases genügen.

## 56. Acetylen.

Während die bisher betrachteten Leucht- und Heizgase Gemenge verschiedener Substanzen sind, die erst in der Praxis dargestellt, und in umfangreicher Weise verwertet wurden, bevor deren Zusammensetzung noch genau untersucht worden war, ist das Acetylen ein chemisch einheitlicher Stoff, der schon durch 50 Jahre den Chemikern bekannt war, ohne daß er jedoch in größerem Maßstabe hätte hergestellt werden können, weil seine Erzeugung zu umständlich war. Das Acetylen wurde bereits 1836 von Davy entdeckt. Eingehend untersucht wurde es jedoch erst von Berthelot im Jahre 1860 und von diesem Forscher wurde ihm auch der Name gegeben, den es noch heute führt. Berthelot stellte das Acetylen auch künstlich aus seinen Elementen her, indem er einen elektrischen Lichtbogen zwischen zwei Kohlenspitzen in einer Wasserstoffatmosphäre brannte. Der Wasserstoff verband sich dabei mit dem Kohlenstoff zu dem Kohlenwasserstoff,  $C_2H_2$ , d. i. das Acetylen.

Auch das Calciumcarbid, eine Verbindung von Calcium mit Kohlenstoff von der Formel  $C_2Ca$ , ist bereits seit dem Jahre 1840 bekannt, da es zu dieser Zeit von dem französischen Chemiker Hare entdeckt wurde. Nähere Untersuchungen dieses Stoffes nahm Wöhler im Jahre 1862 vor und stellte daraus auch das Acetylen her<sup>1)</sup>. Jedoch auch das Calciumcarbid blieb für die Praxis ohne Bedeutung, da seine Herstellung nur im kleinen Maßstabe möglich und außerordentlich umständlich war.

Erst etwa 30 Jahre später, im Jahre 1891, wurde die Erzeugung von Calciumcarbid aus Kalk und Kohle im elektrischen Ofen in einem amerikanischen Patent von Boehm beschrieben und erst im Jahre 1892 wurde von Wilson in Nordkarolina das Verfahren zur industriellen Erzeugung des Calciumcarbids eingeführt, welches gleichzeitig auch Moissan in Paris ausarbeitete, so daß es im großen angewendet werden konnte. 1894 wurde von Wilson die erste Calciumcarbidfabrik Spray in Nordkarolina errichtet. Bullier, ein Assistent Moissans, nahm das D. R.-P. Nr. 77 168 auf das Moissansche Verfahren; dieses Patent wurde jedoch später für nichtig erklärt.

Das Prinzip des Moissan-Bullierschen Verfahrens ist das schon von Boehm angegebene, gebrannten Kalk mit Kohle gemischt in einem elektrischen Ofen, welcher die Erreichung außerordentlich hoher Temperaturen ge-

<sup>1)</sup> Ann. d. Chem. u. Pharm. **124**, S. 220.

stattet, zusammenzuschmelzen. Der gebrannte Kalk, welcher aus Calciumoxyd ( $\text{CaO}$ ) besteht, zerlegt sich dabei in Calcium und Sauerstoff, der Sauerstoff verbindet sich mit dem Kohlenstoff zu Kohlenoxyd ( $\text{CO}$ ) und das Calcium verbindet sich mit einer weiteren Menge von Kohlenstoff zu Calciumcarbid ( $\text{C}_2\text{Ca}$ ). Durch Zersetzung des Calciumcarbids mit Wasser entsteht dann Acetylen, indem der Sauerstoff des Wassers ( $\text{H}_2\text{O}$ ) sich wieder mit dem Calcium des Calciumcarbids zu Calciumoxyd ( $\text{CaO}$ ) verbindet, während der freiwerdende Wasserstoff mit dem Kohlenstoff des Calciumcarbids zu Acetylen ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) zusammentritt.

Seit der Einführung der industriellen Herstellung des Calciumcarbids durch Moissan und Wilson hat die Verwendung des Acetylens und somit auch die Darstellung des Calciumcarbids einen außerordentlichen Aufschwung genommen. Haben sich auch die anfänglich übertriebenen Hoffnungen, das Acetylen würde alle anderen Leucht- und Heizgase vollständig verdrängen, als übertrieben erwiesen, so ist doch die Anwendung des Acetylens eine außerordentlich umfangreiche geworden. Wie weit verbreitet die Anwendung des Acetylens speziell in kleineren Einzelanlagen ist, kann aus dem Carbidkonsum erkannt werden. Im Jahre 1909 waren bereits 360 000 HP für die Carbid-erzeugung ausgebaut. Hiervon entfallen auf Österreich allein 35 000 HP. Durch die gesamten Anlagen können jährlich 300 000 t Calciumcarbid erzeugt werden. Der Verbrauch beträgt gegenwärtig jedoch nur 200 000 t. Norwegen allein ist in der Lage, 80 000 bis 90 000 t jährlich, d. i. also beiläufig die Hälfte des Gesamtverbrauches, zu erzeugen<sup>1)</sup>.

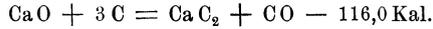
Deutschland konsumiert jährlich 40 000 t Carbid, d. i. um 2000 t mehr als die Vereinigten Staaten und Kanada zusammen<sup>2)</sup>.

Leider litt die Verbreitung des Acetylens in der ersten Zeit sehr durch die vielen Explosionen, welche in den Acetylenherstellungsanlagen vorkamen. Zunächst dachte man die Eigenschaft des Acetylens, daß es sich durch hohen Druck verflüssigen läßt, für die Einzelbeleuchtung besonders ausnutzen zu können; sehr bald stellte sich jedoch heraus, daß das über 2 Atm. komprimierte Acetylen ein außerordentlich explosiver Stoff ist. Die Komprimierung des Acetylens wurde daher in Hinkunft vollständig eingestellt. Dann zeigte sich die Gefahr, die darin liegt, daß bei der Erzeugung des Acetylens aus Calciumcarbid und Wasser eine hohe Erwärmung des Carbids eintreten kann, die zu Explosionen Anlaß geben könnte, und schließlich war auch noch der Umstand maßgeblich, daß die Acetylenentwicklungsanlagen in die Hände von Leuten kam, die nicht richtig damit umzugehen verstanden, da eben das Acetylen besonders für kleine Einzelanlagen geeignet ist. Diese Ursachen sind auch heute noch dafür maßgeblich, daß auch jetzt noch, da man alle Vorsichtsmaßregeln, die für die Herstellung und den Gebrauch von Acetylenanlagen erforderlich sind, genau kennt, noch immer jährlich eine Anzahl von Menschenleben dem Acetylen geopfert werden müssen. So fanden auch im Jahre 1910 in Deutschland allein wieder vier Acetylenexplosionen statt, denen mehrere Menschenleben zum Opfer fielen<sup>3)</sup>.

---

<sup>1)</sup> Weiterzeugung von Calciumcarbid, Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 1909, S. 1005; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 949. — <sup>2)</sup> Knappich, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 620. — <sup>3)</sup> Bayerischer Revisionsverein 1910, S. 95; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 295.

Wir wollen nun zunächst die Erzeugung des Calciumcarbids kennen lernen, um dann erst die Apparate zu besprechen, welche zur Entwicklung des Acetylens aus dem Calciumcarbid dienen. Wie erwähnt, entsteht das Calciumcarbid durch Zusammenschmelzung von Kalk und Kohle in elektrischen Öfen. Es findet jedoch dabei keine Elektrolyse statt, sondern der elektrische Strom wirkt nur durch die Hitze, welche im elektrischen Ofen erzeugt wird. Der Vorgang, welcher dabei stattfindet, läßt sich durch die folgende chemische Gleichung ausdrücken:



Dabei verbinden sich 87,5 Gew.-Tle. gebrannter Kalk mit 56,25 Gew.-Tln. Kohlenstoff zu 100 Gew.-Tln. Calciumcarbid und nebenbei entweichen 43,75 Gew.-Tle. Kohlenoxyd.

Theoretisch würde zur Deckung des obengenannten Wärmebedarfes, welcher sich aus der Reaktionsgleichung ergibt, zur Erzeugung von 1 t Calciumcarbid in 24 Stunden 3900 KW erforderlich sein. Praktisch wird jedoch mehr Strom gebraucht, da Strahlung und andere Wärmeverluste, besonders zur Erhitzung des Kohlenoxyds und zur Erwärmung der Unreinheiten gedeckt werden müssen.

Die obengenannte Reaktion vollzieht sich in der Weise, daß zunächst der Kalk durch die Hitze des elektrischen Lichtbogens geschmolzen wird. Die Schmelztemperatur liegt ungefähr bei 3000° C. Dann löst sich der Kohlenstoff in dem geschmolzenen Kalk auf, indem sich das Calciumcarbid bildet. Die Verhältnisse müssen jedoch stets so gewählt werden, daß sich nicht reines Calciumcarbid bildet, denn dieses hat einen Schmelzpunkt, der noch viel höher gelegen ist; dieses wird nämlich erst bei 2800° weich, und erst bei 3500° C dünnflüssig. Praktisch kann man daher höchstens ein 80 proz. Calciumcarbid herstellen, welches zufolge des Gehaltes an Verunreinigungen einen niedrigen Schmelzpunkt besitzt.

Von den beiden Rohmaterialien Kalk und Koks muß besonders der erstere einen besonderen Grad der Reinheit besitzen. Enthält derselbe Magnesiumoxyd, so verhindert dies die Lösung des Kohlenstoffs in dem geschmolzenen Kalk. Ebenso wirkt Kieselsäure schädlich. Enthält dagegen der Kalk Alkalien, so greifen diese die Elektroden an. Enthält er Phosphor oder Schwefel, so entsteht später bei der Zersetzung des Calciumcarbides unreines Acetylen, das dann nur mit großen Schwierigkeiten zu reinigen ist. Enthält der Kalk größere Mengen von Kohlensäure oder Wasser, so müssen diese bei dem Schmelzprozeß zunächst ausgetrieben werden, was einen höheren Stromverbrauch bedingt. Aber nicht nur der chemische Reinheitsgrad, sondern auch die physikalischen Eigenschaften des Kalkes sind wichtig. Es ist also notwendig, der Auswahl des Kalkes eine besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Da, wie gesagt, der Kalk zunächst schmilzt, so ist es nicht unbedingt notwendig, denselben in besonders feinpulveriger Form zu verwenden, man muß ihn nur insoweit pulvern, als dies zur Erzielung eines gleichmäßigen Gemisches mit der Kohle erforderlich ist. Wendet man einen zu großen Überschuß an Kohlenstoff an, so löst sich dieser ebenfalls in dem Calciumcarbid auf, macht es schwerflüssig und schwarz. Praktisch verwendet man gewöhnlich 60 bis 90 Tle. Koks auf 100 Tle. Kalk. Diese Verhältnisse werden allerdings von verschiedenen Werken verschieden angegeben. Der

Kohlenstoff soll natürlich auch in möglichst reiner Form zur Anwendung gelangen. Man wählt daher, wenn man nicht Holzkohle zur Verfügung hat, einen Koks, der nicht mehr als 5 Proz. Asche enthalten soll.

In dem Carbidwerke Vernier bei Genf<sup>1)</sup> werden 900 kg Koks gepulvert, auf einem Zylindersieb abgeseibt, getrocknet und dann mit 100 kg eines mindestens 99 proz. Kalkpulvers gemischt. Beide Rohmaterialien, sowohl der Koks als der Kalk, werden durch Becherwerke gefördert, und die Geschwindigkeiten derselben werden derart eingerichtet, daß die beiden Rohmaterialien in richtigen Verhältnissen an die Mischvorrichtung angeliefert werden. Bei der Carbidfabrikation nach dem Verfahren von Tenner wird das Mischungsverhältnis von Kalk und Koks wie 3 : 2 genommen<sup>2)</sup>.

Wir wollen nun die Öfen kennen lernen, welche zur Carbiderzeugung dienen. Es ist bis jetzt noch nicht gelungen, mit anderen Mitteln als mit Hilfe des elektrischen Stromes derart hohe Temperaturen zu erzeugen, wie dies für die Carbiderzeugung erforderlich ist. Man kennt nun zweierlei verschiedene Arten der Erzeugung hoher Temperaturen mit Hilfe des elektrischen Stromes. Die eine ist die Benutzung von Widerständen, welche beim Durchtritt des elektrischen Stromes zum Glühen erhitzt werden, die andere Art ist das Einbringen des Schmelzgutes in den elektrischen Lichtbogen, der zwischen zwei Kohlen überspringt. Beide Arten der Wärmeerzeugung sind für die Carbidfabrikation ausgenutzt worden. Ferner unterscheidet man Carbidöfen mit unterbrochenem Betriebe und solche mit kontinuierlicher Zufuhr und Abfuhr des Carbids. Die Öfen mit unterbrochenem Betriebe liefern das sogenannte Blockcarbid. Dort läßt man nämlich das erzeugte Carbid in dem Ofen selbst erkalten und es wird nachträglich als ganzer Block herausgenommen. Bei den kontinuierlichen Öfen dagegen läßt man das geschmolzene Calciumcarbid durch Abstichöffnungen ausfließen und es erstarrt dann zu einer kompakten Masse. Das Blockcarbid ist poröser und wird daher vom Wasser energischer angegriffen, als das geschmolzene Carbid. Beim Blockcarbid erhält man dagegen bei Aufwendung einer bestimmten Stromenergie eine bessere Ausbeute, weil die Carbidbildung auch bei Abstellung des Stromes während des Erkaltes noch fort dauert. Bei allen Carbidöfen ist es wichtig, den Strom mit gleichmäßiger Stärke zuzuführen und ferner müssen besondere Vorkehrungen getroffen werden, um das Zerstäuben des Rohmaterials, welches den Betrieb sehr belästigt, zu verhindern und schließlich ist noch besonderes Augenmerk der Schonung der Elektroden zuzuwenden, da der Verbrauch an diesen einen beträchtlichen Teil der Betriebskosten ausmacht.

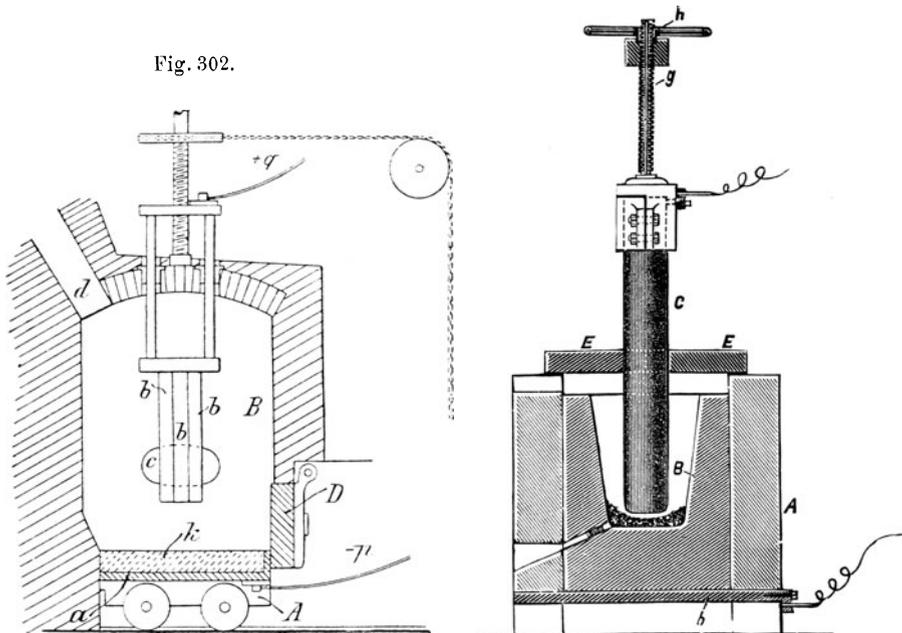
Fig. 302 zeigt den Carbidofen von Tenner (D. R.-P. Nr. 88 364), welcher zur Erzeugung von Blockcarbid dient<sup>3)</sup>.

Die auf Rollen und Geleise einzufahrende Sohle des Ofens *A* bildet, zufolge eines Belages mit Elektrodenkohle *k*, die eine Elektrode. Der Strom wird hier durch das Kabel *p* zugeführt. Der Abschluß des Ofens erfolgt nach dem Einfahren der Sohle durch die ebenfalls mit feuerfestem Material ausgekleidete Klappe *B*. Die zweite Elektrode wird durch einzelne Elektrodenstäbe *b*, die zu einem ganzen Stück verbunden und an einer Hebevorrichtung angebracht sind, so daß sie in verschiedener Höhe eingestellt

<sup>1)</sup> L'Eclairage Électric 1897, p. 351. — <sup>2)</sup> Zeitschr. f. angew. Chemie 1896, S. 609. — <sup>3)</sup> Ebend. 1896, S. 609; Journ. f. Gasbel. 1897, S. 259.

werden können, gebildet. Die Stromzufuhr erfolgt hier durch das Kabel *g*. Durch eine seitliche Öffnung im Ofen wird das Rohmaterial gemischt eingebracht. Zunächst befindet sich die Elektrode *b* in der untersten Stellung und nach Anschluß des Stromes wird dieselbe allmählich gehoben. Es bildet sich ein Lichtbogen zunächst zwischen den beiden Elektroden, demzufolge sich Calciumcarbid in geschmolzener Form auf die Sohle *k* ansetzt, jedoch auch das Calciumcarbid leitet den elektrischen Strom beinahe ebenso gut wie die Elektrodenkohle. Daher bildet sich in der Folge der Lichtbogen zwischen

Fig. 303.



der Elektrode *b* und dem geschmolzenen Calciumcarbid. Das bei der Reaktion gebildete Kohlenoxyd entweicht durch den Kanal *d*; es schleppt auch beträchtliche Mengen von Kalkpulver mit fort.

Den von Wilson verwendeten Ofen zeigt Fig. 303. Derselbe ist mit einem Abstichloch versehen, so daß das geschmolzene Carbid dort abgelassen werden kann. Öfen mit kontinuierlichem Betriebe wurden in Vernier in umfangreicher Weise angewendet. Dieselben besitzen Abstichlöcher in verschiedenen Höhen, so daß man den geschmolzenen Ofeninhalt aus verschiedenen Höhen abziehen kann. Die Einfüllung der Beschickung erfolgt von oben. Die Öfen in Vernier besitzen Hohlräume in Form zylindrischer Tiegel von 1,5 m Durchmesser und 0,8 m Höhe. Sie bestehen aus gepreßter Kohle, die mit einem Eisenmantel umgeben ist. Jeder Ofen wird mit einem Strom von 6000 Amp. bei 57 Volt Spannung betrieben. Es entspricht dies einer Kraftleistung von 500 HP. Die einzelnen Elektrodenstäbe besitzen  $13 \times 23$  cm Dicke und sind 1,5 m hoch. Sechs von diesen vereinigt bilden einen Elektrodenblock. Der Querschnitt desselben beträgt  $1794 \text{ cm}^2$ . Das gesamte Gewicht desselben 390 kg. Die Öfen stehen auf Rollen und werden während des Be-

triebess über Gruben geführt, damit beim etwaigen Durchschmelzen der Sohle keine Unglücksfälle hervorgerufen werden.

Ein anderer Ofen, welcher bei der Aluminiumindustrie-Aktiengesellschaft in Neuhausen und bei den Elektrochemischen Werken in Bitterfeld umfangreich eingeführt wurde, ist jener von Rathenau (D. R.-P. Nr. 86 266). Die Elektroden sind hier in einem Trichter aus schwer schmelzbarem Material eingesetzt, welcher mit einem Gemisch von Kalk und Kohle gefüllt ist und einen luftdichten Abschluß der Elektrode nach oben bewirkt. Das Kohlenoxyd entweicht durch schmale Fugen, welche sich zwischen dem Trichter und dem Ofeninnern befinden. Der Gasstrom verlangsamt sich dadurch beim Aufsteigen und reißt daher nicht soviel Material mit, wie dies bei den anderen Öfen der Fall ist. Diese Öfen werden mit Abstichloch hergestellt, so daß sie zum kontinuierlichen Betriebe geeignet sind.

Abstichöfen liefern 4 bis 5 kg Carbid pro Kilowatttag. Blocköfen liefern dagegen, wie erwähnt, mehr, nämlich 8 bis 9 kg pro Kilowatttag. Die Öfen zur Erzeugung des Calciumcarbid werden in den verschiedensten Größen von 200 bis 2000 HP Stromverbrauch ausgeführt.

Das den Öfen entnommene Carbid wird zerkleinert, von dem dabei entstehenden Pulver abgesiebt und gelangt dann zur Verpackung. Mengen von mehr als 10 kg Calciumcarbid müssen in wasserdichte Gefäße verschlossen, verpackt und versendet werden.

Das Calciumcarbid ist im rohen Zustande eine kristallinische, braune, undurchsichtige Masse. Im ganz reinen Zustande, wie das Calciumcarbid durch Zusammenschmelzen von metallischem Calcium mit Kohlenstoff erhalten werden kann, bildet es allerdings farblose, durchsichtige Kristalle. Das technische Calciumcarbid enthält jedoch stets so viele Verunreinigungen, daß dadurch die Undurchsichtigkeit und die dunkle Farbe hervorgerufen ist. In allen üblichen Lösungsmitteln ist das Calciumcarbid unlöslich. Es besitzt ein spezifisches Gewicht von 2,22 bei 18°, und eine elektrische Leitfähigkeit, die jener der Kohle ungefähr gleichkommt. Bei Erhitzung in der Gasflamme verbrennt es nicht. Wird es jedoch im Sauerstoffstrome erwärmt, so verbrennt es zu kohlensaurem Kalk. Das Calciumcarbid zeichnet sich ferner durch die Fähigkeit aus, beim Erhitzen unter Sauerstoffausschluß Stickstoff aufzunehmen, ein Verhalten, welches Caro zur Bindung des Luftstickstoffes, unter Bildung von Calciumcyanamid, benutzt hat. Diese sehr viel Stickstoff enthaltende Substanz, auch Kalkstickstoff genannt, wird bereits industriell in größerem Maße hergestellt und zu Düngungszwecken benutzt.

Das Calciumcarbid, wie es aus den Carbidöfen kommt, besitzt eine Anzahl von Verunreinigungen. Dieselben können betragen:

Kalk (CaO) . . . . .	4,0 bis 25,0	Proz.
Kohlenstoff (C) . . . . .	0,5 „ 7,0	„
Silicium (als Calciumsilicid, Siliciumkohlenstoff, Kieselsäure o. dgl.) . . . . .	bis zu 8,0	„
Schwefel (als Schwefelcalcium oder Aluminium) . . . . .	0,07 bis 6,3	„
Phosphor (als Phosphorcalcium) . . . . .	0,001 „ 0,012	„

Das Calciumcarbid wird durch feuchte Luft rasch angegriffen. In großen Stücken dauert es naturgemäß lange, ehe die Feuchtigkeit der Luft die Zersetzung des Calciumcarbid bis ins Innere der Stücke führt. Kleine Stücke werden jedoch sehr rasch vollständig zerstört. Aus diesem Grunde ist es

zweckmäßig, das Calciumcarbid, welches kleinstückig zum Versand gelangt, mit Stoffen zu imprägnieren, die es vor dem Angriff der Luft einigermaßen schützen. Die Imprägnierung verfolgt auch den Zweck, den Angriff des Wassers minder stürmisch zu gestalten. Für großstückigen Carbid ist jedoch die Imprägnierung zu teuer. Als Mittel zur Imprägnierung werden Petroleumrückstände, Paraffin, Gelatin, Harzarten oder Zucker verwendet. Harz konserviert sehr stark, so daß das Wasser dann nur sehr gelinde angreift. Zucker hat den Vorteil, sich in Wasser zu lösen, und auch zu einer Lösung des bei der Zersetzung gebildeten Kalkes zu führen, und zwar in Form von Zuckerkalk. Ein imprägniertes Carbid, welches für bewegliche Anlagen vielfach verwendet wird, kommt unter dem Namen „Carbidid“, in Zylindern von 1 bis 2 kg Gewicht, in den Handel.

Bei Apparaten zur automatischen Erzeugung des Acetylens durch Einfallenlassen des Calciumcarbids in Wasser ist es oft erforderlich, das Carbid gut gleitend zu machen. Zu diesem Zweck wird dasselbe mit gepulvertem Talg oder Bärlappsamen überzogen.

Das in den Blechbüchsen aufbewahrte Calciumcarbid entwickelt zufolge des Feuchtigkeitsgehaltes der eingeschlossenen Luft innerhalb der Büchse noch immer etwas Acetylen. Aus diesem Grunde darf das Öffnen der Büchse nicht durch Auflöten erfolgen, sondern es muß mechanisch geschehen. Anderenfalls wären Explosionen nicht ausgeschlossen.

Die Wertbestimmung des Calciumcarbids erfolgt am besten, indem man eine gewogene Menge desselben in irgend einen Acetylenentwickler, welcher die Gewähr dafür bietet, daß kein Gas verloren geht und daß auch alles Calciumcarbid durch das Wasser vollständig zersetzt wird, mit Wasser in Berührung bringt. Man bringt das erzeugte Gas in einen Kubizierapparat (vgl. S. 636), liest Temperatur, Barometerstand und Gasdruck ab und berechnet danach die Gasmenge auf 0° und 760 mm Barometerstand reduziert (vgl. S. 106) auf 1 kg Carbid. Sehr gut eignet sich hierzu der von Caro angegebene Apparat. Um zunächst aus dem Apparat die Luft zu vertreiben, vergast man vorher einen Teil ungewogenen Calciumcarbids. Die dabei erzeugte Gasmenge führt man demnach auch nicht der Messung zu, sondern benutzt sie nur, um den Behälter zu entlüften.

Von den Carbidstücken sind nicht alle gleichmäßig leicht zersetzlich. Oft zersetzt sich ein Teil beim Einbringen in Wasser außerordentlich leicht, während ein Rest längere Zeit unzersetzt bleibt. Es ist wichtig, die aus dem Carbid rasch erhältliche Acetylenmenge und die durch dauernde Einwirkung des Wassers erhältliche, gesondert kennen zu lernen. In dem Caroschen Acetylenentwickler kann man diese beiden Mengen hintereinander bestimmen. Man vergast einige Partien Calciumcarbid rasch hintereinander und liest die jeweils gebildete Gasmenge ab. Das schwerer zersetzliche Carbid sammelt sich am Boden des Apparates an und liefert nach Zersetzung der Hauptmenge zum Schluß noch eine Quantität Gas, die hinterher besonders bestimmt werden kann.

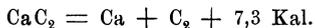
Theoretisch sollen aus 1 kg reinem Calciumcarbid 348 Liter Acetylen (auf 0° und 760 mm Druck berechnet) geliefert werden. Das praktisch im Handel erhältliche Carbid erreicht natürlich nie diese Reinheit. Als Handels-carbid gilt eine Ware, die nicht weniger als 290 Liter Acetylen gas pro Kilogramm geben darf.

Das Acetylen wird aus dem Calciumcarbid dargestellt, indem man dasselbe mit Wasser in Berührung bringt. Die Zersetzung erfolgt dabei gemäß der Gleichung:

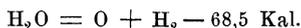


Die hier genannten 32,4 Kal., die sich bei der Zersetzung von Calciumcarbid mit Wasser zu Calciumoxyd entwickeln, ergeben sich in folgender Weise <sup>1)</sup>.

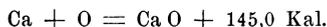
Das Calciumcarbid zerlegt sich in Calcium und Kohlenstoff nach der Formel:



Das Wasser zersetzt sich nach der Gleichung:



Das Calcium verbindet sich mit dem Sauerstoff nach der Gleichung:



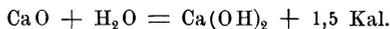
Der freigewordene Kohlenstoff verbindet sich mit dem ebenso erhaltenen Wasserstoff nach der Formel:



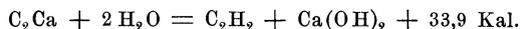
Das Endresultat ist somit in der Gleichung ausgedrückt:



Der gebildete Kalk (CaO) setzt sich mit einem weiteren Molekül Wasser zu gelöschtem Kalk [Calciumhydroxyd:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] um nach der Gleichung:



Diese beiden zu gleicher Zeit verlaufenden Reaktionen können demnach zusammengefaßt werden in die Gleichung:



Das Molekulargewicht des Calciumcarbids ( $\text{C}_2\text{Ca}$ ) ist 64. Die obige Gleichung drückt also aus, daß bei Zersetzung von 64 g Calciumcarbid 33,9 Kal. entwickelt werden. Bei Zersetzung von 1 kg Calciumcarbid werden also entstehen:

$$\frac{33,9}{64} \cdot 1000 = 530 \text{ Kal.}$$

Die Wärmemenge, welche bei Entwicklung von 1 m<sup>3</sup> Acetylen gas erzeugt wird, können wir leicht erfahren, wenn wir uns erinnern, daß nach obiger Gleichung 1 Mol. Acetylen gas entsteht und dieses in Grammen ausgedrückt, den Raum von 22,3 Litern, d. i. das Molekularvolumen, einnimmt. Pro 22,3 Liter erzeugtes Acetylen gas werden also 33,9 Kal. entwickelt oder pro 1 m<sup>3</sup> Acetylen gas

$$\frac{33,9}{22,3} \cdot 1000 = 1520 \text{ Kal.}$$

Das Handelscarbide wird natürlich zufolge seines geringeren Gehaltes an reinem Calciumcarbid eine geringere Wärmetönung geben, so z. B. wird 1 kg Handelscarbide mit 80 Proz. Carbidgehalt 0,8 · 530, d. i. 424 Kal. liefern. Für 1 m<sup>3</sup> Acetylen wird aber stets dieselbe Wärmemenge von 1520 Kal. erzeugt. Würde man zur Zersetzung des Calciumcarbids nur die theoretisch

<sup>1)</sup> Nach Landolt-Börnstein, Chem.-Phys. Tabellen, S. 416—445. Verlag Springer, 1905.

erforderliche Wassermenge verwenden, so würde sich die gesamte erzeugte Wärmemenge auf das Acetylen und auf das gewonnene Calciumhydroxyd übertragen. Aus den spezifischen Wärmen dieser beiden Produkte würde sich dann theoretisch eine Temperatur von  $1400^{\circ}\text{C}$  berechnen. Daß tatsächlich eine so hohe Temperatur nicht eintreten kann, liegt daran, daß das Calciumhydroxyd bei höheren Temperaturen wieder zu Wasserdampf und Calciumoxyd zerfällt und daß auch das Acetylen bei höheren Temperaturen nicht beständig ist. Tatsächlich wurden aber bei der Zersetzung des Calciumcarbids mit Wasser schon Temperaturen von  $674^{\circ}$  beobachtet. Die Zersetzung kann also, wenn geringe Wassermengen zur Anwendung gelangen, tatsächlich zur Rotglut führen. Bei so hohen Temperaturen erleidet aber das Acetylen beträchtliche Umwandlungen. Zunächst polymerisiert es sich, indem sich teilweise Benzol, teilweise Styrol bildet. Bei noch höheren Temperaturen erfolgt aber eine weitergehende Zersetzung, indem sich aus dem Acetylen Kohlenstoff abscheidet und Wasserstoff frei wird. Da die Zersetzung des Acetylen, wie wir aus den obigen Wärmetönungen gesehen haben, eine wärmeliefernde ist, so kann daraus eine Explosion, d. h. eine plötzliche Zersetzung des Acetylen in Kohlenstoff und Wasserstoff, resultieren. Eine Zersetzung des Acetylen bei der Erzeugung kann man daran erkennen, daß der Kalkschlamm, welcher im Wasser zurückbleibt, braun gefärbt ist. Dies rührt von Polymerisationsprodukten, welche teerig sind, her. Erfolgt die Zersetzung bis zur Abscheidung des Kohlenstoffs, so nimmt der Schlamm eine schwarzgraue Färbung an.

Die Wassermenge, welche zur Zersetzung von 1 kg Calciumcarbid erforderlich ist, wäre theoretisch 562 g. Aus obigem geht jedoch hervor, daß eine Kühlung während der Reaktion erforderlich ist, und diese besorgt man am besten dadurch, daß man einen großen Überschuß von Wasser anwendet. Man rechnet daher praktisch zur Zersetzung von 1 kg Calciumcarbid 5 kg Wasser. Mehr anzuwenden ist unzweckmäßig, da sich das Acetylen teilweise in Wasser auflöst.

Die Einwirkung des Calciumcarbids auf Wasser ist eine außerordentlich stürmische. Will man dieselbe mäßigen, so setzt man dem Wasser andere Stoffe zu, welche gewissermaßen das Wasser verdünnen, weil sie selbst nicht auf das Calciumcarbid einwirken. So ist z. B. eine Mischung des Wassers mit 16 Proz. Glycerin und 16 Proz. Alkohol zweckmäßig.

Um die Überhitzung des Calciumcarbids zu vermeiden und die Sicherheit der Acetylenentwicklungsapparate zu gewährleisten, müssen dieselben bestimmte Bedingungen erfüllen, die im nachstehenden erläutert sind.

1. Die Zersetzung des Calciumcarbids muß eine vollkommene sein. Tropft man nur wenig Wasser auf das Carbid, so werden die Stücke des letzteren vom Schlamm des Calciumhydroxyds umhüllt und dies verhindert den weiteren Zutritt des Wassers, so daß im Inneren des Wassers unzersetzte Teile von Calciumcarbid übrigbleiben. Dies kann auch beim Aufbringen größerer Wassermengen auf das Calciumcarbid stattfinden, wenn das letztere in größeren Mengen zusammengeschichtet mit Wasser übergossen wird. Man gibt daher den Acetylenentwicklungsapparaten zweckmäßig Kippböden, auf welchen sich das unzersetzte Carbid ablagert, während der gebildete Kalkschlamm durch das Sieb hindurch nach unten abfließt. Da sich jedoch Sieblöcher leicht verlegen, so ist es zweckmäßiger, einen Rost zur Auflagerung des Carbids an-

zuwenden. Die Carbidstücke dürfen ferner nicht zu groß sein, aber auch zu kleine Stücke sind nachteilig, weil das Wasser zwischen diesen hindurch nicht gut eindringen und der Kalkschlamm zwischen den Stücken nicht abfließen kann. Die Größe der Stücke muß sich natürlich nach der Größe der Entwicklungsapparate richten. In kleinen Apparaten verwendet man erbsen- bis haselnußgroße Stücke, in großen Apparaten wallnuß- bis hühnereigroße. Es soll auch nicht zu viel Carbid auf einmal in den Apparat gebracht werden, weil sonst ebenfalls die besagten Übelstände eintreten können, daß der Kalkschlamm zwischen den Stücken nicht glatt abfließen kann und dadurch eine unvollkommene Zersetzung des Carbids bedingt wird. Dies bedeutet nicht nur einen Verlust an Material, d. h. eine Verringerung der Ausbeute, sondern bringt auch Gefahren, weil die unzersetzten Carbidstücke später beim Entleeren des Apparates Acetylen entwickeln, das unter Umständen zur Entzündung kommen kann.

2. Die Acetylenentwicklungsapparate sollen nicht zu klein sein, damit die Wärmemenge, welche sie entwickeln, auf eine verhältnismäßig große Fläche verteilt wird. Erwärmt sich das Entwicklungswasser zu stark, so entweicht mit dem Acetylen viel Wasserdampf, was einestheils die Reinigung des Acetylens erschwert und anderenteils zu Kondensationen Veranlassung gibt.

3. Das entwickelte Acetylen soll luftfrei sein. Durch einen Luftgehalt werden Explosionen ermöglicht und außerdem bringt derselbe auch Störungen an den Brennern mit sich.

Kurz nachdem die Erfindung Moissans und Wilsons bekannt geworden war, wonach Calciumcarbid industriell erzeugt und im Handel erhältlich war, dachte man das Acetylen in der einfachen Weise so entwickeln zu können, wie man dies im Laboratorium, z. B. bei der Erzeugung des Wasserstoffs oder der Kohlensäure gewöhnt ist, nämlich mit Hilfe der Kippschen Apparate. Bei diesen wird die zu zersetzende feste Substanz in ein kugelförmiges Gefäß mit Siebboden gebracht und die Flüssigkeit, welche zur Zersetzung angewendet wird, tritt von unten aus dem Siebboden an die feste Substanz heran. Oben befindet sich an diesem kugelförmigen Gefäß ein Gasauslaß. Sobald der Verbrauch an Gas eingestellt wird, erhöht sich der Druck in diesem Gefäß und die Flüssigkeit wird wieder nach unten verdrängt, von wo sie durch ein geeignetes nach aufwärts führendes Rohr in ein Flüssigkeitsreservoir zurückströmt. Sobald das Flüssigkeitsniveau die feste Substanz verlassen hat, hört die Entwicklung auf und dementsprechend wird stets nur so viel des betreffenden Gases erzeugt, als eben verbraucht wird.

So zweckmäßig das Prinzip des Kippschen Apparates für die Entwicklung der mannigfachen Gase aus festen Substanzen und Flüssigkeiten ist, so unzweckmäßig ist dieses Prinzip für die Erzeugung des Acetylens. Hier treten nämlich kleine Mengen von Flüssigkeiten mit großen Mengen der festen Substanz in Berührung und dies würde beim Acetylen eine Überhitzung des Carbids und die damit verbundenen Nachteile hervorrufen. Man mußte daher dieses Prinzip der automatischen Entwicklung des Acetylgases sehr bald verlassen, und es tauchte dann eine Unzahl verschiedener Konstruktionen auf, welche sich für die verschiedenen Verwendungszwecke und nach der Art des dabei angewendeten Prinzips in die folgenden vier Klassen einteilen lassen:

- |                               |                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Das Zulaufsystem.          | 3. Das Einwurfsystem.               |
| 2. Das Überschwemmungssystem. | 4. Das Tauch- und Verdrängersystem. |

Schließlich hat man noch zu unterscheiden: Apparate für automatischen Betrieb und Apparate für Handbedienung.

1. Das Zulaufsystem ähnelt am meisten dem Prinzip des Kippschen Apparates. Es fließt Wasser aus einem Behälter, welcher höher gestellt ist, auf das Carbid, in dem Maße, als der Druck des entweichenden Gases dies gestattet. Ist der Druck zu hoch, so kann keine Flüssigkeit mehr Zutreten und daher hört die Entwicklung des Acetylens auf. Der Druck des erzeugten Gases entspricht der Differenz des Flüssigkeitsstandes in dem Reservoir bis zur Stelle des Apparates, wo das Wasser mit dem Carbid in Berührung tritt.

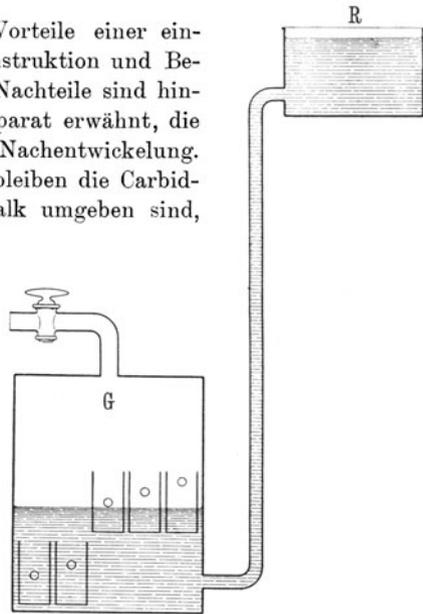
Das Zulaufsystem gewährt die Vorteile einer einfachen Regulierung, einer billigen Konstruktion und Bequemlichkeit in der Bedienung. Die Nachteile sind hingegen, wie schon beim Kippschen Apparat erwähnt, die Überhitzung des Carbids, ferner die Nachentwicklung. Nach dem Zurücktreten des Wassers bleiben die Carbidstücke, die mit einer Schicht von Kalk umgeben sind, feucht und infolgedessen hört die Entwicklung nicht auf, wenn sich das Wasser vom Carbid zurückgezogen hat, sondern sie dauert zufolge dieser anhängenden Feuchtigkeit noch längere Zeit fort. Dadurch steigt der Druck im Apparat andauernd und das erzeugte Gas muß sich nach irgend einer Seite hin Luft machen. Meistens geschieht dies, indem das Gas durch das Eintrittsrohr für die Flüssigkeit entweicht und dann im Flüssigkeitsreservoir in Blasen aufsteigt und

sich dort ansammelt. Von hier tritt es in den Raum, in welchem sich der Entwickler befindet und kann demgemäß beträchtliche Gefahren hervorrufen. Außerdem bedeutet dies einen Verlust an Gas. Schließlich aber muß bei diesen Apparaten bei jeder Neufüllung der Behälter, welcher zur Aufnahme des Calciumcarbids bestimmt ist, geöffnet werden, wobei auch das im Apparat befindliche Acetylgas entweicht. Auch hierbei treten Gasverluste und Ausströmungen von Gas in den Raum ein, wo die Bedienung des Apparates erfolgt.

Diese Nachteile machen das Zulaufsystem nur für die allerkleinsten Entwickler geeignet.

2. Das Überschwemmungssystem vermeidet einen großen Teil der Übelstände des Zulaufsystems. Es ist in Fig. 304 schematisch dargestellt. Wie beim Zulaufsystem, so wird auch bei diesem die Flüssigkeit nur in dem Maße zu dem Entwicklergefäß zugelassen, als Gas verbraucht wird. In dem aus dem Reservoir *R* in das Entwicklergefäß *G* eintretenden Wasser schwimmen eine Anzahl kleiner zylindrischer Carbidbehälter, welche in verschiedenen Höhen Eintrittsöffnungen für das Wasser besitzen. Dieselben sind jedoch alle so hoch angebracht, daß das Wasser nicht eintreten kann, wenn die Be-

Fig. 304.



hälter frei schwimmen. Steigt jedoch der Wasserspiegel so weit, daß die Gefäße an den oberen Deckel des Gefäßes  $G$  anstoßen, so wird bei weiterem Steigen des Wasserspiegels zunächst in jenen Behälter das Wasser eintreten, welcher die Eintrittsöffnung am tiefsten besitzt. Die Belastung durch das eintretende Wasser bringt den Behälter zum Sinken, so daß der ganze Behälter unter das Wasser gerät, also von Wasser überflutet wird, welches das Carbid vollständig zersetzt. Durch das entstehende Gas wird das Wasser in das Reservoir  $R$  zurückgedrängt und erst wenn so viel Gas verbraucht ist, daß das Wasser wieder so hoch gestiegen ist, bis die Gefäße an die Decke des Gefäßes  $G$  anstoßen, kann es neuerlich in einen Behälter eintreten und diesen wieder zum Sinken bringen. Auf diese Weise werden also nacheinander einzelne Partien von Calciumcarbid unter Wasser gebracht und dabei vollständig zersetzt, ohne daß sich Kalkschlamm auf den Stücken ablagern könnte.

Die Vorteile der einfachen automatischen Regulierung sind also hier beibehalten, wogegen die Nachteile der Erhitzung und der Nachentwicklung beseitigt sind. Dagegen bleibt der Nachteil des Lufteintritts bei Neueinfüllen des Carbids bestehen und es tritt als neuer Nachteil die etwas kompliziertere Konstruktion und schwierigere Bedienung hinzu. Dieses System ist also nur für größere Entwickler geeignet. Zu beachten ist ferner noch der Nachteil der Vorvergasung. Das im Entwicklergefäße  $G$  über Wasser abgeschlossene Gasvolumen ist stets mit Feuchtigkeit gesättigt. Das Calciumcarbid, welches sich in dem Gefäß befindet, wird also zufolge der Einwirkung dieser Feuchtigkeit schon Gas zu entwickeln beginnen, noch bevor es wirklich mit dem Wasser in Berührung gelangt. Es tritt also eine Gasentwicklung ein noch bevor dieselbe gewünscht ist. Zur Aufnahme des dabei erzeugten Gases muß das Gefäß  $G$  eine genügende Größe besitzen.

3. Das Einwurfsystem. Bei diesem wird das zu zersetzende Carbid in kleinen Partien direkt unter Wasser gebracht. Da hier stets eine große Menge von Wasser vorhanden ist, kann die Temperatur niemals über  $100^{\circ}$  steigen, eine Überhitzung erscheint also von vornherein ausgeschlossen. Ferner ist die vollständige Zersetzung des Carbids gewährleistet und das Carbid wird in den Apparat gebracht, ohne daß man denselben öffnen müßte. Es ist also der Lufteintritt bei der Nachfüllung des Carbids ausgeschlossen. Dagegen zeigen diese Apparate die Nachteile, daß bei der Zufuhr des Carbids stets ein kleiner Gasverlust eintritt, und daß das Acetylgas nicht im gleichmäßigen Strome, sondern nur zeitweise erzeugt wird. Es muß also stets eine richtig bemessene Menge von Calciumcarbid in den Apparat gebracht werden, damit diejenige Menge an Gas erzeugt wird, die man eben benötigt. Solche Apparate sind daher besonders für größere Anlagen, die nicht automatisch, sondern mit Handbetrieb bedient werden, anzuwenden; sie müssen stets mit größeren Behältern verbunden sein, welche die ganze Gasmenge, die auf einmal erzeugt wird, aufnehmen. Diese Apparate sind daher teurer als die erstgenannten. Sie sind jedoch auch für automatischen Betrieb eingerichtet worden und werden wir später einige derartige Apparate kennen lernen.

Wir wollen nun an einigen Beispielen die verschiedenen Arten der Acetylenentwickler erläutern.

Das Zulaufsystem ist, wie gesagt, nur für ganz kleine Entwickler geeignet. Man findet es hauptsächlich in Anwendung für einzelne Laternen,

in welchen Entwickler und Brenner vereinigt sind. Eine solche in sehr umfangreicher Weise in Einführung gebrachte Lampe ist die Fahrradlaterne „Velo“, Fig. 305. Dieselbe besteht aus einem Behälter *a*, der mit feinkörnigem, am besten granuliertem, möglichst staubfreiem Carbid gefüllt wird. Der Wasserzulauf erfolgt aus dem Behälter *f*, welcher durch die Füllschraube *g* mit Wasser gefüllt wird. Diese Füllschraube hat eine kleine Öffnung, welche der Luft den Eintritt gestattet, so daß in dem Raume oberhalb des Wassers in *f* immer Luftdruck herrscht. Das Wasser fließt durch ein verstellbares Nadelventil, das in ein Röhrchen mündet, welches letzteres in eine zylindrische Hülse hineingeschraubt ist. Diese Hülse hat unten einige Löcher und ist mit einem Docht umgeben, welcher das herunterfließende Wasser aufsaugt und gleichmäßig an das umgebende Carbid verteilt. Wird der Druck in dem Entwickler zu hoch, so kann kein Wasser mehr nachfließen. Das Gas in *a* steht daher immer unter dem Druck der Wassersäule vom Niveau im Behälter *f* bis zur unteren Spitze des Ausflußröhrchens. Der Kalkstaub, welcher bei der Entwicklung mitgerissen wird, würde das Brennerrohr und den Brenner verlegen. Er wird durch ein Filter *c* entfernt, welches aus einer Filzplatte besteht. Schließlich gelangt das Gas in den Brenner *e*, der in dem Reflektor angeordnet ist. *d* ist ein Sicherheitsventil, welches sich öffnet, im Falle durch Verstopfung des Brenners der Druck des Gases im Entwickler zu hoch wird. Will man die Lampe ablöschen, so schraubt man das Nadelventil nieder, so daß kein Wasser mehr Zutritt. Es findet jedoch dann stets noch eine Nachentwicklung statt, so daß die Flamme nicht plötzlich, sondern nur allmählich erlischt. Die Größe der Flamme wird durch Einstellung des Nadelventils reguliert.

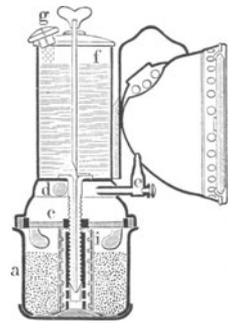


Fig. 305.

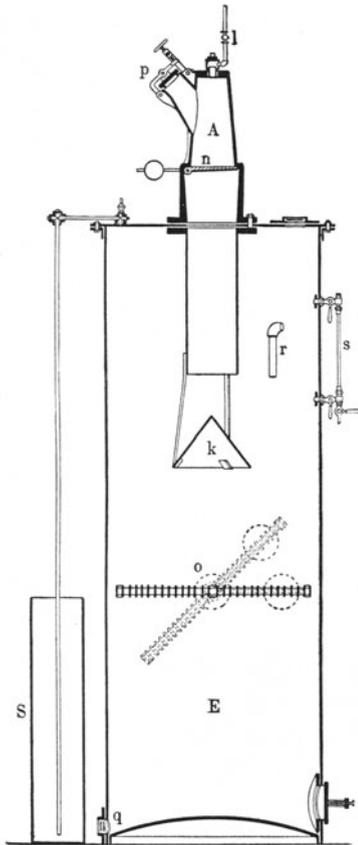
Die Anwendung von Acetylenlampen hat sich auch in Bergwerken, wo keine Grubenwetter zu befürchten sind, eingeführt. Seit 1904 sind dieselben bereits in lothringischen Erzbergwerken in Verwendung. Ein Nachteil dieser Lampen ist der, daß noch keine gut funktionierende Sicherheitslampe für Acetylen besteht<sup>1)</sup>.

Ein Entwickler, welcher nach dem Einwurfsystem konstruiert ist, ist jener der Hera-Prometheus Akt.-Ges., Fig. 306. Er ist besonders für größere Anlagen bestimmt. Der zylindrische Behälter *E* trägt etwas unter halber Höhe einen Rost. Derselbe ist um eine Achse *o* drehbar und kann von außen durch einen Hebel umgekippt werden, welcher durch ein Gewicht in der normalen Lage gehalten wird. Dieser Rost dient dazu, Carbidstücke nicht bis an den Boden des Apparates gelangen zu lassen, wohl aber den Kalkschlamm durchsickern zu lassen. In dem Deckel des Behälters ist zentral der Einwurfsapparat eingesetzt. Das Carbid wird durch den seitlichen Stutzen *p* eingeworfen und füllt den vertikalen Stutzen *A* gänzlich an, da es durch die Klappe *n*, welche durch ein Gegengewicht in ihrer horizontalen Lage gehalten wird, vor dem Hinunterfallen geschützt wird. Darauf wird die Einfüllöffnung *p* mit Hilfe des Verschlusses dicht verschlossen und

<sup>1)</sup> Beyling, Carbid und Acetylen 1910, S. 181; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 164.  
Strache, Gasbeleuchtung.

nun kann man durch Öffnen der Klappe *n* das Carbid in den Behälter *E* fallen lassen, welcher mit Wasser gefüllt ist. Die Höhe des Wasserstandes ist an einem Wasserstandsgläse ersichtlich. Das Carbid fällt durch den zylindrischen Ansatz auf den Verteiler *k*. Dieser wirft das Carbid an den Rand des Behälters und verhindert gleichzeitig, daß Gasblasen, die von unten kommen, durch das Rohr aufsteigen. In diesem Falle würde nämlich beim

Fig. 306.



Öffnen des Verschlusses *p* etwas Gas entweichen. Man hält die Wasserfüllung so hoch, daß das zentrale Rohr in das Wasser eintaucht. Dadurch wird der Austritt des Gases vermieden. Es wird stets so viel Carbid auf einmal eingeworfen, als Gas gebraucht wird. Dementsprechend muß ein Behälter vorhanden sein, welcher die ganze auf einmal erzeugte Gasmenge aufzunehmen vermag. Die Vorvergasung, welche dadurch stattfindet, daß feuchte Luft in den Stutzen *A* eindringt, wo Carbid schon für die nächste Charge vorrätig gehalten ist, wird dadurch unschädlich gemacht, daß sich am Deckel des Apparates eine Öffnung befindet, welche das Gas durch ein Rohr *l* ins Freie entweichen läßt. Im unteren Teile des Apparates befindet sich knapp oberhalb des Bodens eine Reinigungsöffnung und eine Ablassöffnung *q* für den Kalkschlamm. Der Kipprost wird zeitweise umgekippt, um die Reste von Carbid, welche sich auf demselben ansammeln, herabfallen zu lassen.

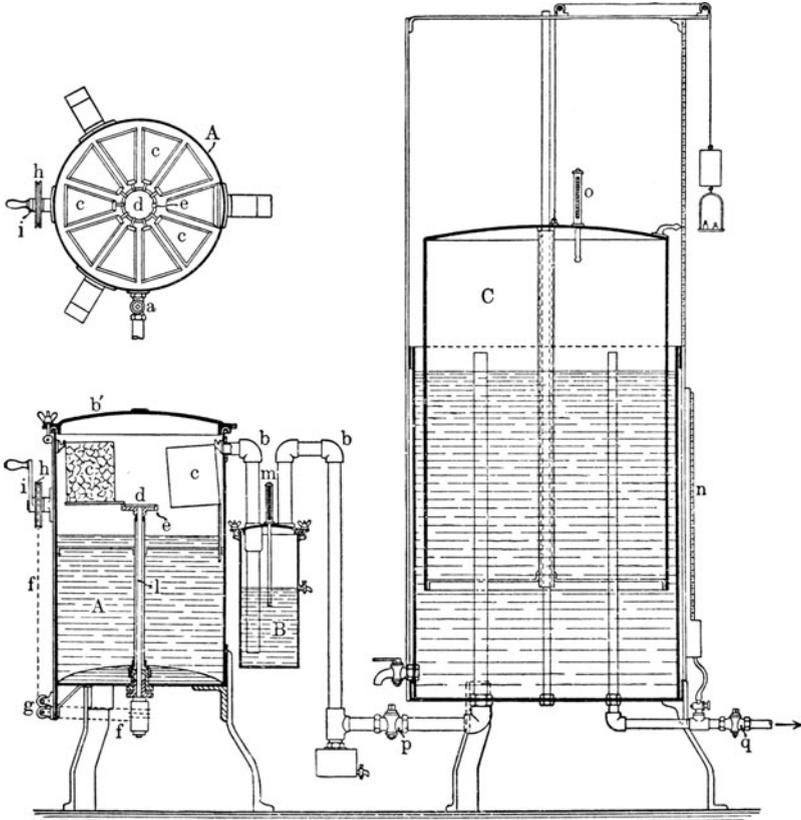
Ähnlich wie das Einwurfsystem wirkt das Senksystem<sup>1)</sup>. Hier wird eine gewisse Menge Carbid innerhalb eines geschlossenen Gefäßes unter Wasser gebracht und erst nachdem sich dasselbe im Unterteile des eigentlichen Gasentwicklers befindet, läßt man das Wasser in das Gefäß einströmen.

Diese Apparate, die für größere Anlagen bestimmt sind, haben den Nachteil, nicht automatisch zu arbeiten, d. h. das Acetylen nicht in dem Maße zu erzeugen, wie es verbraucht wird, wodurch die Anordnung eines größeren Behälters erforderlich wird. Man hat jedoch auch das Einwurfsystem zu automatisch wirkenden Apparaten ausgebaut. Bringt man z. B. an einer Gasbehälterglocke oben ein Gefäß an, welches durch einen größeren Kegelschluß nach dem Innenraum des Gasbehälters zu abgeschlossen ist und gibt dem Verschlusskegel eine nach unten führende Stange, so wird diese Stange beim Herabgehen der Behälterglocke am Boden des Behälters aufstoßen und den Kegelschluß öffnen. Ist nun dieses Gefäß mit Calciumcarbid gefüllt,

<sup>1)</sup> Ausgeführt von Keller u. Knappich in Augsburg.

so werden beim Öffnen des Kegelschlusses einzelne Stücke herausfallen, in das Wasser gelangen, und eine gewisse Acetylenmenge entwickeln, die genügt, um den Behälter so weit zu heben, daß der Kegelschluß wieder verschlossen wird. Es fällt also dann immer nur so viel Carbid ein, als Gas verbraucht wird. Dieses System hat sich jedoch in dieser Anordnung nicht als zuverlässig erwiesen, weil der Verschlusskegel ungleiche Mengen Carbid hindurchfallen läßt.

Fig. 307.



Zweckmäßiger ist schon die Perrodilsche Trommel. Sie besteht aus einer horizontal drehbaren Scheibe, welche eine Anzahl von Gefäßen (Zellen), deren Böden als nach unten sich öffnende Klappen ausgebildet sind, trägt. Die Trommel bewegt sich auf einer feststehenden Scheibe, welche das Öffnen der Klappen verhindert. Letztere besitzt jedoch an einer Stelle eine Ausnehmung, so daß bei Drehung der Trommel die Bodenklappe jeder einzelnen Zelle sich öffnet, wenn sie bei der Drehung an diese Stelle kommt. Sind nun die Zellen mit Carbid gefüllt, so wird gemäß der Drehung der Trommel eine Zelle nach der anderen in das darunter befindliche Wasser entleert. Die Drehung der Zellentrommel kann nun durch das Sinken der Gasbehälterglocke bewirkt werden und die Carbidmenge in den Zellen ist so bemessen, daß jedesmal der Gasbehälter nahezu vollständig gefüllt wird, wenn sich eine Zelle entleert hat. Beim Herabgehen wird dann die Trommel so weit gedreht,

daß sich eine zweite Zelle entleert, dadurch wird die Behälterglocke wieder gehoben und so weiter. Ein Öffnen des Apparates zum Zwecke des Nachfüllens von Carbid ist also nur dann erforderlich, wenn sämtliche Zellen bereits entleert sind.

Ein sehr zweckmäßiger Apparat, der in ähnlicher Weise wirkt, ist von Caro konstruiert. In Fig. 307 ist er für Handbetrieb dargestellt, er kann jedoch auch automatisch wirkend eingerichtet werden. In dem Entwicklergefäß *A* befinden sich oberhalb des Wassers eine Anzahl von Zellen *c*, die ebenfalls wie bei der Perrodilschen Trommel unten durch Klappböden verschlossen sind. Diese Böden werden durch die Stütze *d* geschlossen gehalten. An einer Stelle besitzt diese Stütze eine Ausnehmung *e*, und durch ein Kettenrad *h* mit Kurbel *i* und Kette *f* ist diese Stütze *d* um eine zentrale Achse

Fig. 308.

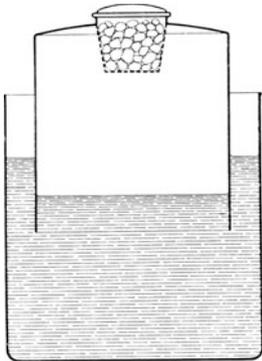
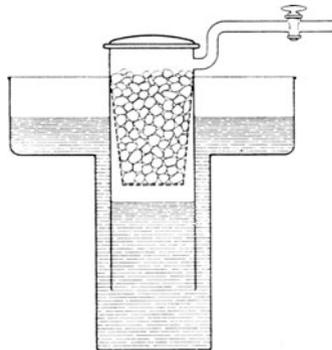


Fig. 309.



drehbar. Dadurch gelangt nun die Ausnehmung *e* der Reihe nach an den einzelnen Zellen vorbei und gestattet dann den Klappen der einzelnen Zellen sich nach unten zu öffnen, wobei das Carbid ins Wasser fällt. Das erzeugte Gas entweicht durch den Wäscher *B*, der gleichzeitig verhindert, daß das Gas beim Öffnen des Apparates zurücktritt in den Gasbehälter *C*. Zum Zwecke des Nachfüllens von Carbid wird der dicht aufschraubbare Deckel *b'* abgenommen. Der Apparat eignet sich auch sehr gut zur Untersuchung des Carbids (S. 699).

Das Tauchsystem ist durch den in Fig. 308 skizzierten Apparat versinnbildlicht. An einer Gasbehälterglocke ist ein mit Carbid gefülltes Gefäß angebracht. Wird Gas aus dieser Glocke entnommen, so sinkt dieselbe und das Carbidgefäß, welches durchlochte Wandungen besitzt, taucht in das Wasser ein. Dadurch tritt Acetylenentwicklung ein und die Glocke hebt sich wieder, wodurch das Carbid aus dem Wasser herausgezogen wird. Das Nachfüllen des Carbids erfolgt durch einen oberhalb des Gefäßes angebrachten dichten Verschuß. In ähnlicher Weise, jedoch ohne Glocke, wirkt das in Fig. 309 dargestellte Verdrängersystem. Hier hebt sich nicht das Carbidgefäß mit einer Gasbehälterglocke in die Höhe, sondern das Wasser wird in einem zylindrischen Hohlraum, in welchen das Carbidgefäß eingesetzt ist, nach abwärts gedrängt.

Diese beiden Typen haben große Nachteile und werden daher kaum mehr verwendet. Bei beiden hat man eine starke Vorvergasung und Nachentwicklung

und das Carbid erwärmt sich nach Schluß der Gaserzeugung, wenn es wieder aus dem Wasser herausgezogen wird, jedoch noch mit Kalkschlamm umgeben ist, stark, so daß Zersetzungen des Acetylens eintreten. Außerdem kann das Nachfüllen des Carbids nur nach gänzlichem Ablassen des Gases aus dem Apparate erfolgen.

Zufolge der Unreinheiten, welche im Calciumcarbid enthalten sind, enthält auch das Acetylen Verunreinigungen. Außerdem kommen noch Verunreinigungen durch geringe Mengen von Luft hinzu, die bei der Entwicklung doch nie ganz vermieden werden können. Die Zusammensetzung des unreinen Acetylgases bewegt sich daher in folgenden Grenzen:

Acetylgas ( $C_2H_2$ ) . . . . .	94 bis 99	Proz.
Sauerstoff ( $O_2$ ) . . . . .	0,03	„ 0,90 „
Stickstoff ( $N_2$ ) . . . . .	0,10	„ 0,45 „
Wasserstoff ( $H_2$ ) . . . . .	0,00	„ 0,16 „
Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) . . . . .	0,03	„ 1,32 „
Sonstige Schwefelverbindungen . . .	0,02	„ 0,88 „
Phosphorwasserstoff ( $PH_3$ ) . . . . .	0,12	„ 1,23 „
Sonstige Phosphorverbindungen . . .	0,02	„ 0,66 „
Ammoniak ( $NH_3$ ) . . . . .	0,07	„ 1,32 „
Siliciumwasserstoff ( $SiH_4$ ) . . . . .	0,01	„ 0,63 „
Kohlenoxyd ( $CO$ ) . . . . .	0,00	„ 0,12 „
Sumpfgas ( $CH_4$ ) . . . . .	0,00	„ 0,22 „

Die Art und Menge der im Acetylen vorkommenden Verunreinigungen schwankt natürlich stark mit der Art des angewendeten Carbids. Aber auch die Art der Entwicklung ist von Bedeutung. Einwurfapparate, welche eine gute Kühlung bei der Entwicklung verbürgen, geben stets ein reineres Gas als Tropf- oder Tauchapparate, bei denen Überhitzungen nicht zu vermeiden sind.

Beim Brennen im Freien sind manche dieser Verunreinigungen ohne Bedeutung, andere jedoch wirken auch dort schädlich, nämlich jene, die beim Brennen feste Stoffe geben und die Brenner verstopfen; so z. B. liefert der Phosphorwasserstoff Phosphorsäure und der Siliciumwasserstoff Kieselsäure als feste Ablagerungen. Bei den Fahrradlaternen und ähnlichen kleinen Apparaten, in denen das Acetylen nicht gereinigt werden kann, ist es daher erforderlich, den Brenner zeitweise zu reinigen. Bei Flammen hingegen, welche in geschlossenen Räumen brennen, ist ein Gehalt an Phosphorwasserstoff besonders schädlich. Die entstehende phosphorige Säure bewirkt in dem mit Acetylen beleuchteten Raume dann eine Nebelbildung, die unbedingt vermieden werden muß. Früher schob man diese Nebelbildung auf Kieselsäure oder mitgerissenen Kalk<sup>1)</sup>. Fraenkel hat jedoch gezeigt<sup>2)</sup>, daß die Nebelbildung nur auf den Phosphorwasserstoffgehalt des Gases zurückzuführen ist. Im gereinigten Gase ist daher nur ein Gehalt von höchstens 0,02 bis 0,05 Vol.-Proz. Phosphorwasserstoff zulässig.

Das Acetylgas muß, wenn es zur Beleuchtung geschlossener Räume dienen soll, einer Reinigung unterzogen werden. Zunächst wäscht man das Gas mit Wasser, um mitgerissene feste Substanzen Kalkstaub und auch Flüssigkeitströpfchen (Kalkmilch) zurückzuhalten. Diese Waschung erfolgt gewöhnlich nur in der Weise, daß das Gas in Blasenform durch das Wasser hindurchtritt. Allerdings kann in kleinen Apparaten eine Filtration den-

<sup>1)</sup> Gatehouse, Journ. of Gaslighting No. 2352, p. 633. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 888.

selben Zweck erfüllen, wie wir dies z. B. bei der Fahrradlampe (S. 705) kennen gelernt haben.

Das wichtigste bei der Reinigung des Acetylgases ist jedoch die Entfernung des Phosphorwasserstoffs. Dieselbe erfolgt durch oxydierende Mittel. Durch die Oxydation werden dann gleichzeitig die anderen Unreinheiten, besonders Schwefelwasserstoff und sonstige Schwefelverbindungen sowie auch der Siliciumwasserstoff entfernt.

Als oxydierende Mittel können unterchlorigsaure Salze, Chromate, Superoxyde, wie z. B. Braunstein, Bleiglätte, Manganate oder Permanganate, Plumbate usw. dienen. Das einfachste Reinigungsmittel ist Chlorkalk, d. i. unterchlorigsaures Calcium ( $\text{Ca}[\text{OCl}]_2$ ). Die unterchlorigsauren Salze dürfen aber nicht in zu großer Konzentration angewendet werden, weil sonst auch das Acetylgas oxydiert wird und sich Chlor dem Acetylgas beimischt, was unter Umständen sogar zu Explosionen führen kann. Setzt man jedoch dem Chlorkalk Chromate, z. B. Bleichromat zu, so hält dieses das Chlor zurück. Ein solches Gemisch von Chlorkalk und Bleichromat ist z. B. das Acagin. 1 kg desselben vermag  $16 \text{ m}^3$  Acetylen zu reinigen.

Ebenso ist das Puratylen ein Gemisch von Chlorkalk, mit Kalk und Chlorcalcium. Dieses Gemisch wird scharf getrocknet und ist dann sehr porös, so daß es eine gute Reinigungswirkung besitzt. Es gibt jedoch stets etwas Chlor in das Acetylen ab. An Stelle von Kalk werden dem Puratylen daher auch öfters neutrale oder alkalische Bleisalze zugesetzt oder man reinigt das Gas nachher noch mit Kalk.

Ein Chromsäurepräparat ist das Heratol. Es wird durch Aufsaugen einer Chromsäurelösung in Kieselgur erhalten. Letzteres zu dem Zwecke, um dem Gase eine große Angriffsfläche darzubieten. Diese Reinigungsmasse ist, wenn frisch, gelb und wird zufolge der Reduktion der Chromsäure durch die Verunreinigungen des Acetylens zu grünen Chromoxydsalzen reduziert. Es ist daher an der Färbung gleich zu erkennen, ob die Reinigungsmasse bereits ausgebraucht ist.

An Stelle der Oxydation kann auch eine Fällung der Verunreinigungen durch Metallsalzlösungen zum Ziele führen. So besteht z. B. die „Frankolin“ genannte Reinigungsmasse aus einer salzsauren Kupferchlorürlösung, welche ebenfalls in Kieselgur aufgesogen wird. Diese fällt sowohl die Schwefelverbindungen als auch die Phosphorverbindungen, die im Acetylgas enthalten sind. Sie gibt jedoch Salzsäure an das Gas ab, welche in Form von Dämpfen auftritt und nachträglich durch Kalk wieder entfernt werden muß. Die Masse ist ursprünglich hellbraun und die Farbe geht durch die Aufnahme von Verunreinigungen in ein dunkles Olivengrün über. Sie kann zufolge ihres sauren Charakters nicht in Metallgefäßen zur Anwendung gelangen, sondern es müssen Reiniger aus Steinzeug verwendet werden.

Die Reiniger für das Acetylgas werden gewöhnlich hinter die Behälter geschaltet. Die Erzeugung des Acetylgases ist gewöhnlich eine unregelmäßige, während der Verbrauch ein regelmäßiger ist. Die Reiniger werden daher weniger beansprucht, wenn sie in die Konsumleitung eingeschaltet sind.

Die Gasbehälter für Acetylgasanlagen können wesentlich kleiner ausgeführt werden, als die Gasbehälter für Steinkohlengas. Dies hat einestheils seinen Grund in dem höheren Leuchtwerte des Acetylens, der der dreifache des Steinkohlengases ist, wenn es sich um die Anwendung von Gasglühlicht

handelt und anderenteils in der Möglichkeit, das Acetylen jederzeit rasch erzeugen zu können, so daß die Aufspeicherung eines großen Vorrates nicht erforderlich erscheint. Die Größe des anzuwendenden Behälters ist sehr von der Art des Verbrauchs und der Art des angewendeten Erzeugungssapparates abhängig. Es läßt sich daher keine allgemein gültige Regel aufstellen. In kleineren Anlagen, die mit Einwurfapparaten mit Handbetrieb arbeiten, ist es zweckmäßig, die ganze Tageserzeugung im Behälter aufzuspeichern, so daß der Acetylenentwickler nur einmal im Tage in Tätigkeit gesetzt werden muß. In größeren Anlagen dagegen, wo die Anlagekosten des Gasbehälters eine größere Rolle spielen und ohnedies eine ständige Beaufsichtigung des Betriebes erforderlich ist, ist es wieder zweckmäßiger, öfter im Tage die Erzeugung des Gases vorzunehmen, so daß man einen kleineren Behälter anwenden kann. Ebenso ist bei automatisch wirkenden Einwurfapparaten und auch bei den automatischen Zulaufapparaten nur ein kleiner Behälter erforderlich.

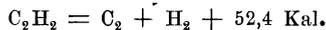
Das vollständig reine Acetylen ist ein farbloses Gas von angenehm ätherischem Geruch. In dem Zustande, in dem jedoch das Acetylen gewöhnlich zur Anwendung gelangt, hat es diesen hohen Grad der Reinheit nicht und riecht stark knoblauchartig, höchst unangenehm. Es hat ein spezifisches Gewicht von 0,9056, wenn man es auf Luft als Einheit bezieht, es ist also nicht viel leichter als Luft und strömt daher in der Luft nicht rasch nach aufwärts, sondern hält sich bei Ausströmungen in der Nähe der Ausströmungsstelle. Zur vollständigen Verbrennung benötigt es 11,9 Vol. Luft. Der obere Heizwert pro m<sup>3</sup> beträgt 14 042 Kal., der untere 13 554 Kal. (0°, 760 mm trocken).

Da das Acetylen eine endotherme Verbindung ist, d. h. eine Verbindung von Kohlenstoff und Wasserstoff, die unter Wärmeaufwand entstanden ist, so entwickelt umgekehrt die Zerlegung des Acetylens dieselbe Menge von Wärme, welche zur Herbeiführung der Verbindung erforderlich war. Zum Unterschiede von anderen brennbaren Gasen hat also das Acetylen die Eigenschaft, bei der Verbrennung nicht nur jene Wärmemenge zu liefern, welche die Verbrennung des Kohlenstoffs und des Wasserstoffs gibt, sondern auch noch jene Wärmemenge, welche durch Zerlegung des Acetylens in Kohlenstoff und Wasserstoff frei wird. Aus diesem Grunde ist die Flammentemperatur des Acetylens eine weit höhere als die Flammentemperatur anderer Gase. Sie wurde bei Verbrennung in Luft mit 3420° gemessen (?). Verwendet man jedoch Sauerstoff zur Verbrennung des Acetylens, so steigt die Flammentemperatur über 3500° C. Diese hohe Flammentemperatur ist die Ursache der hohen Leuchtkraft der Acetylenflamme. In der Flamme zerlegt sich das Acetylen zunächst in Kohlenstoff und Wasserstoff, wodurch schon eine große Wärmemenge frei wird, welche den Kohlenstoff zum Glühen erhitzt. Weiter aber verbrennt sowohl der Kohlenstoff als der Wasserstoff und durch diese hohe Temperatur wird der ausgeschiedene Kohlenstoff zu einem Grade der Weißglut erhitzt, wie dies bei den anderen Flammen nicht der Fall ist. Es ist also sowohl die Menge des ausgeschiedenen Kohlenstoffs als auch die Temperatur desselben, welche die hohe Leuchtkraft der frei brennenden Acetylenflamme herbeiführen.

Eine Folge der bei der Zerlegung des Acetylens mit Kohlenstoff und Wasserstoff frei werdenden Wärme ist auch die verhältnismäßig geringe Entzündungstemperatur des Acetyलगases. Sie liegt bei 480° C, also noch unter

Rotglut. Ebenso ist das Explosionsbereich (vgl. S. 63) des Acetylen-gases aus dem genannten Grunde ein viel größeres als bei anderen Kohlenwasserstoffgasen von ähnlicher Zusammensetzung. Die Explosionsgrenzen sind gewöhnlich abhängig von der Menge von Luft, welche ein Gas zur Verbrennung benötigt. Je größer diese Luftmenge ist, desto niedriger liegt die untere Explosionsgrenze, d. h. für eine bestimmte Luftmenge ist nur wenig Gas erforderlich, um die Entzündbarkeit hervorzurufen. Diese untere Explosionsgrenze liegt beim Acetylen ebenso wie bei anderen Kohlenwasserstoffen mit hohem Kohlenstoffgehalt sehr niedrig, nämlich bei 3,2 Vol.-Proz. Gasgehalt. Bei den anderen Kohlenwasserstoffen mit hohem Kohlenstoffgehalt liegt jedoch auch die obere Explosionsgrenze sehr niedrig, weil schon ein geringer Gehalt an Gas genügt, um das theoretische Maximum, welches zur stärksten Explosion erforderlich ist, so weit zu überschreiten, daß eine Entzündung überhaupt nicht mehr eintreten kann. Beim Acetylen ist dies anders, weil ja das Acetylen als solches auch ohne Luftverbrauch durch seinen Zerfall in Kohlenstoff und Wasserstoff eine beträchtliche Wärmemenge liefert. Die obere Explosionsgrenze liegt daher bei 52,4 Proz. Gasgehalt der Luft. Während also bei ähnlichen Gasen die Explosionsfähigkeit zwischen 3 und 6 Proz. liegt, ist sie beim Acetylen zwischen 3,2 und 52,4 Proz. gelegen. Acetylen ist also nicht nur leicht explosiv, wenn geringe Mengen davon in der Luft enthalten sind, sondern umgekehrt auch mit Acetylen-gas im Überschuß gefüllte Räume, wie z. B. Acetylenapparate, Gasbehälterglocken oder dgl. können leicht explodieren, wenn nur eine geringe Menge von Luft darin enthalten ist.

Die Zersetzung des Acetylen in Kohlenstoff und Wasserstoff erfolgt nach der Gleichung



Da diese Zersetzung Wärme entwickelt, erfolgt sie sehr plötzlich oft explosionsähnlich. Leitet man z. B. Acetylen-gas durch ein von außen erwärmtes Glasrohr, so tritt in dem Momente, wo die Temperatur erreicht ist, welche zur Zersetzung führt, eine ganz plötzliche Ausscheidung von Kohlenstoff ein, welche mit einem Schlage das ganze Rohr anfüllt. Die Wärmelieferung ist jedoch keine genügende, um bei gewöhnlichem Drucke und bei der gewöhnlichen Temperatur durch das ganze Acetylen-gas hindurchzugehen, d. h. von einer Stelle sich über das ganze Gasgemisch zu verbreiten. Die Zersetzung bleibt vielmehr auf die nächste Umgebung des Punktes beschränkt, wo die Erwärmung stattgefunden hat. Aus diesem Grunde kann Acetylen unter gewöhnlichem Drucke und bei gewöhnlicher Temperatur, wenn es nicht mit Luft gemischt ist, nicht explodieren. Es sind zwar schon Fälle bekannt geworden, wo Acetylen-gas in einer Rohrleitung sich plötzlich zersetzte, doch dürften solche Fälle auf Anwesenheit von Unreinheiten zurückzuführen sein, welche eine derartige Zersetzung beschleunigen. Wohl kann die Zersetzung durch die ganze Masse des Acetylen hervorgehoben werden, wenn man eine scharfe Explosionswelle innerhalb des Gases erzeugt, so z. B. wenn man eine Kapsel mit Knallquecksilber im Acetylen-gas explodieren läßt, oder aber wenn man durch plötzliche Komprimierung eine Druckwelle hervorruft. Auch bei plötzlicher Entlastung vom Druck sind Explosionen beobachtet worden. Die Temperatur, welche sich aus der Zersetzung nach der oben genannten Gleichung berechnet, beträgt etwa 3000°; sie dürfte jedoch in der Wirklichkeit kaum erreicht werden.

Wenn auch das Acetylen für sich allein bei gewöhnlichem Druck kaum zur Explosion gebracht werden kann, so ist dies doch leicht möglich, wenn sich das Acetylen unter höherem Druck befindet. Bei 5 Atm. Druck ist schon eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Explosion von 1000 m pro Sekunde nachgewiesen worden. Bei 30 Atm. eine Geschwindigkeit von 1600 m. Die Explosionsgefahr beginnt bei einem Druck von 2 Atm. Daher ist es behördlich verboten worden, Acetylen, welches unter diesem Druck steht, abzugeben.

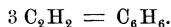
Die Zersetzung des Acetylen in Kohlenstoff und Wasserstoff wird auch industriell zur Erzeugung von Ruß und von Wasserstoff, welcher zu Luftschiffahrtzwecken dient, verwendet. Dieses Verfahren wird z. B. von der Carboniumfabrik in Friedrichshafen am Bodensee ausgeübt. Doch auch dort hat dieses Verfahren bereits öfter zu Explosionen geführt, von denen eine die Fabrik gänzlich zerstörte<sup>1)</sup>.

Bei Acetylenluftgemischen beträgt die Entzündungsgeschwindigkeit nach Le Chatelier bei

2,9 Vol.-Proz. Acetylengehalt . . . . .	0,18 m
8       "       "       . . . . .	5   "
10       "       "       . . . . .	10  "

Andere brennbare Gase, welche man dem Acetylen gas beimischt, verringern dessen Explosionsfähigkeit ganz bedeutend. So z. B. ist ein Gemisch von 60 Proz. Ölgas mit 40 Proz. Acetylen gas auch bei Drucken von 10 Atm. und mehr nicht mehr explosiv. Dies hat es ermöglicht, das Acetylen gas zur Anreicherung des Ölgases für die Waggonbeleuchtung zu verwenden, denn hier wird das Gemisch ja bekanntlich unter hohem Druck in Behälter komprimiert, die unterhalb der Waggonen angebracht sind. Gerdes hat nachgewiesen, daß in diesem Falle das Acetylen unter keinen Umständen zur Selbstzersetzung gebracht werden kann, daß es also zur Waggonbeleuchtung in dieser Mischung unbedenklich verwendbar ist (vgl. Kap. 69: Waggonbeleuchtung).

Wird das Acetylen gas auf Temperaturen erhitzt, welche noch nicht zur plötzlichen Kohlenstoffabscheidung führen, so tritt eine Polymerisation ein und zwar treten mehrere Moleküle des Acetylen gas zu höheren Kohlenwasserstoffen zusammen, so z. B. bildet sich Benzol gemäß der Gleichung



Auch höhere Benzolkohlenwasserstoffe bilden sich bei diesem Vorgange, so daß schließlich braune, schmierige teerartige Produkte entstehen. Dies ist bei der Konstruktion von Acetylenbrennern zu beachten, denn man muß verhindern, daß sich diese Brenner zu sehr erwärmen. Anderenfalls verstopfen sich die Brenner sehr leicht durch die ausgeschiedenen teerartigen Polymerisationsprodukte.

Bei Gegenwart von Kupfer vermag das Acetylen das Acetylenkupfer ( $\text{C}_2\text{Cu}$ ) zu bilden, welches außerordentlich explosiv ist. Die Bildung tritt jedoch in so geringem Maße und nur selten ein, so daß hierdurch keine wesentlichen Gefahren bedingt sind.

Das Acetylen ist in den meisten Lösungsmitteln etwas löslich, so z. B. löst Wasser sein 1,2faches Volumen. Acetylen gas, welches in einer Behälter-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 749.

glocke über Wasser abgesperrt ist, löst sich daher beständig in diesem in geringem Maße auf und das Wasser gibt dann an die Außenluft wieder etwas Acetylgas ab, so daß in der Nähe von Acetylenbehältern immer ein geringer Geruch nach Acetylen vorhanden ist. Die Gasglocke sinkt dabei langsam, ohne daß Undichtheiten vorhanden sind. Ebenso ist zu berücksichtigen, daß die Kalkmilchlaugen, welche aus den Acetylenapparaten abgelassen werden, stets Acetylen gelöst enthalten, so z. B. löst Kalkmilch bei

5° C . . . . .	1,12 Vol.
20° " . . . . .	0,75 "
50° " . . . . .	0,38 "
110° " . . . . .	0,00 "

Acetylen auf.

Die Gegenwart von Kochsalz im Wasser vermindert die Löslichkeit des Acetylens. Eine 5proz. Kochsalzlösung löst bei 19° nur 0,6 Vol. und eine 26proz. Kochsalzlösung löst bei 15° C 0,206 ihres Volumens an Acetylen. Konzentrierte Chlorcalciumlösung absorbiert bei 15° C 6 Vol.-Proz., also 0,06 Vol. Alkohol löst dagegen das Acetylen viel reichlicher auf und zwar das Sechsfache seines Volumens.

Das beste Lösungsmittel für Acetylen ist jedoch das Aceton. Es löst bei gewöhnlicher Temperatur und bei gewöhnlichem Druck das 25fache seines Volumens und bei 12 Atm. Druck sogar das 360fache seines Volumens. Diese Löslichkeit findet ausgedehnte praktische Anwendung, worüber wir bei Besprechung des Acetylen dissous (S. 716) ausführlich hören werden.

Bei hohem Druck wird das Acetylen verflüssigt, wenn die Temperatur desselben weniger als 37° C beträgt. Die kritische Temperatur, d. h. die Temperatur, oberhalb welcher eine Verflüssigung auch bei beliebig hohem Druck nicht mehr möglich ist, beträgt somit + 37° C. Der kritische Druck, d. h. jener Druck, welcher erforderlich ist, um bei der kritischen Temperatur eine Verflüssigung herbeizuführen, beträgt 68 kg pro Quadratcentimeter. Das spezifische Gewicht der Flüssigkeit beträgt bei

0° . . . . .	0,451
35,8° dagegen nur . . . . .	0,364

Ihr Siedepunkt unter Atmosphärendruck liegt bei — 82,4° C, bei weiterer Abkühlung erstarrt die Flüssigkeit zu einem festen Körper, dessen Schmelzpunkt bei — 81° C liegt. Das flüssige Acetylen ist so explosiv wie Schießbaumwolle.

Das reine Acetylgas ist nicht giftig. Die giftige Wirkung, welche man dem Acetylgas früher oft zuschrieb, beruht auf den Verunreinigungen Namentlich der Phosphorwasserstoff ist ein sehr giftiger Körper.

Zur Verbrennung des Acetylens ist, wie schon bemerkt, sehr viel Luft erforderlich. Tritt bei der Verbrennung zu wenig Luft zur Flamme, so entsteht viel Ruß und Polymerisationsprodukte. Man gibt daher den Acetylenbrennern primäre und sekundäre Luftzufuhr, d. h. das Gas wird schon mit Luft gemischt, bevor es zur Flamme kommt, und dort verbrennt es erst mit einem weiteren Teile an Luft vollständig. Die Konstruktion der Acetylenbrenner werden wir später im Kapitel 68 kennen lernen.

Wird Acetylen mit einer ungenügenden Menge von Sauerstoff verbrannt, so liefert es hydroxylierte Verbindungen<sup>1)</sup>, die schließlich in Kohlenoxyd und

<sup>1)</sup> Bone, Journ. of Gaslighting 1908, S. 541.

Wasserstoff zerfallen. Verbrennt man ein Gemisch von Acetylen und Wasserstoff mit einer ungenügenden Menge von Sauerstoff, so tritt keine Kohlenstoffausscheidung und auch keine Bildung von Wasserdampf auf, sondern es bildet sich aus dem Acetylen ausschließlich Kohlenoxyd und Wasserstoff, während der vor der Verbrennung beigemischte Wasserstoff gar nicht mit in Reaktion tritt.

Zur Kennzeichnung des Unterschiedes der Leuchtkraft der Acetylenflamme gegenüber der Leuchtkraft der Flamme der anderen Kohlenwasserstoffe sei nachstehende Tabelle wiedergegeben. Die Leuchtkraft der Gase bei Verbrennung im Braybrenner bei 141 Liter Stundenkonsum beträgt für

Methan (CH <sub>4</sub> ) . . . . .	5,2 HK
Äthan (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ) . . . . .	35,7 „
Propan (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) . . . . .	56,7 „
Äthylen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) . . . . .	70,0 „
Acetylen (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) . . . . .	210,0 „

Der Braybrenner ist jedoch für das Acetylen praktisch nicht verwendbar, weil er eine zu geringe Luftzufuhr besitzt. Praktisch werden bei der Beleuchtung mit Acetylen in offener Flamme auf die in horizontaler Richtung maximal gemessene HK-Leuchtkraft 0,7 Liter pro Stunde verbraucht. Bei der Gasglühlichtbeleuchtung braucht man 0,2 bis 0,3 Liter auf die horizontal gemessene Hefnerkerze. Die Anwendung des Acetylen für Invertlicht hielt man früher wegen der Zersetzlichkeit des Acetylen für unmöglich<sup>1)</sup>. In letzter Zeit ist es aber doch gelungen, das Acetylen auch für Invertlicht brauchbar zu machen<sup>2)</sup>.

In der Kleinbeleuchtung für einzelne Lampen, welche im Freien brennen, also speziell für Fahrzeuge, hat sich das Acetylen ein unbestrittenes Feld erobert. In Deutschland sind Orte bis zu 23000 Einwohner mit Acetylen versorgt. Die Kosten einer Anlage von 3600 bis 14000 m Rohrleitung betragen nach Knappich<sup>3)</sup> 36000 bis 61000 *M.* Es entspricht dies einer Einwohnerzahl von 500 bis 5000. Die Preise, zu welchen Acetylen in den verschiedenen Ländern verkauft wird, gehen aus nachstehender Tabelle hervor:

Land	Zahl der in Betrieb befindlichen Acetylenzentralen	Preis pro Kubikmeter in <i>₰</i>
Frankreich . . . . .	132	0,98—3,25
Deutschland . . . . .	143	1,70—2,25
Österreich-Ungarn . . . . .	33	1,10—2,12

Im ganzen sind auf der Erde derzeit etwa 900 Acetylenzentralen in Betrieb. An kleineren Einzelanlagen besitzt

Deutschland . . . . .	etwa 34 000
Frankreich . . . . .	„ 30 000
Österreich-Ungarn . . . . .	„ 15 000

<sup>1)</sup> Prash, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 465. — <sup>2)</sup> Steil, Carbid und Acetylen 1910, S. 18; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 190. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1043.

Auch für die Waggonbeleuchtung hat es eine umfangreiche Anwendung im Gemisch mit Ölgas gefunden. In dieser Beziehung wird es jedoch gegenwärtig wieder zufolge der Anwendung des hängenden Gasglühlichtes verdrängt. Umfangreiche Verwendung findet das Acetylen ferner noch bei der Seebeleuchtung bzw. im Seezeichenwesen. Ferner leistet es vorzügliche Dienste für die Beleuchtung einzelner Objekte, wie Bahnhöfe u. dgl. Zufolge der hohen Temperatur der Acetylenflamme ist sie reich an ultravioletten Strahlen und eignet sich daher auch für photographische Zwecke.

Es besitzt für kleinere Beleuchtungsanlagen vor dem Luftgas den Vorteil, daß kein Motor angewendet werden muß, und auch bei größter Kälte keine Kondensationen vorkommen können. Es konkurriert jedoch nur mit der frei brennenden offenen Flamme gegen die Luftgasbeleuchtung. Da, wo einmal Glühkörper verwendet werden müssen, ist das Acetylen minder entsprechend, weil es einen besonderen Grad von Reinheit besitzen muß, damit die Glühkörper nicht leiden. Nachteile des Acetylens gegenüber dem Luftgas sind die Explosionsfähigkeit, welche schon häufig zu Unglücksfällen geführt hat, der üble Geruch und namentlich die verhältnismäßig hohen Erzeugungskosten. Diese kommen allerdings erst dann in Betracht, wenn es sich um die Verwendung im größeren Maßstabe handelt, wie z. B. bei städtischen Beleuchtungszentralen. Hier schlug das Acetylen anfangs das Luftgas, wahrscheinlich hauptsächlich wegen der ungleichmäßigen Zusammensetzung, die beim Luftgase anfangs, als man noch nicht geeignete Apparate hatte, auftraten. So kam es, daß bereits im Jahre 1906 in Deutschland 110 Acetylenzentralen vorhanden waren. Aber seitdem die Luftgasbeleuchtung so gründlich durchgearbeitet ist, daß ein dauernd gleichmäßiges Gas erzielt werden kann, wird in den meisten Fällen, wo es sich um städtische Zentralen handelt, das Luftgas dem Acetylen wegen der billigeren Betriebskosten vorzuziehen sein (vgl. übrigens Vergleich der Beleuchtungsmittel, Kapitel 72).

Eine recht umfangreiche Anwendung hat in neuester Zeit das Acetylen dissous gewonnen. Es wurde 1897 von Claude und Hess eingeführt. Wie bereits erwähnt, löst Aceton große Mengen von Acetylen gas auf. Die Lösung zeigt sich auch bei 13 Atm. Druck nicht explosiv, wohl aber ist natürlich das oberhalb der Lösung verbleibende Gasvolumen bei diesem Drucke explodierbar. Steigert man den Druck über 20 Atm., so wird auch die Acetonlösung explosiv. Saugt man jedoch diese Lösung in porösen Körpern, z. B. Kieselgur und Holzkohle auf, so ist auch bei höheren Drucken keine Explosionsfähigkeit vorhanden. Auf diese Weise gelingt es, pro 1 Liter Rauminhalt einer Bombe, deren Gesamtgewicht 2,5 bis 3 kg pro Liter beträgt, das 100fache Volumen an Acetylen aufzuspeichern. Das Aceton erfährt dabei eine Volumvermehrung von je 4 Proz. pro je 1 Atm. Acetylendruck <sup>1)</sup>.

Diese ursprünglich in Frankreich eingeführte Verwendungsart des Acetylens, das sogenannte Acetylen dissous ist nunmehr auch in Deutschland eingeführt worden und wird in einer Fabrik in Döse-Dunen bei Cuxhaven erzeugt.

Zur Erzeugung des Acetylen dissous darf nur vollständig trockenes Acetylen gas verwendet werden und werden deshalb Kalktrockner angewendet. Durch ein Sicherheitsventil wird dafür Vorsorge getroffen, daß der Druck nicht über 21 Atm. steigt. Nach der Kompression muß das aus den Kom-

<sup>1)</sup> Traubel, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 141.

pressionspumpen stammende Öl aus dem Acetylen abgeschieden werden, was in zwei Stahlbehältern erfolgt<sup>1)</sup>).

Ein Rückschlagsventil verhindert die Rückwirkung der Pumpe auf die übrige Apparatur. Ein Stahlrohr, welches Stahlsiebeinlagen enthält und eine poröse Membrane verhindern die Fortpflanzung ev. entstehender Explosionen auf die Kompressionsanlage.

Die Flaschen, in welche das Acetylen gepreßt wird, sind mit einer aus Kieselgur, Holzkohle und einem besonderen Bindemittel bestehenden getrockneten porösen Masse gefüllt. Vor der Füllung wird das Gewicht auf der Flasche notiert, 90proz. Aceton mit 4 bis 5 Atm. Druck zugepumpt und dann Acetylen eingepreßt. Die dabei stattfindende Volumzunahme des Acetons beträgt bei 10 Atm. 40 Proz., so daß für diese Ausdehnung ein entsprechender Raum frei gelassen werden muß.

Bei 75 Proz. Porosität der Füllmasse beträgt das

Volumen der porösen Masse . . . . .	25	Proz.
„ des Acetons . . . . .	43	„
Volumzunahme desselben . . . . .	17,2	„
Für Wärmeausdehnung bis zu 30° frei bleibender Raum . . . . .	2,7	„
Als Reserve . . . . .	12,1	„
	<hr/>	
Summe . . . . .	100,0	Proz.

Der höchste Fülldruck beträgt bei — 5° 6,5 Atm., bei 10° 10 Atm. und bei 30° 18 Atm. Nach dem Füllen nimmt der Druck etwas ab, es müssen daher die Flaschen nach einigen Stunden nachgefüllt werden. Die Acetonverluste betragen pro 1 m<sup>3</sup> Acetylen 0,05 bis 0,06 Liter.

Aus dem Druck und dem Gewicht der zurückkommenden Flaschen wird der Acetonverlust ermittelt und entsprechend nachgefüllt. Als Flaschengröße kommen in den Handel:

3½ Liter, d. i. . . . .	350	Liter	gelöstes	Acetylen
15 „ „ „ . . . . .	1500	„	„	„
30 „ „ „ . . . . .	3000	„	„	„

Das Acetylen dissous findet vornehmlich Anwendung bei der Waggonbeleuchtung, bei der Hafen- und Boyenbeleuchtung, in Eisenbahnsignalwagen, für transportable Grubenbeleuchtung und Automobillampen. Die Vorteile desselben vor den transportablen Acetylenentwicklern liegen in dem Fortfalle der Reinigung sowie in der reinlichen Handhabung. Auch zur autogenen Schweißung kann Acetylen dissous mit Vorteil verwendet werden. Es kommt hier die leichtere Transportfähigkeit gegenüber den Acetylenentwicklern in Betracht, ferner aber auch die größere Billigkeit gegenüber Wasserstoff.

### 57. Naturgas.

Das Naturgas ist offenbar in gleicher Weise entstanden wie die Petroleumlager, die sich in der Erde vorfinden. Wie beim Petroleum sind die Ansichten darüber geteilt, ob diese Kohlenwasserstoffe, aus denen auch das Naturgas besteht, anorganischen Ursprungs sind und durch Einwirkung von Wasserdampf auf Carbide entstanden sind, oder aber ob sie organischen Ursprungs sind und durch einen Destillationsprozeß unter hohem Druck ent-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 141.

standen sind. Infolge der gleichen Entstehungsweise ist das Naturgas auch in unmittelbarer Nähe der Petroleumfelder zu finden. Es findet sich in unterirdischen Hohlräumen unter außerordentlich hohem Druck angesammelt. Man fand es zuerst beim Bohren auf Petroleum in den Vereinigten Staaten und wußte es dort bald in umfangreicher Weise auszunutzen.

Zum ersten Male wurde das Naturgas im Jahre 1825 in Fredonia zur Beheizung eines Gasofens verwendet<sup>1)</sup>. Bisher ist es noch nirgends in so ausgedehntem Maße gefunden worden wie in Nordamerika. Die wichtigsten Naturgasfelder dort sind

das Appalachische,  
West-Ohio-Indiana,  
Central-Ohio-Cansas-Indian-Territory Gasfeld.

Das unter hohem Druck aus der Erde entweichende Naturgas wird in Leitungen von oft ganz beträchtlicher Länge nach den Städten und industriellen Etablissements geführt. Die gesamten Naturgasleitungen in den Vereinigten Staaten haben derzeit eine Ausdehnung von 35 000 englischen Meilen angenommen und umfassen 20 000 Quellen für 1 Mill. Konsumenten. Einzelne Quellen liefern bis zu 320 000 m<sup>3</sup> pro Tag<sup>2)</sup>. Die Stadt Chicago<sup>3)</sup> bezieht ihr Naturgas auf eine Entfernung von 200 km aus dem Staate Indiana. Baltimor (600 000 Einwohner) sogar auf 320 km aus West-Virginia<sup>4)</sup>. Jährlich werden in den Vereinigten Staaten 1300 Mill. m<sup>3</sup> Erdgas mit einem Werte von 95 Mill. Mark gewonnen. Von anderen<sup>5)</sup> wird der Wert der jährlichen Erzeugung mit 273 Mill. Mark angegeben; danach hat die Standard Oil Co. etwa 400 Mill. Mark in Naturgasanlagen festgelegt. Die Leitungen derselben reichen vom Süden Westvirginiens bis Buffalo, d. i. auf eine Entfernung von 640 km. Ein Gebiet von 250 000 km<sup>2</sup> mit 10 Mill. Einwohnern wird mit Naturgas versorgt. Es ist auch eine Leitung des Gases nach St. Louis auf 720 km Entfernung projektiert, die 10 Mill. Mark kosten würde. Das Kapital aller Naturgasgesellschaften der Vereinigten Staaten wird auf 1200 Mill. Mark geschätzt. Diese Zahlen genügen, um die Bedeutung des Naturgases in Amerika zu kennzeichnen.

In Europa hat man zwar auch an einzelnen Stellen Naturgas entdeckt, doch sind dieselben von untergeordneter Bedeutung geblieben. Erst in letzter Zeit sind einige größere Quellen aufgefunden worden. Die bis jetzt gefundenen Naturgasquellen in Europa sind die nachstehenden:

1. Auf den Petroleumfeldern Rumäniens.
2. Auf den Petroleumfeldern Galiziens. Beide sind von untergeordneter Bedeutung geblieben.
3. Die Naturgasquellen in Wels<sup>6)</sup> (Oberösterreich). Dort wird das Naturgas seit etwa zwei Jahrzehnten von den Bewohnern zu häuslichen Zwecken benutzt. Umfangreichere industrielle Anwendung hat das Gas jedoch auch dort nicht gefunden.
4. In Bielitz, in Österreichisch-Schlesien<sup>7)</sup>. Anfänglich entströmten dort der Erde täglich 14 000 m<sup>3</sup> Gas unter einem Drucke von 80 Atm. Nach

<sup>1)</sup> Natural Gas Journ. 1908, II, S. 17; Petroleum 1908, S. 211; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 201! — <sup>2)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 582. — <sup>3)</sup> Kuckuk, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1061. — <sup>4)</sup> Ebend. 1910, S. 1147. — <sup>5)</sup> Ebend. 1911, S. 537. — <sup>6)</sup> Vgl. Koch, Ebend. 1911, S. 1044 und Jahrb. f. d. Eisenhüttenwesen III, S. 101. — <sup>7)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 106.

einigen Jahren sank der Druck jedoch bereits auf 30 Atm. Zufolge dieses raschen Nachlassens wurde eine Verwertung des Gases nicht in Angriff genommen.

5. Auf den Ölfeldern Bakus<sup>1)</sup>. Dort werden täglich 320 000 m<sup>3</sup> Naturgas gewonnen<sup>2)</sup>. Das Gas findet dort ausschließlich zur Öldestillation Verwendung.

6. In Nowo-Usensk. Das Gas dient dort zum Ziegelbrennen.

7. In Barigazzo, Modena in Italien.

8. In Pietra Mala bei Bologna in Italien.

9. In Pechelbronn in Deutschland (im Anschluß an das dortige Mineralölvorkommen).

10. Bei Celle und Hänigsen<sup>3)</sup>. Unbedeutendes Vorkommen.

11. In Neuengamme bei Bergedorf in der Nähe von Hamburg. Diese Quelle wurde erst vor wenigen Jahren erbohrt und liefert beträchtliche Mengen von Gas, welche teils an das Gaswerk Hamburg-Grasbrook, teils zum Betriebe eines Elektrizitätswerkes verwendet werden sollen. Das Gas entzündete sich beim ersten Ausbruch; die Flamme konnte jedoch nach Überwindung mancher Schwierigkeiten, welche die große Kälte, die bei der Expansion des Gases auftrat, gelöscht werden<sup>4)</sup>.

12. Sziget in Ungarn. Unbedeutendes Vorkommen.

13. Kiss Csármás im Marmaroser Komitat in Ungarn. Hier entströmen seit zwei Jahren gewaltige Gasmengen der Erde, ohne daß dieselben bisher nutzbar gemacht worden wären. Die Bändigung der Quelle machte hier noch wesentlich größere Schwierigkeiten als in Neuengamme. Nachdem das Gas zum ersten Male gefaßt war, bahnte es sich seitlich von dem Abschlußkopfe den Weg aus dem Erdboden in beträchtlichem Umkreise.

Nach neuerlicher Abdichtung ereignete sich am 29. Oktober 1911 abermals ein explosiver Ausbruch, wobei eine 120 m lange Spalte gebildet wurde und Steine bis zum Gewicht von 10 t ausgeworfen wurden. Die entweichende Gasmenge wurde auf 1 Mill. Kubikmeter täglich geschätzt. In der Umgebung dieser Quellen befinden sich weder große Städte noch Industrien, so daß bereits ein Projekt auftauchte, das Naturgas von dort zur Versorgung von Budapest zu verwenden. Die Länge der Leitung (500 km) und Unsicherheit der Dauer dieser Naturgasquelle hatte jedoch zur Folge, daß man von diesem Projekte abkam. Dagegen beabsichtigt die Badische Anilin- und Sodafabrik eine elektrische Anlage von 20 000 PS zu errichten und mittels des Stromes Luftsalpeter zu gewinnen<sup>5)</sup>.

14. Heatfield in Sussex. Dort wurde nur ein Bahnhof und ein Hotel mit dem Naturgase beleuchtet und eine zur Ausnutzung desselben gebildete Gesellschaft löste sich wieder auf.

15. In Vedsyssel in Dänemark, ebenso in Holland sind ebenfalls untergeordnete Naturgasvorkommen nachgewiesen worden<sup>6)</sup>.

Die Fortleitung des Naturgases erfolgt in den Vereinigten Staaten meist in Stahlrohren mit Gummidichtung<sup>7)</sup>.

<sup>1)</sup> Meuschen u. Doss, Rigasche Industrieztg. 1909, S. 76; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 435. — <sup>2)</sup> Rigasche Industrieztg. 1909, S. 76; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 435. — <sup>3)</sup> Burgemeister, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 358. — <sup>4)</sup> Schertel, Ebend. 1911, S. 193. — <sup>5)</sup> Czako, Ebend. 1911, S. 1250. — <sup>6)</sup> Lorie, Jahrb. f. d. Eisenhüttenwesen II, S. 90. — <sup>7)</sup> Natural Gas Journ. 1908, II, S. 17; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 201; Petroleum 1908, S. 211.

Die Dauer der hohen Leistungsfähigkeit einer Erdquelle beträgt in Amerika etwa zwei Jahre. Es kommen jedoch auch Quellen mit 10jähriger Dauer vor. Oft treten Verstopfungen durch Salz oder Paraffinablagerungen ein. In einzelnen Fällen hat man schon 90 Jahre lang ununterbrochen Gasaustritt konstatiert. Witterung und Barometerstand sind für den Gasaustritt von Bedeutung. In Marion (Indiana) wird mit Hilfe der bei der Expansion des Gases eintretenden Abkühlung Eis erzeugt.

Das Naturgas besteht vornehmlich aus Sumpfgas und Wasserstoff. Ferner sind oft kleinere oder größere Mengen von schweren Kohlenwasserstoffen und Luft beigemischt, wie nachstehende Tabelle zeigt:

	Gasquelle bei			
	Bielitz	Baku	Neuengamme	Kiss Czarnas
CH <sub>4</sub> . . . . .	92	54,8—60,2	91,5	99,25
C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> . . . . .	—	1,2— 2,6	2,1	—
CO <sub>2</sub> . . . . .	—	3,0— 3,8	—	—
O <sub>2</sub> . . . . .	—	7,0— 7,6	—	—
N <sub>2</sub> . . . . .	—	20,4—25,0	4,6	0,75
H <sub>2</sub> . . . . .	8	0,8—13,6	—	—

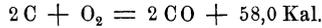
In den Vereinigten Staaten wird vielfach aus Naturgas Gasolin gewonnen. Es ist dies jedoch nur bei solchem Naturgas möglich, welches im Zusammenhange mit Erdölgebieten steht<sup>1)</sup>. Meist liefern die Bohrlöcher des Erdöles erst das Öl und später das Gas. Das entweichende Gas wird im Laufe der Zeit immer schwerer. Durch Abkühlung und Kompression können die schwereren Kohlenwasserstoffe kondensiert werden. Nach der Kondensation läßt man das komprimierte Gas expandieren und erzeugt damit Kälte, welche zur Kühlung des zu komprimierenden Gases dient. In den Vereinigten Staaten bestehen bereits 70 Anlagen, welche auf diese Weise Gasolin aus Naturgas als sog. Naturgasolin gewinnen. Im Jahre 1911 wurden bereits 190 000 Liter täglich gewonnen. Aus 100 m<sup>3</sup> Gas werden 40 bis 70 Liter Gasolin erzeugt. Es ist dies jedoch ein sehr leichtflüchtiges Produkt, für dessen Transport besondere Bahntransportwagen eingerichtet werden mußten. Es wird häufig auch gemischt mit schwereren Benzinen verwendet. Das von Gasolin befreite Gas brennt mit rußfreier Flamme, ist also dem gasolinhaltigen Gase vorzuziehen. Es wird für industrielle Heizungsanlagen mit 0,6 ♂ pro Kubikmeter abgegeben, zum Kochen und Heizen an andere Konsumenten dagegen mit 3,7 ♂. Auch in Europa ist bereits eine derartige Gasoliningewinnungsanlage eingerichtet worden, und zwar bei der Galizischen Naphtha-Produktengesellschaft.

### 58. Generatorgas, Halbwassergas, Mondgas.

Das Generatorgas entsteht durch unvollkommene Verbrennung des Kohlenstoffs, indem in einem Schachtofen Koks oder andere Brennmaterialien in größerer Schichthöhe aufgeschichtet werden und nach Entzündung Luft hindurchgeleitet wird. Wie wir bereits bei Erörterung der Vergasung des

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1136.

Kohlenstoffs S. 323 erörtert haben, erfolgt die Verbrennung zunächst zu Kohlensäure, solange die Temperatur des Generators noch gering ist. Später jedoch wird die zuerst entstehende Kohlensäure zufolge der hohen Temperatur vom Kohlenstoff zu Kohlenoxyd reduziert. Das Endresultat der Reaktion läßt sich daher durch die Gleichung ausdrücken:



Da jedoch die Reduktion der Kohlensäure zu Kohlenoxyd nie ganz vollständig ist bzw. sogar noch nachträglich ein Zerfallen des Kohlenoxyds in Kohlensäure und Kohlenstoff stattfinden kann (vgl. S. 327), so tritt als Endresultat, neben der obengenannten Umsetzung, auch noch die Reaktion auf:



Diese letztere Reaktion tritt um so mehr in den Vordergrund, je niedriger die Temperatur des Generators ist.

Setzt man voraus, daß die einströmende Verbrennungsluft vollständig trocken ist und das Brennmaterial außer Kohlenstoff keine anderen brennbaren Substanzen enthält, so steht der Kohlenoxyd- und der Kohlensäuregehalt des entstehenden Generatorgases stets in einem bestimmten Zusammenhange, so daß sich aus dem Kohlensäuregehalt des Generatorgases auch der Kohlenoxydgehalt berechnen läßt und zwar wie folgt.

Bei der vollständigen Verbrennung der Luft zu Kohlensäure enthalten die Verbrennungsgase das dem Sauerstoff der Luft gleiche Volumen Kohlensäure, also 21 Proz.  $\text{CO}_2$  und 79 Proz.  $\text{N}_2$ . Bei der vollständigen Verbrennung zu Kohlenoxyd enthält, wie wir auf S. 41 gesehen haben, das Generatorgas 34,7 Proz.  $\text{CO}$  und 65,3 Proz.  $\text{N}_2$ . Wenn sowohl Kohlensäure als auch Kohlenoxyd gebildet werden, so entspricht jedem Raumteil  $\text{CO}_2$  ein Volumen an Stickstoff, welches  $\frac{79}{21}$  mal so groß ist.

Werden daher in dem Generatorgase  $a$  Proz. Kohlensäure gefunden, so wurden  $a + \frac{79}{21} \cdot a$  Proz. Luft vollständig zu Kohlensäure verbrannt.

Das zu Kohlenoxyd verbrannte Luftvolumen beträgt daher in Prozenten  $100 - a \left(1 + \frac{79}{21}\right)$ . Da nun 1 Vol. Luft bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd ein Gas von 34,7 Vol. Kohlenoxydgehalt liefert, so berechnet sich der Kohlenoxydgehalt eines Generatorgases von  $a$  Proz. Kohlensäure zu

$$\left[100 - a \cdot \left(1 + \frac{79}{21}\right)\right] \cdot \frac{34,7}{100}$$

oder

$$\text{CO} = 34,7 - 1,65 a.$$

Kennt man die eingeblasene Luftmenge und den Kohlenstoffgehalt des Generatorgases, so läßt sich auch der im Generator verbrannte Kohlenstoff aus dem Kohlensäure- und Kohlenoxydgehalt des Generatorgases berechnen. Dies geschieht in folgender Weise.

Da 1  $\text{m}^3$  Kohlensäure genau ebensoviel Kohlenstoff enthält wie 1  $\text{m}^3$  Kohlenoxyd, d. i. 0,536 kg, so läßt sich der Kohlenstoffgehalt des Generatorgases aus der Summe der darin enthaltenen Kubikmeter Kohlensäure plus Kohlenoxyd durch Multiplikation mit 0,536 berechnen und zwar, indem man die in der vorhergehenden Formel gegebene Kohlenoxydmenge einsetzt:

$$(a + 34,7 - 1,65 a) \cdot 0,536.$$

Da wir jedoch nicht die Menge des Generatorgases, sondern nur die der eingeblasenen Luft als bekannt voraussetzen, so müssen wir die aus 1 Vol. Luft entstehende Gasmenge berechnen und zu diesem Zwecke die durch den Kohlenoxydgehalt bedingte Volumveränderung berücksichtigen.

$a$  Vol. Kohlensäure sind entstanden aus:

$$a \text{ Vol. O}_2 + \frac{79}{21} \cdot a \text{ N}_2;$$

34,7 — 1,65  $a$  Vol. Kohlenoxyd sind entstanden aus:

$$\frac{34,7 - 1,65 a}{2} \text{ Vol. O}_2 + \frac{79}{21} \cdot \frac{34,7 - 1,65 a}{2} \text{ Vol. N}_2.$$

100 Vol. Generatorgas sind daher aus der Summe der obengenannten Volumina Sauerstoff und Stickstoff entstanden, also aus  $0,83 a + 82,6$  Vol. Luft.

Umgekehrt geben also  $L$  Vol. Luft:

$$L \frac{100}{0,83 a + 82,6} \text{ Vol. Generatorgas.}$$

Multiplizieren wir dies mit dem oben angegebenen Kohlenstoffgehalt der Generatorgase, so erhalten wir den durch  $L \text{ m}^3$  Luft verbrannten Kohlenstoff in Kilogrammen:

$$C = L \frac{100 (a + 34,7 - 1,65 a) \cdot 0,536}{100 (0,83 a + 82,6)}$$

oder

$$C = L \frac{18,6 - 0,348 a}{0,83 a + 82,6}.$$

Praktisch treffen natürlich die diesen Berechnungen zugrunde gelegten Verhältnisse nie genau zu, denn einerseits enthält die zugeführte Luft stets Wasserdampf, welcher sich in Kohlenoxyd und Wasserdampf zerlegt und andererseits enthält auch das Brennmaterial nicht nur Kohlenstoff, sondern auch Wasserstoff, so daß im Generatorgase stets eine bestimmte Menge Wasserstoff enthalten ist. Trotzdem kann aus den obigen Berechnungen aus der Bestimmung des Kohlensäuregehaltes des Generatorgases  $a$  ein für viele Zwecke genügender Schluß auf den Kohlenoxydgehalt und daher auch auf den Heizwert des Generatorgases gezogen werden.

Wir haben schon wiederholt eingehend erörtert, daß die Temperatur des Brennmaterials auf die Zusammensetzung des entstehenden Generatorgases von wesentlichem Einfluß ist. Beim Anheizen eines Generators ist die Temperatur zuerst gering, daher der Kohlensäuregehalt des Generatorgases anfangs vorwiegend. In dem Maße jedoch als das Brennmaterial heißer wird, sinkt der Kohlensäuregehalt und steigt der Kohlenoxydgehalt. Es sind nun von Boudouard, wie wir auf S. 328 gesehen haben, die Gleichgewichtsverhältnisse zwischen Kohlensäure und Kohlenoxyd<sup>1)</sup>, welche sich bei bestimmten Temperaturen einstellen, genau untersucht worden. Die Resultate dieser Untersuchung lassen sich jedoch nicht ohne weiteres auf den praktischen Generatorgasbetrieb übertragen. Dies liegt darin, daß der Generator an verschiedenen Stellen außerordentlich verschiedene Temperaturen besitzt. Im untersten Teile, wo die Luft eintritt, ist der Generator sehr heiß und die Temperatur nimmt nach oben rasch ab. Das Brennmaterial, welches von oben eingebracht wird, kommt zunächst mit gewöhnlicher Temperatur dort

<sup>1)</sup> Eine Zusammenstellung aller Arbeiten über dieses Gleichgewicht siehe M. Mayer u. Jacoby im Journ. f. Gasbel. 1909, S. 282.

hinein und wärmt sich in dem Maße, wie es im Gegenstrom gegen die erzeugten Generatorgase hinabsinkt, allmählich vor. Wenn man nun von der Temperatur eines Generators spricht, so ist damit noch nicht festgesetzt, auf welche Stelle man diese Temperaturangabe bezieht.

Will man die Abhängigkeit der Kohlensäurebildung von der Temperatur des Generators, wie sie im praktischen Betriebe besteht, kennzeichnen, so ist es zweckmäßig, jene Temperatur ins Auge zu fassen, welche dem Mittel der eben noch reaktionsfähigen Schichte entspricht. Die Zusammensetzung des Generatorgases kann sich während des Aufsteigens im Generator noch ändern, solange die Temperatur noch eine gewisse Höhe hat. An den Stellen, wo die Temperatur schon sehr weit herabgesunken ist, etwa unter 500°, ist eine weitere Änderung der Zusammensetzung nicht mehr möglich, weil die Umsetzungsgeschwindigkeit der etwa noch vor sich gehenden Änderungen so gering ist, daß sie praktisch gar nicht mehr in Betracht kommt. Würden wir also schlechtweg von der mittleren Temperatur des Generators in dem Sinne reden, daß dies auf die Temperatur des gesamten Brennmaterials bezogen wird, so würden wir den Fehler machen, daß bei Zugabe von kaltem Brennmaterial an der Stelle, wo eine Reaktion gar nicht mehr stattfindet, d. h. im oberen Teile des Generators, wir die mittlere Temperatur des gesamten Brennmaterials als herabgesetzt betrachten würden, obwohl die Zusammensetzung des Generatorgases sich dadurch nicht ändert. Wir wollen also im folgenden mit „Temperatur des Generators“ die mittlere Temperatur der reaktionsfähigen Schicht bezeichnen.

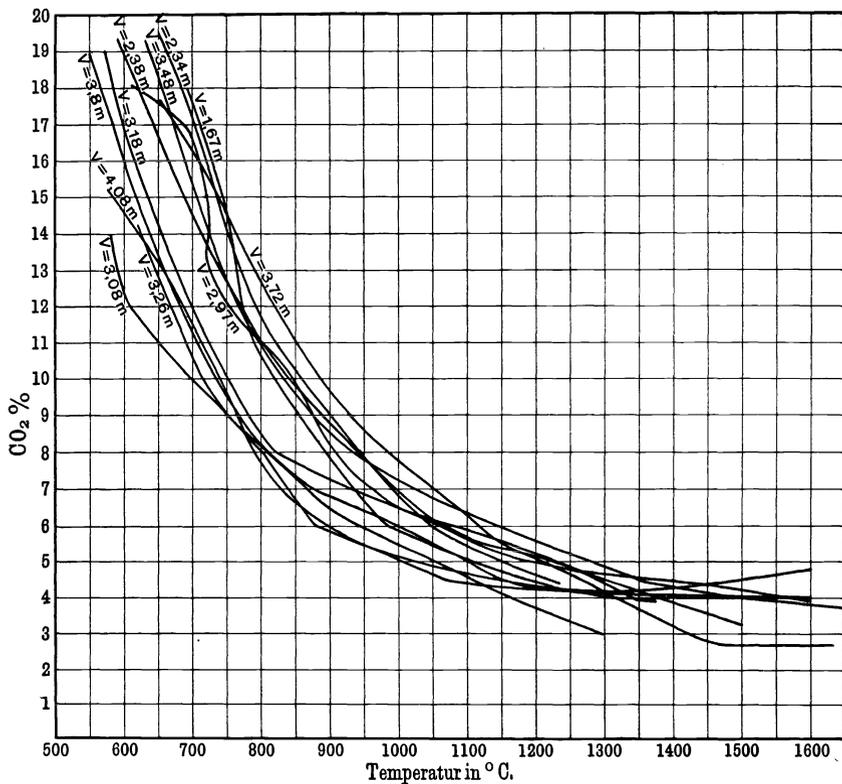
Dellwik hat in seinem D. R.-P. Nr. 105 511 die Angabe gemacht, daß die Zusammensetzung der dem Generator entweichenden Gase wesentlich durch die Windgeschwindigkeit bedingt ist und durch die Schichthöhe des Brennmaterials derart beeinflußt wird, daß bei großer Windgeschwindigkeit und bei geringer Schichthöhe das dem Generator entweichende Gas viel Kohlensäure enthält und daß dieser Kohlensäuregehalt sogar 21 Proz. erreichen kann. Er hat jedoch eine Abhängigkeit von der Temperatur nicht ausgesprochen. Der Verfasser hat daher im Verein mit Jahoda den Gegenstand einer ausführlichen Untersuchung unterzogen (Journ. f. Gasbel. 1900, S. 354 und 1903, S. 764). Das Resultat dieser Untersuchungen war, daß innerhalb der für den Betrieb maßgeblichen Grenzen eine Abhängigkeit der Zusammensetzung des Generatorgases von der Windgeschwindigkeit und der Schichthöhe bei einer gegebenen Temperatur des Generators nicht nachgewiesen werden konnte.

Wielandt<sup>1)</sup> hat zwar an einer Reihe von Versuchen, welche an einem ganz kleinen Generator ausgeführt worden sind, gezeigt, daß, wenn die Schichthöhe bis auf einige Dezimeter heruntergeht und die Geschwindigkeit des hindurchgehenden Luftstromes eine sehr große ist, tatsächlich ein sehr großer Kohlensäuregehalt in den entweichenden Gasen vorhanden sein kann. Dies entspricht jedoch nicht mehr den Resultaten der Praxis, wie sie bei Generatoren üblich ist. Denn hier kommen doch nur Schichthöhen von mehr als  $\frac{1}{2}$  m in Betracht<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1903, S. 201. — <sup>2)</sup> Vgl. Strache, Vergasung des Kohlenstoffs beim Heißblasen des Generators. Journ. f. Gasbel. 1903, S. 434; vgl. ferner Clement u. Adams und Haskins, Journ. Bureau of Mines 1911, S. 1; Journ. Soc. Chem. Ind. 1911, S. 1002; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1020.

Die obengenannten Versuche, welche vom Verfasser im Verein mit Jahoda ausgeführt wurden, zeigen, daß die Geschwindigkeit der Luft ohne wesentlichen Einfluß auf den Kohlensäuregehalt ist. Die Resultate sind in der nachstehenden Tabelle wiedergegeben.

Fig. 310.



## Kohlensäure.

20 Proz.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	520	—
19 "	—	660	590	—	—	575	—	640	—	550	—
18 "	685	680	615	610	—	585	—	660	—	570	—
17 "	700	705	640	685	—	600	—	680	670	585	—
16 "	710	720	660	710	—	620	—	695	700	600	—
15 "	720	735	690	730	—	630	—	710	720	620	580
14 "	735	755	710	750	580	655	630	725	750	635	620
13 "	755	770	740	775	590	675	650	760	780	660	660
12 "	770	785	770	800	610	700	665	755	820	680	680
11 "	790	815	815	820	650	725	690	800	840	720	700
10 "	820	850	840	845	695	750	720	830	870	740	730
8 "	890	970	930	905	800	820	815	930	970	820	780
6 "	980	1050	1060	1000	880	1070	985	1145	1120	945	890
4 "	1320	—	1370	1565	1375	1340	—	1500	1310	1165	1840
3 "	—	—	—	—	—	—	—	—	1440	1300	—

In graphischer Darstellung sind sie in Fig. 310 zusammengestellt.

Als mittleres Resultat dieser Versuche ergab sich, daß sich der Kohlen-säuregehalt des Generatorgases in seiner Abhängigkeit von der Temperatur darstellen läßt durch die Formel  $a = \frac{3730}{t - 467}$ .

Diese Formel ist eine rein empirische und gilt nur für Temperaturen von 650° angefangen aufwärts. Sie ist auch nur an einem einzigen Generator ermittelt und ist es daher fraglich, ob gleiche Resultate auch an anderen Generatoren gefunden werden. Jedenfalls gibt sie aber Anhaltspunkte darüber, in welcher Weise das Herabgehen des Kohlen-säuregehaltes bei Steigerung der Temperatur eines Generators stattfindet.

Die vorstehenden Versuche sind mit Gaskoks ausgeführt, der aus Ostrauer Kohle gewonnen wurde. Auch die Zusammensetzung des Brennmaterials dürfte von Einfluß auf die Zusammensetzung des Generatorgases sein, da katalytisch wirkende Substanzen, wie z. B. Eisen, welches aus Eisenoxyd metallisch abgeschieden werden kann, die im letzten Stadium des Generator-gasprozesses stattfindende Zersetzung des Kohlenoxyds in Kohlen-säure und Kohlenstoff beschleunigen kann. Außerdem ist auch das Wärmeleitungs-vermögen des Brennmaterials von besonderer Bedeutung, da z. B. die die Wärme schlecht leitende Holzkohle sich an ihrer Oberfläche außerordentlich rasch erhitzt, während ihr Inneres noch kalt ist, so daß sie bei einer ver-hältnismäßig niederen mittleren Temperatur ein Gas von höherem Gehalt an Kohlenoxyd, also im allgemeinen ein reicheres, kohlen-säurefreieres Generator-gas liefert, als der die Wärme gut leitende Koks.

Die Temperatur, welche sich aus der Verbrennung von kaltem Kohlen-stoff in kalter Luft berechnet, beläuft sich auf 1400° C. Da jedoch in dem Generatoroberteile zunächst eine Vorwärmung des Brennmaterials bis nahe auf die Verbrennungstemperatur stattfindet, so ist die in Generatoren er-reichte Temperatur tatsächlich eine viel höhere. Sie vermag theoretisch 1700° C zu erreichen. Praktisch treten natürlich so hohe Temperaturen wegen der unvermeidlichen Wärmeverluste durch Strahlung und Leitung nicht auf. Immerhin ist aber die Temperatur, welche der Unterteil eines Generators an der Stelle hat, wo eben die Luft eintritt, so hoch, daß weder die Roststäbe, noch das Mauerwerk des Generators auf die Dauer haltbar sind, wenn man nicht Mittel anwendet, um die Temperatur an dieser Stelle herabzusetzen.

Im nachstehenden ist beispielsweise die Zusammensetzung eines aus Koks erzeugten Generatorgases wiedergegeben <sup>1)</sup>.

Kohlenoxyd (CO) . . . . .	29,4	Vol.-Proz.
Wasserstoff (H <sub>2</sub> ) . . . . .	1,9	„
Kohlensäure (CO <sub>2</sub> ) . . . . .	2,0	„
Stickstoff (N <sub>2</sub> ) . . . . .	66,7	„
Heizwert, oberer . . . . .	953	Kal.
„ unterer . . . . .	944	„

Nach der obengenannten Formel

$$\text{CO} = 34,7 - 1,65 a$$

sollte bei einem Kohlen-säuregehalt von 2,0 Proz. der Kohlenoxydgehalt be-tragen: CO = 31,4 Proz. Der in der obengenannten Analyse angeführte

<sup>1)</sup> Nach Wagner-Fischer: v. Ihering, Gasmaschinen, I. Tl., S. 18.

geringere Kohlenoxydgehalt von 29,4 Proz. ist dadurch erklärlich, daß das Generatorgas außerdem Wasserstoff enthält, was ja, wie schon erörtert, nicht zu vermeiden ist.

Würde man reinen Kohlenstoff vollständig zu Kohlenoxyd vergasen, so müßte man theoretisch ein Generatorgas von 34,7 Vol.-Proz. Kohlenoxyd erhalten. Dasselbe würde dann einen Heizwert von 1060 Kal. besitzen und es würden pro 1 kg Kohlenstoff 5,38 m<sup>3</sup> Gas erzeugt werden. Es würde somit pro 1 kg vergastem Kohlenstoff von 8100 Kal. in Gasform nutzbar gemacht:  $5,38 \times 1060 = 5700$  Kal. Dies entspräche einem Nutzeffekt von 70 Proz.

Das in der obigen Analyse praktisch erhaltene Generatorgas enthält pro Kubikmeter (29,4 + 2,0) · 0,536, d. i. 0,168 kg Kohlenstoff oder aus 1 kg Kohlenstoff können gewonnen werden 5,96 m<sup>3</sup> Generatorgas. Dies mit dem Heizwert von 944 Kal. multipliziert ergibt eine Gesamtausbeute an Heizwert in Gasform von 5620 Kal. pro 1 kg Kohlenstoff, welcher bei der direkten Verbrennung 8100 Kal. gegeben hätte, somit ist ein Nutzeffekt von

$$\frac{5620}{8100} \cdot 100 = 69,5 \text{ Proz.}$$

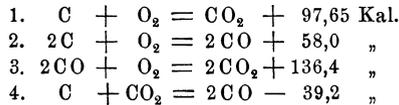
vorhanden.

Der Rest der Verbrennungswärme des Kohlenstoffs, welcher als Verlust auftritt, liegt hauptsächlich in der fühlbaren Wärme des entweichenden Generatorgases. Außerdem geht noch eine kleinere Menge durch Ausstrahlung des Generators verloren. Diese Verluste kann man praktisch durch Zusatz von Wasserdampf und Verbrennungsluft vermindern, wie wir dies bereits S. 331 angedeutet haben. Dadurch wird auch der genannte Übelstand beseitigt, daß der Unterteil des Generators eine für das Material desselben nachteilige zu hohe Temperatur annimmt. Der Wasserdampf wird in der glühenden Koksschicht unter Bildung von Wassergas zersetzt und bewirkt eine Herabsetzung der Temperatur unter gleichzeitiger Steigerung des Heizwertes des erzeugten Gases.

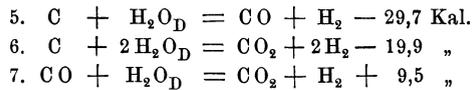
Die Zerlegung des Wasserdampfes ist ein wärmeverbrauchender Prozeß. Die Verbrennung des Kohlenstoffs dagegen zu Kohlenoxyd, d. h. Generatorgas, ist ein wärmeliefernder Prozeß. Will man in einem Generator weder eine Temperatursteigerung, noch ein allmähliches Herabgehen der Temperatur erzielen, so muß die wärmeliefernde Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd in demselben Maße vorhanden sein, wie die wärmeverbrauchende Zersetzung des Wasserdampfes durch den Kohlenstoff. Man muß jedoch nicht notwendigerweise die beiden Prozesse gleichzeitig vor sich gehen lassen, sondern man kann sie auch zeitlich voneinander getrennt vornehmen. Im ersteren Falle, nämlich bei gleichzeitigem Verlaufe der beiden Reaktionen, welcher dann stattfindet, wenn man zur Verbrennungsluft Wasserdampf hinzufügt, bildet sich Generatorgas und Wassergas gleichzeitig und das Gemisch, welches dabei entsteht, nennt man Halbwassergas oder nach Dowson, welcher dasselbe zuerst in die Praxis einführte, auch Dowsongas. In den Hüttenwerken ist hierfür auch der Ausdruck Mischgas in Verwendung, dieser Ausdruck ist jedoch zweideutig, weil die Beleuchtungstechniker unter Mischgas ein Gemisch von Steinkohlengas und Wassergas verstehen. Wir wollen daher ausschließlich den Namen Halbwassergas beibehalten. Finden die beiden genannten Prozesse nicht zu gleicher Zeit statt, sondern bläst man in den Generator abwechselnd Luft zum Zwecke der Bildung von Generator-

gas und dann Wasserdampf zur Bildung des Wassergases, so hat man den eigentlichen Wassergasprozeß, den wir im Kap. 60 ausführlich besprechen werden. Hier wollen wir zunächst den Halbwassergasprozeß besprechen und berechnen, in welchem Grade die einzelnen Reaktionen nebeneinander stattfinden müssen, damit Wärmegleichgewicht besteht.

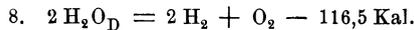
Die Reaktionen, welche dabei in Betracht kommen, haben wir bereits auf S. 49 kennen gelernt. Es sind dies die Reaktionen zwischen Kohlenstoff, Kohlenoxyd und Kohlensäure, welche sich in den vier Gleichungen zusammenfassen lassen:



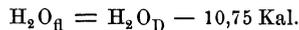
Ferner haben wir die Reaktionen zwischen Kohlenstoff, Wasserdampf, Kohlenoxyd und Kohlensäure zu berücksichtigen, welche in den Gleichungen dargestellt sind:



Schließlich hätten wir noch die Wasserdampfdissoziation zu berücksichtigen, welche lautet:

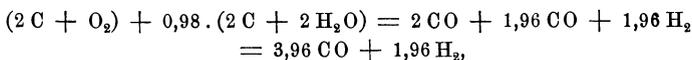


und die Umwandlung des flüssigen Wassers in dampfförmiges Wasser, welche ausgedrückt ist durch die Gleichung:



Würde der Generatorgasprozeß, sowie auch der Wassergasprozeß in theoretisch vollkommener Weise verlaufen, so kämen dabei nur die beiden unter 2. und 5. genannten Formeln in Betracht. Nach der erstgenannten Gleichung entstehen dabei 58,0 Kal., wenn 2 At. Kohlenstoff verbrennen.

Nach der Gleichung 5. werden bei der Zerlegung des Wasserdampfes durch 2 At. Kohlenstoff  $2 \times 29,7$ , d. i. 59,4 Kal. verbraucht. Daraus wäre also ersichtlich, daß ungefähr ebensoviel Kohlenstoff mit Sauerstoff zu Kohlenoxyd verbrennen muß, wie Kohlenstoff durch Wasserdampf in Wassergas verwandelt wird, wenn Wärmegleichgewicht herrschen soll. Genau berechnet müßte die Wärme verbrauchende Reaktion der Wasserdampfersetzung um das  $\frac{58,0}{59,4} = 0,98$  fache zurückbleiben, und die beiden zusammengezogenen Gleichungen würden dann lauten:



somit würde die Zusammensetzung nach Volumprozenten betragen:

$$\frac{3,96}{3,96 + 1,96} = 67,0 \text{ Vol.-Proz. CO}$$

und

$$\frac{1,96}{3,96 + 1,96} = 33,0 \text{ Vol.-Proz. H}_2.$$

Dies ist das beim gleichzeitigen Einleiten von reinem Sauerstoff und Wasserdampf im obengenannten Verhältnis zu erreichende Gas, welches

jedoch nur dann gewonnen werden könnte, wenn keinerlei Wärmeverluste im Generator stattfänden. Es hätte einen oberen Heizwert von 3070 Kal. und einen unteren Heizwert von 2900 Kal. pro Kubikmeter bei 0°. Es würden dabei aus 1 kg-Mol. Kohlenstoff, das sind 12 kg Kohlenstoff gewonnen:

$$\frac{(3,96 + 1,96) \cdot 22,3^1}{3,96} = 33,5 \text{ m}^3 \text{ Gas}$$

oder aus 1 kg Kohlenstoff:

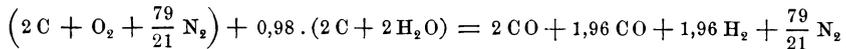
$$\frac{(3,96 + 1,96) \cdot 22,3}{3,96 \cdot 12} = 2,78 \text{ m}^3 \text{ Gas.}$$

Berechnen wir nun den unteren Heizwert wie angegeben mit 2900 Kal., so erhalten wir eine gesamte Verbrennungswärme von  $2,78 \cdot 2900 = 8100$  Kal., d. h. ebensoviel als 1 kg Kohlenstoff bei der direkten Verbrennung gegeben hätte, was nur ein Beweis dafür ist, daß die Rechnung richtig angestellt ist. Der untere Heizwert muß hierbei eingesetzt werden, weil bei der Erzeugung des Gases von dampfförmigem Wasser ausgegangen wurde, also bei der Verbrennung desselben wieder auf dampfförmiges Wasser zu rechnen ist, wenn die Rechnung stimmen soll.

Der Dampfverbrauch für  $3,96 \cdot 12$ , das ist 46,5 kg Kohlenstoff beträgt dabei  $1,96 \cdot 18 = 35,3$  kg. Wasserdampf oder pro 1 kg Kohlenstoff:

$$\frac{35,3}{46,5} = 0,76 \text{ kg Wasserdampf.}$$

Trotz der neueren Methoden der Erzeugung des Sauerstoffs sind die Kosten desselben noch zu hohe, um zur Erzeugung des Halbwassergases in der beschriebenen Weise verwendet werden zu können. Man ist daher auf die Anwendung von Luft angewiesen. Führen wir die Berechnung mit dieser aus, so müssen wir berücksichtigen, daß für je 1 Vol. Sauerstoff  $\frac{79}{21}$  Vol. Stickstoff mitgeführt werden. Die obigen Gleichungen modifizieren sich daher wie folgt:



oder

$$3,96CO + 1,96H_2 + 3,76N_2 = 9,68 \text{ Mol.}$$

des Gasgemisches.

Die Zusammensetzung eines solchen Gases würde sich wie folgt berechnen:

CO . . . . .	$\frac{3,96}{9,68}$	· 100 = 41,0 Proz.
H <sub>2</sub> . . . . .	$\frac{1,96}{9,68}$	· 100 = 20,3 "
N <sub>2</sub> . . . . .	$\frac{3,76}{9,68}$	· 100 = 38,7 "
Summe . . .		100,0 Proz.

Der obere Heizwert eines solchen Gasgemisches würde sich zu 1880 Kal. und der untere Heizwert zu 1780 Kal. berechnen. Berücksichtigen wir wieder, daß das Molarvolumen eines Gases  $22,3 \text{ m}^3$  beträgt, so ergibt sich nach obiger Gleichung der Gasgewinn aus 1 kg Kohlenstoff zu

$$\frac{9,68 \cdot 22,3}{3,96 \cdot 12} = 4,54 \text{ m}^3,$$

1) Das Molarvolumen.

somit beträgt die Gesamtausbeute an Heizwert  $4,54 \cdot 1780 = 8100$  Kal., d. i. die gesamte Verbrennungswärme des angewendeten Kohlenstoffs. Es würde sich also hier ebenso wie bei der Anwendung des Sauerstoffs ein Nutzeffekt von 100 Proz. ergeben, während wir bei der Generatorgasbildung, auch wenn alle Wärmeverluste vermieden werden könnten, auf S. 726 theoretisch nur einen Nutzeffekt von 70 Proz. berechnet haben. Der Unterschied liegt darin, daß bei der Generatorgasbildung die Verbrennungswärme des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd verloren geht, während sie beim hier erläuterten Halbwassergasprozeß dazu verwendet wird, um den Wasserdampf zu zerlegen, und die auf diese Weise wieder vollkommen gewonnen werden könnte, wenn eben alle anderen Wärmeverluste vermieden werden könnten. Dies ist nun aber praktisch natürlich nicht der Fall. Sowohl die Verluste durch Strahlung und Leitung des Schachtofens, in welchem die Verbrennung erfolgt als auch besonders die Wärmeverluste, welche durch das abziehende heiße Gas entstehen, bewirken eine Verringerung des Nutzeffektes. Allerdings wirkt dem entgegen, daß auch ein Teil des Kohlenstoffs nicht zu Kohlenoxyd, sondern zu Kohlensäure verbrennt, was eine höhere Wärmeentwicklung hervorruft, als nach obigen Berechnungen angenommen wurde, so daß ein Teil dieser Wärmeverluste hierdurch wieder ausgeglichen wird. Durch die Kohlensäurebildung wird aber der Heizwert des gebildeten Gases etwas herabgesetzt.

Die Temperatur, bei welcher der Kohlenstoff praktisch vollständig in Kohlenoxyd übergeht, liegt bei etwa  $1200^{\circ}$ . Bei dieser Temperatur ist auch die Zersetzung des Wasserdampfes eine vollkommene. Das entstehende Gasgemisch durchstreicht also mit einer Temperatur von etwa  $1200^{\circ}$  jene Schichte des Brennmaterials, in welchem es gebildet wird. Die Wärmeverluste durch das heiß abziehende Gas würden in diesem Falle sehr beträchtlich sein. Rechnen wir die spezifische Wärme des Gasgemisches mit 0,3 pro Kubikmeter, so würde  $1 \text{ m}^3$  des erzeugten Gases bei  $1200^{\circ}$  360 Kal. entführen, oder  $4,54 \text{ m}^3$  1634 Kal. In der Praxis des Generatorenbetriebes ziehen jedoch die Gase nicht mit dieser hohen Temperatur ab, sondern ein Teil der fühlbaren Wärme derselben wird dazu verwendet, um das frisch aufgegebene Brennmaterial, welches in den höheren Schichten des Generators liegt, vorzuwärmen. Dadurch wird ein Teil der Wärme wieder dem Verbrennungsprozeß zugeführt, und die Wärmeverluste sind daher bedeutend geringer. Sie sind um so geringer, je höher der Generator ist, denn um so vollkommener übertragen die abziehenden Gase, welche von unten nach oben streichen, die Wärme an den Koks.

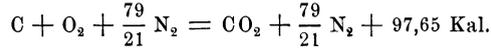
Gemäß der oben angeführten Gleichung werden 9,68 Mol., das sind  $9,68 \cdot 22,3 = 215 \text{ m}^3$  Gas erzeugt. Nehmen wir nun an, daß dieses Gas mit einer Temperatur von  $700^{\circ}$  aus dem Generator entweicht, so ergibt sich bei Annahme einer spezifischen Wärme von 0,31 ein Wärmeverlust von  $215 \cdot 700 \cdot 0,31$ , d. i. 47 000 Kal. Rechnen wir hierzu noch einen Strahlungsverlust von 23 000 Kal., so ergibt sich der Gesamtverlust an Wärme von 70 000 Kal., oder da wir die Wärmetönungen hier immer zu Tausenden von Kalorien angeben, ein Wärmeverlust, der einer Wärmetönung von 70,0 entspricht.

Dieser Wärmeverlust muß nun gedeckt werden, indem ein Überschuß von Luft eingeblasen wird, welcher dazu dient, eine weitere Menge von Kohlenstoff unter Entwicklung dieser erforderlichen Wärmemenge zu verbrennen. Diese Verbrennung kann aber wieder entweder zu Kohlensäure oder

zu Kohlenoxyd stattfinden. Wir wollen diese beiden Fälle getrennt voneinander behandeln.

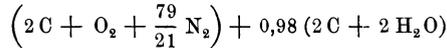
1. Bei der Verbrennung zu Kohlensäure stellt sich die Berechnung wie folgt:

Gemäß S. 727 werden bei der Verbrennung von 1 Mol. Kohlenstoff 97,65 Kal. entwickelt. Bei Anwendung von Luft lautet somit die Gleichung:

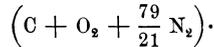


Es bilden sich dabei  $1 + \frac{79}{21} = 4,76$  Mol., d. i.  $4,76 \cdot 22,3 = 106 \text{ m}^3$  Verbrennungsgase. Die spezifische Wärme derselben ist wegen des Gehaltes an Kohlensäure etwas höher anzunehmen als für das reine Generatorgas. Wir setzen sie mit 0,37 an.

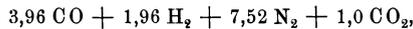
Die durch die Eigenwärme des Gases verlorengelende Wärme beträgt also  $106 \cdot 0,37 \cdot 700$ , d. i. 27,5 tausend Kal. Von den entwickelten 97,65 bleiben also  $97,65 - 27,5$ , d. i. 70,15 tausend Kal., d. i. also gerade ebensoviel, als wir zum Ersatz der verlorengelenden Wärme brauchen. Für die Reaktion



wird also zum Ersatz der verlorengelenden Wärme noch die Reaktion stattfinden müssen:



Das Endprodukt wird also bestehen aus



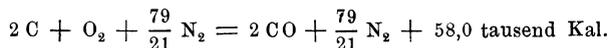
d. i. zusammen 14,44 Mol. Die Zusammensetzung dieses Gasgemisches ist die folgende:

CO . . . . .	$\frac{3,96}{14,44}$	· 100 = 27,5 Proz.
H <sub>2</sub> . . . . .	$\frac{1,96}{14,44}$	· 100 = 13,6 „
N <sub>2</sub> . . . . .	$\frac{7,52}{14,44}$	· 100 = 52,0 „
CO <sub>2</sub> . . . . .	$\frac{1,00}{14,44}$	· 100 = 6,9 „
Summe . . .		100,0 Proz.

Der obere Heizwert dieses Gases beträgt 1260 Kal. pro Kubikmeter und der untere Heizwert 1190 Kal. pro Kubikmeter.

2. Bewirkt die zum Ersatz der verlorengelenden Wärme zugeführte Verbrennungsluft die Verbrennung des Kohlenstoffs nicht zu Kohlensäure, sondern zu Kohlenoxyd, so ist wegen der geringeren Reaktionswärme natürlich eine größere Menge von Luft für diesen Zweck erforderlich. Die Berechnung stellt sich dann etwas anders und zwar:

Die Verbrennung zu Kohlenoxyd erfolgt nach der Formel:



Es werden dabei 5,76 Mol. mal 22,3 das sind  $128 \text{ m}^3$  Gas erzeugt. Diese sind mit einer spezifischen Wärme von 0,31 zu rechnen, weil keine Kohlen-

säure vorhanden ist. Ziehen die Gase mit einer Temperatur von 700° ab, so ergibt sich die während dieser Reaktion verlorengelende Wärmemenge zu 128.0,31.700 = 27,9 tausend Kal. Von den 58,0 tausend Kal., welche die Verbrennung ergibt, bleiben somit nur disponibel 58,0 — 27,9, das ist 30,1 tausend Kal. Es sind aber, wie wir auf S.729 berechnet haben, 70 tausend Kal. erforderlich; dementsprechend muß die zuletzt genannte Reaktion 70:30,1, das ist 2,33 mal stattfinden und es ergibt sich die Gesamtgleichung:

$$\begin{aligned} & \left( 2\text{C} + \text{O}_2 + \frac{79}{21}\text{N}_2 \right) + 0,98 \cdot (2\text{C} + \text{H}_2\text{O}) + \frac{70}{30,1} \cdot \left( 2\text{C} + \text{O}_2 + \frac{79}{21}\text{N}_2 \right) \\ & = 3,96\text{CO} + 1,96\text{H}_2 + 3,76\text{N}_2 + 4,66\text{CO} + \frac{79}{21} \cdot 2,33\text{N}_2 \\ & = 8,62\text{CO} + 1,96\text{H}_2 + 12,52\text{N}_2 = 23,10\text{ Mol.} \end{aligned}$$

Die Zusammensetzung dieses Gases ergibt sich wie folgt:

CO . . . . .	$\frac{8,62}{23,1}$	· 100 =	37,4	Proz.
H <sub>2</sub> . . . . .	$\frac{1,96}{23,1}$	· 100 =	8,5	„
N <sub>2</sub> . . . . .	$\frac{12,52}{23,1}$	· 100 =	54,1	„

Summe . . . 100,0 Proz.

Der obere Heizwert dieses Gasgemisches beträgt 1400 Kal. und der untere Heizwert 1360 Kal.

Die Gasausbeute pro 1 kg Kohlenstoff berechnet sich nach dem unter 1. genannten Prozeß zu

$$\frac{14,44 \cdot 22,3}{4,96 \cdot 12} = 5,40\text{ m}^3.$$

Nach dem unter 2. genannten Prozeß beträgt dagegen die Ausbeute nur

$$\frac{23,10 \cdot 22,3}{8,62 \cdot 12} = 4,97\text{ m}^3.$$

Demnach berechnet sich der Nutzeffekt im Falle 1. zu

$$\frac{5,40 \cdot 1190}{8100} = 79,8\text{ Proz.},$$

im Falle 2. dagegen zu

$$\frac{4,97 \cdot 1360}{8100} = 83,8\text{ Proz.}$$

Die gesamte Wärmebilanz läßt sich wie folgt darstellen.

Im Falle 1. Die Eigenwärme der Gase der Hauptreaktion beträgt, wie wir auf S.729 berechnet haben, 47,0 tausend Kal. Dazu kommt noch die Eigenwärme der Gase, welche bei der Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlensäure zum Zwecke des Ersatzes des Wärmeverlustes entsteht. Diese führen mit sich, wie wir auf S.730 berechnet haben, 27,5 tausend Kal.

Die Gesamtmenge der Eigenwärme der abziehenden Gase beträgt somit 47,0 + 27,5 . . . . . 74,5 tausend Kal.

Die Strahlungsverluste betragen, wie wir S.729 angenommen haben . . . . . 23,0 „ „

Der Nutzeffekt an unterer Verbrennungswärme des Gases beträgt, da 3,96 Mol. CO zur Verbrennung gelangen, 3,96 · 68,2 . . . . . 271,0

Zuzüglich der Verbrennungswärme von 0,98 Mol. Wasserstoff, d. i. . . . . 114,5 = 385,5 „ „

Summe . . . 483,0 tausend Kal.

Diese Summe stellt nun die Verbrennungswärme von 4,96 Mol. Kohlenstoff dar. Dieselbe beträgt tatsächlich 4,96 · 97,65, d. i. 483,0 Kal.

In Prozenten ausgedrückt, stellt sich demnach die Wärmebilanz wie folgt:

Durch die heißen Gase werden fortgeführt	$\frac{74,5}{483} \cdot 100$	15,4	Proz.
Strahlungsverluste	$\frac{23,0}{483} \cdot 100$	4,8	„
Untere Verbrennungswärme des Gases als Nutzeffekt	$\frac{385,5}{483,0} \cdot 100$	79,8	„
Summe		100,0	Proz.

Im Falle 2., wo der Wärmeverlust durch Verbrennung einer gewissen Menge Kohlenstoff zu Kohlenoxyd gedeckt wird, beträgt der Verlust durch die heißen Abgase zunächst zufolge der Hauptreaktion, wie oben genannt, 47,0 tausend Kal.

Durch die Zusatzreaktion werden ferner zufolge der Hitze der Abgase abgeführt	27,9 · 2,33, wie dies auf S. 731 berechnet ist, d. i. 65,0 tausend Kal. dies zuzüglich der obengenannten	47,0	
ergibt		112,0	tausend Kal.
Die Strahlungsverluste betragen		23,0	„ „
Die untere Verbrennungswärme des Gases beträgt zufolge des Kohlenoxydgehaltes	8,62 · 68,2	589,0	
Ferner die Verbrennungswärme von 1,96 Mol. H <sub>2</sub> , d. i.	114,5	703,5	„ „
Summe		838,5	tausend Kal.

das ist tatsächlich die Verbrennungswärme von 8,62 Mol. Kohlenstoff, welche ergibt 8,62 · 97,65, d. i. 838,5 tausend Kal. In Prozenten berechnet, stellt sich demnach die Wärmebilanz in diesem zweiten Falle wie folgt:

Durch die Wärme der abziehenden Gase werden fortgeführt	$\frac{112,0}{838,5} \cdot 100$	13,4	Proz.
Strahlungsverluste	$\frac{703,5}{838,5} \cdot 100$	2,8	„
Untere Verbrennungswärme des Gases als Nutzeffekt	$\frac{29,0}{838,5} \cdot 100$	83,8	„
Summe		100,0	Proz.

Die Fälle 1. oder 2. werden in der Praxis natürlich nie genau eingehalten werden können. Ist die Generator Temperatur im allgemeinen eine höhere, so wird der Fall 2. mehr hervortreten, ist jedoch die Generator Temperatur geringer, so wird die Kohlensäurebildung eine intensivere sein und dementsprechend der Vorgang mehr gemäß der unter 1. gegebenen Ableitung entsprechen. Die Resultate werden also stets in der Mitte zwischen den hier genannten liegen, was die Praxis bestätigt.

Wie aus den obigen Berechnungen ersichtlich, liegen die Verluste bei der Halbwassergaserzeugung in der Fortführung der Wärme durch das heiße Gas. Diese Verluste lassen sich verringern, wenn man diese Wärme dazu ausnutzt, die Luft vorzuwärmen. Zu diesem Zwecke kann man die Luft im Gegenstrom vorwärmen, d. h. dem aus dem Generator austretenden Gase entgegenführen, und zwar in Apparaten, die ähnlich sind den auf S. 411 besprochenen Röhrenkühlern. Gewöhnlich jedoch wird die Luftvorwärmung nicht angewendet, sondern die Wärme der Abgase dazu ausgenutzt, um den Wasserdampf zu erzeugen. Die Apparate, die hierzu angewendet werden, werden wir auf S. 748 bis 758 kennen lernen. Läßt sich somit der Nutzeffekt der Halb-

wassergasgeneratoren durch die Luftvorwärmung erhöhen, so muß andererseits berücksichtigt werden, daß die Zersetzung des Wasserdampfes im Generator keine ganz vollkommene ist und durch den unzerstet hindurchstreichenden Wasserdampf mehr Wärme abgeführt wird, als wir dies in unseren Berechnungen angenommen haben. Bei entsprechend hoher Temperatur und geringer Geschwindigkeit der Gase im Generator gelingt es jedoch, die Wasserdampfzersetzung ziemlich vollkommen zu machen, so daß diese Verluste unter solchen Verhältnissen nicht groß sind. Praktisch findet man allerdings oft den Betrieb von Generatoren mit derartig viel Wasserdampf und mit einer so hohen Geschwindigkeit der Gase eingerichtet, daß nur eine sehr unvollkommene Dampfzersetzung stattfindet, und dies verursacht einen großen Wärmeverlust.

Bei Berechnung der Dampfmenge sind im Falle 1. für 4,9 Mol. Kohlenstoff 1,96 Mol. Wasserdampf erforderlich. Der Dampfverbrauch für 1 kg Kohlenstoff stellt sich daher auf

$$\frac{1,96 \cdot 18}{4,96 \cdot 12} = 0,59 \text{ kg,}$$

im Falle 2. dagegen werden auf 8,62 Mol. Kohlenstoff 1,96 Mol. Dampf verbraucht. Für 1 kg Kohlenstoff stellt sich dann der Dampfverbrauch auf

$$\frac{1,96 \cdot 18}{8,62 \cdot 12} = 0,34 \text{ kg.}$$

Da sich nun der Verlauf der Reaktion in der Praxis mehr dem Falle 1. zuneigt, so können wir 0,5 kg Dampf für 1 kg vergastem Kohlenstoff als theoretisch erforderlich bezeichnen. Praktisch ist, wie bemerkt, etwas mehr Dampf erforderlich wegen der unvollkommenen Zersetzung, doch kann man mit 0,55 bis 0,6 kg vollständig das Auslangen finden. Niemals sollte mehr als 1,0 kg pro 1 kg Kohlenstoff verwendet werden, denn dann ist die Menge des unzerstetzten Dampfes schon eine sehr große <sup>1)</sup>.

Berechnen wir die oben gegebenen Zahlen auf das eingeblasene Luftquantum, um zu sehen, wieviel Feuchtigkeit die Luft besitzen muß, damit sie gerade den erforderlichen Wasserdampfgehalt enthält, so ergibt sich folgendes:

Die Luftmenge, welche zur Erzeugung des Halbwassergases erforderlich war, ist aus dem Stickstoffgehalt des Gases leicht zu berechnen.

Im Falle 1. entstehen 7,52 Mol. Stickstoff auf 1,96 Mol. Wasserdampfverbrauch. Die Luftmenge, welche 1,06 Vol. Wasserdampf enthalten muß, beträgt demnach  $7,52 \cdot \frac{100}{79}$ . Das Gesamtvolumen an Luft und Dampf beträgt demnach für 1,96 Vol. Wasserdampf

$$7,52 \cdot \frac{100}{79} + 1,96,$$

und der Gehalt der feuchten Luft an Wasserdampf in Volumprozenten beträgt demnach

$$\frac{1,96}{7,52 \cdot \frac{100}{79} + 1,96} \cdot 100 = 17,1 \text{ Vol.-Proz.}$$

<sup>1)</sup> Über die Dampfzersetzung im Halbwassergasprozeß siehe ferner: Voigt, Allg. Ingen.-Ztg.; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 593; Körting, Stahl u. Eisen 1907, S. 688; Fischer, Technol. d. Brennstoffe II, S. 271; Fischer, Jahresber. d. chem. Technol. 1905, S. 80; Bone u. Wheeler, Journ. of Gaslighting 1908, S. 134; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 65.

Die Tension des Wasserdampfes in diesem Gemisch beträgt somit 0,171 . 760 mm, d. i. 129 mm. Dies entspricht einer Sättigungstemperatur der Luft von 62°.

Im Falle 2. berechnet sich der Wasserdampfgehalt in Volumprozenten der feuchten Luft zu

$$\frac{1,96}{12,52 \cdot \frac{100}{79} + 1,96} \cdot 100 = 11,1 \text{ Vol.-Proz.}$$

Die Tension des Dampfes ist dann 0,111 mal 760 mm, d. i. 84 mm Quecksilbersäule, was einer Sättigungstemperatur der Luft von 48° entspricht. Die in den Generator eingeleitete Luft muß also bei 50 bis 60° mit Wasserdampf gesättigt sein, um diesen Bedingungen zu entsprechen.

Als Dowson, dessen D. R.-P. aus dem Jahre 1887 stammt, seinen Generator konstruierte, verwendete er zum Zwecke des Einblasens von Luft in den Generator ein Dampfstrahlgebläse, wie diese zuerst von Körting angegeben wurden. Bei diesem muß so viel Dampf angewendet werden, als zum Einblasen der erforderlichen Luftmenge notwendig ist. Daher ist das Verhältnis von Luft und Dampf gegeneinander nicht regelbar und aus diesem Grunde erzielen derartige Generatoren nicht stets die besten Nutzeffekte. Es ist vorteilhafter, die Luft mit Hilfe eines rotierenden oder sonstigen Gebläses in den Generator zu blasen und den Dampf entweder in einem Dampfkessel zu erzeugen und der Luft beizumengen oder aber die Luft über Wasser von der entsprechenden Temperatur zu leiten, um den entsprechenden Sättigungsgrad zu erreichen. Letzteres wird jetzt häufig, besonders bei den sogenannten Sauggasanlagen verwendet, bei welchen kein Gebläse notwendig ist, da die Luft durch den Generator hindurchgesogen wird. Dies kann entweder durch den Ansaughub eines Gasmotors erfolgen oder durch einen besonderen Ventilator, der hinter den Generator geschaltet ist, so daß er das Gas durch den Generator ansaugt und hinterher unter Druck setzt. Wir werden hierüber noch bei Besprechung der einzelnen Generatortypen näheres hören.

Beschießt man einen Halbwassergasgenerator nicht mit Koks oder Anthrazit, sondern mit Kohle oder einem anderen bituminösen Brennmaterial, so wird das letztere in dem Maße, als es in dem Generator nach abwärts gelangt, durch die aufsteigenden heißen Gase zunächst entgast. In der oberen Zone des Generators entwickelt sich dann aus der Kohle Steinkohlengas, Teer und Ammoniak in der Weise, wie wir dies bei der Entgasung der Kohle (S. 302) besprochen haben. Der gleichzeitig entstehende Koks rutscht in dem Generator nach abwärts und gelangt dann unten durch die eingeblassene Luft und den Dampf in Form von Halbwassergas zur Vergasung. Dem Generator entweicht daher ein Gemisch von Halbwassergas, Steinkohlengas, Teerdämpfen und Ammoniak. Die Teerdämpfe und das Ammoniak können aus diesem Gasgemisch in bekannter Weise (Kap. 30 bis 32) entfernt werden; man erhält ein Gas, welches zufolge seines Gehaltes an Steinkohlengas natürlich einen höheren Heizwert hat als das Halbwassergas aus Koks. Der Heizwert läßt sich wie folgt berechnen.

Bringen wir z. B. in den Generator eine Steinkohle von 7000 Kal. Heizwert, welche bei der Entgasung 30 m<sup>3</sup> Gas von je 5500 Kal. oberen Heizwert und 70 Proz. Koks liefert, so müssen wir zunächst berücksichtigen, daß hier

die Entgasung durch heiße Gase bei niedriger Temperatur stattfindet, und daß eine Zersetzung der Teerdämpfe hier ausgeschlossen ist. Es wird daher bei der Entgasung eine wesentlich geringere Menge von Steinkohlengas und dafür eine größere Menge von Teer gebildet. Wir haben bei Besprechung der Kohlenuntersuchung (S. 288 bis 289) gesehen, daß bei geringer Temperatur der in Gasform gewinnbare Heizwert pro 100 kg Kohle etwa 110 000 Kal. beträgt. Wir dürfen also hier nur mit einer Gasausbeute von etwa 20 m<sup>3</sup> pro 100 kg bei einem Heizwert von 5500 Kal. rechnen.

100 kg Kohle geben also

20 m <sup>3</sup> Steinkohlengas à 5500 Kal. . . . .	110 000 Kal.
Die entstehenden 70 kg Koks geben bei einem Kohlenstoffgehalt von 86 Proz. 70 · 0,86 = 60 kg Kohlenstoff mal 5,4 m <sup>3</sup> , das sind	
324 „ Halbwassergas . . . . .	408 000 „
Summe 344 m <sup>3</sup> mit . . . . .	518 000 Kal.

Der Heizwert eines Kubikmeters beträgt demnach

$$\frac{518\,000}{344} = 1500 \text{ Kal.}$$

Der Nutzeffekt eines derartigen Generators beträgt, da wir 3,44 m<sup>3</sup> pro 1 kg vergaster Kohle erhalten,

$$\frac{1500}{7000} \cdot 3,44 \cdot 100 = 73,8 \text{ Proz.}$$

Betreffs der Zusammensetzung des Gases ist zu bemerken, daß zufolge des Gehaltes an Steinkohlengas der Stickstoffgehalt des Gases geringer wird, als der des gewöhnlichen Halbwassergases aus Koks und dagegen Methan und andere Kohlenwasserstoffe auftreten, welche den Heizwert auf die Höhe bringen, die hier genannt ist.

In der gleichen Weise, wie oben berechnet, läßt sich natürlich aus jedem Brennmaterial die Ausbeute und der Heizwert im Gase berechnen, wenn man die Entgasungsprobe bei niedriger Temperatur (S. 282) durchführt hat.

Die Zusammensetzung des Halbwassergases ist nicht von dem Apparat beeinflußt, in welchem das Gas erzeugt wird, wenn derselbe nur eine genügend große Schichthöhe des Brennmaterials aufweist, sondern nur von der Art des Brennmaterials. Jedoch auch der Einfluß des Brennmaterials auf die Zusammensetzung des Gases ist ein beschränkter, indem sämtliche bituminöse Brennmaterialien beim Erwärmen ein Gas abgeben, welches dem Steinkohlengas ähnlich ist. Der dann zurückbleibende Kohlenstoff, sei dies nun in Form von Koks oder Holzkohle oder dgl., wird im Unterteil des Generators vollständig unter Bildung von Halbwassergas vergast. Daher schwankt der Heizwert des Halbwassergases, welches aus verschiedenen Brennmaterialien gewonnen wird, auch nur in mäßigen Grenzen, nämlich etwa von 1200 bis 1800 Kal. pro Kubikmeter (oberer Heizwert 0°). Von ganz wesentlichem Einfluß auf die Zusammensetzung des Gases ist hingegen die Einhaltung einer bestimmten hohen Temperatur und, was damit im engen Zusammenhang steht, die Wahl einer richtigen Dampfmenge, ferner aber auch die Geschwindigkeit, mit welcher die Gase die Brennmaterialsäule passieren.

Wird das Halbwassergas aus nicht bituminösem Material, nämlich z. B. Koks oder Holzkohle oder Anthrazit erzeugt, so sollte dasselbe gemäß obiger Ableitungen nur aus Kohlenoxyd, Wasserstoff, Stickstoff und eventuell etwas Kohlensäure bestehen. Das Halbwassergas enthält jedoch beinahe immer auch geringe Mengen von Methan ( $\text{CH}_4$ ). Dies kann wohl daher rühren, daß die betreffenden Brennstoffe nicht vollständig verkokt sind und daher beim Erhitzen noch immer geringe Mengen von Kohlenwasserstoffen liefern. Es ist jedoch auch möglich und nicht unwahrscheinlich, daß im ganz geringen Maße auch eine Synthese des Methans aus Kohlenstoff und Wasserstoff stattfindet. Bunte<sup>1)</sup> hat nachgewiesen, daß sich Kohlenstoff mit Wasserstoff bei bestimmten Temperaturen vereinigt, wenn eine Substanz vorhanden ist, welche die Vereinigungsgeschwindigkeit beschleunigt, d. h. ein sogenannter Katalysator. Nun ist es sehr wohl möglich, daß in den Brennmaterialien geringe Mengen von Stoffen vorhanden sind, welche eine solche Vereinigung herbeiführen, und daß dadurch der geringe Gehalt des Halbwassergases an Methan bedingt ist.

Wir wollen nun kurz überblicken, wie sich die Erzeugung des Halbwassergases aus den verschiedenen Brennstoffen stellt.

1. Anthrazit wird in Amerika und in England in umfangreicher Weise zur Erzeugung von Halbwassergas verwendet. Es entspricht dies dem ausgebreiteten Vorkommen des Anthrazits in diesen Ländern. In Deutschland und namentlich in Österreich spielt der Anthrazit eine ganz untergeordnete Rolle, so daß hier an eine ausgebreitete Verwendung desselben kaum zu denken ist. Staus<sup>2)</sup> hat eine größere Anzahl von Analysen von Halbwassergas, welches aus Anthrazit gewonnen wurde, veröffentlicht. Die dabei erhaltenen Grenzwerte sind folgende:

Kohlensäure . . . . .	2,2 bis	3,7	Proz.
Sauerstoff . . . . .	0,4	"	1,0 "
Kohlenoxyd . . . . .	24,2	"	24,9 "
Wasserstoff . . . . .	9,8	"	11,3 "
Methan . . . . .	1,6	"	2,5 "
Stickstoff . . . . .	58,4	"	60,4 "

Der untere Heizwert des Gases stellte sich im Mittel auf 1228 Kal. pro Kubikmeter.

Koks und zwar sowohl Gaskoks wie Hüttenkoks wird in außerordentlich umfangreicher Weise zur Erzeugung sowohl von Generatorgas als auch von Halbwassergas verwendet. Besonders in den Anlagen, die in neuester Zeit so vielfach zur Lieferung des Gases für Gasmotoren angewendet werden, bildet der Koks nahezu das ausschließliche Heizmittel. Erzeugt man aus dem Koks reines Generatorgas, d. h. ohne Zusatz von Wasserdampf, so sollte dasselbe theoretisch keinen Wasserstoff enthalten, praktisch ist jedoch stets ein Wasserstoffgehalt vorhanden, einesteils, weil der Koks immer noch geringe Mengen von Wasserstoff enthält, und anderenteils, weil die zur Erzeugung des Generatorgases über das Brennmaterial geleitete Luft stets Wasserdampf enthält, welcher sich in Wasserstoff und Kohlenoxyd umsetzt. Um ein Beispiel zu geben, sei die Analyse eines Generatorgases nach Wagner-Fischer<sup>3)</sup> angeführt. Es wurde gefunden:

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 166. — <sup>2)</sup> Ebend. 1902, S. 813. — <sup>3)</sup> v. Ihering, Die Gasmaschinen, Bd. 8, S. 18.

Kohlenoxyd . . . . .	29,4	Vol.-Proz.
Wasserstoff . . . . .	1,9	„
Methan . . . . .	—	„
Kohlensäure . . . . .	2,0	„
Stickstoff . . . . .	66,7	„
Oberer Heizwert . . . . .	953	Kal.
Unterer „ . . . . .	944	„

Arbeitet man hingegen mit Koks unter Dampfzusatz, also indem man Halbwassergas erzeugt, so schwankt die Zusammensetzung des Gases, wie schon erwähnt, hauptsächlich mit der Temperatur und mit der Menge des Wasserdampfes, die zugesetzt wurde, innerhalb der nachstehenden Grenzen, die natürlich bei außerordentlichen Verhältnissen auch noch überschritten werden können.

Die erstgenannten der nachstehenden Zahlen entsprechen einer niedrigen Temperatur; die letztgenannten einer hohen Temperatur und geringerem Wasserdampfzusatz:

Kohlenoxyd . . . . .	23	bis	29	Proz.
Wasserstoff . . . . .	6	„	18	„
Methan . . . . .	0,3	„	2,5	„
Kohlensäure . . . . .	2	„	7	„
Stickstoff . . . . .	52	„	64	„
Oberer Heizwert . . . . .	1000	„	1300	Kal.

Die Gaserzeugung pro 1 kg vergastem Kohlenstoff beträgt etwa 5,4 m<sup>3</sup>. Auf gewöhnlichen Koks umgerechnet, kann man je nach dem Aschengehalt desselben 4,5 bis 5,0 m<sup>3</sup> pro 1 kg Koks rechnen. An Wasserdampf sind, wie schon erwähnt, pro 1 kg Generatorkohlenstoff 0,5 bis 0,7 kg einzublauen.

In neuerer Zeit sind auch Generatoren konstruiert worden, welche ganz feinkörnige Koksabfälle (Kokslösche, sogenannte Koksasche, Koksgrus, ferner die Rauchkammerlösche der Lokomotiven) zu vergasen gestatten, so z. B. der Generator der Augsburg-Nürnberger Maschinenfabrik und der Gaserzeuger der Deutzer Gasmotorenfabrik, welcher einen Treppenrost besitzt <sup>1)</sup>.

3. Steinkohle wird in sehr umfangreicher Weise in den Hüttenwerken zur Erzeugung von Generatorgas oder Halbwassergas verwendet. Für den Gasmotorenbetrieb konnte sich die Erzeugung des Halbwassergases aus Steinkohle noch nicht einführen, da das Gas teerhaltig und eine vollständige Ausscheidung des Teeres notwendig ist, wenn das Gas zum Motorenbetrieb dienen soll, da es anderenfalls die Ventile und den Zylinder derart verschmutzt, daß der Motor auf die Dauer nicht gleichmäßig gut arbeiten kann.

Ein Beispiel der Zusammensetzung des Generatorgases aus Steinkohle zeigt nachstehende Analyse <sup>2)</sup>:

Kohlenoxyd . . . . .	27,90	Vol.-Proz.
Wasserstoff . . . . .	2,60	„
Methan . . . . .	0,00	„
Äthylen . . . . .	0,10	„
Kohlensäure . . . . .	2,00	„
Sauerstoff . . . . .	0,10	„
Stickstoff . . . . .	67,60	„

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Elektrotechnik u. Maschinenbau XXVII, S. 857; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 532. — <sup>2)</sup> Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1900, S. 137; v. Ihering, Die Gasmaschinen, I. Teil, S. 19.

Das Fehlen von Methan in dieser Analyse dürfte wohl auf einen Analysenfehler zurückzuführen sein, da ein Generatorgas aus Steinkohle sicher Methan enthalten muß. Der obere Heizwert dieses Gases beträgt 943 Kal., der untere 930 Kal. pro Kubikmeter.

In dem gleichen Generator und aus der gleichen Kohle wurde bei gleichzeitigem Einblasen von Dampf ein Halbwassergas erhalten von der nachstehenden Zusammensetzung:

Kohlenoxyd . . . . .	26,80	Vol.-Proz.
Wasserstoff . . . . .	18,10	"
Methan . . . . .	3,50	"
Äthylen . . . . .	0,40	"
Kohlensäure . . . . .	4,90	"
Sauerstoff . . . . .	0,00	"
Stickstoff . . . . .	46,30	"

Der obere Heizwert betrug in diesem Falle 1762, der untere 1637 Kal. pro Kubikmeter bei 0°. Aus diesen beiden Untersuchungen geht hervor, welchen außerordentlichen Vorteil das Einblasen von Wasserdampf bietet. Der Wasserstoffgehalt wird dadurch sehr hoch, allerdings verringert sich dabei die Temperatur des Generators, so daß der Kohlensäuregehalt etwas zunimmt, was jedoch den hohen Wert des Gases in keiner Weise beeinträchtigt.

Die nachstehenden Grenzwerte der Zusammensetzung des Halbwassergases aus Steinkohle sind einer Studie Ackermanns<sup>1)</sup> entnommen:

Kohlensäure . . . . .	1,8 bis 4,1	Proz.
Kohlenoxyd . . . . .	24,6	" 29,8 "
Äthylen . . . . .	0,3	" 1,1 "
Methan . . . . .	3,1	" 5,5 "
Wasserstoff . . . . .	5,2	" 11,0 "
Stickstoff . . . . .	54,0	" 60,1 "

4. Die Verwendung von Braunkohle zur Halbwassergaserzeugung hat dort große Bedeutung, wo die Braunkohle zufolge der Abwesenheit von größeren Steinkohlenlagern überhaupt konkurrenzfähig ist, so in Deutschland, z. B. hauptsächlich in Sachsen in der Umgebung von Halle, ferner auch im Rheinland in der Gegend des Wurmrevieres und in Österreich in ganz ausgedehntem Maße in Nordböhmen und in Steiermark. Wohl ist zu beachten, daß sich bei der Destillation der Braunkohle auch im Generator Teer entwickelt, welcher zufolge der Abscheidung fester paraffinartiger Produkte zu Verschmierungen und Verstopfungen Anlaß gibt. Aus diesem Grunde ist z. B. das aus Braunkohle in gewöhnlichen Generatoren gewonnene Halbwassergas nicht ohne weiteres zum Generatorenbetriebe verwendbar. Es müssen vielmehr vorher diese zu Unannehmlichkeiten führenden Kondensationsprodukte abgeschieden oder zersetzt werden. Über die Zersetzung der teerigen Bestandteile des Halbwassergases werden wir später noch sprechen. Die Abscheidung derselben durch Kondensation ist zum Zwecke des Motorenbetriebes zuerst von der Deutzer Motorenfabrik angewendet worden. Indessen hat sich dieselbe nicht auf die Dauer bewährt, weil die Reinigung der Kondensatoren und der Leitungen eine zu unständliche Arbeit ist.

<sup>1)</sup> Beitrag zur Entwicklung der Frage der Heizgasgewinnung. Berg- u. hüttenm. Jahrbuch, Bd. 40.

Als Beispiel der Zusammensetzung des aus Braunkohle gewonnenen Halbwassergases mögen die folgenden von v. Jüptner<sup>1)</sup> gefundenen Grenzwerte angegeben werden:

Kohlensäure . . . . .	4,2 bis 5,4	Proz.
Sauerstoff . . . . .	0,2 „ 0,8	„
Kohlenoxyd . . . . .	25,05 „ 26,50	„
Methan . . . . .	0,15 „ 0,51	„
Wasserstoff . . . . .	10,29 „ 11,60	„
Stickstoff . . . . .	56,30 „ 58,63	„

In ausgedehntem Maße sind auch Braunkohlenbriketts zur Kraftgas-, d. h. Halbwassergasgewinnung verwendet worden. Die Zusammensetzung des Gases ist hier ungefähr die gleiche wie bei Verwendung gewöhnlicher stückförmiger Braunkohle und wird dabei wegen des Teergehaltes des Gases in letzterer Zeit beinahe ausschließlich die Zersetzung der Teerdämpfe angewendet, worüber wir später näher sprechen werden.

v. Ihering<sup>2)</sup> gibt die Grenzwerte des aus Braunkohle gewonnenen Halbwassergases für verschiedene deutsche Braunkohlensorten wie folgt an:

Kohlenoxyd . . . . .	23 bis 32	Vol.-Proz.
Kohlensäure . . . . .	5 „ 8	„
Wasserstoff . . . . .	8 „ 13	„
Methan . . . . .	1 „ 3,5	„
Sonstige Kohlenwasserstoffe . . . . .	0,1 „ 1	„
Sauerstoff . . . . .	0,0 „ 0,8	Proz.
Heizwert . . . . .	1100 „ 1500	Kal.

Bei der Vergasung von Braunkohle sowohl als auch von Braunkohlenbriketts ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß zufolge der Porosität dieses Brennmaterials gewöhnlich ein hoher Gehalt an Wasser vorhanden ist. Kommt nun die wasserhaltige Kohle direkt in die Zone der Reaktion im Generator, so findet durch die Verdampfung des Wassers eine lebhaftere Abkühlung statt, so daß das Gas einen hohen Gehalt an Kohlensäure besitzt und dadurch ein schlechter Nutzeffekt erzielt wird. Es muß daher dafür Sorge getragen werden, daß das Wasser aus der Braunkohle ausgetrieben wird, noch bevor die Kohle in die glühende Zone gerät. Dies erfolgt am besten dadurch, daß ein Generator von sehr hoher Schichthöhe verwendet wird. Dann dienen die hindurchziehenden heißen Gase in den oberen Schichten dazu, eine Trocknung der Braunkohle herbeizuführen, und es erfolgt daher Austreibung des Wassers ohne Wärmeverlust, weil eben nur die Wärme der abziehenden Gase hierzu verwendet wird. Bei Anwendung genügend hoher Generatoren kann man aber auch aus allen stückförmigen Braunkohlen ein Gas erzielen, welches mindestens den gleichen Heizwert besitzt wie jenes aus Steinkohle.

5. Die Verwendung von Torf hat in neuerer Zeit namentlich in Deutschland, wo ausgedehnte Torfmoore vorhanden sind, große Bedeutung erlangt. Es ist zwar schon lange bekannt, daß sich im Generator auch aus Torf ein gutes Gas erzielen läßt, doch konnte sich die praktische Verwertung der Torfgaserzeugung im Generator lange Zeit nicht durchsetzen. Erst in neuerer Zeit ist von Frank und Caro das Mondsche Verfahren der Halbwassergaserzeugung unter gleichzeitiger Gewinnung einer bedeutenden Menge von

<sup>1)</sup> Generatorstudien; Chem.-Ztg. 1887, Nr. 50 u. 100. — <sup>2)</sup> Die Gasmaschinen, I. Teil, S. 60; ferner Journ. f. Gasbel. 1910, S. 445.

Ammoniak, welches in England eine umfangreiche Anwendung gefunden hat, auch für die Verwendung von Torf brauchbar gemacht worden. Es ist zu erwarten, daß sich dasselbe nunmehr auch in Deutschland in den Gegenden der Torfmoore in ausgiebiger Weise einführen wird. Wir werden das Mondsche Verfahren mit Rücksicht auf seine Wichtigkeit und mit Rücksicht darauf, daß es sich hier um ein Verfahren handelt, welches in wesentlichen Punkten von der Halbwassergaserzeugung abweicht, in einem besonderen Kapitel behandeln.

Wie alt das Problem der Generatorgasgewinnung aus Torf ist, geht schon daraus hervor, daß Lancauchez<sup>1)</sup> bereits im Jahre 1878 Analysen über Torfgeneratorgas machte. In Deutzer Generatoren<sup>2)</sup> wurden Stichtorf aus Hannover und Torf aus Giengen vergast und dabei nachstehende Resultate erhalten:

	Hannover m <sup>3</sup>	Giengen m <sup>3</sup>
Ausbeute an Gas pro Kilogramm Torf	1,9	1,3
Zusammensetzung:		
Kohlenoxyd . . . . .	30,6	30,0
Methan . . . . .	5,1	2,4
Wasserstoff . . . . .	6,1	10,0
Kohlensäure . . . . .	5,7	6,0
Stickstoff . . . . .	52,5	51,6

Von Akermann<sup>3)</sup> wurden die Grenzwerte in der Zusammensetzung des Generatorgases aus Torf wie folgt gefunden:

Kohlensäure . . . . .	5,4 bis 7,4 Proz.
Kohlenoxyd . . . . .	21,5 „ 29,6 „
Äthylen . . . . .	0,2 „ 0,7 „
Methan . . . . .	3,7 „ 6,4 „
Wasserstoff . . . . .	5,2 „ 13,5 „
Stickstoff . . . . .	48,8 „ 58,3 „

6. Holz kann im allgemeinen wegen des hohen Preises nur in sehr holzreichen Gegenden zur Generatorgas- bzw. Halbwassergaserzeugung angewendet werden; natürlich namentlich in solchen Gegenden, wo die Zufuhr von Steinkohle zu teuer oder zu umständlich ist. In tropischen Gegenden kann dies häufig der Fall sein und mag dort die Anwendung des Generatorgases aus Holz beträchtliche Bedeutung erlangen. Für das Holz gilt dasselbe, was für die Braunkohle gesagt wurde, nämlich, daß zur Austreibung des Wasserdampfes eine hohe Schichthöhe des Brennmaterials erforderlich ist. Die Destillationsprodukte des Holzes sind durchwegs leicht flüchtig, und die hinterbleibende Holzkohle liefert vorzügliches kohlensäurearmes Generatorgas, so daß die Vergasung des Holzes in Generatoren keinerlei Schwierigkeiten unterliegt.

Die Zusammensetzung eines Gases aus Scheitholz von Föhren wurde von Akermann<sup>4)</sup> wie folgt angegeben:

<sup>1)</sup> Etudes sur les combustibles, Paris 1878, S. 69. — <sup>2)</sup> Hausding, Handb. d. Torfverwertung, S. 424. Berlin 1904. — <sup>3)</sup> Wie oben. — <sup>4)</sup> Wie oben.

Kohlensäure . . . . .	6,0 Proz.
Kohlenoxyd . . . . .	29,8 "
Äthylen . . . . .	0,3 "
Methan . . . . .	6,9 "
Wasserstoff . . . . .	6,5 "
Stickstoff . . . . .	50,5 "

Die teerigen und wässerigen Destillationsprodukte, welche bei der Entgasung des Holzes entstehen, sind wertvolle Nebenprodukte, die, wie bereits auf S. 652 erläutert, als Ausgangsprodukt zur Darstellung wichtiger chemischer Substanzen dienen.

7. Auch Holzabfälle aller Art, besonders Sägemehl, Sägespäne oder dgl. können bei entsprechend großer Dimensionierung des Generators vorzüglich zur Generatorgas- bzw. Halbwassergaserzeugung verwendet werden. Wegen der Feinkörnigkeit des Materials sind hier große Querschnitte d. h. geringe Geschwindigkeit der Luft bzw. der erzeugten Gase in dem Generator einzuhalten, sonst sind aber keine Schwierigkeiten vorhanden. Die Vergasung der Holzabfälle könnte in Fabriken in weit ausgedehnterem Maße verwendet werden als dies bisher der Fall war. Die Ausbeute an Gas ist etwa die gleiche wie aus gutem Holz, und der Nutzeffekt ist ein besserer als wenn die Verbrennung der Holzabfälle unter dem Dampfkessel erfolgt.

Das Gas kann in vorzüglicher Weise zum Motorenbetrieb verwendet werden. Akermann<sup>1)</sup> gibt die Zusammensetzung eines derartigen Gases wie folgt an:

Kohlensäure . . . . .	11,3 Vol.-Proz.
Kohlenoxyd . . . . .	19,6 "
Äthylen . . . . .	0,9 "
Methan . . . . .	4,3 "
Wasserstoff . . . . .	7,4 "
Stickstoff . . . . .	56,5 "

Natürlich ist auch diese Analyse wie die vorhergehenden nur ein Beispiel. Der hohe Kohlensäuregehalt, der hier angegeben ist, ist nicht etwa durch das Brennmaterial selbst bedingt. Es kann keiner Schwierigkeit unterliegen, auch aus Holzabfällen bei Einhaltung entsprechender Temperaturen ein sehr kohlen-säurearmes Gas zu erzielen.

8. Ebenso wie Holz und Holzabfälle können auch pflanzliche Abfälle anderer Art ohne Schwierigkeit in Generatoren vergast werden, so z. B. kann Generatorgas aus Heu, Stroh, Binsen, Schilf, Moos, Oliventreber oder dgl. gewonnen werden. Alles dies scheint noch zu wenig bekannt zu sein, denn die Vergasung derartiger Abfallstoffe könnte häufig in recht günstiger Weise verwendet werden.

Auch der Schlamm der städtischen Abwässer kann im trockenen Zustande in Generatoren vergast werden. Den dabei auftretenden üblen Geruch kann man vermeiden, wenn die entstehenden Gase mit überschüssiger Luft durch eine glühende Koksschicht geleitet werden<sup>2)</sup>.

Je nach der Korngröße, welche das Brennmaterial besitzt, setzt dasselbe den hindurchtretenden Gasen einen geringeren oder größeren Widerstand entgegen. Demzufolge ist die Leistung des Generators in Kubikmetern pro Stunde um so größer, je grobkörniger das Brennmaterial ist. Umgekehrt ist

<sup>1)</sup> Hausding, Handb. d. Torfverwertung, S. 424, Berlin 1904. — <sup>2)</sup> Schweizer, Journ. f. Gasbel, 1911, S. 231.

der Generator für eine bestimmte Leistung um so größer zu dimensionieren, je feinkörniger das Brennmaterial ist. Der Berechnung können nachstehende Zahlen zugrunde gelegt werden<sup>1)</sup>.

Per Stunde und 1 m<sup>2</sup> Rostfläche werden vergast:

An Steinkohle . . . . .	60 bis 250 kg
„ Braunkohlen . . . . .	40 „ 50 „
„ gutem Fasertorf . . . . .	200 „ 250 „
„ schlechtem lockeren staubigen Torf . . . . .	75 „ 120 „
„ Scheitholz . . . . .	370 „
„ Sägeabfällen . . . . .	200 bis 330 „
„ Scheitholz mit Sägespänen gemischt . . . . .	45 „ 50 „

Dem ist noch hinzuzufügen, daß an Stückkoks stündlich 150 bis 200 kg pro 1 m<sup>2</sup> Querschnittfläche des Generators vergast werden können.

Bei dem großen Bedarfe an schwefelsaurem Ammoniak, welchen heute die Landwirtschaft für viele Zwecke hat, ist es volkswirtschaftlich von großer Bedeutung, das Ammoniak, welches bei der Destillation von bituminösen Brennmaterialien entsteht, möglichst vollkommen zu gewinnen. Nun haben wir schon bei Besprechung der Entgasung der Kohle (S. 314) erwähnt, daß die Ausbeute an Ammoniak eine um so höhere ist, bei je niedrigerer Temperatur die Kohle entgast wird. Bei hoher Temperatur zerfällt nämlich das Ammoniak in seine Bestandteile Stickstoff und Wasserstoff, so daß bei der Entgasung der Kohle in Retorten, wie dies in Steinkohlengaswerken geschieht, durchaus nicht die höchste Ausbeute an Ammoniak erzielt wird. In den Generatoren dagegen, wie sie zur Halbwassergaserzeugung dienen, wird die Kohle im Oberteil des Generators durch die heiß nach oben streichenden Gase entgast und das Ammoniak wird rasch abgeführt, so daß es sich nicht zersetzen kann. Die Ausbeute an Ammoniak in Generatoren ist daher eine wesentlich höhere.

Manche Forscher sind der Meinung, daß besonders bei der Entgasung der Kohle durch überhitzten Wasserdampf die Ammoniakbildung eine noch intensivere sei. Exakte Versuchsergebnisse hierüber liegen noch nicht vor, aber auf alle Fälle ist sichergestellt, daß man bei der Entgasung mit möglichst niederer Temperatur in Generatoren die höchste Ammoniakausbeute erzielen kann. Bei der Entgasung der Kohle in Generatoren mit Hilfe des Halbwassergasprozesses entsteht jedoch aus der Gewichtseinheit Kohle eine wesentlich größere Gasmenge, da ja der ganze Stickstoffgehalt der Luft in dem Gase enthalten ist. Dementsprechend ist die Verdünnung des Ammoniaks durch andere Gase eine viel größere als bei der einfachen Destillation der Kohle, wie sie z. B. bei der Steinkohlengaserzeugung oder im Koksofen stattfindet. Die Gase, die also, nach Volumprozenten gerechnet, nur eine sehr geringe Ammoniakmenge enthalten, geben das Ammoniak nicht so leicht an das Wasser ab, wie dies beim Steinkohlengase oder in den Kokswerken der Fall ist.

Es ist daher hier von um so größerer Bedeutung, das Ammoniak nicht mit Wasser auszuwaschen, sondern direkt durch Schwefelsäure absorbieren zu lassen, wie wir dies bereits auf S. 553 besprochen haben. Die Ammoniakabsorption aus dem Halbwassergase mit Hilfe von einfachen mit Wasser

<sup>1)</sup> v. Jüptner, Chem. Technologie der Energien 1 [1], 300.

berieselten Wäschern würde außerordentlich große Wäscher bedingen, und man würde außerdem nur ein sehr schwaches Ammoniakwasser gewinnen. Die direkte Absorption in Schwefelsäure dagegen läßt sich auch beim Halbwassergas bequem ausführen und sind die Apparate hierfür verhältnismäßig einfach.

Es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß ein großer Teil des Nationalvermögens gespart werden könnte, wenn alle Kohle, die heute direkt unter den Dampfkesseln oder in sonstigen Feuerungsanlagen verfeuert wird, zunächst in Halbwassergas verwandelt würde, aus welchem man das Ammoniak und ebenso auch den Teer gewinnen kann. Leider hat man bisher dem zu wenig Beachtung geschenkt und erst in letzter Zeit fängt man an, die Kohle vor der Verbrennung zu vergasen und das Ammoniak zu gewinnen. Allerdings ist dies auch heute noch nur bei größeren Anlagen möglich, weil die Verzinsung und Amortisation der Anlagekosten sowie auch die kompliziertere Bedienung sich nur in größeren Werken rentieren kann.

Aus diesem Grunde wird die Zentralisierung der Heizgaserzeugung für eine größere Anzahl von Fabriken, die nahe aneinander gelegen sind, von großer Bedeutung sein, und tatsächlich ist ja auch in England bereits eine derartige Gaszentrale entstanden, welche wir bei Besprechung des Mondgases genauer erläutern werden.

Auch die Teerausbeute ist beim Generatorenbetrieb eine höhere, als bei der Entgasung der Kohle in geschlossenen Räumen. Dies rührt ebenfalls daher, daß die Kohle in Generatoren bei geringer Temperatur entgast wird, wodurch die Teerdämpfe der Zersetzung entzogen werden (vgl. S. 305). Der Generatorteer besitzt allerdings zufolge der veränderten Erzeugungsweise auch veränderte Eigenschaften gegenüber dem gewöhnlichen Steinkohlengasteer. Ferner muß berücksichtigt werden, daß zufolge der größeren Teerausbeute das bei der Entgasung erzeugte Gas einen geringeren Gesamtheizwert besitzt, als dies bei der gewöhnlichen Entgasung der Fall ist. Wir haben dies jedoch bei der auf S. 735 durchgeführten Berechnung der Verbrennungswärme des Halbwassergases aus bituminösen Stoffen bereits berücksichtigt.

Die Ausscheidung des Teeres aus dem Halbwassergase ist wieder wegen des größeren Volumens, welches hier in Betracht kommt, eine schwierigere als die Ausscheidung des Teeres aus dem gewöhnlichen Steinkohlengas. Man bedient sich daher auch gewöhnlich anderer Apparate zur Abscheidung. Das Halbwassergas wird ja allerdings gewöhnlich nicht zu Beleuchtungszwecken verwendet, und bei industriellen Feuerungsanlagen ist es oft nicht notwendig, das Gas vollständig teerfrei zu machen. Dagegen erfordert der Motorenbetrieb ein vollständig teerfreies Gas, da sonst Verschmutzungen der Ventile und der Motoren öfter vorkommen.

Die Abscheidung des Teeres aus dem Halbwassergase wird je nach dem Verwendungszwecke in sehr verschiedener Weise vorgenommen. Entweder es genügt eine einfache Kondensation in der Vorlage, wie dies z. B. bei hüttenmännischen Betrieben der Fall ist, oder man schaltet größere Röhrenkühler ein. In diesen kann zwar eine vollständige Kondensation der Teerdämpfe bewirkt werden, aber nicht eine vollständige Abscheidung des in Tröpfchen im Gase enthaltenen bereits kondensierten Teeres. Die Anwendung von Teerscheidern, wie sie in Steinkohlengaswerken (S. 416) üblich sind, ist gewöhnlich nicht recht durchführbar, weil es sich um meist sehr große Mengen

von Gas handelt und die Teerscheider demzufolge außerordentlich große Dimensionen annehmen würden. Man kann aber zweckmäßig Apparate verwenden, welche durch Zentrifugalkraft wirken, d. h. den Teer aus dem Gase durch Ausschleudern entfernen.

Ein Reiniger, welcher zu diesem Zwecke dient, ist z. B. der Theissensche<sup>1)</sup>. Eine Anzahl von Flügeln sitzen an einer rotierenden Welle in einem Gehäuse und werden gleichzeitig von Wasser bespült. Das Wasser wird zufolge der Rotation der Flügel in Form feiner Tröpfchen durch das Gas hindurch an die Wand des Gehäuses geschleudert und gleichzeitig wird das Gas durch die Rotation der Flügel in lebhaftere Drehung versetzt, so daß zufolge der Zentrifugalkraft die schwereren Teertröpfchen nach der Gehäusewandung geschleudert werden. Die rotierenden Flügel sind so angeordnet, daß sie gleichzeitig das Gas ansaugen und unter höheren Druck versetzen, so daß der Theissen-Reiniger gleichzeitig auch als Gassauger dienen kann. Durch die gleichzeitige Waschung des Gases mit Wassertröpfchen dient der Theissen-Reiniger gleichzeitig als Wäscher, Gassauger und Teerscheider und er besitzt dabei so geringe Dimensionen, daß er eben auch für Halbwassergas und besonders für dieses angewendet werden kann. Der Wasserverbrauch ist dabei ein verhältnismäßig geringer, so daß in die Teergrube nicht zuviel Wasser gelangt.

Da jedoch die vollständige Beseitigung der Teernebel, wie dies besonders für den Motorenbetrieb erforderlich ist, doch noch immer ein umständliches Verfahren ist, so sucht man häufig und speziell bei kleinen Anlagen das Gas schon im Generator teerfrei zu erzeugen. Dies kann auf verschiedenerlei Weise geschehen. Man kann die Teerdämpfe entweder durch Überhitzen in einer weißglühenden Koksschicht in Kohlenstoff und Wasserstoff zerlegen, oder aber man kann die Teerdämpfe durch Zuführung von Sekundärluft vollständig verbrennen, so daß daraus Kohlensäure und Wasserdampf entsteht, und diese Verbrennungsprodukte nachträglich zu Kohlenoxyd und Wasserstoff reduzieren. Das erstere der beiden Verfahren, nämlich die Überhitzung der Teerdämpfe, geschieht entweder in zwei voneinander getrennten Schächten (Generatoren), so daß in dem einen das Generatorgas bzw. Halbwassergas mit Teergehalt erzeugt wird, und in dem zweiten, in welchem sich nur Koks befindet, nach Erhitzung desselben durch Einblasen von Luft das im ersten Generator gewonnene teerhaltige Gas hindurchgeleitet wird, so daß dort die Zersetzung stattfindet. Es ist hierbei jedoch nicht unbedingt notwendig, zwei getrennte Generatoren zu verwenden, sondern man kann auch in einem Generator zwei glühende Zonen hervorrufen, da das Gas, welches in dem einen Teil des Generators entsteht, durch die glühende Zone des zweiten Teiles zersetzt wird. Schließlich kann man auch dadurch, daß man die Verbrennung von oben nach unten anstatt umgekehrt leitet, die oben im Generator entstehenden Teerdämpfe beim Hindurchleiten durch den darunter befindlichen Koks zersetzen. In diesem Falle erhält man jedoch nicht den Gegenstrom, wie er sonst bei Generatoren üblich ist, d. h. daß das frisch aufgegebene Brennmaterial von den abziehenden Gasen vorgewärmt wird und das schon nahezu vollständig verbrannte Brennmaterial mit frischer Luft in Berührung kommt. Man hat vielmehr in solchen Generatoren, welche von oben betrieben

---

<sup>1)</sup> v. Ihering, Die Gasmaschinen, I. Teil, S. 396. Verlag von Engelmann 1907.

werden, den Gleichstrom der Gase und des Brennmaterials, wobei eine vollständige Verbrennung bis zur Schlacke nicht gut möglich ist, weil das verkokste Material nur mit den heißen Generatorgasen, aber nicht mit frischer Luft in Berührung kommt. Aus diesem Grunde ordnet man dann unterhalb der Gasentnahmestelle nochmals eine Brennzone an, in welcher die vollständige Verbrennung des Kohlenstoffgehaltes der Schlacke stattfindet.

In diesem Falle hat man also einen Generator, der unten und oben je eine Brennzone enthält, in welche Luft von unten und von oben eingesogen wird, während das Gas aus der Mitte des Generators entnommen wird.

Bei der zweiten Art der Generatoren, die ein teerfreies Gas erzeugen, wird entweder zunächst in einem Generator die Gaserzeugung vorgenommen, dann nachträglich das Gas durch Einblasen von Luft vollständig verbrannt und die dabei entwickelte Wärme zur Erhitzung eines zweiten Generatorschachtes verwendet, in welchem dann gleichzeitig die Reduktion der entstandenen Verbrennungsprodukte: Kohlensäure und Wasserdampf, zu Kohlenoxyd und Wasserstoff stattfindet, oder aber man kann in diesem Falle zunächst von der Erzeugung eines Halbwassergases absehen und die Verbrennung des Materials auf einem Rost vornehmen, wobei dann hinterher die Zersetzung der Verbrennungsprodukte zu Kohlenoxyd und Wasserstoff wieder zufolge der Hitze der Flamme durch den Koks stattfindet, der bei der teilweisen Verbrennung des Brennmaterials auf dem Roste entsteht. Wir werden diese verschiedenen Generatorkonstruktionen im folgenden kennen lernen <sup>1)</sup>.

Wir wollen nun die Apparate kennen lernen, welche zur Erzeugung des Generatorgases und Halbwassergases sowie der verwandten Gasarten dienen. Es sind dies Schachtöfen, wie wir sie schon bei Besprechung der Generatorheizung für die Steinkohlengasretortenöfen (S. 343) kennen gelernt haben. Dieselben sind aus Schamottemauerwerk hergestellt und je nach den Umständen entweder mit einem Blechmantel versehen oder nicht. Ein Blechmantel wird gewöhnlich nur dann angewendet, wenn es sich um die Erzeugung von unter Druck stehenden Gasen handelt. Wird dagegen der Generator nur mit Schornsteinzug betrieben, so wird gewöhnlich kein Blechmantel angewendet, da die Saugwirkung, welche hierbei im Inneren des Generators herrscht, so schwach ist, daß selbst durch geringe Undichtheiten des Mauerwerks nur verschwindend kleine Luftmengen eingesogen werden. Natürlich muß in solchem Falle für größtmögliche Dichtheit des Generators Sorge getragen werden. Anderenfalls kann im Oberteile desselben Luft angesogen werden, die einen Teil des Generatorgases verbrennt, so daß letzteres einen hohen Gehalt an Kohlensäure bekommt. Gewöhnlich führt man derartige Generatoren mit einem Planrost aus, auf welchem das Brennmaterial lagert. Der Generator erhält entweder zylindrischen oder quadratischen Querschnitt und ist entweder mit einem dicht schließenden Deckel zur Einführung des Brennmaterials oder mit einem doppelt verschließbaren Fülltrichter versehen. Unterhalb des Rostes befindet sich der Aschenfall, der durch eine Türe abgeschlossen ist, und die zur Erzeugung des Generatorgases erforderliche Luft tritt durch ein seitlich oder

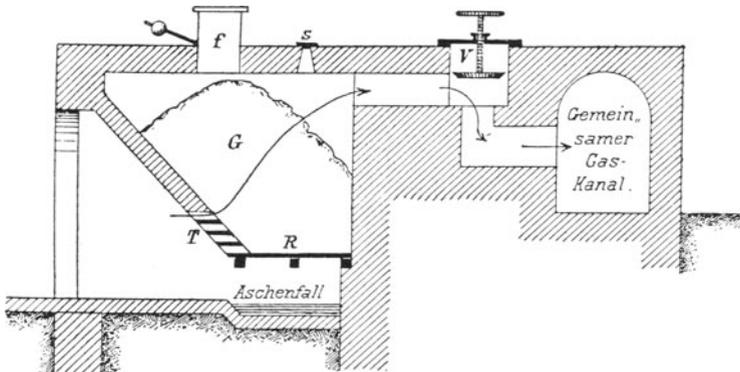
---

<sup>1)</sup> Über Generatoren mit Teerzersetzung siehe ferner Bencke, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 109; P. Meyer, Braunkohle 1908, S. 861; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 218; Doherty, Journ. of Gaslighting 1910, S. 657; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 49.

zentral angeordnetes Rohr, welches zweckmäßig vor dem Hineinfallen der Asche zu schützen ist, ein. Bei Generatoren von größerem Querschnitt machte man früher häufig den Unterteil konisch, damit die Luft besser in den inneren Teil des Generators geführt wird, doch sieht man, namentlich bei der Anwendung mechanischer Roste meist hiervon ab. Ebenso soll man den Unterteil kleiner Generatoren nicht konisch ausbilden, weil sonst das Brennmaterial leichter hängen bleibt.

Der Unterteil des Generators muß natürlich mit Schamotte erster Qualität ausgemauert sein, da dort höhere Temperaturen auftreten, und die Schlacke des Brennmaterials mit der Schamotte leicht flüssige Verbindungen eingeht, welche bei höheren Temperaturen in Tropfenform abfließen. Dies ist bei hohen Temperaturen nie ganz zu vermeiden und kann nur in mäßigen Grenzen

Fig. 311.



gehalten werden, wenn beste Schamotte angewendet wird. Der obere Teil des Generators ist dagegen weniger beansprucht und kann daher aus Schamotte zweiter Qualität hergestellt sein.

Zum Zwecke des Abschlackens müssen Generatoren dieser Art in einigen Dezimetern Höhe über dem Roste verschließbare Öffnungen besitzen, um Notroststäbe einschlagen zu können, damit die Brennmaterialssäule oben gehalten werden kann, während man die Schlacke über dem Roste *R* vollständig entfernen und den Rost dementsprechend vollständig reinigen kann.

Sowohl die Rostkonstruktion wie auch die Anordnung und Dimensionierung der Brennmaterialssäule im Generator kann natürlich in der verschiedensten Weise durchgeführt sein. So z. B. zeigt Fig. 311 einen Generator, wie er zuerst von Siemens angewendet wurde. Es ist hier ein Treppenrost *T* angewendet, welcher den Vorteil besitzt, daß auch feinkörnigeres Material angewendet werden kann. Den Boden bzw. die Sohle des Generators bildet der Planrost *R*, auf welchem das Brennmaterial des Generators *G* ruht. Dasselbe wird durch den doppelt verschließbaren Fülltrichter *f*, der zuerst von Parry angegeben wurde, eingefüllt. In dieser Zeichnung deutet *V* ein Ventil an, das es ermöglicht, das Generatorgas von einer Anzahl von Generatoren in eine gemeinsame Sammelleitung einströmen zu lassen oder auch einzelne Generatoren abzusperrn. *s* ist eine Schüröffnung, durch die man das Brennmaterial aufrütteln kann, wenn es zu fest zusammengebacken ist.

Eine Kegelrostkonstruktion mit exzentrischer Kegelspitze ist in Fig. 312 dargestellt. Es ist dies ein aus mehreren übereinander gelegten Ringen bestehender Treppenrost, der durch ein Zahnrad mit Schraube ohne Ende in eine drehende Bewegung versetzt wird. Zuzufolge der exzentrischen Lage der Kegelspitze bewirkt die Drehung eine beständige Bewegung der Brennmaterialssäule, so daß ein starkes Verschlacken des Rostes nicht vorkommen kann und die Schlackenstücke mürbe gehalten werden. Dieser exzentrische Kegelrost hat in neuerer Zeit besonders bei den von Kerpely konstruierten Generatoren (S. 754) ausgedehnte Anwendung gefunden.

Die Anwendung eines Rostes bei der Erzeugung von Generatorgas ist nicht unbedingt erforderlich. Man kann auch das Brennmaterial unten in eine freie Böschung ausgehen lassen und auf diese direkt die Luft einwirken lassen. In diesem Falle bildet sich die Schlacke an der Stelle, wo die Luft durch die Schlackentüre eintritt, und es ist ein leichtes, die Schlacke hier durch entsprechende Instrumente zu entfernen.

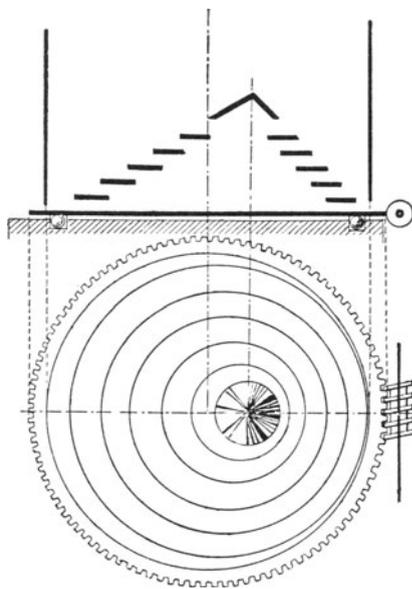
Bei den Halbwassergasgeneratoren, bei denen, wie erläutert, nicht Luft allein, sondern ein Gemisch von Luft und Dampf auf das Brennmaterial wirkt, haben wir zweierlei prinzipiell voneinander verschiedene Typen zu unterscheiden. Es sind dies

1. die Druckgasgeneratoren,
2. die Sauggasgeneratoren.

Bei den Druckgasgeneratoren wird die Luft unter Druck, sei es mit Hilfe eines gewöhnlichen Gebläses, sei es mit Hilfe des Dampfstrahles, in den Generator eingeblasen, so daß im Inneren des Generators ein Überdruck gegen die äußere Atmosphäre entsteht. Bei den Sauggasgeneratoren dagegen wird das gebildete Gas aus dem Oberteile des Generators durch irgend eine Vorrichtung abgesogen, so daß sich im Oberteile des Generators ein Unterdruck gegenüber der äußeren Atmosphäre vorfindet und die Luft zuzufolge des Druckes der äußeren Atmosphäre in den Generator einströmt. Diese einströmende Luft wird dann entweder durch Dampf, den man einer Dampfleitung entnimmt, oder aber dadurch angefeuchtet, daß man diese Luft über eine größere Wasseroberfläche, welche entsprechend angewärmt ist, streichen läßt.

Aus obigem geht hervor, daß bei den Druckgasgeneratoren der Unterteil, also der Teil des Generators, aus welchem die Schlacke entnommen werden muß, gegen die Außenluft abgesperrt sein muß, um eben dort den nötigen Luftdruck erzeugen zu können. Ebenso muß der Oberteil des Generators luftdicht abgeschlossen sein, damit dort das erzeugte Gas nicht in die Luft entweicht. Befinden sich bei einem Druckgasgenerator im Oberteile kleinere

Fig. 312.



Undichtheiten, so sind diese belanglos, weil an diesen Stellen nur ein wenig Gas entweicht, ohne jedoch sonstige Übelstände hervorzurufen. Aus dem gleichen Grunde sind z. B. kleine Undichtheiten in dem Verschlusse des Fülltrichters ohne besondere Bedeutung. Anders verhält sich dies bei den Sauggasgeneratoren. Bei diesen kann der Unterteil des Generators vollständig offen bleiben, er muß nicht gegen die Außenluft abgeschlossen sein, denn die Luft tritt frei zum Rost oder auf die freie Böschung des Brennmaterials, und daher ist dieser Teil des Generators auch während des Betriebes beständig zugänglich. Der Vorteil, welcher daraus entsteht, ist der, daß das Schlacken ohne jede Störung des Betriebes vorgenommen werden kann. Der Oberteil eines Sauggasgenerators muß hingegen mit größter Sorgfalt dicht gehalten werden. Bei etwa vorkommenden Undichtheiten entweicht hier zwar kein Gas, aber es tritt umgekehrt Luft zufolge der Saugwirkung, welche oberhalb des Brennmaterials herrscht, in den Generator ein, und verbrennt dort einen Teil des gebildeten Halbwassergases, so daß das Gas einen großen Prozentsatz an Kohlensäure aufweist und der Nutzeffekt des Generators dadurch ganz wesentlich beeinflußt wird. Bei Sauggasapparaten muß also auch dafür gesorgt werden, daß während des Einfüllens des Brennmaterials keine Luft in den Generator eintreten kann, und daher müssen doppelt verschließbare Fülltrichter verwendet werden, welche einen vollständig dichten Abschluß gewährleisten. Dieser Nachteil ist jedoch kein so großer, daß dadurch der Vorteil der Zugänglichkeit des Generators während des Schlackens aufgehoben würde. Die Sauggasgeneratoren verdienen daher in allen jenen Fällen den Vorzug vor den Druckgasgeneratoren, wo man das Gas nicht unter Überdruck einer Leitung entnehmen muß. Allerdings kann man sich auch in diesen letzteren Fällen dadurch helfen, daß man das Gas mit Hilfe eines Exhaustors oder eines Ventilators aus dem Generator saugt und in die Leitung unter Druck einbläst. Wir wollen jedoch zunächst die Druckgasgeneratoren besprechen.

Die Erzeugung des Druckes, unter welchem die Luft einströmen muß, erfolgt entweder mit Hilfe irgend eines Gebläses oder mit Hilfe eines Dampfstrahlinjektors. Das letztere war das durch viele Jahrzehnte beinahe ausschließlich geübte Verfahren, es hat jedoch, wie bereits auf S. 734 hervorgehoben, den Nachteil, daß in diesem Falle das Verhältnis zwischen Luft und Dampf nicht beliebig abgeändert werden kann. Bläst man die Luft mit Hilfe eines Gebläses ein, so erfolgt die Beimischung des Dampfes zur Luft entweder, indem man ein Dampfrohr in die Luftleitung einmünden läßt, oder indem man den Luftstrom über Wasser leitet, welches man auf eine solche Temperatur gebracht hat, daß die Verdampfung in der richtigen Weise stattfindet (vgl. S. 733). Im letzteren Falle regelt sich das Verhältnis zwischen Luft und Dampf durch die Temperatur des angewendeten Wassers. Im ersteren Falle dagegen, wenn der Dampf aus einer Leitung entnommen und der Gebläseluft beigemischt wird, ist es notwendig, irgend welche Vorkehrungen zu treffen, um stets das richtige Verhältnis zwischen Luft und Dampf abmessen zu können. Verhältnismäßig einfach gestaltet sich dies, wenn der Betrieb des Generators ein durchaus gleichmäßiger ist, d. h. stets die gleiche Gasmenge dem Generator entnommen wird. Schwankt jedoch die Gasentnahme, so muß auch die Gaserzeugung abwechselnd rascher und langsamer stattfinden. Dementsprechend muß mehr oder weniger Luft zugeblasen werden, und im gleichen Verhältnis muß auch die zugesetzte Dampfmenge

sich ändern. Um dies bequem durchführen zu können, mißt man die zugeführte Luft zweckmäßig dadurch, daß man eine Drosselung in der Windleitung anbringt und die Druckdifferenz vor und hinter dieser Drosselung ermittelt (vgl. S. 644). Entsprechend dieser Druckdifferenz stellt man dann vor der etwas verjüngten Eintrittsstelle des Dampfes den Dampfdruck mit Hilfe eines Ventils stets proportional der an der Windleitung sich ergebenden Druckdifferenz ein. Da die ausströmenden Mengen sowohl bei Luft wie bei Dampf sich proportional der Wurzel aus dem Drucke verhalten, so bleibt dann das Verhältnis der beiden konstant.

Wird ein besonderer Dampfkessel angewendet, so ist die Größe derart zu bemessen, daß pro 100 kg stündlich vergasten Kohlenstoffs etwa 10 m<sup>2</sup> Heizfläche zu berechnen sind.

Die Generatoren zur Halbwassergaserzeugung bestehen aus dem Unterteil mit der Rostkonstruktion, welche dieselbe ist, wie wir dies beim Generatorgas auf S. 746 bereits kennen gelernt haben, dann dem eigentlichen Generatorschacht und dem Oberteil mit dem Fülltrichter, welcher stets einen doppelten Verschuß besitzen muß. Aus dem Oberteil oder bei manchen Generatoren aus der Mitte des Schachtes entweicht das Gas durch ein Ableitungsrohr und gelangt dann in eine Vorlage. An dem Gasableitungsrohr ist gewöhnlich noch ein zweites Rohr angebracht, welches als Schornstein über das Dach des betreffenden Gebäudes führt. Dieses Rohr, das durch ein Ventil versperrbar sein muß, dient dazu, bei der Inbetriebsetzung des Generators das beim Anheizen zunächst entstehende kohlen säurehaltige Gas, welches keinen oder nur einen geringen Heizwert besitzt, über Dach auszublase n, so lange, bis die Temperatur im Generator hoch genug geworden ist, um die Reduktion der Kohlen säure zu Kohlenoxyd zu bewirken. Dann wird der Schornstein durch dieses Ventil abgeschlossen, und das Gas entweicht durch die Vorlage.

Die Vorlage enthält gewöhnlich eine Wassertauchung, d. h. das Gas muß in Blasen aus einem unter Wasser eintauchenden Rohre austreten. Eine solche Tauchung ist immer erforderlich, wenn das Gas in einem Behälter aufgefangen wird. Anderenfalls würde ja das Gas aus dem Behälter bei jeder Stillsetzung des Generators, sei es zum Zweck des Schlackens oder zu sonstigen Zwecken, von dem Behälter her in den Generator zurücktreten. Dies verhindert eben die Tauchung in der Vorlage. Bei Sauggasanlagen oder anderen Anlagen, bei welchen das Gas nicht in Behältern aufgespeichert werden muß, ist allerdings die Anwendung einer Tauchung nicht erforderlich. Das Gas, welches der Vorlage entweicht, muß gewaschen werden, einest eils um feste Partikelchen, Flugasche u. dgl., welche mitgerissen werden, zurückzuhalten, anderenteils aber auch, um den überschüssigen Dampf zu kondensieren. Die Waschung erfolgt mittels Wasser in Skrubbern von beliebiger Konstruktion, wie wir sie im Kapitel 32 kennen gelernt haben. Gewöhnlich werden die Skrubber nur einfach mit Koks gefüllt und mittels einer Brause mit Wasser berieselt. Im Unterteil des Skrubbers ist häufig gleich auch die Tauchung angebracht, so daß Wäscher und Vorlage in einem Apparat vereinigt sind.

Im Wäscher werden außer den festen Bestandteilen und dem Dampf auch andere Verunreinigungen des Gases zum Teil aufgelöst. Da man gewöhnlich verhältnismäßig große Wassermengen anwendet, so ist die Verunreinigung des Wassers, die dadurch hervorgerufen wird, nur eine geringe. Immerhin ist dies zu berücksichtigen, wenn es sich um die Ableitung des Skrubberwassers

in Flüsse mit geringem Wasserdurchfluß handelt. Beispielsweise seien die nachstehenden Analysen angeführt, welche zeigen, wieviel von den verschiedenen Verunreinigungen im Skrubberwasser enthalten sein können<sup>1)</sup>.

Aufgenommener Bestandteil 100 000 Teile Wasser enthalten Teile:	Bei einer 30 HP-Anlage in Wangen pro HP-Stunde in Grammen	Bei einer 60 HP-Anlage in Cannstatt pro HP-Stunde in Grammen
Schwefelsäure . . . . .	0,255	0,041
Unterschweflige Säure . . . . .	1,055	0,322
Schwefelwasserstoff . . . . .	0,075	0,233
Schwefelkohlenstoff . . . . .	Sehr geringe Mengen	Sehr geringe Mengen
Rhodanwasserstoffsäure . . . . .	" " "	" " "
Gesamtschwefel . . . . .	0,940	0,450
Cyanwasserstoff . . . . .	0,195	0,515
Ferrocyan . . . . .	Sehr geringe Mengen	Sehr geringe Mengen
Ammoniak . . . . .	1,130	1,180
Kohlenwasserstoffe . . . . .	Sehr deutliche Mengen	Beträchtliche Mengen
Phenole . . . . .	" " "	etwa 0,165
Suspensiert sind . . . . .	—	—
Brennbare Substanz . . . . .	0,50	25,00
Mineralstoffe, fixe . . . . .	4,87	5,75

Der Betrieb dieser Anlagen erfolgte mit Anthrazit. Eine Anlage, welche mit Braunkohle betrieben wurde, ergab die nachstehenden Verunreinigungen des Skrubberwassers<sup>2)</sup>.

100 Teile Wasser haben aufgenommen	Pro HP-Stunde in Grammen	100 Teile Wasser haben aufgenommen	Pro HP-Stunde in Grammen
Gebundene Kohlensäure . . . . .	1,326	Cyanwasserstoff . . . . .	0,018
Freie Kohlensäure . . . . .	0,106	Ferrocyan . . . . .	Spuren
Schwefelsäure . . . . .	0,090	Gesamtstickstoff . . . . .	0,891
Unterschweflige Säure . . . . .	0,173	Kohlenwasserstoffe . . . . .	Geringe Mengen
Schwefelwasserstoff . . . . .	0,028	Phenole . . . . .	" "
Schwefelkohlenstoff . . . . .	Spuren	Suspensiert waren . . . . .	—
Rhodanwasserstoff . . . . .	"	Brennbare Substanzen . . . . .	0,099
Gesamtschwefel . . . . .	0,164	Mineralstoffe . . . . .	0,153
Ammoniak . . . . .	1,071		

Das Gas, welches dem Skrubber entweicht, enthält stets noch beträchtliche Mengen von Schwefelwasserstoff, wodurch sein charakteristischer Geruch bedingt ist. Auch die Giftigkeit des Halbwassergases ist größtenteils durch den Schwefelwasserstoffgehalt desselben bedingt, der in manchen Beziehungen viel giftigere Wirkungen aufweist, wie das so gefürchtete Kohlenoxyd. Außer diesem enthält das dem Skrubber entweichende Gas auch stets noch suspendierte Teilchen von festen Stoffen, die im wesentlichen aus Kieselsäure bestehen. Dieselbe bildet sich durch Zersetzung von Siliciumwasserstoff und Chlorsilicium, die sich im Generator bilden. Durch die Feuchtigkeit des Gases werden diese Stoffe unter Abscheidung der Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) zersetzt, und diese stellt ein äußerst feines mehliges Pulver dar, welches vom Gase mitgeführt und

<sup>1)</sup> Kraft 1904, S. 210, 332; v. Ihering, Die Gasmaschinen, 1. Teil, S. 279. —

<sup>2)</sup> v. Ihering, Die Gasmaschinen, 1. Teil, S. 382.

durch das Skrubberwasser nicht vollkommen ausgewaschen wird. Auch durch sehr ausgedehnte Wäscheranlagen kann eine vollständige Beseitigung dieses weißen Pulvers nicht erfolgen. Außer der Kieselsäure enthält dasselbe noch etwas Natron, Kali, Kalk, Eisenoxyd, Magnesia u. dgl. Wir werden eine Analyse dieses Pulvers bei Besprechung der Wassergasanlagen kennen lernen.

Dieses Gemisch fester Substanzen, welches man rundweg Kieselsäure nennt, bringt oft Störungen im Motorenbetriebe mit sich, weil es zu einem raschen Verschleiß der Motorzylinder führt. Ebenso überziehen sich die Ventile mit diesem weißen Pulver und werden dadurch leicht undicht. Die Menge dieses Pulvers hängt von der Temperatur ab, welche im Generator herrscht. Je höher die Temperatur, desto größer ist die gebildete Menge von Kieselsäure. Mit Rücksicht auf die Kieselsäure ist es also zweckmäßiger, den Generator nicht allzuheiß gehen zu lassen und lieber eine gewisse Menge Dampf unzersetzt durch den Generator gehen zu lassen. Durch die Anwesenheit dieses überschüssigen Dampfes wird auch eine leichtere Abscheidung der Kieselsäure bewirkt. Bei der Kondensation des Dampfes schließen nämlich die kondensierten Wassertröpfchen die Kieselsäurepartikelchen ein und reißen dieselben mit nieder. Da jedoch auf solche Weise eine vollständige Entfernung der Kieselsäure nicht stattfinden kann, ist es notwendig, in allen Fällen, wo unbedingt reines Gas verlangt wird, eine Filtration des Gases vorzunehmen. Dieselbe erfolgt am besten durch Sägemehl. Das Sägemehl wird in gewöhnlichen Reinigerkästen angewendet, wie wir dieselben im Kapitel 36 kennen gelernt haben. Es muß jedoch darauf geachtet werden, daß eine vollständige Entfernung dieses weißen Pulvers nur dann möglich ist, wenn die Sägemehlschicht sehr dicht gelagert wird, und dies kann nur mit Hilfe von hartem Sägemehl, d. h. von Sägemehl aus hartem Holz erfolgen. Ein solches setzt aber dem Gasstrom einen wesentlichen Widerstand entgegen, da eben die Poren zwischen den einzelnen Körnchen sehr fein sein müssen, um die äußerst feinpulverige Kieselsäure zurückzuhalten. Aus diesem Grunde darf die Geschwindigkeit der Kieselsäure im Reiniger keine große sein. Sie sollte 10 mm pro Sekunde nicht überschreiten, wenn man sie auf den freien Querschnitt des Reinigerkastens rechnet. Gewöhnlich werden jedoch mit Rücksicht auf die Billigkeit der Generatorgasanlagen und speziell der Sauggasanlagen für Motorenbetrieb die Reiniger viel kleiner gewählt, zum großen Nachteil der Sicherheit des Gasmotorenbetriebes, weil die Kieselsäure zufolge ihrer abschleifenden Wirkung den raschen Verschleiß der Motorenzylinder hervorruft. Um in solchen kleineren Reinigern keinen zu hohen Widerstand entstehen zu lassen, wird dann an Stelle feinkörnigen Sägemehls nur ein grobes Sägemehl verwendet, oder aber es werden gar nur Hobelspäne eingefüllt, die nur eine äußerst mangelhafte Reinigung des Gases bewirken können. Die Menge der Kieselsäure, welche im Gase auftritt, ist allerdings sehr von örtlichen Verhältnissen, wohl auch von der Art des verwendeten Brennmaterials und von der Zusammensetzung der verwendeten Schamottesteine abhängig. In manchen Fällen bildet aber das Vorhandensein der Kieselsäure im Gase eine arge Kalamität, die nur durch umfangreiche Reinigungsanlagen beseitigt werden kann.

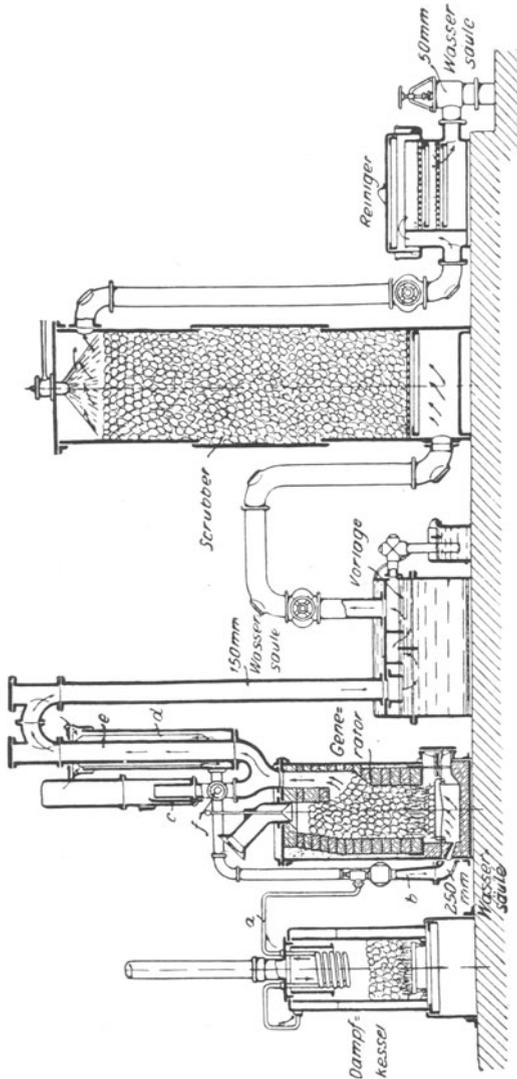
Nach Passierung des Reinigers wird das Gas, wenn es unter Druck angewendet werden soll, gewöhnlich in Behältern aufgespeichert. Die Anwendung eines Behälters ist jedoch nicht immer erforderlich, man kann das Gas auch,

wenn es mit Hilfe von Gebläsen unter Druck erzeugt wird, direkt den Verwendungsstellen zuführen. Wendet man einen Gasbehälter an, so dient derselbe mehr zur Regulierung der Gasabgabe als zur Aufspeicherung des Gases. Denn wollte man auch nur den einstündigen Konsum einer Halbwassergasanlage aufspeichern, so würde der Behälter so große Dimensionen annehmen,

daß die Rentabilität der Anlage dadurch in Frage gestellt würde. In den meisten Fällen genügt es, die Produktion von 10 bis 15 Minuten aufzuspeichern, um eine entsprechende Regelung zu erzielen. In neuerer Zeit ist man aber in den meisten Fällen von der Anwendung eines Gasbehälters abgegangen. Die Anwendung eines solchen bedingt auch die Konzessionspflicht, die bei Errichtung der Anlage oft zu Schwierigkeiten führt.

Wendet man einen Gasbehälter an, so kann dieser zweckmäßig zur Regulierung der Gaserzeugung gemäß der Gasabgabe herangezogen werden. Bläst man die Luft mit Hilfe eines Dampfstrahlgebläses in den Generator ein, so kann man das Dampfventil durch den steigenden Gasbehälter derart drosseln, daß die Gaserzeugung verringert wird, wenn der Behälter eine gewisse Höhe überschritten hat, und daß die Gaserzeugung wieder in

Fig. 313.



vollem Maße eintritt, wenn der Behälter entsprechend weit herabgesunken ist. Wird die Luft nicht mit einem Dampfstrahlgebläse, sondern mit einem rotierenden Gebläse eingeführt, so kann man das Steigen der Behälterglocke dazu benutzen, das Gebläse mit Hilfe eines Riemenaustrückers auszuschalten. Erfolgt der Antrieb der Gebläse durch Elektromotoren, so kann die steigende Gasbehälterglocke auch den Stromausschalter austrücken.

Wir wollen nun einige Beispiele von Druck-Halbwassergasanlagen besprechen.

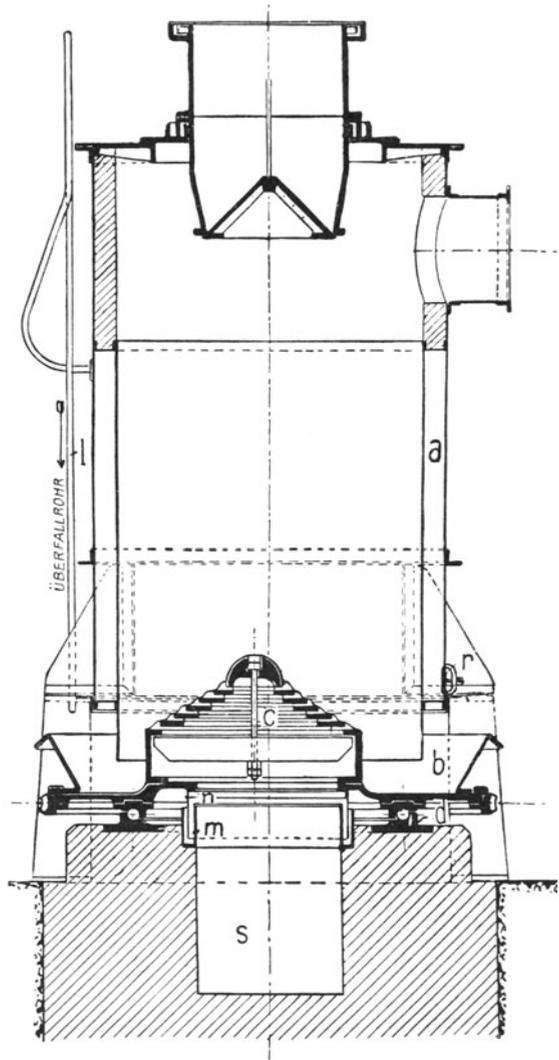
Eine der ersten Firmen, welche das Halbwassergas zur Anwendung für den Motorenbetrieb in umfangreicher Weise eingeführt hat, ist die Gasmotorenfabrik Deutz in Cöln-Deutz. Eine Anlage dieser Firma ist in Fig. 313 im Schnitt dargestellt.

Die Anlage besteht aus dem Dampfkessel, in welchen ein Dampfüberhitzer eingebaut ist, so daß nur ganz trockener Dampf zum Generator gelangt. Dieser Dampf strömt in den Dampfstrahlinjektor *b* ein und saugt die Luft durch einen Vorwärmer *d* an. Die Vorwärmung der Luft erfolgt durch die abziehenden heißen Generatorgase.

Die Luft tritt unter den Rost des Generators ein und verbrennt das durch den doppelt verschließbaren Fülltrichter eingefüllte Brennmaterial, wobei die Gase anfangs durch den geöffneten Hahn *f* nach dem Oberteil des Generators direkt in den Schornstein entweichen. Erst bis die erforderliche Temperatur im Generator erreicht ist, welche die Erzeugung eines brennbaren Gases gestattet, was an einer Probeflamme erkannt wird, wird dieser

Hahn *f* geschlossen, so daß nunmehr das erzeugte Gas durch das konzentrische innere Rohr *e* des Vorwärmers entweicht. Das Gas gelangt dann durch die Tauchung der Vorlage und aus dieser durch einen Abschlußhahn in den Skrubber. Dieser ist ein gewöhnlicher Koksskrubber mit Wasserberieselung. Schließlich tritt das Gas aus diesem in den hier ebenfalls zu klein gezeichneten Reiniger ein, aus welchem es den Verbrauchsstellen zugeführt wird. Im Reiniger läßt man das Gas zweckmäßig von oben nach unten streichen,

Fig. 314.

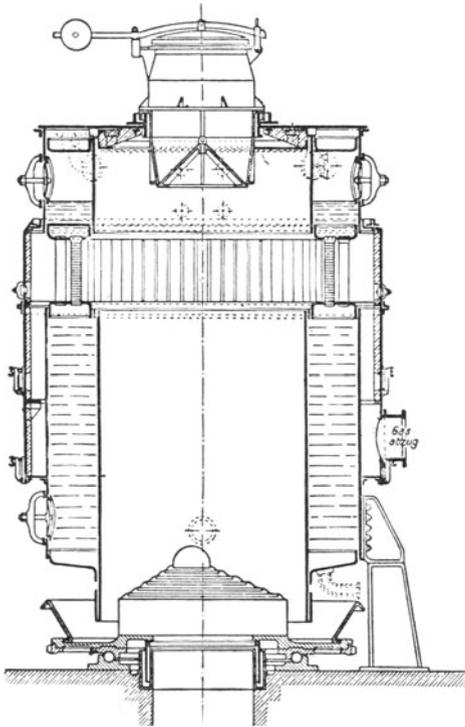


was den Vorteil bietet, daß man nach Öffnen des Deckels die am meisten beschmutzten Schichten zuerst entfernen kann, während die unteren reinen Schichten längere Zeit aushalten.

Ein wesentlicher Fortschritt im Generatorbau bedeutet der von Kerpely konstruierte Generator. Er ist durch den exzentrischen Kegelrost, welchen wir bereits auf S. 747 beschrieben haben, und durch den Wasserabschluß unterhalb desselben gekennzeichnet. Fig. 314 zeigt die Ausführung desselben.

Zufolge der Konstruktion des Unterteiles beim Kerpely-Generator ist es möglich, die Arbeit der Entfernung der Schlacke vollständig maschinell

Fig. 315.



durchzuführen. Durch die Rotation der exzentrischen Spitze des Kegelrostes wird die Schlacke stets granuliert erhalten und rollt nach unten in einen Wasserabschluß ab, von wo aus sie durch schräg gestellte Schaufeln, welche in diesen Wasserabschluß hineinreichen, nach außen gehoben wird und dort automatisch in bereit gestellte Behälter abfällt. Die Drehungsgeschwindigkeit des Kegelrostes wird derart eingerichtet, daß von den Schaufeln nur Schlacke und keine Kohle herausbefördert wird.

In neuester Zeit wird der Kerpely-Generator auch für ganz feinkörniges Brennmaterial (0 bis 10mm) gebaut. Er erhält hierbei einen den Unterteil umgebenden Mantel, so daß Druckluft eingeblasen werden kann, um den hohen Widerstand der Brennstoffsaule zu überwinden.

Ein Generator, welcher die Wärmeverluste beinahe vollständig vermeidet, ist nach den Angaben von Marischka von der Firma Koppers in den Gaswerken Wien-Simmering und Wien-Leopoldau ausgeführt worden (Fig. 315). Derselbe ist nicht, wie sonst bei Generatoren üblich, innen mit Schamotte ausgemauert, sondern die Wärmeverluste werden dadurch vermieden, daß der Generator vollständig in einen stehenden Dampfkessel eingebaut ist, während das Brennmaterial den ganzen Innenraum des Generatormantels ausfüllt und also an dem Blech des Generatormantels direkt anliegt. Es wird dort derart gekühlt, so daß eine Verbrennung hier nicht stattfinden kann, und das nicht brennende Material bildet hier selbst die Isolierung, welche eine allzugroße Wärmeabgabe an das den Generatormantel umhüllende Wasser verhindert. Diese dunkle Zone hat etwa eine Breite von 200 mm. Im Inneren des Generators herrscht die zur Bildung von Kohlenoxyd nötige Temperatur. An der Grenze dieser dunklen Zone findet Verbrennung zu Kohlensäure statt,

weil hier die Temperatur gering ist, doch spielt dies eine um so geringere Rolle, je größer der Querschnitt des Generators ist, weil das Verhältnis des  $\text{CO}_2$ -liefernden ringförmigen Querschnittes zu der  $\text{CO}$ -liefernden Querschnittsfläche des ganzen Generators (3 m Durchmesser) sehr klein ist. Der Unterteil des Generators trägt die selbsttätige Entschlackung nach Kerpely. Der Oberteil ist als Röhrenkessel ausgebildet, so daß auch die Eigenwärme des Gases vollständig zur Dampferzeugung ausgenutzt wird.

Andere Generatoren, welche sich im größeren Maße in die Praxis eingeführt haben, sind jene von Duff, Humphrey, Morgan, Pierson, Genty u. a.<sup>1)</sup>. Es würde jedoch zu weit führen, hier auf alle diese Konstruktionen einzugehen. Wir wollen uns vielmehr der Beschreibung der Sauggasanlagen zuwenden, welche in noch ausgedehnterem Maße Verwendung gefunden haben als die Druckgasanlagen und wollen die wichtigsten Typen derselben kennen lernen, ohne jedoch auch hier auf alle einzelnen Konstruktionen eingehen zu können.

Bei den Sauggasanlagen wird das Gemisch von Luft und Wasserdampf durch die Brennmaterialsäule hindurchgesogen. Vorzüglich kann dies in Verbindung mit dem Betriebe von Gasmotoren ausgeführt werden, da diese, wenn sie im Viertakt arbeiten, während eines Kolbenhubes das Gasluftgemisch ansaugen und somit die erforderliche Saugwirkung ausüben, ohne daß irgend ein Hilfsapparat zum Hindurchsaugen der Luft erforderlich wäre. Die ganze Anlage gestaltet sich dadurch außerordentlich einfach und deshalb haben die Sauggasmotorenanlagen so ausgedehnte Anwendung gefunden. Später hat man dann erkannt, welche große Vorzüge dieses Verfahren bietet, und man hat daher auch bei solchen Anlagen, welche nicht zu Motorbetrieben dienen, sondern bei welchen das Gas zu anderen Heizungszwecken verwendet wurde, Ventilatoren hinter den Generatoren aufgestellt, um das Gas anzusaugen und dann unter den Druck zu setzen, welcher erforderlich ist, wenn das Gas in irgend welchen Brennern für Heizzwecke zur Verwendung gelangen soll.

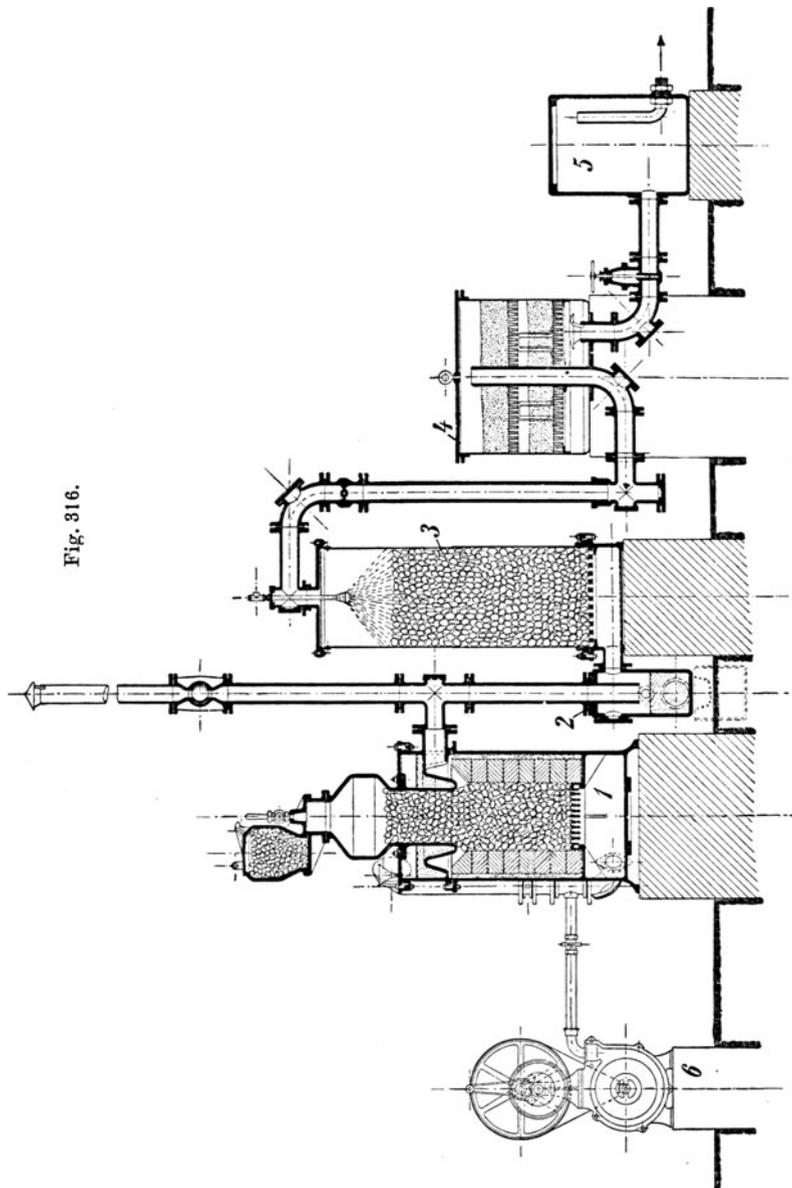
Auch bei den Sauggasgeneratoren ist es natürlich notwendig, daß der Generator zunächst auf die erforderliche Temperatur gebracht wird, ehe derselbe brennbares Gas zu liefern vermag. Dies geschieht beim ersten Anheizen, indem die Abgase über Dach ausgeblasen werden.

Wie bei den Druckgasanlagen, ist auch bei den Sauggasanlagen die Waschung mit Wasser erforderlich, dagegen vermeidet man bei den Sauggasanlagen gewöhnlich die Anordnung einer Tauchung, um den Widerstand nicht zu hoch zu steigern.

Die Abwässer der Skrubber sind die gleichen, wie bei Druckgas erläutert (S. 750). Auch die sonstige Reinigung des Gases von Kieselsäure soll in der gleichen Weise erfolgen wie bei Druckgas erläutert (S. 751). Die reichliche Dimensionierung der Reiniger ist hier um so mehr erforderlich, als ja der Reiniger dem Gasstrom keinen zu starken Widerstand entgegensetzen soll, damit keine zu hohe Saugwirkung beansprucht werden muß. Gewöhnlich wird jedoch bei den Sauggasmotorenanlagen gegen diese wichtige Bestimmung verstoßen, indem die Reiniger viel zu klein gewählt und dafür nicht mit feinem Sägemehl, sondern nur mit Holzwohle oder grobem Sägemehl gefüllt werden, so daß eine vollständige Zurückhaltung der Kieselsäure von vorn-

<sup>1)</sup> Vgl. v. Ihering, Die Gasmaschinen, 1. Teil.

herein ausgeschlossen ist. Diesem Fehler ist es zuzuschreiben, daß bei vielen Sauggasanlagen die Zylinder der Motoren rasch abgeschliffen werden und zu häufigen Reparaturen Veranlassung geben.



Die Firma Julius Pintsch war die erste, welche Sauggasmotoren in den praktischen Betrieb einfuhrte. Wir beginnen daher damit, eine Sauggasgeneratoranlage dieser Firma zu erläutern. Dieselbe ist in Fig. 316 im Schnitt dargestellt.

Der Generator ist mit einem eigenartig konstruierten Fülltrichter ausgestattet. Derselbe sitzt auf einer drehbaren Scheibe, die sich auf einer zweiten Platte dicht aufgeschliffen bewegt. Der Fülltrichter wird in der Stellung, wie er in der Zeichnung angegeben ist, mit Koks gefüllt und dann oben durch eine Mortontür luftdicht abgeschlossen. In dieser Stellung ist der Generator durch einen an der gleichen Scheibe angebrachten dichten Verschuß abgeschlossen. Wird nun die Scheibe auf ihrer Unterlage gedreht, so gelangt der Fülltrichter über die Öffnung des Generators und läßt daher seinen Inhalt in diesen fallen. Auf diese Weise gelingt das Einfüllen des Brennmaterials, ohne irgend welche Gasverluste und ohne daß Luft eintreten könnte.

Der Generator besitzt in seinem Oberteil einen Vorratsraum für den Koks, so daß die Schichthöhe über dem Rost, welche von den Gasen zu durchstreichen ist, stets gleich hoch bleibt. Das Brennmaterial ruht im unteren Teil des Generators auf einem Planrost, durch welchen von unten Luft zugeführt wird. Zum Zwecke des ersten Warmblasens befindet sich an der Luftleitung, welche durch eine Drosselklappe abgeschlossen werden kann, ein Ventilator für Handbetrieb. Die Verbrennungsgase beheizen den Verdampfer, welcher den Oberteil des Generators bildet und entweichen durch den Schornstein, der ein entsprechendes Abschlußventil trägt, über Dach.

Sobald die erforderliche Temperatur in der Kokssäule erreicht ist, schließt man die zum Ventilator führende Leitung durch ein Ventil ab und läßt nun das Gas vom Motor oder von einer anderen Saugvorrichtung hindurchsaugen. Ist der Bedarf an Gas ein großer, so heizen die verhältnismäßig großen Gasmenge den Verdampfer stärker, dementsprechend verdampft mehr Wasser und der Dampf gelangt durch ein vom Verdampfer zum Generator führendes Rohr unter den Rost desselben, indem er sich der Verbrennungsluft beimischt. Die erzeugten Gase werden durch eine Vorlage gesogen, welche jedoch keinen Wasserabschluß erhält, damit hier kein zu großer Widerstand entsteht, dann durchstreicht das gewonnene Sauggas den Wäscher, der in gewöhnlicher Weise mit Koksfüllung ausgebildet ist, und schließlich den Reiniger, den es ebenfalls, wie bei den Druckgasanlagen, von oben nach unten durchstreicht.

Bei den neueren Anlagen ist der Verdampfer nicht am Oberteile des Generators angebracht, sondern als Rauchrohrkessel ausgebildet, welcher von den heißen Gasen durchstrichen wird, bevor sie in den Wäscher treten.

Die Sauggasgeneratoren von Körting sind in ganz ähnlicher Weise konstruiert, wie die eben genannten, jedoch besitzen dieselben eine andere Füllvorrichtung, die wir später kennen lernen werden. Ferner wird bei den Körtingschen Anlagen die Luft durch den Verdampfer hindurchgesogen, so daß sie sich schon dort mit Wasserdampf sättigt.

Bei der Sauggasgeneratorenanlage von den Vereinigten Maschinenfabriken Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg besteht der doppelt verschließbare Fülltrichter aus einem, mit einem Kegelschluß versehenen trichterförmigen Hohlraum, der oben wieder eine Mortontür trägt. Der Unterteil des Generators ist durch einen Schrägrost gekennzeichnet, welcher von beiden Seiten durch zwei Türen zugänglich ist, so daß er leicht gereinigt werden kann.

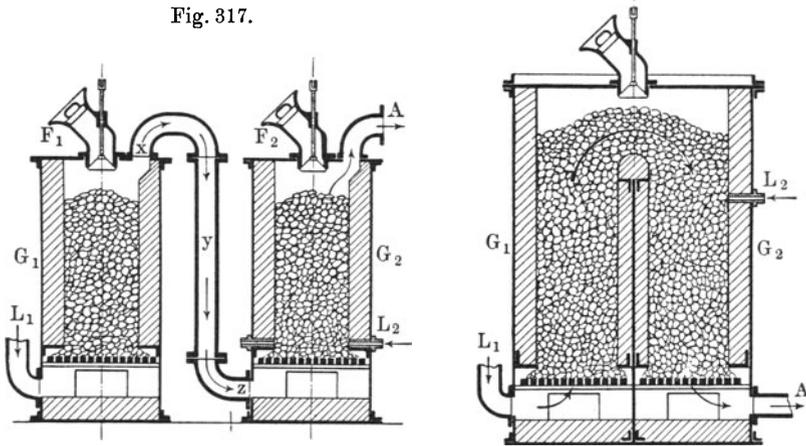
Zum Zweck des Anheizens des Generators wird auch hier ein Ventilator angeschlossen, und die Verbrennungsprodukte entweichen durch einen Ver-

damper in einen Schornstein, der durch ein Ventil abgeschlossen werden kann, sobald die erforderliche Temperatur im Generator erreicht ist.

Der Verdampfer ist hier etwas anders ausgebildet, indem die Gase denselben in Röhren zunächst nach aufwärts, dann nach abwärts durchstreichen; dadurch ist im Oberteil des Verdampfers ein Raum gegeben, welcher nur teilweise mit Wasser gefüllt ist, das durch die Heizgase erwärmt wird und daher verdunstet. Über diese Wasseroberfläche wird nun die Luft gesogen, so daß sie sich ebenso wie beim Körtingschen Generator mit Wasserdampf sättigt.

Die Gase, welche den Verdampfer passiert haben, gelangen dann bei abgeschlossenem Schornstein in eine Vorlage, welche nur dazu dient, die größte Menge des sich kondensierenden überschüssigen Dampfes und Flugasche aufzunehmen. Um letztere bequem beseitigen zu können, befindet

Fig. 318.



sich unten ein Siphonverschluß, der auch während des Betriebes geöffnet werden kann. Das Gas durchstreicht dann einen Skrubber und schließlich wieder einen Reiniger. Dieser ist hier so angeordnet, daß das Gas in der Mitte zwischen zwei Horden eintritt und der Gasstrom sich somit in zwei Teile teilt; dadurch wird eine geringere Geschwindigkeit des Gasstromes im Reinigerkasten erzielt und kann deshalb eine dichtere Lagerung des Sägemehles angewendet werden, wodurch eine bessere Reinigung erzielt wird. Vom Reiniger gelangt dann das Gas direkt zum Motor oder zu den sonstigen Gebrauchsstellen.

Es ist eine große Anzahl von Sauggasgeneratoren konstruiert worden, welche jedoch alle mehr oder weniger in gleicher Weise arbeiten, wie die eben genannten. Wir müssen uns daher darauf beschränken, einige Namen der betreffenden Konstrukteure zu nennen<sup>1)</sup>. Es sind dies: Benz, Bollinx, Catier, Crossley, Davey, Paxmann u. Co., Delion-Lepeu, Deschamps, Dunker, Güldner, Hille, Hovine-Breuille, Lencauchez, Luther, Pierson, Talbot, Taylor, John I. Thornycroft u. Co., Turk-Maly.

<sup>1)</sup> Nach v. Ihering, Die Gasmaschinen, I. Teil, Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1907.

Wir wollen nun noch einige Generatoren kennen lernen, welche für die Vergasung von bituminösen Brennmaterialien, besonders für Braunkohle, bestimmt sind, und den bei der Entgasung entstehenden Teer zerstören, wie wir bereits auf S. 744 besprochen haben. Meistens wird bei diesen Generatoren der Teer dadurch zersetzt, daß man das Gas durch glühendes Brennmaterial leitet. Diese Zersetzung ist jedoch selten eine ganz vollständige. Fig. 317 zeigt einen Doppelgenerator der Gasmotorenfabrik Deutz, der dem Zwecke der Teerzeretzung dient. Das in  $G_1$  durch die Vergasung von bituminöser Kohle gewonnene Halbwassergas wird durch den zweiten Generator  $G_2$  geleitet, welcher mit glühendem Koks gefüllt ist. Das Gas entweicht dann teerfrei am Oberteile des zweiten Generators durch den Stutzen  $A$ . Um den Koks in  $G_2$  glühend zu erhalten, wird der Prozeß zeitweise unterbrochen und der Koks durch Einblasen von Luft in den unteren Teil von  $G_2$  neuerdings zum Glühen erhitzt. Ein solches Verfahren würde jedoch einen unterbrochenen Betrieb ergeben; zur Vermeidung dieses Übelstandes wurde es in mannigfacher Weise abgeändert, so z. B. kann schon durch Zusammenlegen der beiden Generatoren, wie dies Fig. 318 zeigt, das Warmblasen des zweiten Generatorschachtes  $G_2$  dadurch vermieden werden, daß man denselben direkt neben dem Schacht  $G_1$  aufbaut und so die Erwärmung desselben durch die Heizgase bewirkt. Die beiden Generatorschächte  $G_1$  und  $G_2$  sind in diesem Falle mit Koks gefüllt, welcher durch die Entgasung der Kohle entstanden ist, während sich die Kohle durch den Füllrichter in dem gemeinsamen Sammelraum der beiden Generatorschächte befindet und dort durch die heißen Gase entgast wird.

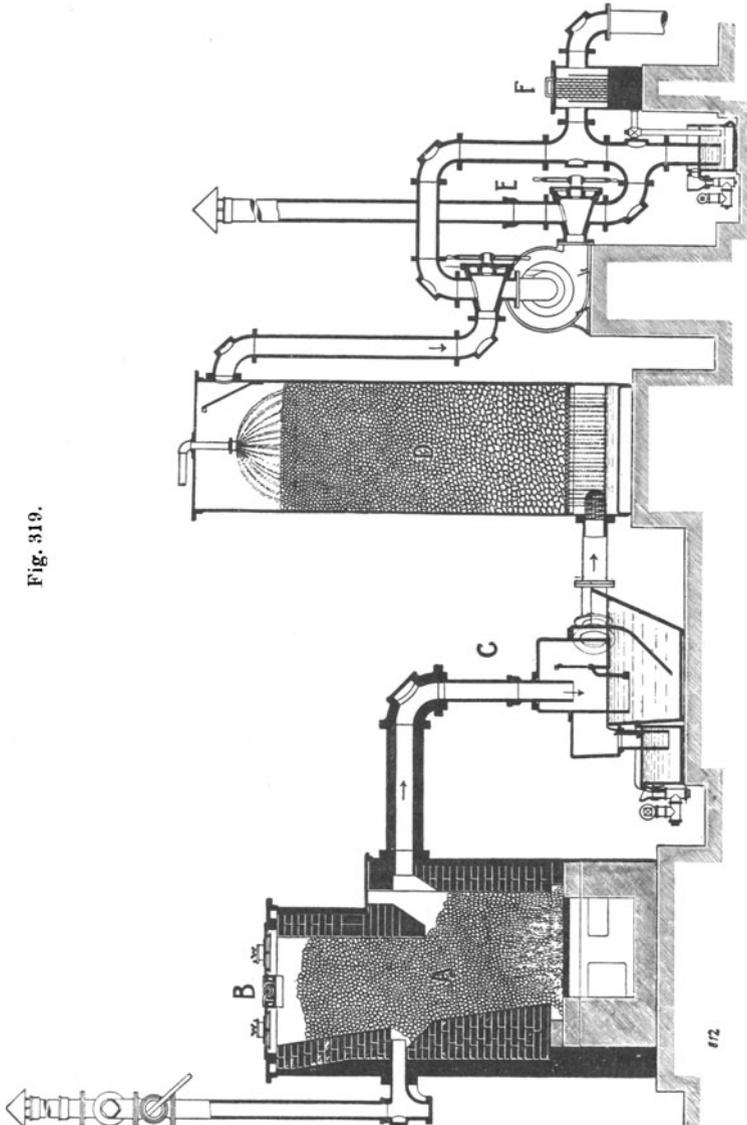
In ähnlicher Weise zersetzt der Generator von Riché, der in Frankreich vielfach zur Einführung gelangt ist, den Teer, welcher bei der Destillation des Holzes entsteht, indem die Dämpfe desselben durch glühende Holzkohle geleitet werden, die als Rückstand der Destillation aus dem Generator genommen werden.

Das Richésche Verfahren hat in holzreichen Gegenden vielfache Verwendung zum Gasmotorenbetrieb gefunden.

Eine Abänderung des Verfahrens der Teerzeretzung durch glühenden Koks ist in den Generatoren mit umgekehrter Verbrennung (vgl. S. 744) gegeben. Die Teerzeretzung könnte dann in einer einzigen Brennzone stattfinden, jedoch ist dies nicht zweckmäßig, weil man dann keine vollkommene Verbrennung des Kohlenstoffs erzielt und die Schlacke mit Koksstückchen durchsetzt entfernt werden müßte. Man verwendet daher auch in diesem Falle Generatoren mit zwei Brennzone, deren eine zur Entgasung der Kohle und Zersetzung des Teerdampfes dient, während die zweite im Unterteile des Generators sich befindet und die vollständige Verbrennung des Kokes durch Schlacke herbeiführt.

Eine derartige Generatoranlage, die für die Vergasung von Braunkohle bestimmt ist, von der Gasmotorenfabrik Deutz konstruiert, ist in Fig. 319 dargestellt. Der Generatorschacht  $A$  besitzt in der Mitte die Gasentnahmestelle; das Brennmaterial wird von oben in den vollständig offenen Generator eingeführt und die Abdeckung erfolgt nur durch einen darübergeschobenen lose anliegenden Deckel, welcher noch eine Öffnung behufs Eintritts der Luft besitzt. Das Brennmaterial lagert unten auf einem gewöhnlichen Rost und die Luft wird nun zum Teil durch den Rost hindurch, zum Teil

aber von oben durch das Brennmaterial gesogen. Es bildet sich dabei auf der Zeichnung oberhalb des Buchstabens *A* eine Brennzone, während die zweite Brennzone sich oberhalb des Rostes befindet. Das frisch aufgegebene Brennmaterial beginnt zunächst zu destillieren und die Destillationsprodukte,



Gas, Teerdämpfe und Ammoniak, müssen eine Zone glühenden Kokes durchstreichen, ehe sie zum Austritt gelangen können. Dadurch werden die Teerdämpfe und auch das Ammoniak zerlegt. Der gebildete Koks rutscht weiter im Schachte nach abwärts, gelangt dann in die zweite Brennzone, wo derselbe durch die von unten eintretende Luft bis auf Schlacke vergast wird. Das Gas wird dann in der Vorlage *C* durch das vom Skrubber kommende

Wasser gewaschen, gelangt in den Skrubber *D* und dann zum Motor. Zum Zwecke der Inbetriebsetzung dieser Anlage wird nicht, wie wir dies bei den anderen Anlagen kennen gelernt haben, ein Luftstrom in den Generator eingeblasen, sondern hier werden auch bei der Inbetriebsetzung die Verbrennungsgase durch einen Ventilator abgesogen. Dies erfolgt nach geeigneter Umstellung des Hahnes *E* und die Verbrennungsgase entweichen durch den dort angebrachten Schornstein. Sobald der Generator brennbare Gase entwickelt, wird der Hahn *E* umgestellt und geht dann das Gas zu den Verwendungsstellen.

Eine von Körting konstruierte Sauggasgeneratorenanlage mit zwei Brennzone für bituminöses Brennmaterial, die in ganz ähnlicher Weise arbeitet, ist in Fig. 320 dargestellt. In dieser ist auch der Anschluß des Motors gezeichnet. Eine Beschreibung der Arbeitsweise ist nach dem eben Gesagten nicht erforderlich, da diese Anlage ebenso funktioniert, wie die Sauggasanlage der Gasmotorenfabrik Deutz, die wir soeben beschrieben haben.

Ähnliche Generatoren sind konstruiert von Deschamps, Boutilier, Faugé, Fichet und Hurtey, Augsburg-Nürnberger Maschinenfabrik usw.<sup>1)</sup>

Da durch eine bloße Überhitzung der Teerdämpfe eine vollständige Zerstörung derselben nicht gewährleistet ist, so hat der Verfasser im Verein mit den Skodawerken in Pilsen<sup>2)</sup> einen Generator konstruiert, bei welchem zunächst eine vollständige Verbrennung der Destillationsprodukte stattfindet, wonach dann die Verbrennungsgase, die Kohlensäure und Wasserdampf enthalten, durch den bei der Entgasung gebildeten Koks wieder in Wasserstoff und Kohlenoxyd verwandelt werden. Dadurch ergibt sich eine vollständige Zersetzung der Teerdämpfe und man erhält direkt vollständig teerfreies Gas. Fig. 321 zeigt diesen Apparat.

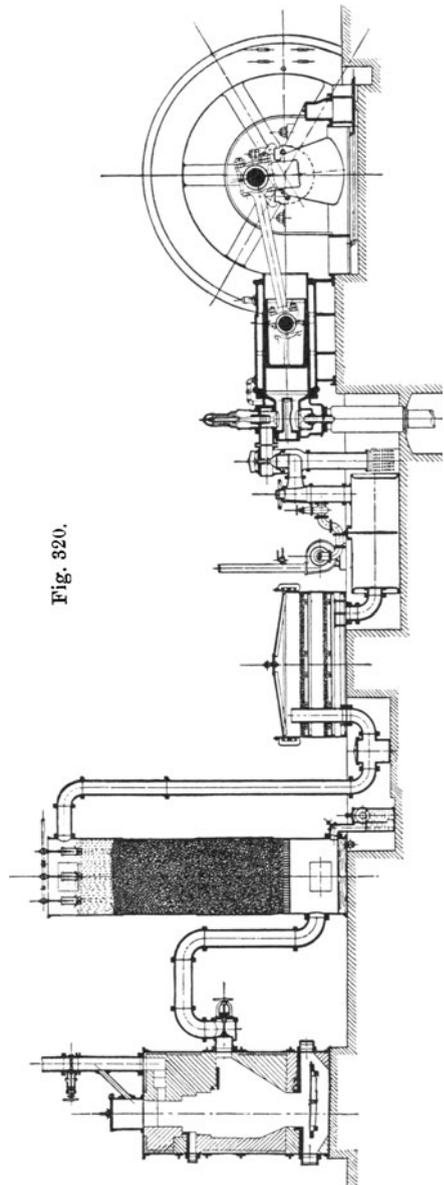
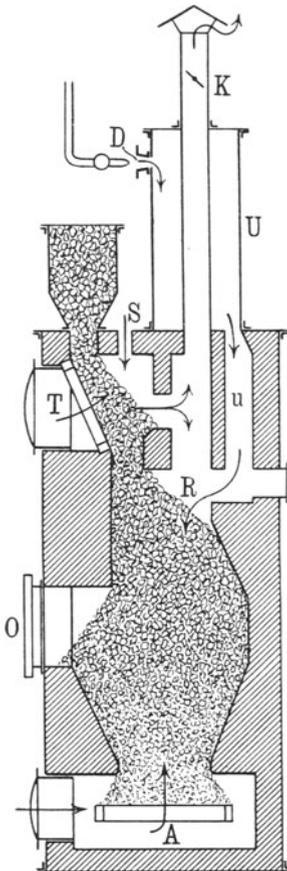


Fig. 320.

<sup>1)</sup> Vgl. v. Ihering, Die Gasmaschinen, I. Teil, Verlag Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1907. — <sup>2)</sup> Österr. Pat. Nr. 37 564.

Das bituminöse Brennmaterial wird durch einen oben offenen Fülltrichter eingefüllt und gelangt zunächst auf den Schrägrost *T*, hier wird es durch die eingesogene Luft wie auf einer gewöhnlichen Rostfeuerung verbrannt. Die Verbrennung erfolgt jedoch nur teilweise, indem der gebildete Koks nach abwärts in den darunter befindlichen Generator oder Reduktionsraum *R* rutscht. Um das Herabrutschen von frischem Brennmaterial zu verhindern, ist eine Feuerbrücke eingebaut. Durch die Öffnung *S* wird die

Fig. 321.



Sekundärluft eingesogen, welche eine Verbrennung der Destillationsgase bewirkt, und die Flammengase, bestehend aus heißer Kohlensäure und Wasserdampf nebst dem Stickstoffgehalt der Luft, werden durch den Reduktionsraum *R* durchgesogen, indem diese Verbrennungsprodukte zu Kohlenoxyd und Wasserstoff reduziert werden. Handelt es sich um die Vergasung eines sehr stark bituminösen Brennstoffes, so ist die Wärmeentwicklung nicht groß genug, um sämtliche Verbrennungsgase zu reduzieren. In diesem Falle läßt man einen Teil derselben durch einen Schornstein *K* entweichen, während der andere Teil in den Reduktionsraum gelangt. Gleichzeitig wird aber dann bei der Düse *D* Dampf und Luft eingesogen, welche in dem Vorwärmer *U* an den entweichenden Verbrennungsgasen sich erwärmen und durch den Kanal *u* in den Reduktionsraum gelangen. Die Gasentnahme findet bei der Öffnung *O* statt. Da in dem Reduktionsraume *R* keine vollständige Verbrennung des Kohlenstoffes stattfindet, und die Schlacke hier noch kohlenstoffhaltig bleibt, so wird die Verbrennung des Restes des Kohlenstoffes auf einem Planrost *A* im Unterteil des Generators herbeigeführt. Es wird also hier an drei verschiedenen Stellen Luft eingesogen, nämlich durch den Schrägrost *T* zur Entgasung des Materials, durch die Öffnung *S* zur Verbrennung der Destillationsprodukte und durch den Planrost *A* zum Zwecke der vollständigen Verbrennung des Kohlenstoffes.

Mit Rücksicht auf die große Verbreitung, welche die Sauggasanlagen besonders beim Motorenbetriebe erlangt haben, sind seitens des Preußischen Ministeriums für Handel und Gewerbe im Jahre 1904 eigene Vorschriften über die Einrichtung derartiger Anlagen herausgegeben worden. Sie sind im Anhange von Ihering: „Die Gasmaschinen“, S. 291, wiedergegeben.

Die Ausführung von Versuchen an Sauggasanlagen hat v. Ihering<sup>1)</sup> ausführlich beschrieben. Es sei hier darauf verwiesen.

<sup>1)</sup> Die Gasmaschinen, S. 294, Verlag Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1907.

Trotzdem in den letzten Jahrzehnten schon wiederholt und von vielen Seiten darauf hingewiesen worden ist, wie wichtig es wäre, die Gasfeuerung, namentlich für industrielle Betriebe, allgemein einzuführen und das Gas möglichst an der Kohlengrube herzustellen und von dort aus zu verteilen, ist es erst im letzten Jahrzehnt Mond in England gelungen, eine derartige Gaszentrale zur Durchführung zu bringen <sup>1)</sup>.

Mond vergast die Kohle in Generatoren unter möglichst günstiger Ausnutzung des Ammoniaks. Die Ammoniakausbeute wird bei dem Mondschen Verfahren dadurch erhöht, daß die Entgasung bei einer sehr niedrigen Temperatur erfolgt, welche durch Einblasen einer großen Menge von Dampf eingehalten wird. Es werden 2,5 kg Dampf pro 1 kg Kohle angewendet. Der große Überschuß an Dampf verhindert die Zersetzung des Ammoniaks, er würde jedoch auch eine große Wärmemenge mit fortführen und deshalb wird beim Mondschen Verfahren eine gründliche Wiedergewinnung der Wärme durchgeführt. Diese erfolgt durch Vorwärmung der Luft an den abziehenden Gasen und bedingt ebenso wie die Gewinnung des Ammoniaks als Sulfat eine gewisse Komplikation der Anlage, so daß es nur möglich ist, derartige Anlagen in großem Maßstabe auszuführen, während für kleinere Anlagen sowohl die Anlagekosten als auch die Bedienung zu teuer wäre. Mondgasanlagen in dieser Ausführung sind daher nur dann geeignet, wenn es sich um die Vergasung von mehr als 20 t Kohle pro Tag handelt.

Wir wollen den Mondgenerator und die dazu gehörige Apparatur beschreiben, wie diese in England verwendet werden <sup>2)</sup>.

Der Generator ist zwar in neuerer Zeit auch in Deutschland zur Vergasung von Torf angewendet worden, aus welchem sich eine besonders hohe Ausbeute an Ammoniak ergibt. Im Prinzip ist jedoch auch dieser Generator in gleicher Weise ausgebildet, wie der in England verwendete. Fig. 322 zeigt einen Schnitt durch eine ganze Mondgasanlage, in welcher *A* den Generator darstellt. Fig. 323 stellt dagegen den Schnitt durch einen Generator dar, wie er in Deutschland angewendet ist. Ein solcher Generator vermag 1000 kg Kohle pro Stunde zu verarbeiten.

Besondere Kennzeichen des Generators sind: ein Doppelmantel, durch welchen die Luft eingblasen und durch die Strahlung des Generators vorgewärmt wird, so daß Strahlungsverluste möglichst vermieden sind, ferner ein Korbrost, welcher die Schlacke direkt in eine Wassertauchung einfallen läßt und schließlich ein Einsatz, welcher sich im Oberteile des Generators an den Fülltrichter anschließt und bedingt, daß die in diesem Einsatz entwickelten Gase und Teerdämpfe durch die glühende Zone des Brennmaterials streichen müssen, wodurch der Teer teilweise zersetzt wird. Die Luft wird beim Stützen *b* im Doppelmantel eingblasen; der Korbrost ist in der Zeichnung mit *c* bezeichnet, der Fülltrichter mit *a* und das Gas entweicht am Oberteil des Generators durch den Stützen *d*.

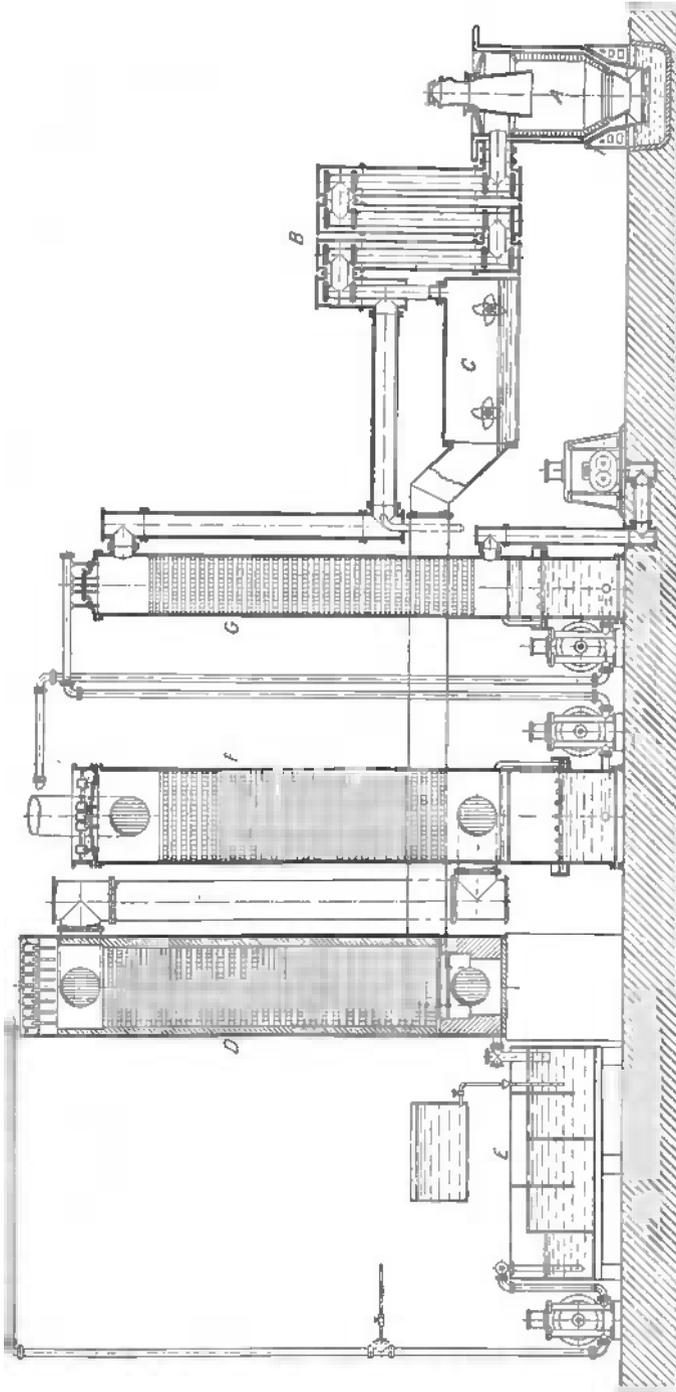
Beim Mondgasverfahren wird wie folgt vorgegangen:

Zur Entgasung von 1 t Kohle werden durch ein Gebläse 3000 kg Luft eingblasen, welche in dem Turm *G* durch warmes Wasser mit 1000 kg Wasserdampf gesättigt werden. In diesem Luftturm *G* wird die Luft durch

---

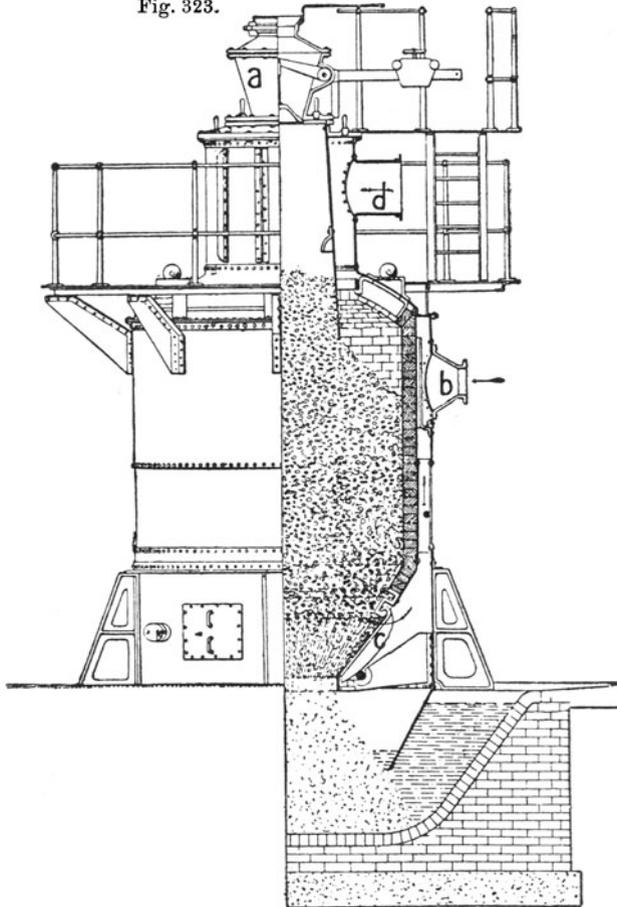
<sup>1)</sup> Zeitschr. d. Ver. D. Ing. 1901, S. 1594. — <sup>2)</sup> v. Ihering, Die Gasmaschinen, S. 327.

Fig. 322.



das warme Wasser gleichzeitig auf  $70^{\circ}\text{C}$  erwärmt. Die Dampfmenge, welche die Luft hier aufnimmt, ist jedoch für das Verfahren nicht genügend, deshalb werden in der Leitung der Luft vom Luftturm *G* zum Vorwärmer *B* noch 1500 kg Dampf zugesetzt. Die Temperatur des Gemisches steigt dabei auf  $85^{\circ}\text{C}$ . Dann passiert das Luftdampfgemisch den Vorwärmer *B*, um die Wärme des abziehenden Gases möglichst aufzunehmen. Es wärmt sich dabei bis auf  $350^{\circ}\text{C}$  vor. Das Gemisch erzeugt dann im Generator 4500 kg

Fig. 323.



Gas, während 3000 kg Dampf unzerstört durch den Generator hindurchgehen. Das Gas entweicht mit  $450^{\circ}\text{C}$  in den Gegenstromvorwärmer, wobei es sich auf  $280^{\circ}\text{C}$  abkühlt. Mit dieser Temperatur tritt es in den Wäscher *C*, welcher mit zwei Schlägerwellen ausgerüstet ist, um das am Boden desselben befindliche Wasser zu zerstäuben und möglichst mit dem Gase in Berührung zu bringen. Hier kühlt sich das Gas auf  $90^{\circ}\text{C}$  ab, wobei es jedoch gleichzeitig 750 kg Dampf aufnimmt. Das Gas enthält also jetzt 2750 kg Dampf, ist jedoch dabei nicht mit Feuchtigkeit durchsättigt.

In diesem Zustande tritt das Gas in den Säureturm *D*, welcher mit Blei ausgekleidet und mit Ziegelsteinen ausgesetzt ist. Dieser Turm wird mit

einem Gemische von Ammoniumsulfatlösung und Schwefelsäure berieselt; es scheidet sich jedoch in diesem Turme kein Wasser aus, weil das Gas einerseits eine Temperatur von 90° C besitzt und andererseits auch durch die Reaktionswärme bei der Aufnahme des Ammoniaks in der Schwefelsäure Wärme frei wird. Die Lösung von Ammoniumsulfat entweicht daher unten mit einer Temperatur von 80° C in den Behälter *E*, wo es noch durch Zusatz von Säure neutralisiert wird und wo das Salz auskristallisiert. Zu der Mutterlauge wird dann noch freie Schwefelsäure hinzugesetzt und diese wird mittels einer Pumpe wieder auf den Säureturm *D* gepumpt, um hier von neuem mit Ammoniak gesättigt zu werden.

Das Gas entweicht aus dem Säureturm mit einer Temperatur von 80° C in den Kühlturm *F*, wo es auf 65° C abgekühlt wird und dabei 1500 kg Dampf in Form von Kondenswasser ausscheidet. Das in diesen Kühlturm *F* einfließende Wasser besitzt eine Temperatur von 50° C und entweicht unten mit einer Temperatur von 80° C. Dieses warme Rieselwasser aus dem Kühlturm *F* wird dann in den Luftturm *G* gepumpt, wo es eben zur Sättigung der Luft mit Wasserdampf dient. Dadurch kühlt sich das Rieselwasser auf 50° C ab und wird in diesem Zustande wieder auf den Kühlturm zurückgepumpt. Das den Kühlturm *F* verlassende Gas passiert noch ein Sägespäfilter, das auf der Zeichnung nicht wiedergegeben ist, und gelangt dann in die Konsumleitung.

Die Zusammensetzung des Mondgases aus einer Kohle von 7225 Kal. stellt sich nach v. Ihering<sup>1)</sup> wie folgt:

Sumpfgas . . . . .	2,5 Vol.-Proz.
Wasserstoff . . . . .	26,4 "
Kohlenoxyd . . . . .	10,2 "
Kohlensäure . . . . .	16,2 "
Stickstoff . . . . .	44,6 "
Heizwert . . . . .	1320 Kal. pro Kubikmeter.

1 kg Kohle liefert 4,43 m<sup>3</sup> Gas. Der Nutzeffekt des gewonnenen Gases aus der Kohle beträgt demnach:

$$\frac{4,43 \cdot 1320}{7225} = 0,81, \text{ d. i. } 81 \text{ Proz.}$$

In Gasmaschinen werden 2,5 m<sup>3</sup> Mondgas pro indizierte PS-Stunde gebraucht, eine PS-Stunde benötigt also im ganzen 0,6 kg Kohle. Berücksichtigt man jedoch, daß die Pumpen für das Mondgasverfahren auch noch einen Kraftbedarf besitzen, so resultiert, daß zur Erzeugung von 4,43 kg Gas nicht 1 kg Kohle, sondern 1,24 kg Kohle erforderlich sind; danach beträgt der praktische Wirkungsgrad 65 Proz.

In der Anlage in Winnington in England werden pro 1 t Kohle 44 kg Ammoniumsulfat gewonnen, das 25 Proz. Ammoniak enthält, somit gibt 1 t Kohle ungefähr 10 kg NH<sub>3</sub>.

Die Anlage in England ist von der Firma Brunner, Mond u. Co., Winnington-Works, in Northwick Cheshire in England errichtet und vermag 850 000 m<sup>3</sup> Gas pro Tag zu erzeugen. Die Gesellschaft hat ein Kapital von 20 Millionen Mark und ist in England vom Parlament konzessioniert. Sie

<sup>1)</sup> v. Ihering, Die Gasmaschinen, S. 40 u. 42.

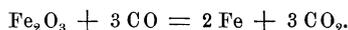
muß das Gas zum Preise von 0,6 bis 1,8  $\text{§}$  pro Kubikmeter abgeben, die Distrikte South Staffordshire und East Worcestershire werden von dieser Anlage aus mit Gas versorgt. Die Kosten der Kohle betragen 7  $\mathcal{M}$  pro Tonne, davon werden jedoch 4,50  $\mathcal{M}$  durch den Gewinn an Ammoniak gedeckt, so daß nur 2,5  $\mathcal{M}$  pro Tonne Kohle für die Kosten des Gases zu berechnen sind.

Frank u. Caro<sup>1)</sup> haben das Mondsche Verfahren für die Verwertung von Torf weiter ausgebildet. Es hat sich in Cöln eine Gesellschaft zur Ausbeutung dieses Verfahrens gebildet. Haber<sup>2)</sup> berichtete über dieses Verfahren, daß aus einem Torf von 60 bis 70 Proz. oder aus einer Braunkohle von 50 bis 60 Proz. Wassergehalt Gas mit einem Nutzeffekt von 75 bis 85 Proz. gewonnen werden kann. Die Ammoniakausbeute beträgt bei Torf 31,2 bis 33,80 kg, bei Braunkohle 17,8 kg Sulfat pro Tonne. Bei einem Stickstoffgehalt des Torfes von 1,25 Proz. deckt der Gewinn aus dem Ammoniak die Herstellungskosten des Kraftgases. Die Zusammensetzung des Gases ist nach Habers Angaben:

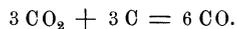
Kohlenoxyd . . . . .	11,0 Proz.
Kohlensäure . . . . .	16,5 "
Wasserstoff . . . . .	27,5 "
Methan . . . . .	3,0 "
Stickstoff . . . . .	42,0 "
Heizwert . . . . .	1506 Kal.

## 59. Hochofengas und regenerierte Verbrennungsgase.

In den Hochöfen wird Eisenerz durch Kohle reduziert. Das Eisenerz besteht im wesentlichen aus Eisenoxyd, und die Kohle nimmt den Sauerstoff aus dem Oxyd auf, wobei das Eisen frei wird. Die Einwirkung des Kohlenstoffes auf das Eisenerz ist jedoch keine direkte; beim Einblasen von Luft in den Hochofen bildet sich zunächst Kohlenoxyd, welches dann den Sauerstoff aus dem Eisenoxyd aufnimmt, gemäß der Gleichung:



Die auf diese Weise entstehende Kohlensäure wird dann in der hohen Temperatur, welche im Hochofen herrscht, von weiterem Kohlenstoff wieder reduziert zu Kohlenoxyd, nach der Gleichung:



Auf diese Weise findet ein fortwährender Wechsel zwischen Kohlensäure und Kohlenoxyd statt, und es stellen sich Gleichgewichtszustände ein, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann.

Die dem Hochofen entweichenden Gase enthalten dementsprechend Kohlenoxyd, Kohlensäure, ferner den ganzen Stickstoffgehalt der eingeblasenen Luft. Da die eingeblasene Luft auch Wasserdampf enthält, so wird dieser in dem Hochofen zu Wasserstoff reduziert, welcher ebenfalls im Hochofengase auftritt. Ferner ist in demselben überschüssiger Wasserdampf, schweflige Säure aus dem Brennmaterial, ferner Mangan und Zink in Dampfform aus dem Brennmaterial, Alkalien und Staub enthalten<sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasvereins 1910, S. 510. — <sup>2)</sup> Ebend., S. 294; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 421. — <sup>3)</sup> Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde 1904, S. 307.

Auf die Wichtigkeit der Anwendung des Hochofengases zum Motorenbetriebe wurde von Lürmann<sup>1)</sup> bereits im Jahre 1886 hingewiesen; aber erst im letzten Jahrzehnt ist diese Anwendung zu einer umfangreichen geworden.

Zur Erzeugung von 100 kg Roheisen sind 614 kg Luft erforderlich<sup>2)</sup>. Bei der Erzeugung von 1 t Roheisen werden 4500 m<sup>3</sup> Hochofengas, auch „Gichtgas“ genannt, mit je 850 Kal. Heizwert pro Kubikmeter gewonnen<sup>3)</sup>. Von den entstehenden Gasen wird ein Teil zur Beheizung der Winderhitzer benötigt. Es bleibt jedoch noch ein Überschuß von 2000 m<sup>3</sup> Gas, die zum Motorenbetrieb verwendet werden können. In den letzten Jahrzehnten ist diese Anwendung in umfangreicher Weise erfolgt und sind Großgasmotoren konstruiert worden, welche 1000 PS und mehr in einer Maschine leisten, so daß ein großer Teil des Kraftbedarfs einer Hochofenanlage durch das Hochofengas gedeckt wird. Entsprechend dem Heizwert des Gases sind für die PS-Stunde etwa 3,5 m<sup>3</sup> Gas erforderlich. Bei der Erzeugung von 1 t Roheisen stehen somit zur Verfügung 2000 : 3,5 = etwa 600 PS-Stunden, dies ergibt bei einer Tageserzeugung von 100 t Roheisen eine beständige Kraftleistung von 2400 PS.

Die Zusammensetzung des Hochofengases schwankt innerhalb weiter Grenzen, je nach den Umständen, unter welchen der Ofen betrieben wird. Diese Grenzen sind etwa folgende:

CO <sub>2</sub> . . . . .	5	—16	Proz.
CO . . . . .	20	—32	„
H <sub>2</sub> . . . . .	0,1—	6	„
CH <sub>4</sub> . . . . .	0,2—	3	„
Heizwert . . . . .	850—	1100	Kal. pro Kubikmeter.

Der Druck des Gases an der Gicht beträgt je nach den Umständen 90 bis 150 mm Wassersäule. Die Temperatur der Gase an dieser Stelle beträgt 200 bis 250° C.

Die Hochofengase enthalten eine beträchtliche Menge von Flugstaub, welcher abgeschieden werden muß, wenn das Gas zum Motorenbetrieb verwendet werden soll. Früher verwendete man das Hochofengas nur zur Beheizung der Dampfkessel und für diesen Zweck war die Abscheidung des Flugstaubes nur in oberflächlicher Weise erforderlich. Man erreichte dies, indem man die Hochofengase in zickzackförmigen Rohren auf und ab leitete, wobei sich an den tiefsten Stellen der Flugstaub ablagerte und durch entsprechende Reinigungsöffnungen entfernt werden konnte. Man verwendete auch große zylindrische, mit Schamotte ausgefüllte Hohlkörper, in welchen sich die Geschwindigkeit der Gase entsprechend verminderte, so daß sich der Flugstaub absetzen konnte. Für den Motorenbetrieb ist jedoch, wie gesagt, eine solche Reinigung ungenügend; sie entfernt nämlich den Flugstaub nur bis auf etwa 0,6 bis 1,6 g pro Kubikmeter. Für den Motorenbetrieb darf dagegen das Gas nur einige Milligramme Flugstaub pro Kubikmeter enthalten.

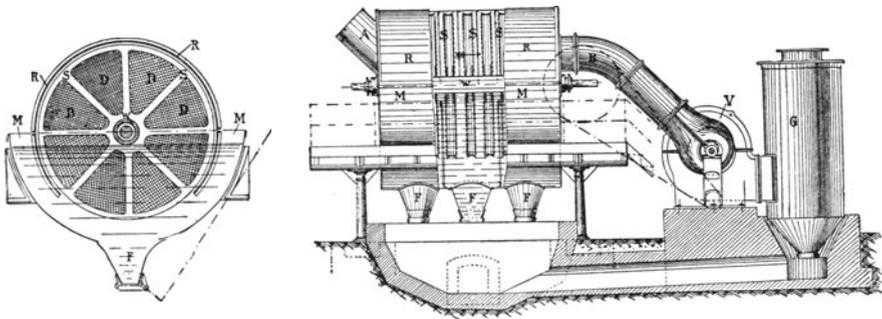
Diese Reinigung wird entweder durch ein Sägemehlfilter bewirkt, wie wir dies bereits bei Besprechung des Halbwassergases (S. 751) kennen gelernt haben, oder es werden rotierende Wäscher nach Art der Theissen-

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. Ver. D. Ing. 1886, S. 702. — <sup>2)</sup> v. Ihering, Die Gasmaschinen, S. 31. — <sup>3)</sup> Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde 1904, S. 307.

Reiniger (S. 744) verwendet, bei denen das Gas in rasche Rotation versetzt wird, so daß die festen Teilchen des Flugstaubes durch die Zentrifugalkraft nach außen geschleudert werden und sich an der Wand ansetzen, bzw. mit dem gleichzeitig eingespritzten Wasser ausgespült werden. Von den Gasmotorenfabrikanten wird gewöhnlich ein Gas von nicht mehr als 0,02 g Staubgehalt pro Kubikmeter verlangt.

Außerdem müssen die Hochofengase auch gekühlt werden, bevor sie zum Gasmotorenbetrieb dienen können; man kühlt sie gewöhnlich bis auf 25° C ab. Die Kühlung erfolgt meistens in großen Skrubbern mit irgendwelchen Einlagen (vgl. S. 427) durch direkte Berieselung mit Wasser. In derartigen Skrubbern, die bis zu 26 m Höhe gebaut und von denen öfters mehrere hintereinander geschaltet werden, wird der Staubgehalt des Gases auf 0,5 bis 2 g pro Kubikmeter herabgesetzt<sup>1)</sup>. Die Skrubber sind unten meistens offen und tauchen in Wasserbassins ein, aus welchen der Flugstaub als Schlamm herausgekratzt werden muß. Das abfließende Wasser ist stark verunreinigt und man kann es gewöhnlich nicht direkt in Flußläufe

Fig. 324.



abfließen lassen; es muß vielmehr Klärbassins passieren, was mit Rücksicht auf die großen Wassermengen, welche hier in Frage kommen, eine Schwierigkeit darstellt. Das Gas durchstreicht zunächst einen Trockenreiniger, in welchem sich durch Verringerung der Geschwindigkeit eine große Menge Staub absetzt, dann die Gaswäsche und schließlich gelangt es zu einem Zentrifugalreiniger, in welchem der letzte Rest des Staubes herausgeschleudert wird. Die Betriebskosten einer solchen Anlage stellen sich auf 7,6 ₤ pro 1000 m<sup>3</sup> Hochofengas.

Eine besondere Art der Reinigung und gleichzeitigen Kühlung des Hochofengases ist in neuerer Zeit von Bian angegeben worden. Ein solcher Reiniger wirkt ähnlich wie ein Standardwäscher (vgl. S. 433); er ist in Fig. 324 dargestellt. Eine Anzahl von Scheiben, deren Gerippe aus Gußeisen hergestellt ist und welche mit einem Drahtnetz von 1 cm Maschenweite überzogen sind, sitzen an einer gemeinsamen Welle und tauchen zur Hälfte in Wasser ein, das sich in der Mulde M befindet. Die Scheiben sind von einem zylindrischen Blechmantel R umgeben, so daß zwischen diesem und den Scheiben B nur wenig Spielraum frei bleibt. Die Scheiben rotieren innerhalb des Mantels und werden somit stets mit Wasser befeuchtet. Das Hochofengas

<sup>1)</sup> Stahl und Eisen 1906, S. 27.

passiert den Reiniger in der Richtung der Trommelachse und wird gleichzeitig gekühlt und gewaschen. Die Abscheidung des Staubes wird dadurch beschleunigt, daß sich während der Kühlung Wassertröpfchen abscheiden, die den Staub mit niederschlagen. Die Reinigung erfolgt bis auf etwa 0,5 g pro Kubikmeter, sie ist also für die gewöhnlichen Anwendungszwecke des Hochofengases genügend, während dann der Teil des Gases, welcher zum Gasmotorenbetriebe angewendet wird, durch andere Apparate noch weiter gereinigt wird.

Die Zusammensetzung eines Staubes bei der Erzeugung von Thomasroheisen gibt nachstehendes Beispiel<sup>1)</sup>:

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	16,38 Proz.	FeO . . . . .	2,11 Proz.
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> . . . . .	46,72 "	CaO . . . . .	11,50 "
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,46 "	SiO <sub>2</sub> . . . . .	9,79 "
MnO . . . . .	0,35 "	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	6,62 "

Das Hochofengas enthält beträchtliche Mengen von Kohlensäure und hat dementsprechend einen verhältnismäßig geringen Heizwert.

Es ist jedoch möglich, den Kohlensäuregehalt desselben durch Reduktion mittels Kohlenstoff herabzusetzen und demgemäß den Heizwert zu steigern, gemäß der uns bereits bekannten Gleichung  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO} - 39,2 \text{ Kal.}$  Dieser Vorgang ist jedoch mit Wärmeverlusten verbunden und dementsprechend muß die Wärme zeitweise ersetzt werden. Man kann dies in der Weise machen, daß man das Gas durch einen Generatorschacht hindurchleitet, der mit glühendem Koks gefüllt ist und zeitweise durch Warmblasen wieder erhitzt wird. Auf diese Weise läßt sich der Heizwert des Hochofengases wesentlich steigern, allerdings nur unter Aufwendung von neuem Brennmaterial, so daß dieses Verfahren nur dort Anwendung finden kann, wo es notwendig ist, ein Gas von höherem Heizwert zu erzielen.

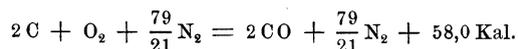
In der gleichen Weise können auch Verbrennungsgase, die gar keine brennbaren Stoffe mehr enthalten, sondern nur Kohlensäure, Wasserdampf und Stickstoff, durch Überleiten über glühenden Koks regeneriert werden, indem sowohl die Kohlensäure wie auch der Wasserdampf zu Kohlenoxyd und Wasserstoff reduziert werden. Diese Regenerierung kann entweder erfolgen, wie dies bei der Verwendung des reinen Wasserdampfes der Fall ist, durch abwechselndes Warmblasen eines Generators und Überleiten der Verbrennungsprodukte, oder der Wärmeersatz kann stattfinden, indem man neben den Verbrennungsgasen gleichzeitig auch Luft in den Generator einbläst, wie dies beim Halbwassergasprozesse (S. 726) erläutert ist.

Hätten wir z. B. aus reinem Kohlenstoff gewonnene Verbrennungsgase von 21 Proz. Kohlensäuregehalt und 79 Proz. Stickstoffgehalt, so würde sich die Sache wie folgt stellen:

Die Reduktion dieses Gases erfolgt nach der Formel



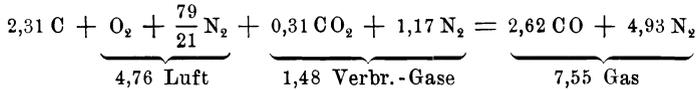
Zum Ersatz dieser Wärme muß Kohlenstoff verbrannt werden zu Kohlenoxyd nach der Formel



<sup>1)</sup> Stahl und Eisen 1903, S. 735.

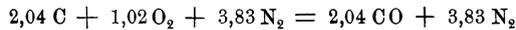
Die erstere Gleichung muß also  $\frac{58,0}{39,2} = 1,49$  mal stattfinden, wenn die zweite Gleichung einmal vor sich geht, damit Wärmeausgleich stattfindet.

Daraus resultiert die Formel

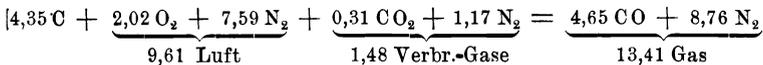


Es entstehen also aus 4,76 Vol. Luft und 1,48 Vol. Verbrennungsgasen 7,55 Vol. regenerierte Verbrennungsgase. Aus 2,31.12 kg C ergeben sich also 7,55.22,3, d. h. 169 m<sup>3</sup> Gas, welche bei einer spezifischen Wärme von 0,31 und bei einer Abgangstemperatur von 700° C 36,0 tausend Kal. abführen. Dazu kommen noch, wie wir dies bei Halbwassergas angenommen haben, an Strahlung 23,0; Summe 59,0 tausend Kal. Wärmeentgang.

Um diesen Wärmeentgang zu decken, muß neuerdings Kohlenstoff mit Luft zu Kohlenoxyd verbrannt werden, und da für 2 Atome Kohlenstoff nur 58 tausend Kal. frei werden, so muß dieser Vorgang 59/58, d. i. 1,02 mal stattfinden. Wir haben also neben der obengenannten Gleichung noch hinzuzufügen,



und es resultiert aus der Zusammenziehung der beiden zuletzt genannten Gleichungen



oder es resultieren aus 9,61 Vol. Luft und 1,48 Vol. Verbrennungsgasen 13,41 Vol. regenerierte Verbrennungsgase.

In Prozenten gerechnet, ergibt sich die Zusammensetzung des Gases:

$$\text{Kohlenoxyd} \quad \frac{4,65}{13,41} \cdot 100 = 34,7 \text{ Proz.}$$

$$\text{Stickstoff} \quad \frac{8,76}{13,41} \cdot 100 = 65,3 \quad "$$

Die Zusammensetzung des Gases ist also dieselbe, als wenn Kohlenstoff in Luft direkt zu Kohlenoxyd verbrannt wäre.

Der Heizwert dieses Gases beträgt  $0,347 \times 3050 = 1060$  Kal.

Aus 1 kg Kohlenstoff werden gewonnen

$$\frac{13,41 \cdot 22,3}{4,35 \cdot 12} = 5,62 \text{ m}^3 \text{ Gas,}$$

oder in Form von Gasheizwert werden aus 1 kg Kohlenstoff gewonnen:

$$5,62 \cdot 1060 = 5960 \text{ Kal.},$$

dementsprechend ergibt sich ein Nutzeffekt von

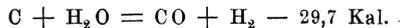
$$\frac{5960}{8100} \cdot 100 = 73,7 \text{ Proz.}$$

Der Nutzeffekt ist also unter den obigen Annahmen, daß die Gase mit 700° C entweichen und die Strahlung die angenommene Größe habe, ein ungünstiger als bei der Erzeugung von Halbwassergas (gemäß S. 731).

Die Regenerierung der Verbrennungsgase hat vor der Erzeugung des Halbwassergases nur den Vorteil, daß kein Brennmaterial zur Erzeugung des Dampfes erforderlich ist, jedoch entfällt dieses auch bei der Halbwassergaserzeugung, wenn man die Wärme der Abgase zur Wasserverdampfung ausnutzt. Die Regeneration der Verbrennungsgase wird also nur unter besonderen Verhältnissen zweckmäßig sein. Jedenfalls ergibt sie einen besseren Nutzeffekt als die einfache Verbrennung des Kohlenstoffes mit Luft zu Kohlenoxyd, weil in diesem letzteren Falle eine größere Menge der Wärme im Generator entwickelt wird und von dort aus durch Strahlung oder in Form von Wärme der Abgase verloren geht und dabei eine geringere Menge von Kohlenoxydgas gewonnen wird, als wenn man gleichzeitig Verbrennungsgase einleitet, welche die Temperatur im Generator herabsetzen und dafür auch noch Kohlenoxydgas liefern.

## 60. Wassergas.

Felice Fontana entdeckte im Jahre 1780 die Einwirkung der glühenden Kohle auf Wasserdampf und erzeugte im Laboratorium Wassergas, indem er Wasserdampf durch ein Rohr, welches mit glühender Kohle gefüllt war, leitete. Die Zerlegung des Wasserdampfes erfolgte dabei in der Weise, daß sich Sauerstoff abspaltete und mit Kohlenstoff zu Kohlenoxyd verband, während der Wasserstoffgehalt des Wasserdampfes gleichzeitig frei wurde, und zwar nach der Formel:



Die Entdeckung des Wassergases reicht also weiter zurück als die ersten Versuche, die Murdoch mit der Erzeugung des Steinkohlengases machte. So außerordentlich einfach jedoch dieser Prozeß erscheint, brauchte er doch lange Zeit, ehe derselbe in die Praxis eingeführt wurde. Zunächst versuchte man, den Kohlenstoff in geschlossenen Räumen, in Retorten oder dgl., von außen zu erhitzen und Wasserdampf hindurchzuleiten. Dieses Verfahren erwies sich jedoch als unbrauchbar; allerdings wurden nach dieser Methode größere Versuche unternommen, so z. B. errichtete Donovan 1830 in Dublin die erste größere, praktischen Zwecken dienende Wassergasanlage, welche nach diesem Verfahren arbeitete. Zur Beleuchtung wurde dieses Gas benutzt, indem Körbchen aus Platindrahtnetz, welche eine ähnliche Form hatten, wie die heutigen Glühkörper, für die Gasglühlichtbeleuchtung dienten, die mit der Wassergasflamme erhitzt wurden. Man nannte daher damals dieses Gas auch Platingas. Gillard in Paris hatte diese Beleuchtung bereits im Jahre 1846 verwendet und eine Stadt im Süden von Frankreich, Narbonne, war in den Jahren 1856 bis 1865 auf diese Weise beleuchtet.

Dieses Verfahren konnte sich deshalb nicht auf die Dauer halten, weil die Abkühlung, welche der Kohlenstoff erfährt, wenn Wasserdampf durch die Retorte hindurchgeleitet wird, eine sehr starke ist. Der obengenannte Prozeß ist nämlich, wie schon aus der Gleichung hervorgeht, ein wärmeverbrauchender und der Ersatz dieser Wärme durch die Retortenwandungen hindurch und durch die ganzen Schichten des glühenden Materials hindurch ist ein zu langsamer. Allerdings muß auch während der Entgasung der Kohle bei der Steinkohlengaserzeugung die Wärme, welche zur Erhitzung der Kohle notwendig ist, durch die Retortenwandungen und durch das Brenn-

material hindurchdringen. Bei der Steinkohlengaserzeugung jedoch ist nur eine einmalige Erwärmung erforderlich und der Wärmeverbrauch der Entgasung der Kohle ist ein außerordentlich geringer. Anders ist dies beim Wassergasprozeß. Hier ist eben der Wärmeverbrauch ein so großer, daß in der Retorte eine außerordentlich rasche Abkühlung der Kohle stattfindet, wenn man Wasserdampf hindurchleitet. Bei niedriger Temperatur aber bildet sich außer Kohlenoxyd viel Kohlensäure und ferner geht viel unzersetzter Dampf durch die Retorte hindurch, wodurch wieder Wärme entführt wird, so daß dadurch noch eine größere Abkühlung stattfindet als der oben genannten Gleichung entsprechen würde.

Kirkham war der erste, welcher ein Verfahren angab, das die Wärmezufuhr zu dem Brennmaterial in anderer Weise besorgt und das heute bei der Wassergaserzeugung ausschließlich angewendet wird. Es ist dies die Erwärmung des Brennmaterials durch das Darüberleiten von Luft, also die Verbrennung des Brennmaterials selbst zum Zwecke der eigenen Erwärmung. Das Kirkhamsche Verfahren der Wassergaserzeugung wird also in der Weise ausgeführt, daß das Brennmaterial durch Überleiten von Luft auf die erforderliche Temperatur gebracht wird, damit dann Wasserdampf hindurchgeleitet werden kann, wobei die Temperatur unter Zersetzung des Wasserdampfes zu Wassergas wieder abnimmt. Es muß dann ein neuerliches Warmblasen erfolgen, um wieder durch Einblasen von Dampf Gas machen zu können usw. Durch das Kirkhamsche Verfahren ist also das abwechselnde Blasen und Gasen gegeben, welches heute noch bei allen Wassergasanlagen angewendet wird.

Beim Warmblasen eines Generators, in welchem sich Kohlenstoff als Brennmaterial befindet, entsteht jedoch nicht nur Kohlensäure, sondern bei höheren Temperaturen, wie wir auf S. 322 gesehen haben, auch Kohlenoxyd und unter Umständen sogar nur Kohlenoxyd. In diesem Falle wird während des Warmblasens viel weniger Wärme aufgespeichert, weil die Verbrennungswärme des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd eine wesentlich geringere ist als bei der Verbrennung zu Kohlensäure. Dagegen ist das beim Warmblasen erhaltene Kohlenoxyd als Generatorgas (S. 720) noch brennbar und es ist daher möglich, die Verbrennungswärme desselben in irgend einer Weise auszunutzen. Strong war der erste, welcher die Verbrennungswärme des Generatorgases in einem Regenerator ausnutzte, indem er das Generatorgas durch Zufuhr von Sekundärluft verbrannte und die dabei entstehende Wärme in einem mit Schamottesteinen ausgesetzten zylindrischen Mantel (Regenerator) aufspeicherte und zur Dampfüberhitzung verwendete.

Versuche mit derart konstruierten Apparaten wurden dann in Deutschland und Österreich in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts ausgeführt und Quaglio setzte sich energisch für die Anwendung des Wassergasprozesses in der Praxis ein. Die Anwendung des Gases zur Beleuchtung schien damals allerdings noch nicht sichergestellt, denn die Anwendung der Platindrahtnetze erwies sich als viel zu teuer und die Anwendung des Wassergases für das Drumondsche Kalklicht, womit der Westbahnhof in Wien eine Zeitlang versuchsweise beleuchtet war, brachte den Übelstand mit sich, daß außer der Wassergasanlage noch eine Anlage zur Erzeugung von Sauerstoff erforderlich war. In Amerika dagegen setzte man große Hoffnungen auf die Anwendung des Wassergases für Beheizungs Zwecke. Man dachte

daran, jede beliebige Kohle, und auch Steinkohle in Wassergas überzuführen und dadurch Gasbeheizungszentralen schaffen zu können. Dem stellten sich jedoch mannigfache Schwierigkeiten entgegen. Für die Anwendung von Kohle an Stelle des früher ausschließlich verwendeten Koks mußten erst besondere Apparate konstruiert werden und wurden solche erst später gefunden (vgl. S. 851); das Bedürfnis nach Heizgaszentralen war damals noch nicht so entwickelt, die Vorzüge der Gasheizung waren noch nicht so bekannt, daß eine weitere Entwicklung der Anwendung des Wassergases auf dieser Grundlage hätte stattfinden können.

In Amerika dagegen ging Lowe daran, das Wassergas durch Zumischung von Ölgas zu carburieren und dadurch zu einem Gas zu machen, welches mit selbstleuchtender Flamme brennt, nachdem Jobard in Brüssel und Selligie in Frankreich die Carburierung des Wassergases bereits erprobt hatten. Lowe verwandte das beim Warmblasen entstehende Generatorgas, um einen Regenerator unter Zuführung von Sekundärluft zu beheizen und in diesen spritzte er dann während der Gaserzeugung Öl ein, das zuerst verdampft und dann an den heißen Schamottesteinen zu Ölgas umgesetzt wurde, welches sich dem hindurchstreichenden Wassergas beimischte. Man erhielt so das carburierte Wassergas, welches, nachdem im Jahre 1871 die erste Lowesche Anlage in Phönixville in Amerika ausgeführt worden war, seinen Siegeszug um die ganze Welt antrat. Das Lowesche Verfahren wurde in Amerika von Granger und anderen verbessert, und in umfangreicher Weise angewendet, so daß bereits am Ende des vorigen Jahrhunderts über 300 Städte mit dem carburierten Wassergas beleuchtet waren. In Amerika lagen die Verhältnisse diesbezüglich allerdings außerordentlich günstig. Man war dort bei der Erzeugung des Wassergases nicht auf den Koks allein angewiesen, sondern man fand in dem Anthracit ein vorzügliches Brennmaterial, welches sich im Generator ebenso verhält wie Koks, da Anthracit im wesentlichen aus Kohlenstoff besteht, und bei der Erhitzung nur ganz geringe Mengen von Destillationsgasen abgibt. Ferner aber hatte man in Amerika die unermesslichen Vorräte an Mineralölen zur Verfügung, welche die billige Carburierung des Wassergases ermöglichten.

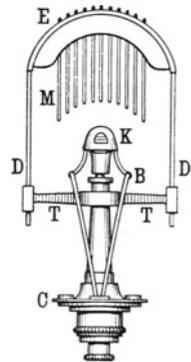
Da die Verhältnisse in Europa nicht so günstig lagen, kam das carburierte Wassergas erst 1890 nach England. In Deutschland hatte man sich mittlerweile bemüht, den Prozeß der Erzeugung des uncarburierten Wassergases weiter auszubilden und den örtlichen Verhältnissen anzupassen. Blass in Essen war es, der sich diesbezüglich hervorragende Verdienste erwarb. Er führte die Anwendung eines Kühlringes im Unterteil des Generators ein (vgl. S. 827) und ermöglichte dadurch, im Unterteil des Generators wesentlich höhere Temperaturen einzuhalten und dadurch eine vollkommeneren Dampferzeugung zu erzielen als dies bei anderen Apparaten möglich war, ebenso ermöglichte dies auch die Einhaltung des Gegenstromprinzips beim Warmblasen und Gasen in der Weise, daß man die Luft stets von unten einblies, während der Dampf stets nur von oben nach unten eingeleitet wurde. Dadurch war eine bessere Wärmeausnutzung bedingt, denn der Dampf konnte sich an den kühleren Schichten des oberen Teiles des Generators stark vorwärmen, ehe er in die eigentliche Zersetzungszone gelangte. Das Blasssche Verfahren wurde von der Europäischen Wassergas-A.-G. verwertet, welche zuerst in Dortmund, später in Essen ihren Sitz aufschlug. Das er-

zeugte Gas wurde allerdings damals in Deutschland nicht zur Beleuchtung, sondern ausschließlich zum Zweck des Heizens verwendet. Sehr große Wassergasanlagen nach diesem System wurden bei der Firma Schulz-Knaut in Essen und in Hörde errichtet. Die letztere Anlage wurde dann von der Firma Thyssen u. Co. in Mülheim a. R. übernommen und steht noch heute dort in vollem Betrieb.

Die Firma Pintsch in Fürstenwalde bei Berlin übernahm die Ausführung dieser größeren Apparate, während die Warsteiner Gruben- und Hüttenwerke die kleineren Typen derselben baute. Auch in der Fabrik der Firma Julius Pintsch in Fürstenwalde wurde die Wassergasschweißerei eingerichtet, und hier war es Ingenieur Dicke, welcher das Schweißverfahren ausbildete.

Es wurden dann auch größere Versuche unternommen, das Wassergas als Mittel zur Beheizung und zur Beleuchtung einzuführen. Das nicht carburierte Wassergas, welches nur aus Kohlenoxyd und Wasserstoff besteht, brennt ja mit einer nicht leuchtenden blauen Flamme, jedoch ist die Temperatur derselben eine sehr hohe und man kann daher Glühkörper in ihr zum Glühen erhitzen. Wir haben schon von den Platindrahtnetzen gesprochen, welche in Narbonne zur Beleuchtung verwendet wurden. Da diese aber zu teuer waren, so hatte Fahnehjelm einen Glühkörper geschaffen, welcher in Fig. 325 dargestellt ist. Dieser bestand aus zwei Reihen nebeneinander gestellter, etwa 1 bis 2 mm starker zylindrischer Magnesiastäbchen *M*, die in einem eisernen Bügel *E* mittels Ton eingekittet waren, wie dies die Zeichnung zeigt. Durch die Halter *D*, welche an dem Träger *T* befestigt waren, war dieser sogenannte Magnesiakamm leicht auswechselbar. Die Magnesiakämme gaben ein sehr weißes Licht, welches jedoch sehr fahl erschien. Es ist daher später verbessert worden, indem die Stäbchen mit Chromsalzen imprägniert

Fig. 325.



wurden. Dadurch wurde ihre Leuchtkraft eine wesentlich höhere und außerdem war das Licht ein schöneres, hell glänzendes. Wegen der Giftigkeit des Wassergases brachte man dann noch eine Sicherheitsvorrichtung an, die ein Ventil, welches von der mit einer leicht siedenden Flüssigkeit gefüllten Kapsel *C* betätigt wurde, nur dann öffnete, wenn der Bügel *B* vermittelt der Kappe *K* durch die Flamme erwärmt wurde. Beim Entzünden des Brenners wurde diese Kapsel zunächst mit dem Streichholz erwärmt. Die dem Schweden Fahnehjelm im Jahre 1883 patentierte Erfindung des Magnesiakammes ist in der genannten Zeichnung in ein Viertel der natürlichen Größe dargestellt. In Deutschland wurden die Warsteiner Tropfsteinhöhlen mittels dieser Brenner mit Wassergas beleuchtet, und in Österreich wurde eine sehr große Anlage in den Witkowitz Eisenwerken errichtet, welche zum Betriebe der Siemens-Martinöfen bestimmt war, aber auch gleichzeitig das Werkshotel mit Wassergas beheizte und dort ebenso die Beleuchtung besorgte. Diese Anlage bewährte sich jedoch nicht, einestheils, weil für den Betrieb der Siemens-Martinöfen die Wassergasflamme eine zu heiße war, so daß die feuerfesten Materialien derselben nicht standhalten konnten, ferner aber, weil man das an sich nicht riechende Wassergas damals noch mit keinem Riechstoff versehen hatte und demzufolge Unglücksfälle vorkamen. Schließlich aber

war es auch eine Unreinheit, die im Wassergas enthalten war, welche die genannten Magnesiaglukörper bald mit einem braunen Belag überzog, so daß sie ihre Leuchtkraft verloren.

Zunächst war es nun ein Gebot der Notwendigkeit, dem Gase einen Riechstoff beizugeben, damit man Ausströmungen unverbrannten Gases rasch wahrnehmen konnte. Das Merkaptan, ein geschwefelter Alkohol von der Formel  $C_2H_5SH$  erwies sich als zweckmäßiges Parfümierungsmittel. Den richtigen Aufschwung jedoch konnte die Beleuchtung mit uncarburiertem Wassergas erst dann nehmen, nachdem Auer von Welsbach die Erfindung seines Gasglühstrumpfes in die Praxis eingeführt hatte.

Das Wassergas schien, wie kaum ein anderes Gas berufen, zum Betriebe des Gasglühlichtes zu dienen, und in der Tat hatte auch Auer seine ersten Versuche im Wiener Universitätslaboratorium mit Wassergas ausgeführt. Er ging jedoch sehr bald auf die Verwendung des überall zur Verfügung stehenden Steinkohlengases über und erst im Jahre 1893 ging der Verfasser dieses Buches daran, geeignete Brenner zu konstruieren, welche zum Betrieb der Auerschen Glühkörper mittels Wassergas geeignet waren. Es stellten sich jedoch zunächst Schwierigkeiten ein, indem das Gas, wie bereits erwähnt, eine Verunreinigung enthielt, die bei der Verbrennung braunes Eisenoxyd lieferte, welches nicht nur den Fahnehjelmischen, sondern auch den Auerschen Glühkörpern sehr bald die Leuchtkraft vollständig nahm. Es zeigte sich, daß das Gas eine dampfförmige Eisenverbindung enthielt, welche entsteht, wenn Kohlenoxyd bei einer Temperatur von etwa  $100^{\circ}C$  über metallisches Eisen streicht. Diese Eisenverbindung — Eisenkohlenoxyd oder Eisencarbonyl — findet sich allerdings nur in sehr geringen Mengen im Wassergas. Es ist eine dampfförmige Verbindung [wahrscheinlich  $Fe(CO)_5$ ], welche im reinen Zustande flüssig ist, jedoch schon bei  $103^{\circ}$  siedet und bei der Verbrennung Eisenoxyd liefert. Ist in dieser Form nur 1 mg Eisen im Kubikmeter Wassergas enthalten, so ist dasselbe zum Betriebe von Glühkörpern unbrauchbar. Das Eisenoxyd lagert sich auf dem Glühkörper ab und nimmt demselben seine Leuchtkraft. Der Verfasser entfernte diese gasförmige Eisenverbindung aus dem uncarburierten Wassergas durch Waschen desselben mit konzentrierter Schwefelsäure; auf diese Weise gereinigt, hielten die Auerschen Glühkörper noch besser ihre Leuchtkraft bei, wie mit Steinkohlengas, und der Lichteffect war ein außerordentlich günstiger, da die Flamme des Wassergases außerordentlich heiß ist. Ebenso zeigte sich auch bei den Fahnehjelmischen Glühkörpern nach der Einführung dieser Reinigung eine viel bessere Leuchtkraft und eine längere Lebensdauer. Im Jahre 1893 wurde bereits eine Straße in Wien-Gaudenzdorf mit Wassergasglühlicht versehen und im Jahre 1895 gab die Stadt Radkersburg in Steiermark der Akt.-Gesellsch. für Wasserleitungen, Beleuchtungs- und Heizungsanlagen in Wien die Konzession zur Einführung der Wassergasglühlichtbeleuchtung.

Leider wurde dort die genannte Reinigung nicht eingeführt, und ebenso wurden die neuesten Verbesserungen der Wassergasapparate nicht angewendet, so daß kurze Zeit nachher ein Umbau der Anlage stattfinden mußte.

Die Parfümierung des Gases mit Merkaptan erwies sich als kostspielig und außerdem war der Geruch desselben in größerer Verdünnung ein lauchähnlicher und für Gas zu wenig charakteristisch. Der Verfasser schlug daher vor, das Carbylamin, ein außerordentlich stark riechender Körper, welcher

den Chemikern bereits seit langem wohl bekannt war, zur Parfümierung des Wassergases zu verwenden. Dieses wurde jedoch durch geringe Mengen von Schwefelwasserstoff, die manchmal bei der Reinigung im Gase verblieben, zerstört, und somit mußte Umschau nach einem anderen Riechmittel gehalten werden. Dasselbe wurde in den Kohlenwasserstoffen gefunden, welche bei der Komprimierung des Ölgases zur Abscheidung gelangen und die einen außerordentlich penetranten und an Gas erinnernden Geruch besitzen.

Dieses Mittel wurde zuerst vom Wassergaswerk Radkersburg eingeführt und ging unter dem Namen Carbialin auch auf die anderen, später errichteten Wassergasanlagen, welche uncarburiertes Gas an Konsumenten verteilten, über.

In Radkersburg war auch ein Krankenhaus vollständig mit Gasheizung eingerichtet worden, doch bewährte sich dieselbe nicht, einesteils, weil zu dieser Zeit die genannten Übelstände im Betriebe des Wassergaswerkes noch nicht behoben waren, andererseits aber auch, weil dort keine zweckmäßigen Gasheizöfen verwendet wurden.

Schon vorher aber wurde in der Nervenheilstation Kahlbaum in Görlich von Julius Pintsch in Berlin eine komplette Zentralheizungsanlage mit Wassergasbetrieb eingerichtet, welche dauernd gut funktionierte. Es ist also dort der Beweis erbracht worden, daß die Mißerfolge der Zentralheizung in Radkersburg nur auf Fehler in der Anlage zurückzuführen waren.

Im Jahre 1897 wurde ein Teil des allgemeinen Krankenhauses in Wien mit Wassergasbeleuchtung versehen und wurden dort gleichzeitig die Laboratorien mit Wassergasheizung versorgt. Hier kam ein Verfahren der Wassergaserzeugung aus Steinkohle oder Braunkohle, welches vom Verfasser angegeben war (D. R.-P. Nr. 90 747), zum ersten Male zur praktischen Anwendung. Zu dieser Zeit jedoch war noch das Carbylamin in Verwendung, welches, wie erwähnt, durch Nachlässigkeit im Betriebe der Reinigung zufolge von Spuren von Schwefelwasserstoff zerstört wurde, so daß Ausströmungen manchmal nicht wahrgenommen werden konnten. Zuzufolge dieses Umstandes und weil auch eine Wassergasanlage mit so geringem Konsum schließlich bei entsprechender Herabsetzung des Preises mit der städtischen Gasanstalt nicht mehr konkurrieren konnte, wurde dort wieder auf das Steinkohlengas zurückgegriffen, nachdem die Anlage durch vier Jahre ohne Störung gearbeitet hatte.

Mittlerweile und zwar im Jahre 1898 entschloß sich jedoch die Gemeinde Pettau in Steiermark, eine Wassergasanlage für die Beleuchtung mit uncarburiertem Wassergas und Gasglühlicht nach dem System des Verfassers zu errichten und auf eigene Rechnung zu betreiben. Dieses System gründete sich auf die Erzeugung des Wassergases aus bituminöser Kohle (in Pettau wird die billige steirische Braunkohle verwendet), auf die Parfümierung, die Reinigung und auf die ebenfalls vom Verfasser konstruierten Wassergasbrenner. Diese Anlage steht heute bereits im 14. Jahre ihres Betriebes und funktioniert nach wie vor ohne allen Tadel.

In Deutschland wollte man die Beleuchtung mit Wassergasglühlicht ebenfalls einführen, beachtete jedoch leider die Erfahrungen nicht, die in Österreich gewonnen waren. Namentlich der Gehalt des Gases an jener Eisenverbindung (S. 776) war nicht beachtet worden und verursachte mannigfache Mißerfolge, so z. B. in den Fahrradwerken Evertsbusch in Lennep und in Osterfelde i. W., ferner auch in Wiborg (Finnland). Diese Mißerfolge brachten die Beleuchtung mit uncarburiertem Wassergas in Deutschland in

Mißkredit und das Mißtrauen konnte durch die späteren Erfolge, die z. B. mit dem Verfahren des Verfassers in Milspe erzielt wurden, nicht gänzlich beseitigt werden, obwohl die letztere Anlage im Jahre 1903 errichtet wurde und auch heute noch in ungestörtem Betriebe steht.

In den folgenden Jahren wurde eine beträchtliche Anzahl von städtischen Wassergasanlagen errichtet, welche alle ausschließlich mit uncarburiertem Gas und Gasglühlicht arbeiteten und noch heute arbeiten. Es sind dies außer den erwähnten Anlagen in Radkersburg und Pettau: Rzeszow in Galizien, die Universität in Czernowitz, Schloßhof in Niederösterreich, Chimay in Belgien, Oderberg in Schlesien, Broni und Casteggio in Italien, Pirano in Istrien. Es muß an dieser Stelle hervorgehoben werden, daß es als eine Ungerechtigkeit gegenüber dieser neuen Beleuchtungsart betrachtet werden muß, daß sie, die doch immerhin schon eine beträchtliche Ausdehnung gewonnen hat, in keinem einzigen Werke über Gasbeleuchtung auch nur erwähnt ist. Allerdings sind auch einige städtische Wassergasanlagen, die oben nicht genannt sind, nämlich Ibbenbüren in Westfalen, Neuhäusel in Ungarn und Wasserbillig in Luxemburg aufgelassen worden, zum Teil weil der maschinelle Betrieb, welcher zum Antrieb des Gebläses einer Wassergasanlage erforderlich ist, in einem kleinen Gaswerke nicht immer die zweckentsprechende Überwachung besitzt, anderenteils weil auch Fälle von Vergiftungen vorgekommen waren, die jedoch bei Steinkohlengas genau ebenso gewirkt hätten, die aber Beunruhigung in die Bevölkerung brachten, da man dachte, die Schuld nur dem Wassergas zuschieben zu müssen. Die anderen der erwähnten Anlagen, die noch heute im Betriebe sind, zeigen jedoch, daß diese Beleuchtung mit uncarburiertem Wassergas mehr Beachtung verdient, als ihr geschenkt wird.

Im Jahre 1894 erhielt Dellwik das D. R.-P. Nr. 105 511 auf ein eigenartiges Vorgehen beim Warmblasen von Wassergasgeneratoren. Dieses später von Fleischer durchgearbeitete Verfahren, welches unter der Leitung Dickes in Deutschland eingeführt wurde, erregte zunächst das Staunen der gesamten Fachwelt, weil in der Dellwikschen Patentschrift behauptet war, daß durch Einhaltung einer bestimmten großen Windgeschwindigkeit und durch Wahl einer passenden Schichthöhe das Warmblasen des Generators derart erfolgen könne, daß ausschließlich Kohlensäure und kein Kohlenoxyd gebildet werde. In einer ausführlichen Untersuchung, welche der Verfasser im Verein mit Jahoda ausführte (vgl. S. 722), wurde jedoch gezeigt, daß nicht durch Windgeschwindigkeit und Schichthöhe eine Verbrennung des Koks zu Kohlensäure herbeigeführt werden könne, sondern nur durch Einhaltung einer geringen Temperatur, wie dies ja auch schon früher bekannt war. Diese Tatsache ist auch in den neueren Werken über Heizgase<sup>1)</sup> anerkannt. Dementsprechend wurde auch später das Dellwiksche Patent gelöscht. Mittlerweile hatte dasselbe jedoch in Deutschland große Erfolge zu verzeichnen, allerdings nicht in der Beleuchtung mit dem uncarburierten Gas, sondern dadurch, daß sich Gaswerke des uncarburierten Wassergases als Zusatz zum Steinkohlengas bedienten. Im Jahre 1898 wurde die erste derartige Wassergaszusatzanlage in Königsberg in Preußen errichtet

---

<sup>1)</sup> Z. B. v. Ihering, „Die Gasmaschinen“, I. Teil; ferner v. Jüptner, „Technologie der Energien“, 1. Bd., 1. Teil.

und es kann dies als ein Merkstein in der Entwicklung des Gaswerksbetriebes in Deutschland angesehen werden. Außerdem richteten eine Anzahl von industriellen Werken, so z. B. Fitzner in Laurahütte, Ferrum in Kattowitz, die Farbenfabriken Bayer in Elberfeld, die Badische Anilin- und Sodafabrik usw. Wassergasanlagen für Heiz- und Schweißzwecke ein, die das Wassergas in umfangreicher Weise in die Industrie einführten.

Zu gleicher Zeit mit der Einführung des Dellwik-Fleischerschen Verfahrens erfolgte auch die des früher nur in England angewendeten Verfahrens der Erzeugung carburierten Wassergases in ähnlicher Art, wie dies Lowe in Amerika einführte nach dem System Humphrey u. Glasgow durch die Firma Julius Pintsch in Berlin zunächst in Bremen und Hamburg und dann in einer großen Zahl anderer Städte, ferner die des Verfahrens des Verfassers, welches in Elberfeld, Trier, Bielefeld und anderen Orten eingeführt wurde. Von da an datiert der Aufschwung der Wassergaserzeugung in Deutschland und Österreich.

Nachdem man die Wichtigkeit der Einhaltung einer bestimmten Temperatur im Wassergasgenerator erkannt hatte, wurde das Verfahren des Verfassers zuerst in Königsberg, in Pforzheim, in Heidelberg und dann in einer großen Anzahl anderer Gaswerke, welche Wassergasanlagen anderer Systeme besaßen, ebenfalls eingeführt.

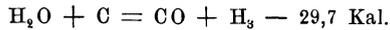
Schließlich kamen am Kontinent noch die Wassergasverfahren von Dannert, welcher carburiertes Wassergas durch Einspritzen von Öl in den Generator erhielt, und von Reitmayer, welcher eine besondere Art des Warmblasens anwendete (S. 789), und von Kramers u. Aarts, schließlich auch die von Hempel in Berlin nach System Cuttler errichteten Anlagen für carburiertes Wassergas in einigen Anlagen zur Anwendung.

Gegenwärtig stößt die ausschließliche Verteilung des uncarburierten Wassergases in Städten auf einige Schwierigkeiten, weil nicht nur für Beleuchtungszwecke, sondern auch zu allen Heizzwecken, zum Kochen usw. die Brenner anders geartet sein müssen, als dies bei Steinkohlengas der Fall ist, somit alle Apparate, welche in ausgedehntem Maße für die Versorgung mit Steinkohlengas erzeugt werden, behufs ihrer Anwendung auf Wassergas umgeändert werden müssen. Außerdem aber hat das Steinkohlengas den Invertbrenner erhalten, welcher eine günstigere Ausnutzung des Gases zur Lichterzeugung ermöglicht, als dies früher der Fall war. Nun ist zwar das uncarburierte Wassergas wie kein anderes Gas berufen, auch für das hängende Glühlicht als Heizmittel zu dienen, denn bei ihm ist das Zurückschlagen der Flamme von vornherein ausgeschlossen, da es keine Luftzufuhr benötigt, um eine blaue Flamme zu geben, die Vorwärmung der Verbrennungsluft kann daher auf ein Maximum getrieben werden und schließlich ist die Verbreitung eines unangenehmen Geruches zufolge unvollkommener Verbrennung von vornherein ausgeschlossen, da die Verbrennungsprodukte des Wassergases stets vollständig geruchlos sind. Es mangelt nur die richtige Konstruktion eines den Eigenschaften des uncarburierten Wassergases angepaßten Hängeglühlichtbrenners, um diesen Übelstand zu beseitigen.

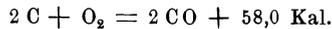
Aus diesen Gründen hat das Wassergas in der letzten Zeit beinahe ausschließlich als Zusatz zum Steinkohlengas und für die Versorgung besonderer Industrien mit billigem Heizgas zu Schweißzwecken u. dgl. gedient. Der Umfang in der Verwendung, den das Wassergas hier gefunden hat, ist ein so

großer, daß dadurch seine Verwendung im uncarburierten Zustande zur Glühlichtbeleuchtung etwas zurückgedrängt wurde. Trotzdem muß aber hervorgehoben werden, daß es gerade bei der Beleuchtung kleinerer Städte und einzelner Objekte ausgezeichnete Dienste zu leisten vermag, auch in solchen Fällen, wo eine Steinkohlengasanlage wegen zu geringen Konsums nicht mehr rentabel erscheint, und daß es auch berufen bleibt, in der Gasversorgung großer Städte eine bedeutende Rolle zu spielen, sobald die Gasverbrauchsapparate, Brenner und Heizvorrichtungen, den Eigenschaften des uncarburierten Wassergases angepaßt sind.

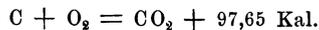
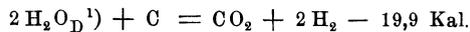
Wir wollen nun in die Besprechung der Theorie des Wassergasprozesses eingehen. Derselbe unterscheidet sich von dem auf S. 726 erläuterten Halbwassergasprozeß dadurch, daß die Zerlegung des Wasserdampfes, welche Wärme verbraucht, und die Erhitzung des Brennmaterials durch Einblasen von Luft nicht gleichzeitig, sondern nacheinander vorgenommen werden. Die Zerlegung des Wasserdampfes durch glühenden Kohlenstoff erfolgt nach der Gleichung:



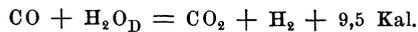
Das Warmblasen erfolgt gemäß der Gleichung:



Daneben findet jedoch auch eine Bildung von Kohlensäure statt, die namentlich dann auftritt, wenn die Temperaturen im Generator niedrig sind. Diese Kohlensäurebildung erstreckt sich sowohl auf das Gasen bei der Zerlegung des Wasserdampfes, als auch auf das Warmblasen, und entspricht den nachstehenden Gleichungen:



Außerdem kann das schon gebildete Kohlenoxyd während der Gaserzeugungsperiode durch Wasserdampf in Kohlensäure verwandelt werden, gemäß der Gleichung:



Diese Reaktion ist aber auch umkehrbar und es entsteht somit ein Gleichgewichtszustand zwischen Kohlenoxyd und Wasserdampf einerseits und Kohlensäure und Wasserstoff andererseits (vgl. S. 48). Bei höheren Temperaturen entsteht dann mehr Kohlenoxyd und Wasserdampf, bei geringeren Temperaturen dagegen mehr Kohlensäure und Wasserstoff.

Betrachten wir zunächst die ersten beiden Gleichungen mit den dabei verbrauchten bzw. gelieferten Wärmemengen, so sehen wir, daß bei der Wasserdampfzerlegung durch Kohlenstoff pro 1 g-Mol. 29,7 Kal. verbraucht werden. Dagegen liefert das Warmblasen, wenn dasselbe nicht zu Kohlensäure, sondern zu Kohlenoxyd erfolgt, für 2 Atome Kohlenstoff 58,0 Kal. Würde also der Wassergasprozeß ganz ohne alle Verluste geleitet werden können, so könnte der erste Prozeß zweimal verlaufen, und würde dann ebensoviel Wärme verbrauchen als der zweite Prozeß des Warmblasens gemäß der oben angegebenen Zahlen liefern würde. Die beiden Gleichungen, welche sich in der Wärmetönung dann ungefähr aufheben, lauten:

<sup>1)</sup> Das D bedeutet den Dampfzustand des Wassers.



Beim Gasen und Warmblasen zusammengenommen würden also insgesamt 4 Atome Kohlenstoff in Reaktion treten, und es würden dabei 2 Mol. Kohlenoxyd und 2 Mol. Wasserstoff, zusammen also 4 Mol. Wassergas geliefert. Da nun aber 1 g-Mol. 22,3 Liter einnimmt, oder wenn wir in Kilogrammen rechnen, ebenso viele Kubikmeter, und da ferner der Kohlenstoff das Atomgewicht 12 hat, ein Kilogrammatom Kohlenstoff daher 12 kg wiegt, so würde die Gaserzeugung pro 1 kg Kohlenstoff betragen können:

$$\frac{4 \cdot 22,3}{4 \cdot 12} = 1,85 \text{ m}^3.$$

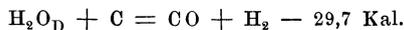
Das Gas bestände in diesem Fall aus gleichen Raumteilen Kohlenoxyd und Wasserstoff, und der Heizwert desselben würde dann betragen:

$$\text{oberer Heizwert } 0^\circ, \text{ trocken } 3070 \text{ Kal./m}^3$$

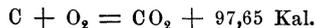
$$\text{unterer } , \quad 0^\circ, \quad , \quad 2830 \quad ,$$

Die gelieferten  $1,85 \text{ m}^3$  Wassergas mit einem unteren Heizwert von 2830 Kal. würden also eine Gesamtausbeute von  $1,85 \cdot 2830 = 5230 \text{ Kal.}$  pro 1 kg Kohlenstoff geben. Da 1 kg Kohlenstoff eine Verbrennungswärme von 8100 Kalorien besitzt, so entspricht dies einem Nutzeffekt von 64 Proz. Die restliche Verbrennungswärme des Kohlenstoffs ist dann in dem beim Warmblasen erzeugten Kohlenoxyd vorhanden. Neben diesem tritt auch die Gesamtmenge des beim Warmblasen mit eingeblasenen Stickstoffs der Luft auf, welcher in Form von Generatorgas mit dem Kohlenoxyd gemischt beim Warmblasen entweicht. Das Verfahren der Wassergaserzeugung hat also vor jenem der Halbwassergaserzeugung den Vorteil, daß der Stickstoff der Warmblaseluft in den Schornstein geleitet wird und das Gas stickstofffrei erhalten wird.

Würde es gelingen, das Warmblasen in der Art vorzunehmen, daß nicht Kohlenoxyd, sondern Kohlensäure entsteht, so würden die zwei Gleichungen in Betracht kommen:



für das Gasen und



für das Warmblasen, wenn also die letztere Reaktion einmal verläuft, so genügt die dabei gewonnene Wärmemenge, um die erstere Reaktion der Dampfersetzung

$$\frac{97,65}{29,7} = 3,28 \text{ mal}$$

verlaufen zu lassen. Da nun bei dieser Dampfersetzung 2 Mol. Wassergas gewonnen werden, so beträgt die erzeugte Wassergasmenge  $3,28 \cdot 2 \cdot 22,3 \text{ m}^3$ , während der Kohlenstoffverbrauch für die Gaserzeugung während des Dampfdurchleitens 3,28 Atome und während des Warmblasens 1 Atom, in Summe somit 4,28 Atome beträgt. Aus 1 kg Kohlenstoff könnten daher auf diese Weise gewonnen werden:

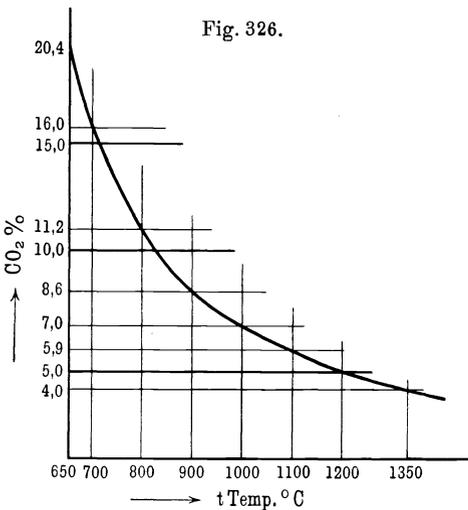
$$\frac{3,28 \cdot 2 \cdot 22,3}{4,28 \cdot 12} = 2,86 \text{ m}^3 \text{ Wassergas,}$$

die multipliziert mit dem Heizwert des Wassergases von 2830 Kal. pro Kubikmeter 8100 Kal. ergeben, also die gesamte Verbrennungswärme von 1 kg

Kohlenstoff. Der Nutzeffekt würde also in diesem Falle 100 Proz. betragen, wie dies ja auch natürlich ist, da in diesem Falle keinerlei Produkte der unvollkommenen Verbrennung auftreten und irgend welche Verluste bei dieser Berechnung nicht in Rücksicht gezogen wurden. Dies ist also das Maximum an Wassergas, welches überhaupt aus 1 kg Kohlenstoff erhältlich ist.

Aus obigem ist also ersichtlich, daß die Bildung von Kohlensäure beim Einblasen von Luft in den Generator beim Wassergasprozeß durchaus nicht schädlich, sondern im Gegenteil vorteilhaft ist, während wir beim Halbwassergasprozeß die Bildung von Kohlensäure möglichst einzuschränken hatten, damit das Gas nicht reich an Kohlensäure wird. Hier gelangen ja aber die beim Warmblasen entstehenden Gase in den Schornstein und daher ist die vollkommene Verbrennung zu Kohlensäure nur vorteilhaft.

Der Zweck des Warmblasens ist beim Wassergasgenerator, eine möglichst hohe Wärmemenge bei Verbrennung von möglichst wenig Kohlenstoff



in dem Generator aufzuspeichern. Die Verluste, welche beim Warmblasen eintreten, sollen also auf ein Minimum reduziert werden. Diese Verluste setzen sich nun zusammen aus der unvollkommenen Verbrennung zu Kohlenoxyd, aus der Eigenwärme, welche die Verbrennungsgase aus dem Generator mit fortführen, schließlich aus den Strahlungsverlusten.

Wir haben bereits gelegentlich der Besprechung des Generatorgasprozesses auf S. 722 eingehend erörtert, daß das Verhältnis der gebildeten Kohlensäure und des Kohlenoxyds beim Warmblasen eines Generators im wesentlichen

von der Temperatur des Generators beeinflusst ist. Da nun von anderer Seite <sup>1)</sup> behauptet wurde, daß durch Anwendung einer großen Windgeschwindigkeit und Wahl einer passenden Schichthöhe das Warmblasen eines Generators derart erfolgen könne, daß nur Kohlensäure gebildet würde, so hat der Verfasser im Verein mit Jahoda <sup>2)</sup> eine große Reihe von Versuchen an einem Generator angestellt, indem die Windgeschwindigkeit von 1,67 bis auf 4,08 m pro Sekunde auf die freie Fläche des Generatorquerschnittes gerechnet und die Schichthöhe von 870 mm bis auf 2700 mm verändert wurde. Die Resultate dieser Untersuchung sind bereits in dem Diagramm, Fig. 310 (S. 724), dargestellt. Aus diesem Diagramm geht hervor, daß bei allen diesen Windgeschwindigkeiten und Schichthöhen nur die längst bekannte Tatsache bestätigt werden konnte, daß bei zunehmender Temperatur des Generators der Kohlensäuregehalt der Warmblasegase allmählich geringer wird und daß weder die Schichthöhe noch die Windgeschwindigkeit, wenn sie innerhalb dieser Grenzen angewendet werden, von Einfluß auf das Resultat sind.

<sup>1)</sup> Dellwik, D. R.-P. Nr. 105 511. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1900, S. 354.

Die Abweichungen zwischen den einzelnen Untersuchungen rühren daher, daß die Temperatur des Generators keine genau bestimmte Größe ist. Der Generator wird ja beim Warmblasen im Unterteil wesentlich heißer als oben und wurde daher, wie auf S. 725 erörtert, die mittlere Temperatur der ganzen Generatorfüllung als maßgebend gewählt.

Diese Untersuchungen sind allerdings vorerst nur an einem einzigen Generator in dieser Gründlichkeit ausgeführt worden, es kann aber nicht bezweifelt werden, daß auch bei anderen Generatoren ganz ähnliche Resultate erhalten werden. Jedenfalls zeigt die Praxis, daß bei jedem Generator, einerlei welche Windgeschwindigkeit und welche Schichthöhe angewendet wird, der Kohlensäuregehalt der dem Generator entweichenden Gase abnimmt, wenn die Temperatur des Generators steigt.

Für den in Untersuchung gezogenen Generator ergab sich als Mittel aus allen Versuchen eine Kurve, welche in Fig. 326 dargestellt ist. Diese Kurve entspricht der schon auf S. 724 erläuterten, von  $650^{\circ}$  aufwärts gültigen Formel, in welcher  $a$  den Kohlensäuregehalt des Generatorgases, und  $t$  die mittlere Temperatur des Generatorunterteiles angibt:

$$a = \frac{3730}{t - 467}.$$

Der Nutzeffekt, welcher beim Warmblasen eines Wassergasgenerators auftritt, ist zu berechnen, wenn man die im Generator aufgespeicherte Wärme durch die Verbrennungswärme des verbrannten Kohlenstoffs dividiert und mit 100 multipliziert. Bezeichnen wir diesen Nutzeffekt mit  $N$ , so ist

$$N = \frac{\text{aufgespeicherte Wärme}}{\text{verbrannter Kohlenstoff} \cdot 8100} \cdot 100.$$

Die aufgespeicherte Wärme berechnet sich aus der entwickelten Wärme  $W$  weniger dem Wärmeverlust. Die entwickelte Wärmemenge geht nun aus folgender Berechnung hervor. Aus dem Kohlensäuregehalt des beim Warmblasen entstehenden Generatorgases berechnet sich der Kohlenoxydgehalt, wie wir bereits auf S. 721 ableiteten, nach der Formel

$$\text{CO} = 34,7 - 1,65 a,$$

worin  $a$  den Kohlensäuregehalt in Prozenten ausdrückt. Wollen wir nun ermitteln, wieviel Wärme bei der Verbrennung des Kohlenstoffs im Generator entwickelt wird, so müssen wir bedenken, daß bei Entstehung von 1 g-Mol. Kohlensäure 97,65 Kal. entwickelt werden, also für  $a$  Mol.  $a \cdot 97,65$  Kal. und für die diesem Kohlensäuregehalt entsprechende Menge Kohlenoxyd

$$(34,7 - 1,65 a) \frac{58,0}{2} \text{ Kal.},$$

zusammen also:

$$a \cdot 97,65 + (34,7 - 1,65 a) \frac{58,0}{2} = 1007 + 49,6 a \text{ Kal.}$$

entwickelt werden.

Diese Wärmemenge wird bei der Bildung von  $a$  Molen, das sind  $a \cdot 22,3$  Liter  $\text{CO}_2$ , geliefert; bei Bildung von  $a \text{ m}^3 \text{ CO}_2$  wird  $\frac{1000}{22}$  mal soviel Wärme geliefert.

Da nun in  $100 \text{ m}^3$  Generatorgas bei  $a$  Proz. Kohlensäuregehalt  $a \text{ m}^3$  Kohlensäure vorhanden sind, so ist die bei der Bildung von  $100 \text{ m}^3$  Generatorgas im Generator frei werdende Wärmemenge:

$$\frac{1007 + 49,6 a}{22,3} \cdot 1000 = 45\,200 + 2230 \cdot a \text{ Kal.}$$

Nun haben wir auf S. 721 bei Besprechung des Generatorgases bereits gesehen, daß aus  $L$  Volumen Luft  $L \frac{100}{0,83 a + 82,6}$  Vol. Generatorgas entstehen.

Die Bildungswärme des Generatorgases aus  $L \text{ m}^3$  Luft beträgt somit, wenn der Kohlensäuregehalt des Generatorgases  $a$  Proz. beträgt:

$$L = \frac{45\,200 + 2230 a}{0,83 a + 82,6} \text{ Kal.}$$

Diese, bei der Entstehung des Generatorgases entwickelte Wärmemenge wird jedoch im Generator nicht vollständig aufgespeichert, sondern es ergeben sich Verluste. Diese sind zum Teil hervorgerufen durch die Eigenwärme, mit welcher die heißen Gase abziehen, zum Teil durch die Strahlung des Generators.

Die Verluste, welche durch die warm abziehenden Gase bedingt sind, sind von der Höhe der Temperatur beeinflußt und von der spezifischen Wärme der Gase. Will man diese Verluste kennen lernen, so ist es also vor allem notwendig, die Temperatur zu kennen, mit welcher die heißen Gase den Generator verlassen. Diese Temperatur ist abhängig von der Temperatur, welche im Generator herrscht und von der Schichthöhe der Brennmateriälsäule, denn wenn der Wind unten eingblasen wird und das Generatorgas oben entweicht, so findet eine um so stärkere Abkühlung des Generatorgases an dem kalten Koks statt, je größer die Schichthöhe im Generator ist. Außerdem aber hängt die Temperatur der abziehenden Gase auch von der Geschwindigkeit ab, mit welcher die Gase durch den Generator hindurchgetrieben werden, also von der Windgeschwindigkeit. Je höher diese ist, desto kürzere Zeit bleiben die Gase im Generator und desto weniger Gelegenheit ist ihnen gegeben, ihre Wärme an den kalten Koks abzugeben. Die durch die Eigenwärme des Generatorgases fortgeführte Wärmemenge wird also um so größer sein, je größer die Windgeschwindigkeit ist.

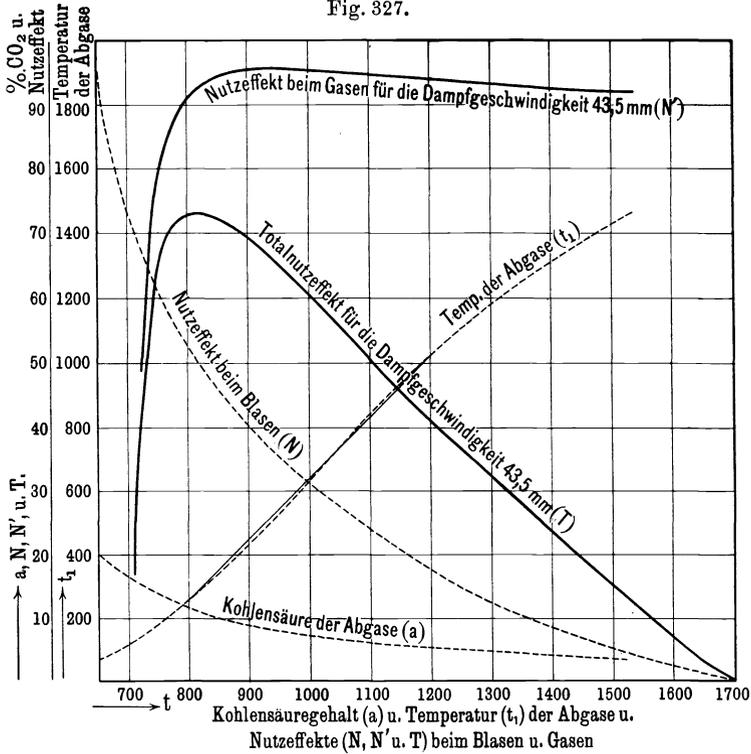
Die theoretische Berechnung der Abhängigkeit der Temperatur des entweichenden Gases von der Temperatur des Generators und der Windgeschwindigkeit ist eine sehr komplizierte. Es resultiert eine Exponentialformel, in welcher die Verbrennungswärme des Kohlenstoffs, die spezifische Wärme des Brennmateriales, sowie des Generatorgases, die Menge von Luft, welche zur Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff erforderlich ist, ferner die Menge des aus 1 kg Kohlenstoff erzeugten Generatorgases, die Schichthöhe und die Zeit vorkommt<sup>1)</sup>. Für die obengenannte Untersuchung läßt sich der Anstieg der Temperatur der entweichenden Gase mit der Temperatur des Generators durch eine gerade Linie darstellen, welche der Gleichung entspricht:

$$t_1 = 1,95 t - 1330.$$

<sup>1)</sup> Vgl. „Theorie des Wassergasprozesses“, Journ. f. Gasbel. 1903, S. 764.

Diese Gerade ist in Fig. 327 voll ausgezogen, während die strichelierte Linie den Verlauf der Temperatur, nach der richtigen Exponentialformel berechnet, darstellt. Aus der geringen Abweichung der beiden Linien ist ersichtlich, daß hier ohne großen Fehler die für die gerade Linie geltende Gleichung eingesetzt werden kann. In dieser bedeutet  $t_1$  die Temperatur der entweichenden Gase, wenn  $t$  die mittlere Temperatur des Generators darstellt. Diese Vereinfachung gilt jedoch nur für die Temperaturen von 800 bis 1200° und für eine bestimmte Windgeschwindigkeit. Die praktisch im Generatorunterteil vorkommenden mittleren Temperaturen überschreiten jedoch diese Grenzen nicht.

Fig. 327.



Der durch die heißen Gase hervorgerufene Wärmeverlust ist gemäß der spezifischen Wärme der Verbrennungsprodukte durch die Formel auszudrücken<sup>1)</sup>:

$$L \cdot t_1 \frac{a(0,086 + 0,000\,347\,t_1) + 30,69}{0,83\,a + 82,6}$$

Der von  $L\,m^3$  Luft verbrannte Kohlenstoff ist, wie wir bereits auf S. 721 abgeleitet haben, durch die Formel ausgedrückt:

$$C = L \frac{18,6 - 0,348\,a}{0,83\,a + 82,6}$$

Somit berechnet sich der Nutzeffekt bei der Warmblaseperiode:

$$N = \frac{45\,200 + 2230\,a - t_1[a(0,086 + 0,000\,347\,t_1) + 30,69]}{(18,6 - 0,348\,a)\,8100}$$

<sup>1)</sup> „Theorie des Wasserprozesses“, Journ. f. Gasbel. 1900, S. 378.

Dieser Nutzeffekt, der bei dem Warmblasen des Generators bei einer bestimmten Temperatur momentan erreicht wird, ist in der obengenannten Figur durch eine gestrichelte Linie, welche mit  $N$  bezeichnet ist, wiedergegeben. Dieser Nutzeffekt der Blaseperiode beträgt 95 Proz., solange der Generator sehr kalt ist, so daß dessen mittlere Temperatur nur  $650^{\circ}$  beträgt, also nur wenig über der Entzündungstemperatur des Kohlenstoffs liegt. Der Nutzeffekt der Warmblaseperiode fällt aber dann rasch ab und beträgt schon bei  $800^{\circ}$  nur etwas mehr als 50 Proz., bei  $1000^{\circ}$  nur mehr 30 Proz. und bei  $1700^{\circ}$ , das ist der maximalen Verbrennungstemperatur des Kohlenstoffs, sinkt derselbe naturgemäß auf 0 herab, denn bei dieser Temperatur wird von den heiß abziehenden Gasen ebensoviel Wärme abgeführt, als bei der Verbrennung entwickelt wird, welche bei diesen hohen Temperaturen ausschließlich Kohlenoxyd liefert.

Wenn wir dagegen den Nutzeffekt darstellen wollen, der sich ergibt, wenn man den kalten Generator durch Warmblasen bis zu einer bestimmten Temperatur erhitzt, so haben wir eine ganze Reihe verschiedener Wärmegrade des Generators zu durchschreiten und ist der Gesamtnutzeffekt während dieser ganzen Zeit des Blasens als eine Summe der einzelnen, in jedem Momente auftretenden Nutzeffekte aufzufassen. Dieser Gesamtnutzeffekt ergibt sich, wenn man die gesamte aufgespeicherte Wärme durch den Wärmewert des während der ganzen Dauer des Blasens verbrannten Kohlenstoffs dividiert, zu welchem letzterem auch noch die durch den Wind mitgebrachte Wärme hinzuzuzählen ist. Die gesamte aufgespeicherte Wärme ist durch Integration der in den einzelnen Zeiten aufgespeicherten Wärme und ebenso der gesamte Kohlenstoffverbrauch durch Integration des Kohlenstoffverbrauches in den einzelnen Zeiten zu finden. Bezeichnen wir den letzteren mit  $\Sigma C$ , so ist dessen Verbrennungswärme  $8100 \cdot \Sigma C$ . Die vom Winde mitgebrachte Wärme ist das Produkt der pro Minute eingeblasenen Windmenge  $L$  mal der Blasedauer mal der bei der Temperatur des Windes ( $20^{\circ}$ ) in diesem enthaltenen Wärme (6,16 Kal. pro Kubikmeter), somit ist der Gesamtnutzeffekt beim Blasen:

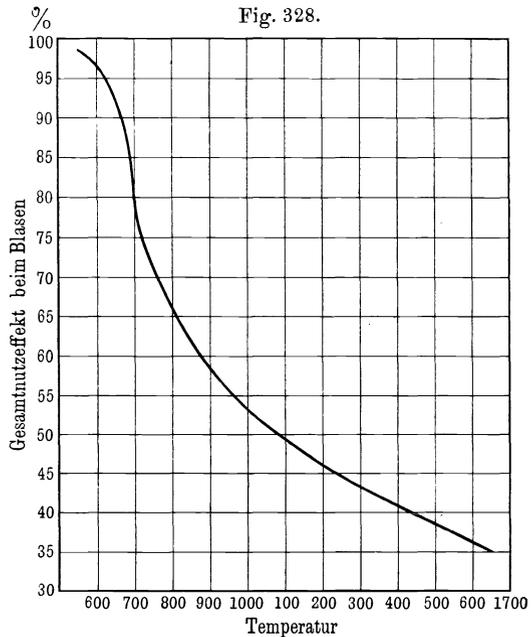
$$N_g = \frac{\text{gesamte aufgespeicherte Wärme}}{8100 \Sigma C + \text{Minutenzahl} \cdot L \cdot 6,16}.$$

Aus den bei den verschiedenen Versuchsreihen für bestimmte Temperaturen ermittelten Werten der Nutzeffekte wurde als Mittelwert die in dem Diagramm Fig. 328 wiedergegebene Kurve gefunden.

Es ist ersichtlich, daß die Kurve zwischen  $650$  und  $900^{\circ}$  stark abfällt und daß es daher vorteilhaft ist, die Temperatur des Generators möglichst niedrig zu halten und dieselbe nicht über  $900^{\circ}$  zu steigern, wenn es sich darum handelt, gute Nutzeffekte beim Warmblasen zu erzielen.

Die älteren Verfahren der Wassergaserzeugung, so z. B. das der Europäischen Wassergas-Aktiengesellschaft, welches von Blass eingeführt wurde, beschränkten sich darauf, ohne Rücksicht auf den Nutzeffekt beim Warmblasen, eine möglichst hohe Temperatur im Generator zu erzielen, so daß es dann möglich war, auch bei hoher Dampfgeschwindigkeit eine annähernd vollkommene Zersetzung des Dampfes zu erzielen. Da bei diesen hohen Temperaturen ein Generatorgas entstand, welches {nur sehr geringe Mengen von Kohlensäure (etwa 4 Proz.) und sehr große Mengen von Kohlenoxyd enthielt, so betrug der Nutzeffekt der Warmblaseperiode kaum 30 Proz. und

das erzeugte Generatorgas enthielt einen großen Teil des Heizwertes des Kokes in Form von Kohlenoxyd. Man mußte somit dieses Generatorgas irgendwie ausnutzen, um den Wassergasprozeß rationell zu machen. Man verwendete das erzeugte Generatorgas zur Beheizung von Dampfkesseln, die zur Dampferzeugung teils für die Generatoren selbst, teils zum Kraftantrieb der Gebläse dienten oder man verbrannte das Generatorgas in Regeneratoren, wie wir dies später noch besprechen werden, um diese dann zur Dampfüberhitzung zu verwenden, oder man verwendete auch die durch die Verbrennung des Generatorgases erzeugte Wärme zum Zwecke der Vorwärmung des eingeblasenen Windes. Diese Vorwärmung wurde jedoch bei keinem der Wassergassysteme auf die Dauer beibehalten. Während also bei anderen Feuerungsanlagen die Vorwärmung der Verbrennungsluft außerordentlich günstige Erfolge zeitigte, war dies beim Wassergasprozeß bisher nicht der Fall. Die Ursachen hiervon sind bisher nicht aufgeklärt. Wir werden auch später noch einige Apparate kennen lernen, welche die Verbrennungswärme des Generatorgases ausnutzen (Type E und Type B des Verfassers, S. 851 u. 853), ohne daß es bei diesen notwendig ist, das Verfahren des Warmblasens so zu leiten, daß beinahe ausschließlich nur Kohlenoxyd erzeugt wird. Es können ja auch die verhältnismäßig geringen Kohlenoxydmengen, welche bei geringerer Temperatur des



Generators entstehen, durch nachherige Verbrennung noch ausgenutzt werden und dies ist in den genannten Apparaten der Fall.

Wie wir bereits S. 784 erwähnt haben, verschlechtert eine höhere Windgeschwindigkeit den Nutzeffekt der Warmblaseperiode, weil dann die Temperatur der entweichenden Gase eine wesentlich höhere ist. Es war daher sehr überraschend, als Dellwik mit seinem D. R.-P. Nr. 105 511 hervortrat, in welchem er angab, daß durch die Anwendung einer hohen Windgeschwindigkeit ein wesentlich günstigerer Nutzeffekt der Warmblaseperiode erzielt werden könne. In den über dieses Verfahren veröffentlichten Schriften wurde sogar hervorgehoben, daß es durch Wahl einer gewissen Windgeschwindigkeit und Schichthöhe gelinge, während des Warmblasens beinahe nur Kohlensäure zu erzielen. Das Verfahren wurde im Patente dadurch gekennzeichnet, daß in den Abgasen mehr Kohlensäure als Kohlenoxyd enthalten sein sollte.

Nun ist es allerdings möglich, einen Generator derart warm zu blasen, daß in den Abgasen vornehmlich Kohlensäure enthalten ist. Wir haben ja

schon erwähnt, daß solange die Temperatur im Generator gering ist, die Verbrennungsgase vornehmlich aus Kohlensäure bestehen. Will man also ein solches Resultat erhalten, so muß man eben das Warmblasen in dem Moment abbrechen, wo der Kohlensäuregehalt geringer geworden ist, d. h. wo durch eine höhere Temperatur bereits Kohlenoxydbildung beginnt. Es bleibt dann nur die Frage zu beantworten, ob dann die Temperatur des Brennmaterials eine genügende ist, um die Wasserdampferzeugung hervorzurufen. Darauf werden wir bei der Besprechung des Gasens, d. h. des Dampfleitens, ausführlich zurückkommen.

Wählt man, wie in dem Dellwikschen Patente angedeutet ist, eine sehr geringe Schichthöhe und eine sehr große Windgeschwindigkeit, so ist allerdings auch dann eine Verbrennung zu Kohlensäure möglich, wenn diese beiden Faktoren extrem bemessen werden. Dann beruht aber die Kohlensäurebildung nicht darauf, daß im Brennmaterial selbst eine solche stattfindet, sondern Kohlenoxyd und Luft gehen zunächst unverbraucht durch die Hohlräume des Brennmaterials hindurch und verbrennen oberhalb des Brennmaterials zu Kohlensäure, wie wir dies bereits bei Besprechung des Generatorgasprozesses, S. 724, ausführlich erörtert haben. Eine solche nachträgliche Bildung von Kohlensäure außerhalb der Brennmaterialssäure dient aber nicht zur Aufspeicherung von Wärme im Brennmaterial selbst, sondern diese erhöht nur die Temperatur der Abgase und dient also, wenn kein Regenerator angewendet wird, nur zur Beheizung des Schornsteines. Aber auch selbst wenn bei einer sehr hohen Windgeschwindigkeit Kohlensäurebildung innerhalb des Brennmaterials stattfinden sollte, was aber nicht der Fall ist, so würde durch eine hohe Geschwindigkeit der Gase die Wärmeübertragung an das Brennmaterial eine sehr ungünstige, d. h. auch dann würden die Gase das Brennmaterial mit sehr hoher Temperatur verlassen und somit würde beim Warmblasen nur ein geringer Nutzeffekt erzielt werden.

Betreffs der Temperatur der Abgase muß man auch noch berücksichtigen, wie die Wärme in dem Generator verteilt ist. Wird ein Wassergasgenerator immer nur von unten warm geblasen, und erfolgt die Dampfzufuhr immer nur von oben, so kühlen sich die oberen Schichten sehr stark ab, so daß die Temperatur der entweichenden Gase bei einer Schichthöhe von etwa 2000 bis 2500 mm nur etwa 200° beträgt. Bei vielen Systemen der Wassergaserzeugung wird jedoch das Gasen nicht immer von oben vorgenommen, sondern abwechselnd von oben und von unten. Wird nun der Dampf von unten eingeleitet, so kühlen sich die unteren Schichten des Generators ab und die Wärme wird in eine höhere Zone des Brennmaterials hinaufgetragen, dementsprechend sind die obersten Schichten heißer und demzufolge entweichen auch beim Warmblasen die Abgase mit einer höheren Temperatur. Aus diesem Grunde ist die Formel, welche für die Temperatur der Abgase auf S. 785 angegeben ist, nur für einen ganz bestimmten Fall gültig, d. h. nur für einen Generator, in dem immer von oben gegast wird und bei dem die Windgeschwindigkeit eine bestimmte Höhe hatte.

Allerdings hat diese geänderte Temperaturverteilung des Generators zur Folge, daß bei einer gleichen mittleren Temperatur der gesamten Generatorfüllung beim Blasen ein höherer Gehalt an Kohlensäure in den Abgasen erzielt werden kann, weil zufolge der verhältnismäßig niedrigeren Temperatur im Generatorunterteil in der Schicht, in der die eigentliche Verbrennung stattfindet,

zufolge der geringeren Temperatur eine stärkere Bildung von Kohlensäure stattfinden kann. Ist also ein Generator oben heißer, so kann bei der gleichen mittleren Temperatur, d. h. bei der gleichen gesamten aufgespeicherten Wärmemenge ein größerer Kohlensäuregehalt beim Blasen erzielt werden. Ob deshalb auch der Nutzeffekt ein günstigerer wird, ist noch nicht gesagt, denn die höhere Temperatur der Abgase hebt mindestens einen großen Teil des Vorteiles der geringeren Kohlenoxydbildung auf.

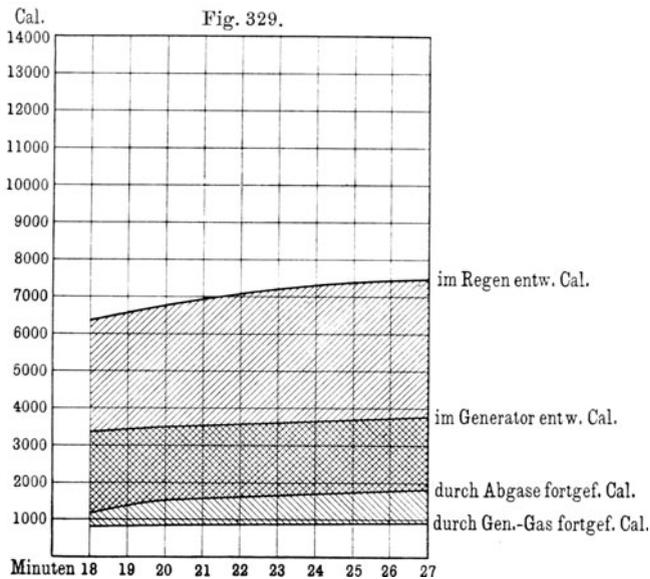
Wollte man eine günstigere Temperaturverteilung erzielen, ohne gleichzeitig den Übelstand der höheren Temperatur der Abgase hervorzurufen, so könnte man das Einblasen von Luft in den Generator in verschiedenen Höhen vornehmen<sup>1)</sup>. Man könnte zuerst in die unterste Schicht des Generators Luft einblasen, und sobald dort die Kohlensäurebildung nachgelassen und die Kohlenoxydbildung zugenommen hat, könnte man durch Umstellung eines entsprechenden Ventiles in einer größeren Schichthöhe, wo eine noch geringere Temperatur herrscht, Luft einblasen und dies wieder nur so lange, bis die Kohlenoxydbildung zu stark geworden ist. Dies könnte dann an mehreren Stellen nach aufwärts steigend wiederholt werden, und oberhalb der Zone, wo zuletzt Luft eingeblasen wurde, könnte immer noch eine genügend hohe Brennmaterialsäule vorhanden sein, um eine genügende Abkühlung der Verbrennungsgase, d. h. die erforderliche Aufspeicherung der Wärme herbeizuführen.

Versuche, welche der Verfasser in dieser Richtung unternommen hat, haben jedoch bisher zu keinem praktischen Resultate geführt. Wohl läßt sich dadurch der Nutzeffekt beim Warmblasen für bestimmte mittlere Temperaturen der gesamten Füllung des Generators steigern, aber die erzielten Gasausbeuten waren keine besseren, weil offenbar der Nutzeffekt des Gasens durch diese Temperaturverteilung ungünstig beeinflußt wird, worauf wir gleich zu sprechen kommen werden.

Reitmayer<sup>2)</sup> ist in seinem Verfahren zum Warmblasen der Generatoren noch einen Schritt weiter gegangen und hat die Warmblaseluft über die ganze Höhe der Brennmaterialfüllung gleichmäßig verteilt von allen Seiten eingeblasen. Natürlich wird dadurch ein höherer Kohlensäuregehalt der Abgase bei gleicher mittlerer Temperatur der Generatorfüllung erzielt, schon deshalb, weil an der obersten Stelle des Generators ebenfalls Luft eingeblasen wird und diese Stelle nur durch eine wenige Dezimeter messende Brennmaterialschicht bedeckt ist, so daß dort Luft unverbrannt hindurchstreicht und außerhalb der Brennmaterialsäule eine Verbrennung des unten etwa entstandenen Generatorgases, d. h. Kohlenoxyds, zu Kohlensäure hervorruft, so daß auch hierbei keine günstigere Wärmeaufspeicherung im Generator erzielt wird. Aber auch wenn die Stelle der höchsten Luftzufuhr noch mit einer genügend hohen Schicht von Brennmaterial bedeckt wäre, so daß der genannte Übelstand nicht eintreten könnte, so würde dieses Verfahren keinen günstigeren Erfolg zeitigen können, als das eben genannte Verfahren des abwechselnden Einblasens von Luft in verschiedenen Höhen. Dazu kommt aber noch, daß bei diesem Verfahren die Dampfzersetzung stets eine nur unvollkommene sein kann, weil der Dampf durch die seitlichen Luftzufuhrkanäle, welche nicht leicht absperrbar eingerichtet werden können, zum Teil unzersetzt entweicht.

<sup>1)</sup> Dieses Verfahren ist zuerst von Schill angegeben worden, ohne daß derselbe jedoch den hier angegebenen Zweck erkannt hat. — <sup>2)</sup> D. R.-P. Nr. 193 197.

Ein anderes Mittel, die Verluste beim Warmblasen zu verringern, besteht darin, daß man hinter den Generator einen Regenerator schaltet, das ist ein zylindrischer, mit feuerfestem Material ausgemauerter Mantel, in welchen man Schamottesteine oder ein ähnliches feuerfestes Füllmaterial einsetzt, um die von den Abgasen mit fortgeführte Wärme aufzuspeichern. Bei Eintritt der aus dem Generator kommenden Gase in den Regenerator führt man dann Sekundärluft ein, welche eine Verbrennung des im Generatorgas enthaltenen Kohlenoxyds bewirkt und das im Regenerator aufgespeicherte feuerfeste Material zum Glühen erhitzt. Auf diese Weise erzielt man eine vollständige Verbrennung alles Kohlenoxyds zu Kohlensäure und gleichzeitig eine weitgehende Abkühlung der Verbrennungsgase, die man durch ent-



sprechende Dimensionierung des Regenerators beliebig weit treiben kann. Gewöhnlich läßt man die Abgase aus dem Regenerator mit einer Temperatur von 200 bis 300° entweichen.

Der Regenerator wurde hauptsächlich angewendet, solange man das Verfahren des Warmblasens bei geringer Temperatur, wie vorher erörtert, noch nicht kannte und daher der Meinung war, das beim Warmblasen entstehende Generatorgas müsse immer einen großen Gehalt an Kohlenoxyd zeigen. Zur Verwertung der im Generatorgas enthaltenen Verbrennungswärme für den Wassergasprozeß selbst war dann die Anordnung eines Regenerators erforderlich. Derselbe diente z. B. nach dem Strongschen Verfahren zur Überhitzung des Dampfes bei der Gaserzeugung, oder zur Überhitzung des Windes bei der Blaseperiode, oder er dient bei der Erzeugung von ölcarburiertem Wassergas zur Verdampfung des Öles bzw. zur Fixierung der Öldämpfe. In dieser Form hat sich der Regenerator als Verdampfer und Überhitzer in allen Anlagen erhalten, welche jetzt zur Erzeugung ölcarburierten Wassergases dienen.

Da die Verbrennungswärme des Kohlenoxyds im Regenerator durch Einblasen einer entsprechenden Luftmenge vollständig ausgenutzt werden kann,

wobei die Regelung dieser Luft derart erfolgt, daß kein großer Luftüberschuß vorhanden ist, da ferner, wie erwähnt, die Abgase auf eine sehr niedrige Temperatur abgekühlt werden können, so ist natürlich der Nutzeffekt, welcher bei Anwendung eines Regenerators beim Warmblasen erzielt wird, ein sehr günstiger. Das Diagramm Fig. 329 zeigt die beim Warmblasen eines mit Regenerator versehenen Generators aufgespeicherte Wärmemenge und gibt Aufschluß darüber, wie sich dieselbe auf den Generator und Regenerator verteilt. Die unterste Linie zeigt die durch die Generatorgase aus dem Generator durch die Eigenwärme der Gase herausgeführte Wärmemenge. Die dritte Linie nach oben zeigt die im Generator entwickelte Wärmemenge, beides in Kalorien. Die Fläche zwischen diesen beiden Linien, welche von links oben nach rechts unten schraffiert ist, gibt also die im Generator aufgespeicherte Wärmemenge an. Die zweite Linie von unten zeigt die durch die Abgase des Regenerators fortgeführte Wärmemenge an. Diese ist etwas höher als die aus dem Generator herausgeführte Wärmemenge, weil die Menge der entstehenden Gase durch Einblasen von Sekundärwind natürlich vergrößert wird. Die oberste Kurve zeigt schließlich die im Regenerator durch die Verbrennung des Generatorgases entwickelte Wärmemenge. Somit ist die Fläche, welche zwischen der zweiten und der vierten Kurve eingeschlossen ist, und die von rechts oben nach links unten schraffiert ist, ein Maßstab für die im Regenerator aufgespeicherte Wärme. Die beiden Flächen, zwischen der ersten und dritten Kurve einerseits und der zweiten und vierten Kurve andererseits, zeigen nun, daß im Regenerator mehr als doppelt soviel Wärme aufgespeichert wird, als im Generator.

Diese Versuche bezogen sich allerdings auf ein Generatorgas, welches bereits einen sehr hohen Gehalt an Kohlenoxyd hatte. Bei der Anwendung von Regeneratoren hat man es jedoch stets mit derart kohlenoxydreichen Gasen zu tun. Denn solange der Generator kalt ist und ein kohlenensäurereicher Gas entsteht, welches noch dazu eine geringere Temperatur besitzt, erfolgt beim Eintritt des Gases in den Regenerator bei Zuführung von Sekundärluft keine Entzündung, weil die Entzündungstemperatur dieses Gasgemisches zufolge des hohen Kohlenensäuregehaltes hoch liegt und andererseits die geringe Temperatur des Generatorgases eben eine Selbstzündung noch nicht bewirkt. Die Entzündung erfolgt erst dann, wenn der Kohlenoxydgehalt des Generatorgases durch langes Blasen und hohe Temperatur im Generator hoch geworden ist und wenn gleichzeitig durch die hohe Temperatur des aus dem Generator austretenden Generatorgases die Entzündungstemperatur bereits erreicht ist. Aus diesem Grunde konnte bei dem genannten Versuche erst nach der 18. Minute des Warmblasens eine Entzündung des Generatorgases im Regenerator hervorgerufen und erst dann die Wärmeaufspeicherung in diesem verfolgt werden. In nachstehender Tabelle sind die Nutzeffekte des Warmblasens des Generators und Regenerators zusammengenommen angegeben, und zwar in Prozenten für die einzelnen Minuten.

Vor Entzündung im Regenerator nach:

1 Minute	. . . . .	77,5 Proz.
3 Minuten	. . . . .	56,0 "
5 "	. . . . .	47,7 "
10 "	. . . . .	39,8 "
17 "	. . . . .	34,0 "

Nach Entzündung im Regenerator nach:

1 Minute . . . . .	78,9 Proz.
3 Minuten . . . . .	76,1 "
5 " . . . . .	75,9 "
10 " . . . . .	37,8 "

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, daß der Nutzeffekt rasch sinkt, solange der Regenerator nicht in Funktion getreten ist. Dieses Sinken ist durch die Bildung von Kohlenoxyd hervorgerufen. Sobald aber die Entzündung im Regenerator eingetreten ist, verringert sich auch bei langem Blasen der Nutzeffekt nur sehr wenig, weil die Wärme der Abgase im Regenerator nahezu vollständig aufgespeichert wird.

Natürlich hängt der Nutzeffekt des Regenerators von dessen Dimensionierung ab; je größer die Masse des im Regenerator aufgespeicherten feuerfesten Materials ist, desto länger vermag der Regenerator Wärme aufzunehmen, und je geringer die Geschwindigkeit der Abgase ist, desto vollkommener wird die Wärme der Abgase auf die Steine übertragen. Die Übertragungsgeschwindigkeit der Wärme von den Gasen an die Steine ist proportional der Temperaturdifferenz, welche zwischen den Gasen und den Steinen herrscht, und proportional der gesamten zur Verfügung stehenden Oberfläche. Es geht daraus hervor, daß man die Oberfläche des Füllmaterials im Regenerator möglichst groß wählen soll. Bei den vorstehenden Versuchen wurde daher ein Regenerator angewendet, welcher mit Schamotterrohren von etwa 100 mm Durchmesser und 15 mm Wandstärke gefüllt war.

Bei anderen Feuerungsanlagen, wo Regeneratoren verwendet werden, ist es notwendig, daß diese in ihrer Steinfüllung eine große Masse haben, damit eine große Menge von Wärme aufgespeichert werden kann und dementsprechend das Umsteuern nur selten vorgenommen werden muß. Bei den Regeneratoren der Wassergasanlagen ist dies anders, weil das Warmblasen ohnedies nur kurze Zeit dauert und dementsprechend nur eine geringe Wärmemenge aufgespeichert werden muß, also eine große Masse nicht vorhanden zu sein braucht. Dagegen ist, wie gesagt, das Vorhandensein einer großen Oberfläche von besonderer Bedeutung, damit in der kurzen Zeit möglichst viel Wärme aufgenommen werden kann. Aus diesem Grunde ist die Anwendung von Steinen geringer Stärke und großer Oberfläche das zweckmäßigste.

Die vorstehenden Versuche sind an einem Regenerator ausgeführt, dessen lichter Querschnitt ebenso groß war, wie der Querschnitt des dazugehörigen Generators, bei dem die Höhe des Steinfüllmaterials jedoch doppelt so groß war, wie die Schichthöhe des Generators.

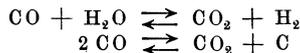
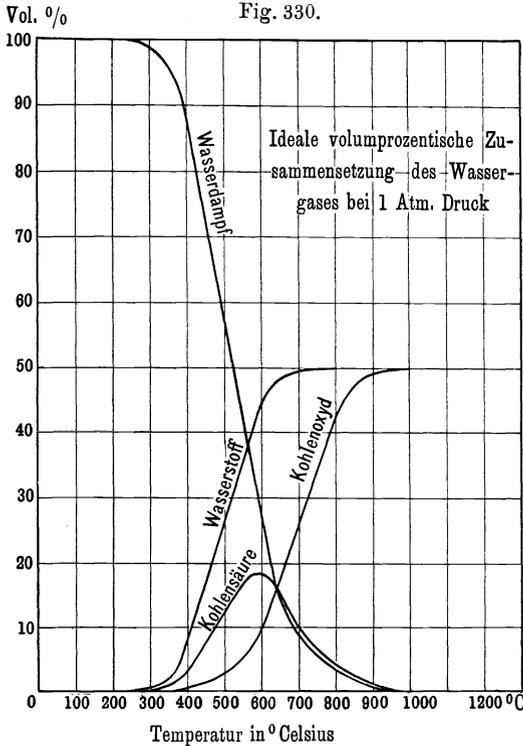
Die im Regenerator aufgespeicherte Wärme dient dem Generator zur Dampfüberhitzung, wodurch eine bessere Ausbeute an Wassergas erzielt wird.

Ein Übelstand bei dem Betrieb der Regeneratoren für Wassergasanlagen ist der, daß das Generatorgas, welches zur Beheizung des Regenerators dient, nicht gleichbleibende Zusammensetzung hat, sondern daß dasselbe zu Beginn der Blaseperiode zufolge der niedrigen Temperatur des Generators viel Kohlenensäure enthält, während später der Kohlensäuregehalt abnimmt, dagegen der Kohlenoxydgehalt zunimmt. Dementsprechend müßte, um eine vollkommene Verbrennung und keinen zu großen Luftüberschuß zu erhalten, der Sekundärwind, welcher in den Regenerator zugeblasen wird, am Anfang stark gedrosselt

sein und später allmählich verstärkt werden. Dies ist aber praktisch kaum durchführbar. Man muß sich daher damit zufrieden geben, eine solche Sekundärluftmenge anzuwenden, welche bis zum Ende genügt, alles Kohlenoxyd zu verbrennen, wobei dann natürlich am Anfang ein Überschuß an Luft vorhanden ist, während zum Schluß gerade die vollkommene Verbrennung ohne Luftüberschuß stattfindet. Eine weitere Schwierigkeit ist, wie schon erwähnt, daß das Generatorgas zu Anfang des Blasens wegen des hohen Kohlensäuregehalts nicht entzündbar ist. Auch wenn es schon genügend Kohlenoxyd enthält, brennt es beim Warmblasen eines Regenerators zunächst nicht, weil das Gas noch nicht die Entzündungstemperatur hat und diese erst in einem späteren Stadium des Warmblasens erreicht. Dieser letztere Übelstand könnte allerdings dadurch vermieden werden, daß man eine künstliche Zündung einführt. Dies ist jedoch bisher bei keiner derartigen Anlage ausgeführt worden. Eine solche künstliche Zündung hat auch nur dann Bedeutung, wenn es sich um das erstmalige Warmblasen eines Regenerators handelt. Später, wenn einmal die Steine glühen, wirken diese als Zündmittel, so daß sich das Gasluftgemisch an den glühenden Steinen entzündet, noch bevor das Gas selbst auf die Entzündungstemperatur gebracht ist. Auf alle Fälle aber bleibt der Übelstand bestehen, daß bei sehr großem Kohlensäuregehalt und entsprechend geringem Gehalt an Kohlenoxyd das Generatorgas auch an den glühenden Steinen nicht zur Entzündung gebracht werden kann, und dann wird durch Einblasen von Sekundärwind nicht Wärme erzeugt, sondern im Gegenteil durch die nicht verbrennende Luft Wärme aus dem Regenerator abgeführt. In diesem Falle muß man dafür sorgen, daß die Luft erst dann eingeblasen wird, wenn ein Kohlenoxydgehalt vorhanden ist, der die Entzündung ermöglicht. Bei verhältnismäßig niedriger Temperatur des Generators gehen also auf alle Fälle die in der ersten Zeit des Warmblasens auftretenden Mengen von Kohlenoxyd verloren.

Auch aus einem anderen Grunde ist es wichtig, Sekundärwind erst dann zuzublasen, wenn eine Entzündung im Regenerator tatsächlich stattfindet. Streicht nämlich Generatorgas und Sekundärluft gemischt durch den Regenerator, ohne sich zu entzünden, und steigt allmählich die Temperatur des Generatorgases bis zum Entzündungspunkt, so findet plötzlich eine Entzündung statt, welche sich durch den ganzen Regenerator hindurch fortpflanzt, da ja ein brennbares Gasgemisch vorhanden ist, und es tritt demgemäß eine Explosion auf, welche Unheil anstiften kann. Im allgemeinen sind allerdings derartige Regeneratoren, die man bei Wassergasanlagen verwendet, mit einem schmiedeeisernen Mantel umgeben, und die Explosionen des Generatorgases sind, da es sich ja stets um ein sehr kohlenäurereiches, also heizarmes Generatorgas handelt, nicht sehr heftige, so daß die Eisenmäntel dem Explosionsdruck leicht widerstehen können. Größeres Unheil kann nur dann entstehen, wenn es sich um irgendwelche Apparate handelt, die nicht mit Eisenmänteln versehen sind, sondern nur aus Mauerwerk bestehen, das natürlich nicht genügend Widerstand besitzt, um auch der schwächsten Explosion eines Generatorgasgemisches widerstehen zu können. Aber auch bei Anwendung von Regeneratoren mit schmiedeeisernen Mänteln sind derartige explosive Entzündungen nicht angenehm, da sie oft unter heftigem Knall und Abreißen von einzelnen Armaturstücken stattfinden. Man vermeidet sie, indem man ein Schauglas anbringt, durch welches man bequem das Innere des Regenerators

überblicken und die Entzündung des Generatorgases beim Öffnen des Sekundärluftventils bequem überwachen kann. Das Sekundärluftventil muß durch einen Schnellschlußschieber oder dergleichen rasch geöffnet und geschlossen werden können. Man beobachtet beim Öffnen, ob die Entzündung des Generatorgases stattfindet, und ist dies nicht der Fall, so muß das Sekundärluftventil sofort wieder geschlossen und in einem späteren Zeitpunkt neuerdings probiert werden, ob beim Öffnen eine Entzündung eintritt. Erst wenn die Entzündung tatsächlich erfolgt, was auch mittels der angeschlossenen Manometer aus dem



Kohlenoxyd, Wasserdampf, Kohlensäure und Wasserstoff in ein Gleichgewicht ein, welches sich um so mehr nach der linken Seite, d. h. zugunsten des Kohlenoxyds verschiebt, je höher die Temperatur ist.

Die dem Gleichgewichtszustande entsprechenden Mengen der einzelnen Gase gehen aus dem Diagramm Fig. 330 hervor. Dieses Diagramm drückt die ideale Zusammensetzung des Wassergases für verschiedene Zersetzungstemperaturen aus, und zwar einschließlich des noch nicht kondensierten Dampfes. Tritt jedoch das Wassergas aus dem Generator aus, so kühlt es sich ab und es müßte sich nun eigentlich die Zusammensetzung des Gases in der Weise verschieben, wie dies den geringeren Temperaturen während der Abkühlung entspricht. Diese Abkühlung ist jedoch gewöhnlich eine so rasche, daß die Reaktionsgeschwindigkeit, welche die Umsetzung der Stoffe bewirkt, nicht genügend ist, um eine wesentliche Verschiebung in den Mengenverhältnissen der einzelnen Bestandteile herbeizuführen, und tritt daher ein

plötzlich auftretenden Druck erkannt werden kann, läßt man das Sekundärluftventil geöffnet.

Nachdem der Generator warmgeblasen ist, wird zum Zwecke der Erzeugung des Wassergases Dampf in denselben eingeleitet. Der Dampf zersetzt sich, wie schon früher erwähnt, an dem Kohlenstoff entweder unter Bildung von Kohlenoxyd und Wasserstoff oder unter Bildung von Kohlensäure und Wasserstoff. Würde der Wasserdampf beliebig lange Zeit mit dem Kohlenstoff in Berührung bleiben, so würde sich ein Gleichgewichtszustand herstellen, der theoretisch genau berechnet werden kann. Es tritt hier gemäß der beiden umkehrbaren Reaktionen:

sogenanntes Festfrieren des Gleichgewichtszustandes (vgl. S. 46) ein, indem die Abkühlung so plötzlich erfolgt, daß die einzelnen Stoffe in jenem Verhältnis vorhanden bleiben, wie sie im Generator vorhanden waren. Nur der Wasserdampf scheidet sich vollständig aus, verschwindet daher aus dem Gasgemisch.

Nach Abscheidung des Wasserdampfes würde dann das Gas entsprechend den verschiedenen Temperaturen des Generators nachstehende Zusammensetzung haben:

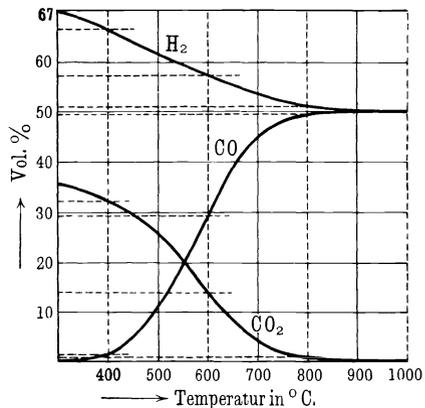
Temperatur	Vol.-Proz. CO	Vol.-Proz. CO <sub>2</sub>	Vol.-Proz. H <sub>2</sub>
400 <sup>o</sup>	0,7	32,9	66,4
600	29,0	14,0	57,0
800	49,2	0,5	50,3
1000	50,0	0,0	50,0

Diese Werte sind in Fig. 331 graphisch wiedergegeben.

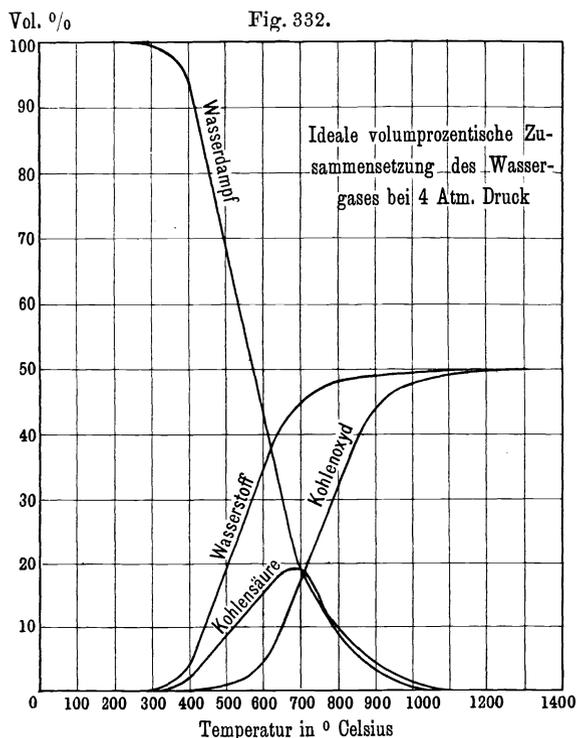
Aus diesen Angaben ist ersichtlich, daß bei genügend langer Einwirkung des Wasserdampfes auf den Kohlenstoff bei geringen Temperaturen ein Gas gewonnen werden könnte, welches im wesentlichen aus Kohlensäure und Wasserstoff besteht. Das vorher genannte Diagramm Fig. 330 zeigt jedoch, daß bei so niedrigen Temperaturen 90 Proz. des Wasserdampfes unzersetzt bleiben, und dies ist ein Grund, daß dieses Verfahren zur Erzeugung von Kohlensäure und Wasserstoff nicht praktisch angewendet werden kann. Der überschüssige Wasserdampf hat nämlich eine hohe spezifische Wärme und nimmt daher eine große Wassermenge aus dem Generator mit fort, welche beim Warmblasen wieder ersetzt werden muß, und dies macht ein solches Verfahren unrationell.

Die obengenannte Tabelle zeigt jedoch auch, daß bereits bei 800<sup>o</sup> ein Gas gewonnen wird, welches praktisch nur aus Kohlenoxyd und Wasserstoff besteht, daß also bei genügend langer Einwirkung Wasserdampf schon bei 800<sup>o</sup> sozusagen vollständig in Kohlenoxyd und Wasserstoff umgesetzt wird, und daß, wie das Diagramm Fig. 330 zeigt, auch der Wasserdampf bis auf etwa 4 Proz. vollständig in Wassergas umgewandelt wird. Ja selbst schon bei 700<sup>o</sup> würden nur 10 Proz. des Wasserdampfes unzersetzt bleiben und bei dieser niedrigen Temperatur ein Wassergas von bescheidenem Kohlen säuregehalt erhalten. Bei so niedriger Temperatur wäre der Nutzeffekt des Warmblasens ein günstiger, wie wir auf S. 783 nachgewiesen haben. Es wäre also theoretisch möglich, den Wassergasprozeß so zu leiten, daß beim Warmblasen zufolge der geringen Temperatur des Generators beinahe ausschließlich Kohlensäure entstände, daß beim Gasen eine praktisch vollständig genügende

Fig. 331.



Dampfzersetzung stattfinden würde, und daß auch das erzeugte Wassergas keinen zu hohen Gehalt an Kohlensäure besäße. Dies würde jedoch voraussetzen, daß der Wasserdampf sehr lange Zeit mit dem Kohlenstoff in Berührung bliebe, so daß sich das Gleichgewicht, aus welchem sich obengenannte Zusammensetzung berechnet, tatsächlich einstellen könnte. Nun ist aber bei geringen Temperaturen die Reaktionsgeschwindigkeit eine sehr geringe, so daß man in diesem Falle den Wasserdampf außerordentlich langsam einleiten müßte, um auch nur annähernd Resultate zu erzielen, die den obengenannten entsprechen. Bei höherer Temperatur ist die Reaktionsgeschwindigkeit dagegen eine wesentlich größere, so daß es dann möglich wird, schon bei größerer

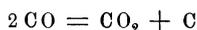


Dampfgeschwindigkeit eine annehmbare Zersetzung des Dampfes zu erzielen. Bevor wir hierauf näher eingehen, wollen wir noch folgendes bemerken. Die Umsetzung von Kohlenoxyd mit Wasserdampf zu Kohlensäure und Wasserstoff wird durch den Druck nicht beeinflusst, was schon daraus hervorgeht, daß auf der linken Seite der Gleichung

$$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$$

2 Mol. in Reaktion treten, also 2 Vol. an Gasen aufeinander wirken, ebenso wie auf der rechten Seite 2 Mol. erscheinen, also ebenfalls 2 Vol. Gase gebildet werden. Das Volumen des Gasgemisches ändert sich also bei dieser Reaktion nicht, dementsprechend ist auch der Druck auf die Reaktion ohne Einfluß.

Dagegen übt der Druck einen Einfluß auf die Reaktion



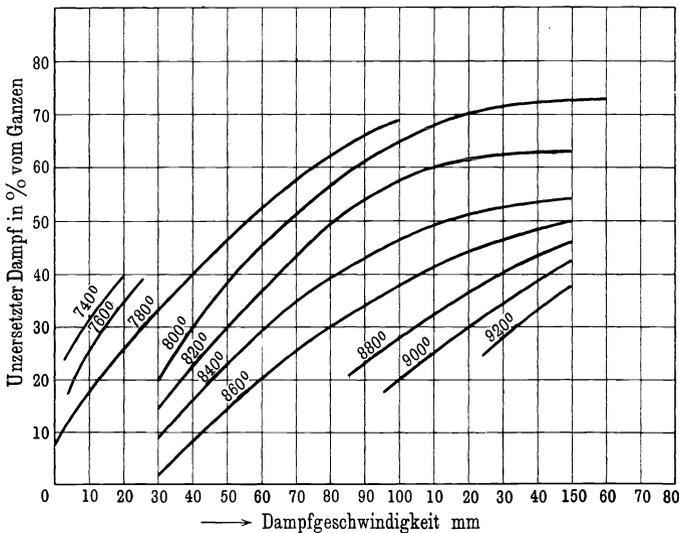
aus, weil hier das Volumen des festen Kohlenstoffs ganz zu vernachlässigen ist und auf der linken Seite der Gleichung 2 Mol. Kohlenstoff stehen, während auf der rechten Seite in Gasform nur 1 Mol. Kohlensäure erscheint, somit im Sinne der Gleichung bei der Zersetzung des Kohlenoxyds sich das Volumen vermindert. Ein hoher Druck wird also den Zerfall des Kohlenoxyds zu Kohlensäure beschleunigen. Dementsprechend würde beim Wassergasprozeß bei der Zersetzung des Wasserdampfes durch Kohlenstoff ein reineres Gas gebildet, wenn der Wasserdampf unter höherem Druck einträte. Dieser Einfluß tritt jedoch erst dann hervor, wenn es sich um Drucke von mehreren Atmosphären handelt. Fig. 332 zeigt die Gleichgewichtsverhältnisse bei einem

Druck von 4 Atm. Sowohl die Dampfzersetzung wie auch die Reduktion der Kohlensäure findet hier erst bei höheren Temperaturen statt, als wenn man unter gewöhnlichem Atmosphärendruck arbeitet (vgl. Fig. 330, S. 794). Es ist also theoretisch vorteilhaft, den Wassergasprozeß bei möglichst geringem Dampfdruck zu vollziehen.

Wie schon erwähnt, kann das in den obigen Angaben genannte Gleichgewicht praktisch bei der Wassergaserzeugung nicht erreicht werden, da die Reaktionsgeschwindigkeit zwischen Wasserdampf und Kohlenstoff bei den in Frage kommenden Temperaturen zu gering ist. Praktisch wird daher die Zusammensetzung, wie sie dort gegeben ist, erst bei höheren Temperaturen erreicht.

Im vorstehenden haben wir gesehen, daß die Temperatur des Generators von ganz wesentlichem Einfluß auf die Dampfzersetzung ist, ferner aber auch,

Fig. 333.



daß selbst bei einer sehr geringen Temperatur eine recht vollkommene Dampfzersetzung erzielt werden kann, wenn man den Dampf genügend lange mit dem Kohlenstoff in Berührung läßt. Letzteres ist durch die Rücksicht auf die Leistungsfähigkeit des Generators beschränkt; man muß eine gewisse, nicht zu kleine Dampfgeschwindigkeit einhalten, um die Stundenleistung eines Generators nicht zu sehr herabzusetzen, und dies ist die Ursache, daß man wesentlich höhere Temperaturen anwenden muß, als wie in den obigen Diagrammen und Tabellen angegeben, wenn man auch nur eine annähernd vollständige Dampfzersetzung erzielen will.

Das Diagramm Fig. 333 zeigt für verschiedene Temperaturen das Ansteigen des unzersetzten Dampfes, wenn die Dampfgeschwindigkeit zunimmt.

In anderer Weise kann man die Größe der Dampfzersetzung ausdrücken, wenn man das Verhältnis zwischen zersetztem und unzersetztem Dampf bestimmt. Dieses Verhältnis  $v$  ist bei geringen Temperaturen sehr klein, steigt dann bei einer für jede Dampfgeschwindigkeit sehr charakteristischen Temperatur sehr rasch an, so daß es schon wenige Grade höher nahezu unendlich

wird. Rein empirisch ermittelt, entspricht diesem Verhältnis am besten die Formel<sup>1)</sup>

$$v = 5\delta + (\delta\tau^2)^5,$$

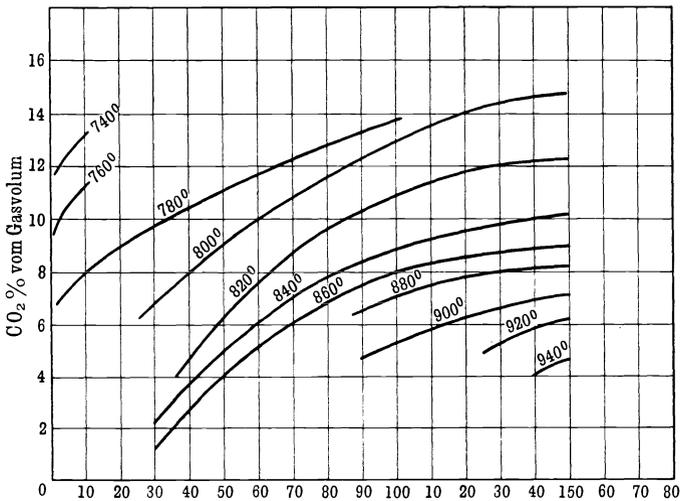
wobei

$$\delta = \frac{\tau^2}{D \cdot 0,138} \quad \text{und} \quad \tau = \frac{t - 700}{100}$$

zu setzen ist und  $D$  die Dampfgeschwindigkeit, in Millimetern pro Sekunde auf den freien Querschnitt des Generators gerechnet, darstellt.

Die Kohlensäurebildung geht Hand in Hand mit der Menge des unzersetzten Dampfes. Die Kohlensäurebildung ist ja ebenfalls von der Temperatur des Generators abhängig, d. h. je geringer diese ist, desto größer ist der Gehalt des erzeugten Wassergases an Kohlensäure. Es ist aber auch möglich, daß sich nicht im Generator Kohlensäure bildet, sondern daß sich nachträglich das Wassergas, d. h. der Kohlenoxydgehalt desselben mit Wasserdampf umsetzt zu Kohlensäure und Wasserstoff.

Fig. 334.



Dementsprechend nimmt der Kohlensäuregehalt ebenfalls mit zunehmender Dampfgeschwindigkeit zu und Fig. 334 zeigt, daß die Kohlensäurebildung parallel mit der Menge des unzersetzten Dampfes (vgl. Fig. 333) geht. Dieser Kohlensäuregehalt, den wir mit  $c$  bezeichnen, folgt ungefähr der ebenfalls empirisch ermittelten Formel

$$c = \frac{13,5}{\sqrt{v + 0,4}}.$$

Aus dem Verhältnis zwischen zersetztem und unzersetztem Dampf  $v$  und dem Kohlensäuregehalt  $c$  läßt sich die Menge des unzersetzten Dampfes in Prozenten von ganzen Volumen des Gasdampfgemisches berechnen. Bezeichnen wir diese mit  $y$ , so erhalten wir

$$y = \frac{100}{\frac{100v}{50 + 0,5c} + 1}.$$

<sup>1)</sup> Strache und Jahoda, „Zur Theorie des Wassergasprozesses“, Journ. f. Gasbel. 1903, S. 764.

Das Diagramm Fig. 335 zeigt die Größe  $v$  und das Diagramm Fig. 336 zeigt die Größe  $y$  in graphischer Darstellung. Aus ersterem Diagramm ist das rasche Ansteigen der Dampfzeretzung bei einer bestimmten Temperatur für jede Dampfgeschwindigkeit ersichtlich, aus letzterem das rasche Abfallen der Menge des unzersetzten Dampfes bei einer bestimmten Temperatur.

Um die Abhängigkeit der Dampfzeretzung von der Dampfgeschwindigkeit möglichst einwandfrei zu zeigen, wurde in einem Generator, der warmgeblasen war, Dampf mit einer Geschwindigkeit von 109 mm pro Sekunde eingeleitet. Die Menge an unzersetztem Dampf und Kohlensäure stieg gemäß des Diagramms Fig. 337 und wurde nach  $4\frac{1}{2}$  Minuten die Dampfgeschwindigkeit plötzlich auf 72 mm pro Sekunde reduziert und dement-

Fig. 335.

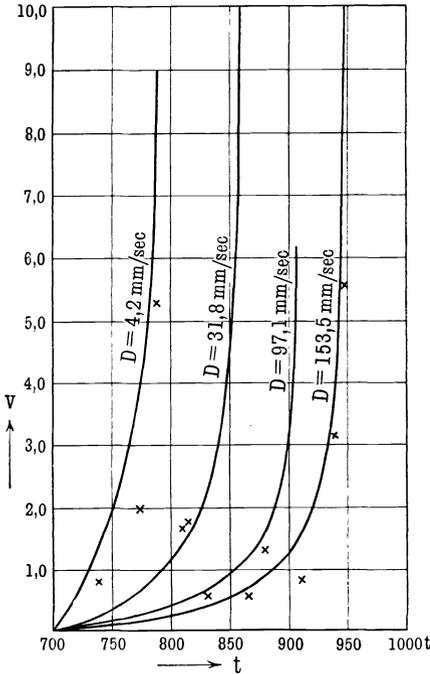
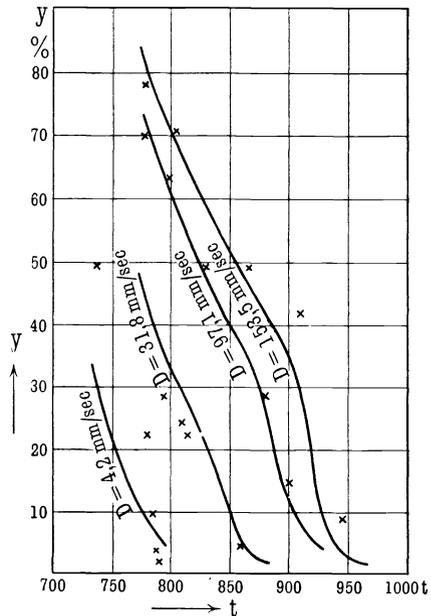


Fig. 336.



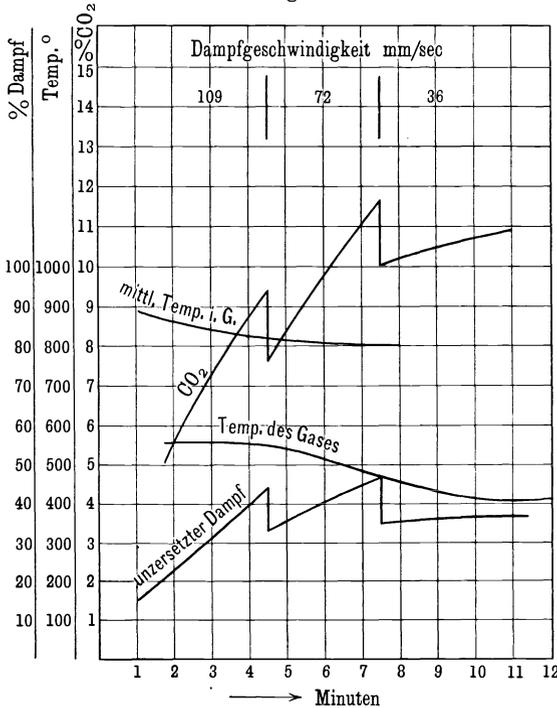
sprechend sank auch die Menge des unzersetzten Dampfes und der Kohlensäure. Sie stieg dann bei weiterer Abkühlung des Generators wieder an und nun wurde neuerlich auf 36 mm Geschwindigkeit pro Sekunde reduziert. Es zeigte sich dementsprechend sofort wieder der Abfall im Kohlensäuregehalt und in der Menge des unzersetzten Dampfes und dann wieder ein allmähliches Ansteigen. Dadurch ist also einwandfrei gezeigt, daß selbst beim Herabgehen der Temperatur des Generators, wie sie im Laufe des Gasens erfolgt, eine geringere Menge von unzersetztem Dampf und eine geringere Menge von Kohlensäure erzielt werden kann, wenn man die Dampfgeschwindigkeit entsprechend verringert.

Die Temperatur des entweichenden Gasdampfgemisches  $t'$  ist natürlich ebenfalls von der Temperatur des Generators und von der Dampfgeschwindigkeit abhängig. Wir haben für den in Untersuchung gezogenen Generator die empirisch ermittelte Formel berechnet:

$$t' = 0,194 t \sqrt[4]{D}.$$

worin  $D$  wieder die Dampfgeschwindigkeit in Millimetern pro Sekunde ausdrückt. Es muß hierbei hervorgehoben werden, daß das Wassergas nicht, wie man bei oberflächlicher Überlegung meinen könnte, den Generator mit der Temperatur der untersten Koksschicht verläßt. Es findet vielmehr bei allen Generatoren, in denen von unten geblasen und von oben gegast wird, eine sehr rasche Abkühlung des Gases an den kalten Wandungen des Generatorunterteiles statt, so daß die Temperatur des austretenden Gases eine wesentlich geringere ist, als die Temperatur des Brennmaterials. Es hängt dies ganz von der Dampfgeschwindigkeit ab, denn die Gelegenheit zur Abkühlung des

Fig. 337.



Gases ist eine geringere bei größerer Geschwindigkeit, deshalb verläßt das Wassergas den Generator um so heißer, je größer die Dampfgeschwindigkeit ist. Diese im Unterteil des Generators aufgespeicherte Wärme wird aber dann beim Warmblasen des Generators wieder an den Wind übertragen und ist daher nicht als Wärmeverlust zu betrachten.

Die gesamte Abkühlung, welche der Generator beim Gasen erfährt, setzt sich aus drei Faktoren zusammen, nämlich aus der Bildungswärme des Wassergases, d. i. jene Wärmemenge, welche durch

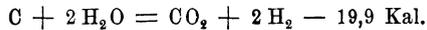
Wasserdampferlegung tatsächlich verloren geht, ferner die Eigenwärme des Gemisches von Gas und Dampf, welches den Generator verläßt und welches eine um so größere Wärmemenge entführt, je größer der Dampfgehalt ist, und schließlich die Strahlung des Generators.

Wollen wir alle Größen auf die Erzeugung von  $1 \text{ m}^3$  Wassergas berechnen, so müssen wir die Gesamtstrahlung pro Stunde  $S$  durch die stündliche Gas-erzeugung in Kubikmetern  $G$  dividieren, bezeichnen wir dann mit  $A$  die Abkühlung des Generators pro  $1 \text{ m}^3$  erzeugten Wassergases, mit  $B$  die Bildungswärme derselben Menge Wassergas und mit  $E$  die Eigenwärme des Gasdampfgemisches, so ergibt sich die Formel

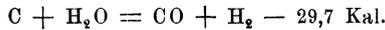
$$A = B + E + \frac{S}{G}$$

Die Bildungswärme des Wassergases  $B$  berechnet sich wie folgt: Enthält das erzeugte Wassergas  $c$  Proz. Kohlensäure, so sind aus dem Wasserdampf

nach der Formel



neben diesen  $c$  Vol. Kohlensäure  $2c$  Vol. Wasserstoff entstanden, der Rest des Gasgemisches, d. i.  $(100 - 3c)$  Vol. besteht aus Wassergas, welches nach der Formel



entstanden ist und daher gleiche Raumteile Kohlenoxyd und Wasserstoff enthält.

Es sind also in 100 Vol. des kohlen säurehaltigen Wassergases neben  $c$  Vol. Kohlensäure und  $2c$  Vol. Wasserstoff noch

$$\frac{100 - 3c}{2} \text{ Vol. CO} \quad \text{und} \quad \frac{100 - 3c}{2} \text{ Vol. H}_2$$

enthalten. Die Zusammensetzung des Gases ist somit:

Kohlensäure . . . . .	$c$ Vol.-Proz.
Kohlenoxyd . . . . .	$(50 - 1,5c)$ Proz.
Wasserstoff . . . . .	$(50 - 1,5c + 2c) = (50 + 0,5c)$ Proz.

Berechnen wir zunächst die Bildungswärme für 1 Mol =  $22,3 \text{ m}^3$  des Gasgemisches, dann haben wir zu berücksichtigen, daß bei  $c$  Proz. Kohlen säuregehalt der Kohlen säure-Wasserstoffprozeß mit  $\frac{c}{100}$  Mol. verläuft, daß also dabei an Wärme verbraucht wird

$$\frac{c}{100} \cdot 19,9 \cdot 1000 = 199c \text{ Kal.}$$

Ferner verläuft der Kohlenoxyd-Wassergasprozeß unter Bildung von

$$\frac{50 - 1,5c}{100} \text{ Vol. Kohlenoxyd,}$$

somit beträgt der Wärmeverbrauch für diesen Prozeß

$$\frac{50 - 1,5c}{100} \cdot 29,7 \cdot 1000 = (14850 - 445c) \text{ Kal.}$$

Der Gesamtwärmeverbrauch stellt sich also pro 1 Mol. auf  $14850 - 246c$  und pro  $1 \text{ m}^3$  auf

$$\frac{14850 - 246c}{22,3} = 665 - 11c \text{ Kal.,}$$

d. h. die Bildungswärme des Wassergases ist um so geringer, je größer der Kohlen säuregehalt desselben ist. Dies ist ja auch natürlich, denn der Verlauf des Wassergasprozesses unter Kohlen säurebildung erfordert, wie die obigen Formeln ja gezeigt haben, weniger Wärme als der Verlauf des Kohlenoxyd-Wassergasprozesses.

Die Eigenwärme  $E$  des Gasdampfgemisches berechnet sich aus den spezifischen Wärmen der einzelnen in dem Gemisch enthaltenen Gase<sup>1)</sup>, wenn wieder  $c$  den Kohlen säuregehalt,  $d$  den Dampfgehalt in Vol.-Proz. und  $t'$  die Temperatur des entweichenden Gasdampfgemisches, wie vorhin eben erläutert, darstellt aus folgender Formel:

$$E = [(0,00348c + 0,00293d)t' + 0,8c + 3,38d + 306,3].$$

<sup>1)</sup> Strache und Jahoda, Theorie des Wassergasprozesses 1900; Journ. f. Gasbel. 1900, S. 354.

Aus dieser Formel ist ersichtlich, daß der Gehalt an Wasserdampf für die Wärmemenge, welche durch das Gasdampfgemisch abgeführt wird, maßgeblich ist.

Um nun den Nutzeffekt während der Gaseperiode berechnen zu können, müssen wir noch die Verbrennungswärme des Wassergases pro Kubikmeter kennen lernen. Sie ist die Summe der Verbrennungswärmen des darin enthaltenen Kohlenoxyds und Wasserstoffs. Bezeichnen wir sie mit  $V'$ , so berechnet sie sich nach der Formel

$$V' = \frac{50 - 1,5c}{100} \cdot 3050 + \frac{50 + 0,5c}{100} \cdot 2610^1).$$

Der untere Heizwert ist somit

$$V' = 2830 - 32,70c^2).$$

In der Nutzeffektberechnung spielt dies jedoch keine Rolle, weil der Stickstoffgehalt das Volumen des Wassergases in derselben Weise vermehrt, wie er den Heizwert desselben herabsetzt, so daß das Produkt: Ausbeute mal Heizwert gleichbleibt.

Schließlich müssen wir noch den Kohlenstoffverbrauch während des Gasens berücksichtigen. Da  $1 \text{ m}^3 \text{ CO}_2$  ebenso wie  $1 \text{ m}^3 \text{ CO}$   $0,537 \text{ kg}$  Kohlenstoff enthält, so beträgt der Kohlenstoffgehalt von  $1 \text{ m}^3$  Wassergas von der oben berechneten Zusammensetzung:

$$C' = \left( \frac{c}{100} + \frac{50 - 1,5c}{100} \right) \cdot 0,537 = \frac{50 - 0,5c}{100} \cdot 0,537.$$

Der Nutzeffekt beim Gasen berechnet sich aus dem Wärmeverlust des Generators und dem Heizwerte des erzeugten Wassergases. Den Wärmeverlust des Generators  $A$  haben wir bereits oben als die Summe der Bildungswärme des Wassergases, der Eigenwärme des Gasdampfgemisches und der Strahlung hingestellt und den Heizwert des erzeugten Gases soeben berechnet. Aus allen diesen Daten läßt sich also der Nutzeffekt für jede beliebige Temperatur des Generators und für jede beliebige Dampfgeschwindigkeit feststellen. Ordnet man die Nutzeffekte nach Temperaturen bei variierenden Dampfgeschwindigkeiten, so ergibt sich das für eine Versuchsreihe an einem Generator zusammengestellte Diagramm Fig. 338.

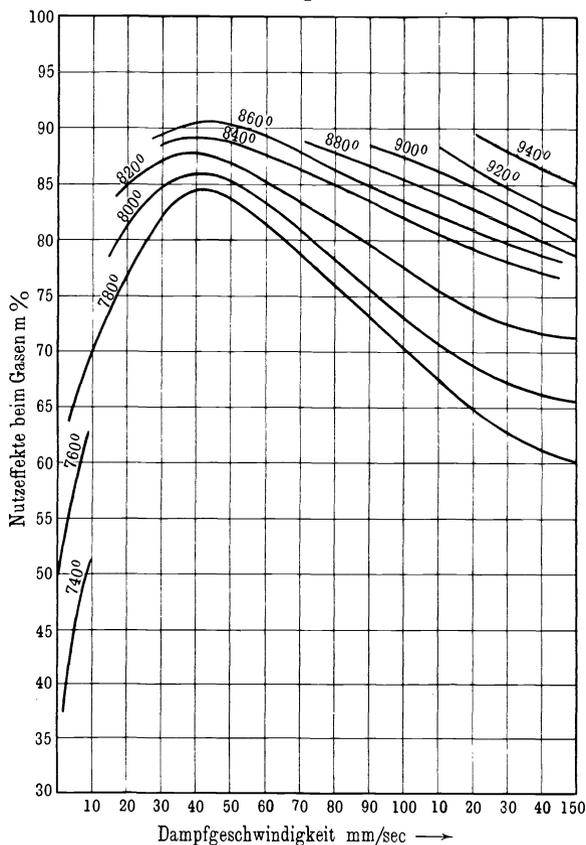
Dieses Diagramm zeigt, daß der Nutzeffekt bei zunehmender Dampfgeschwindigkeit zunächst sehr stark wächst, dann ein Maximum erreicht und allmählich wieder abfällt; bei sehr geringen Dampfgeschwindigkeiten ist der Nutzeffekt deshalb schlecht, weil die Strahlung des Generators eine große Rolle spielt. Bei hohen Temperaturen sinkt der Nutzeffekt dagegen wieder, weil die Eigenwärme des entweichenden Gasdampfgemisches eine höhere wird. Dieser Abfall ist aber ein geringer. Für jede Temperatur des Generators ergibt sich gemäß dieser Kurven ein Maximum bei einer ganz bestimmten Dampfgeschwindigkeit. Dieses Maximum schwankte bei den ausgeführten Untersuchungen zwischen 84 und 92 Proz.

<sup>1)</sup> Es muß hier die untere Verbrennungswärme des Wasserstoffs in Rechnung gezogen werden, weil ja das Wassergas aus dampfförmigem Wasser gewonnen wird, somit bei einer Nutzeffektberechnung wieder auf die Verbrennung zu dampfförmigem Wasser gerechnet werden muß. — <sup>2)</sup> Diese Berechnung gilt nur für stickstofffreies Wassergas, bei stickstoffhaltigem Wassergas ist die Verbrennungswärme entsprechend dem Stickstoffgehalt geringer.

Aus dem letztgenannten Diagramm ergibt sich ferner, daß das Maximum des Nutzeffektes bei dem hier in Betracht gezogenen Generator bei allen Temperaturen bei ungefähr der gleichen Dampfgeschwindigkeit von 43,5 mm pro Sekunde liegt. Für höhere Temperaturen, die hier nicht vollständig untersucht werden konnten, verschiebt sich jedoch naturgemäß die Lage dieses Maximums etwas nach rechts, d. h. nach der Richtung der höheren Dampfgeschwindigkeiten.

Ordnet man nun die Nutzeffekte beim Gasen nach den verschiedenen Temperaturen des Generators bei einer konstanten, nämlich dieser günstigsten

Fig. 338.



Dampfgeschwindigkeit, so ergibt sich eine Kurve, welche in Fig. 339 als Nutzeffekt beim Gasen für die Dampfgeschwindigkeit 43,5 dargestellt ist. Er berechnet sich aus der Abkühlung des Generators beim Gasen  $A$ , aus der Verbrennungswärme des erzeugten Wassergases  $V'$  und dem Kohlenstoffverbrauch beim Gasen  $C'$  nach der Formel

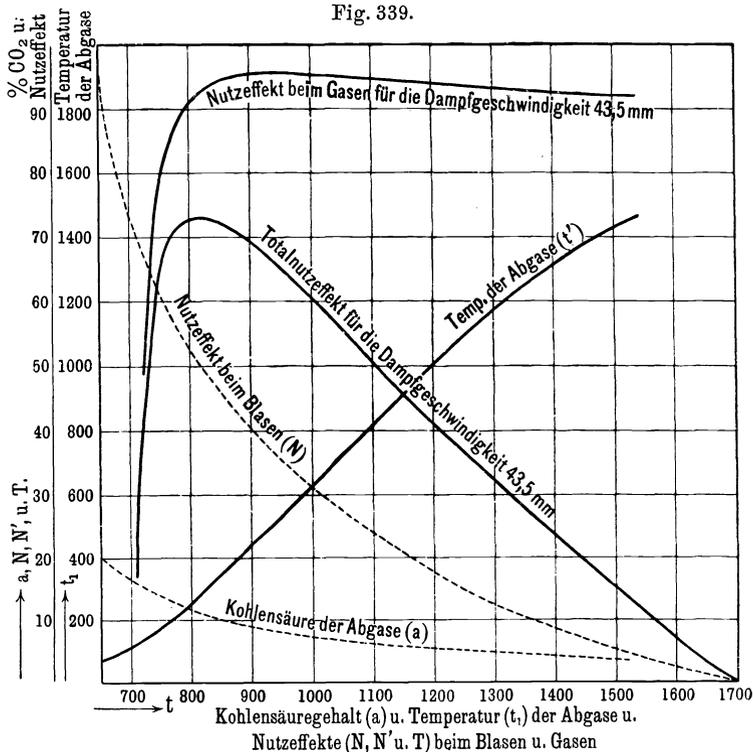
$$N' = \frac{V'}{C' \cdot 8100 + A} \cdot 100,$$

weil die gesamte, pro  $1 \text{ m}^3$  Wassergas aufgewendete Wärmemenge gleich der Summe des Wärmewertes des verbrauchten Kohlenstoffs und der oben berechneten Abkühlung des Generators  $A$  ist. Der Nutzeffekt  $N'$  ist aber

gleich der Verbrennungswärme des erzeugten Gases, dividiert durch die aufgewendete Wärme.

Die vorstehenden Berechnungen des Nutzeffektes beim Gasen sind für nicht vorgewärmten Dampf ausgeführt und selbstverständlich ist die Ausnutzung der Wärme eine weit günstigere, wenn man die, wie wir S. 791 gesehen haben, sehr beträchtliche Wärmemenge, welche man bei Anwendung eines Regenerators aufspeichern kann, zur Vorwärmung des Dampfes verwendet, da dann die Abkühlung des Generators (A) um jene Wärmemenge verringert wird, welche der Dampf aus dem Regenerator in den Generator mitbringt. Da die Temperatur des Regenerators in manchen Fällen über

Fig. 339.



1000° C beträgt und die spezifische Wärme bei dieser Temperatur pro 1 kg Wasserdampf 0,783 ist, somit pro 1 m<sup>3</sup> die vom Wasserdampf mitgebrachte Wärmemenge

$$0,805 \cdot 1000 \cdot 0,783 = 632 \text{ Kal.}$$

beträgt, so ist ersichtlich, daß der Vorteil der Anwendung der Regeneratoren betreffs der Wärmeausnutzung nicht unwesentlich ist. Es würde zu weit führen, hier auch den Einfluß des Regenerators beim Gasen rechnerisch zu verfolgen. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß die Regeneratoren eine wichtige Rolle bei der Wassergaserzeugung aus Steinkohle<sup>1)</sup> spielen, da bei dieser der überhitzte Wasserdampf die Steinkohlen entgast. Es ist dabei auch eine höhere Temperatur im Generator erforderlich, so daß beim Warmblasen viel Kohlenoxyd entsteht, und somit darf diese Wärmemenge nicht

<sup>1)</sup> Verfahren des Verfassers, D. R.-P. Nr. 90747.

verloren gegeben werden, sondern sie muß eben durch Anwendung des Regenerators zur Dampfüberhitzung dienen.

Der Gesamtnutzeffekt eines Generators ist also nicht nur durch den Nutzeffekt der Warmblaseperiode, sondern auch durch den Nutzeffekt der Gasperiode bedingt. Wir wollen den aus der Kombination dieser beiden Effekte erzielten den „Totalnutzeffekt“ nennen. Der Wärmeverlust, welcher beim Gasen im Generator entsteht, muß durch den Wärmegegewinn beim Warmblasen ersetzt werden. Da wir nun aber den Wärmeverlust beim Gasen mit  $A$  bezeichnet haben, so berechnet sich der Kohlenstoffverbrauch zum Ersatz dieser Wärmemenge, wenn wir diese durch jenen Teil der Verbrennungswärme des Kohlenstoffs dividieren, welcher beim Warmblasen tatsächlich im Generator verbleibt. Um letztere zu erhalten, müssen wir die theoretische Verbrennungswärme des Kohlenstoffs (8130 Kal. pro Kilogramm) mit dem Nutzeffekt beim Warmblasen multiplizieren. Da wir letzteren mit  $N$  bezeichnet haben, so ergibt sich der Kohlenstoffverbrauch zum Ersatz des Wärmeverlustes:

$$K = \frac{A}{8130 N} \cdot 100.$$

Wollen wir nun den Totalnutzeffekt beim Blasen und Gasen für jede bestimmte mittlere Temperatur kennen lernen, so müssen wir zunächst den Gesamtkohlenstoffverbrauch beim Blasen und Gasen zusammengenommen kennen lernen. Zu dem oben genannten Kohlenstoffverbrauch beim Blasen ist somit noch der Kohlenstoffverbrauch beim Gasen hinzuzuzählen. Die Größe desselben haben wir bereits oben berechnet und mit  $C'$  bezeichnet.

Der Totalnutzeffekt  $T$  resultiert also, wenn man die Verbrennungswärme des erzeugten Wassergases dividiert durch die Summe der Verbrennungswärmen des beim Blasen und beim Gasen verbrauchten Kohlenstoffs. Er ist somit

$$T = \frac{V'}{C' \cdot 8130 + \frac{A \cdot 100}{N \cdot 8130} \cdot 8130} = \frac{V'}{C' \cdot 8130 + \frac{A}{N} \cdot 100}.$$

Oder wenn wir den Wert für  $A$  einsetzen:

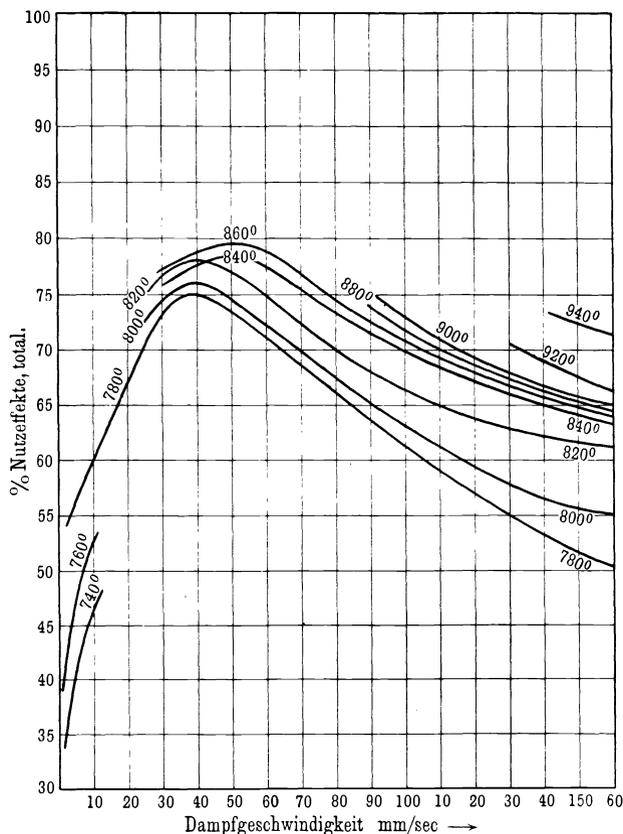
$$T = \frac{V'}{C' \cdot 8130 + \frac{B + E + \frac{S}{G}}{N} \cdot 100}.$$

Da in diesem Ausdruck die Verbrennungswärme des Wassergases pro Kubikmeter ( $V'$ ) und der Kohlenstoffgehalt des Wassergases pro Kubikmeter ( $C'$ ) sowie die Bildungswärme ( $B$ ) keinen starken Änderungen unterworfen sein können, so zeigt derselbe, daß der Totalnutzeffekt im wesentlichen abhängig ist von der durch Gas und Dampf abgeführten Wärme ( $E$ ) und dem Nutzeffekt beim Blasen ( $S$ ). Die Strahlung des Generators  $\frac{S}{G}$  kommt nur dann in Betracht, wenn die in der Zeiteinheit erzeugte Gasmenge  $G$  sehr klein und daher der genannte Quotient groß ist.

Ordnen wir jetzt — wie früher die Nutzeffekte beim Gasen — nun auch die Totalnutzeffekte nach Dampfgeschwindigkeiten bei bestimmten Temperaturen, so erhalten wir das Diagramm Fig. 340.

Hier zeigt sich das Maximum des Nutzeffektes nach etwas höheren Dampfgeschwindigkeiten zu verschoben, und zwar beträgt die günstigste Dampfgeschwindigkeit bei niedriger Temperatur etwa 50 mm pro Sekunde auf den freien Querschnitt des Generators gerechnet. Die Höhe des Maximums ist jedoch jetzt natürlich wesentlich niedriger als beim Nutzeffekt des Gasens allein, da ja der Gesamtnutzeffekt durch die Unvollkommenheiten des Warmblasens verringert wird. Das Maximum beträgt hier bei  $780^{\circ}$  73,5 Proz. und

Fig. 340.



bei  $860^{\circ}$  77 Proz. Es ist jedoch ersichtlich, daß, wenn diese Versuche auch auf höhere Temperatur fortgesetzt worden wären, das Maximum noch eine kleine Steigerung hätte erfahren können.

Wählen wir jedoch nicht die einzelnen Versuche zur Grundlage der Berechnung, sondern leiten die Totalnutzeffekte aus den allgemein berechneten Formeln ab, so ist es möglich, aus den Versuchsdaten auch die Totalnutzeffekte für höhere Temperaturen zu berechnen und resultiert hieraus das auf S. 810 wiedergegebene Diagramm Fig. 342. In diesem Diagramm zeigt die gestrichelte Linie die Abhängigkeit des Nutzeffektes des Warmblasens von der mittleren Temperatur des Generators. Dieser beträgt also bei  $650^{\circ}$  95 Proz., sinkt bei  $800^{\circ}$  auf etwa 53 Proz. und bei  $1000^{\circ}$  auf 31 Proz. herab, um schließlich bei  $1710^{\circ}$  gleich Null zu werden. Dies ist also die höchste Temperatur, welche durch Einblasen von kaltem Wind in heißen Kohlenstoff

erzielt werden kann. Ferner ist durch die volle starke Linie der Totalnutzeffekt gekennzeichnet. Dieser zeigt ein Maximum von 73 Proz. bei 800°, bei geringen Temperaturen fällt die Kurve wegen des schlechten Nutzeffektes beim Gasen ( $N'$ ) rasch ab, bei höheren Temperaturen sinkt die Kurve wesentlich wegen des schlechten Nutzeffektes beim Warmblasen ( $N$ ) und erreicht bei 1710°, wo der Nutzeffekt beim Blasen 0 ist, auch den Nullpunkt. Ebenso muß sie auch den Nullpunkt erreichen, wenn der Nutzeffekt beim Gasen 0 ist, d. i. bei etwa 700°. Das Maximum verschiebt sich naturgemäß bei geringeren Dampfgeschwindigkeiten etwas nach links gegen die geringeren Temperaturen, bei höheren Dampfgeschwindigkeiten etwas nach rechts gegen die höheren Temperaturen. Unter allen Umständen bleibt das Maximum zwischen den Temperaturen von 750 bis 1000°, also innerhalb jener mittleren Temperaturen des Generatorunterteiles, wo der Kohlensäuregehalt der Abgase beim Warmblasen 12 bis 7 Proz. beträgt. Der Verfasser hat daher dieses Temperaturgebiet, welches dem Kohlensäuregehalt von 12 bis 7 Proz. in den Warmblasegasen entspricht, zur Grundlage seines Wassergasverfahrens genommen<sup>1)</sup>.

Es ist ersichtlich, daß auch bei niedrigen Temperaturen die Abgase noch eine beträchtliche Quantität Kohlenoxyd enthalten, dessen Verbrennungswärme, wie schon früher erörtert, in Regeneratoren wieder gewonnen werden kann. Mit Hilfe dieser ist es dann möglich, den Totalnutzeffekt durch Vorwärmung des Dampfes über 80 Proz. zu treiben.

In dem hier der Berechnung unterzogenen Falle, wo das Warmblasen stets von unten und das Gasen stets von oben stattgefunden hat, dienen schon teilweise die oberen Koksschichten als Regenerator, da sie die Wärme der Abgase aufnehmen und später an den Dampf abgeben. Nur bei diesem Verfahren ist es möglich, die Wärmeverluste durch die Abgase so gering zu halten. Verläßt man das Gegenstromprinzip und leitet den Dampf von derselben Seite her in den Generator wie den Wind, so wird die Temperatur in allen Schichten eine gleichmäßigere, d. h. die unteren Schichten werden weniger heiß, die oberen dagegen heißer und die Folge davon ist naturgemäß, daß die Abgase mit höherer Temperatur abziehen und daher mehr Wärme mit fortführen, wodurch der Nutzeffekt beim Blasen verringert wird. Allerdings wird dieser Nachteil zum Teil dadurch aufgehoben, daß zufolge der gleichmäßigeren Temperaturverteilung, d. h. zufolge der geringeren Hitze im Untertheil des Generators beim Warmblasen mehr Kohlensäure erzeugt wird.

Im nachstehenden geben wir noch die komplette Wärmebilanz eines rationell betriebenen Wassergasgenerators in Zahlenwerten für eine mittlere Temperatur des Generators von  $t = 880^\circ$  und eine Dampfgeschwindigkeit von  $D = 43,5$  mm pro Sekunde.

Der Kohlensäuregehalt der Abgase beträgt bei dieser Temperatur . . . . .	$a = 9,0$ Proz.
Der Kohlenoxydgehalt, entsprechend der Formel $34,7 - 1,65a$ . . . . .	19,8 " "
Die Temperatur der Abgase ist . . . . .	$386^\circ \text{C}$ "
Beim Gasen ist dann das Verhältnis von zersetztem und unzersetztem Dampf . . . . .	$v = 19,1$
und der Kohlensäuregehalt des Wassergases . . . . .	$c = 2,8$ Proz.
schließlich die Temperatur des entweichenden Wassergases . . . . .	$t' = 440^\circ \text{C}$

<sup>1)</sup> Österreichisches Patent Nr. 23 197.

Beim Warmblasen verbrennen:

2,23 m <sup>3</sup> Luft mit 0,120 kg Kohlenstoff	zu 0,223 m <sup>3</sup> CO <sub>2</sub> . . . + 970 Kal.
0,264 "                  "	" 0,492 m <sup>3</sup> CO . . . + 653 "
ferner enthält	
noch die Luft	Stickstoff 1,760 m <sup>3</sup> N <sub>2</sub> . . . —
<hr/>	
Summe . . . 0,384 kg Kohlenst. geben	2,475 m <sup>3</sup> Abgase . + 1623 Kal.
Bei einer mittleren spezifischen Wärme dieser Abgase von	
0,38 pro 1 m <sup>3</sup> gehen bei 386° verloren . . . . .	— 315 Kal.
<hr/>	
somit verbleiben bei Verbrennung von 0,384 kg C . . . . .	+ 1308 Kal.

was einem Nutzeffekt des Blasens von 42 Proz. entspricht.

Beim nachfolgenden Gasen werden 1,70 m<sup>3</sup> Wassergas gebildet, wozu bei einem CO<sub>2</sub>-Gehalt des Wassergases von 2,8 Proz. . . . . — 1010 Kal.  
erforderlich sind.

Die Eigenwärme des den Generator verlassenden Wassergases beträgt bei einer mittleren spez. Wärme von 0,4 bei 440° . — 298 "  
somit Summe des Wärmeverbrauches . . — 1308 Kal.

Bei der Überführung des Dampfes in 1,7 m<sup>3</sup> Wassergas werden verbraucht . . . . . 0,443 kg C  
dazu die zum Warmblasen erforderlichen . . . 0,384 " C  
Summe . . . 0,827 kg C

Diese 0,827 kg C repräsentieren einen Wärmewert von . . . 6700 Kal.  
Die Verbrennungswärme von 1 m<sup>3</sup> Wassergas mit 2,8 Proz. CO<sub>2</sub>-Gehalt ist . . . . . 2740 "  
somit repräsentieren 1,7 m<sup>3</sup> . . . . . 4680 "  
d. i. 70 Proz. Nutzeffekt, ohne Berücksichtigung der im Regenerator wiederzugewinnenden Wärme.

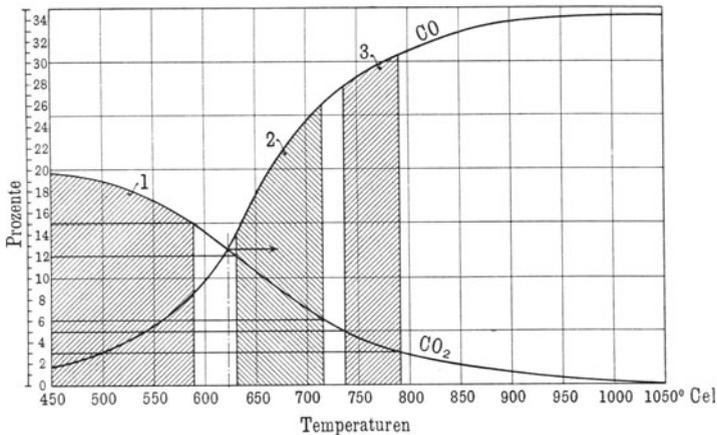
Auf Grund der vorstehenden Erörterungen ist es nun möglich, die verschiedenen Systeme der Wassergaserzeugung, welche gegen Ende des vorigen Jahrhunderts das Wassergas auch in Europa eingeführt haben, zu charakterisieren. Es ist dies das System der Europäischen Wassergas-Aktiengesellschaft, bei welchem mit hoher Temperatur im Generator ohne Anwendung eines Regenerators gearbeitet wurde, ferner das System der Erzeugung carburierten Wassergases von Humphrey und Glasgow, bei welchem zunächst ebenfalls eine sehr hohe Temperatur im Generator angewendet wird, wobei jedoch das beim Warmblasen entstehende Kohlenoxyd im Regenerator verbrannt und die Wärme aufgespeichert wird, welche dann zur Zersetzung der Öldämpfe zum Zwecke der Carburatation dient, ferner das von Fleischer verbesserte Dellwicksche Verfahren, bei welchem während des Warmblasens vornehmlich Kohlensäure, jedenfalls aber mehr Kohlensäure als Kohlenoxyd entstehen soll, und schließlich das Verfahren des Verfassers, das sogenannte „rationelle Verfahren der Wassergaserzeugung“<sup>1)</sup>, welches sich dadurch charakterisiert, daß beim Warmblasen eine solche Temperatur des Generators eingehalten wird, daß in den Abgasen zwischen 7 und 12 Proz. Kohlensäure enthalten sind.

Nehmen wir zur Grundlage der Unterscheidung dieser verschiedenen Verfahren betreffs der Temperatur das aus den Boudouardschen Versuchen

<sup>1)</sup> Österreichisches Patent Nr. 23197.

abgeleitete Diagramm Fig. 341, so kennzeichnen sich die angewendeten Temperaturen durch die mit 1, 2 und 3 bezeichneten Felder. Das Dellwik-Fleischersche Verfahren ist nur bei einer solchen Temperatur möglich, die durch das Feld 1 charakterisiert ist. Die Temperatur soll dabei so gehalten werden, daß der Kohlensäuregehalt größer ist als der Kohlenoxydgehalt. Ersterer muß daher mehr als 13 Proz. betragen. Dementsprechend müßte, den Gleichgewichtszustand vorausgesetzt, die Temperatur des Brennmaterials unter 600° gelegen sein. Das Dellwiksche Verfahren unterscheidet sich daher durch die Anwendung einer außerordentlich niederen Temperatur von den Verfahren, welche vorher angewendet wurden und welche sich durch Anwendung einer hohen Temperatur kennzeichnen. Dies betrifft sowohl das Verfahren der Europäischen Wassergas-Aktiengesellschaft als auch das Verfahren der Firma Humphrey u. Glasgow, die in dem vorstehenden Diagramm durch das Feld 3 charakterisiert sind. Der Kohlensäuregehalt des

Fig. 341.



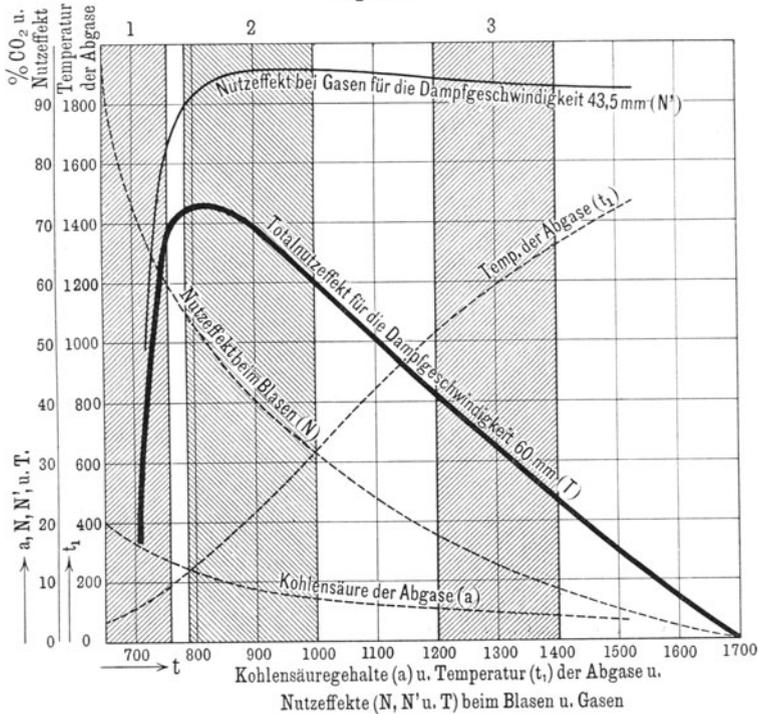
beim Warmblasen entstehenden Generatorgases liegt hier zwischen 5 und 3 Proz. Dementsprechend kann daraus gefolgert werden, daß die Temperatur des Generators eine hohe ist, gemäß des vorstehenden Diagramms etwa zwischen 730 und 800°. Das Verfahren des Verfassers dagegen ist dadurch charakterisiert, daß der Kohlensäuregehalt beim Warmblasen zwischen 7 bis 12 Proz. beträgt, und dementsprechend ergibt sich im vorstehenden Diagramm das Feld 2, welches etwa eine Temperatur von 630 bis 720° umfassen würde.

Wie aber schon früher erwähnt, treten praktisch die Gleichgewichtszustände nicht in der Weise ein, wie dies den Temperaturen nach den Boudouard'schen Versuchen entspricht, weil ja in der Praxis das theoretisch erreichbare Gleichgewicht nicht erreicht wird und die Temperaturen, bei denen der im Diagramm angegebene Kohlensäuregehalt der Verbrennungsgase erreicht wird, in der Praxis viel höhere sind, als bei dem idealen Gleichgewichtszustand. Dadurch verschieben sich die Felder und auch der Schnittpunkt der Kohlensäure- und Kohlenoxydkurven nach rechts in der Richtung der höheren Temperatur. Das Diagramm Fig. 342 zeigt die Verhältnisse, wie sie der Praxis entsprechen. Auch hier sind wieder die Felder, welche den ver-

schiedenen Verfahren entsprechen, durch Schraffierung gekennzeichnet und mit 1, 2 und 3 benannt.

Das Feld 1 entspricht dem Dellwickschen Verfahren, welches solche Temperaturen des Generators umschließt, bei denen während des Warmblasens mehr Kohlensäure als Kohlenoxyd entsteht, also mehr als 14 Proz. Kohlensäure in den Warmblasegasen enthalten sein muß. Das Feld 2 umschließt das Verfahren des Verfassers, bei welchem in den Warmblasegasen zwischen 7 und 12 Proz. Kohlensäure enthalten sein sollen, und schließlich deutet das Feld 3 die Temperatur an, welche bei dem älteren Verfahren der Europäischen

Fig. 342.



Wassergas-Aktiengesellschaft und früher auch bei jenen Verfahren, welche ölcarburiertes Gas erzeugen, wie z. B. Humphrey u. Glasgow, angewendet wurden.

Aus dem letzteren Diagramm ist nun ersichtlich, daß der Nutzeffekt der Warmblaseperiode, welcher durch die strichelierte Linie *N* gekennzeichnet ist, bei diesen älteren Verfahren ein sehr ungünstiger war. Dagegen war der Nutzeffekt der Gasperiode bei Wahl einer nicht zu großen Dampfgeschwindigkeit ein sehr guter. Der Totalnutzeffekt war jedoch durch den schlechten Nutzeffekt der Warmblaseperiode beeinflusst und lag zwischen 20 und 40 Proz.

Als das Dellwicksche Verfahren eingeführt wurde, erkannte man die Wichtigkeit des Warmblasens auf Kohlensäure, und ging aber in dem Bestreben, möglichst viel Kohlensäure zu erhalten, zu weit, denn wenn man gemäß der Dellwickschen Patente mehr Kohlensäure als Kohlenoxyd in den Abgasen enthalten haben wollte, so mußte man so niedrige Temperaturen im Generator anwenden,

daß sich beim Gasen zufolge des austretenden unzersetzten Dampfes ein zu schlechter Nutzeffekt ergab. Dies ist aus der Kurve des Totalnutzeffektes, welche im vorstehenden Diagramm durch eine dicke Linie gekennzeichnet ist, ersichtlich. Das Verfahren des Verfassers hält dagegen mit dem Kohlensäuregehalt von 7 bis 12 Proz. die Mitte zwischen den beiden genannten Verfahren ein und umschließt das Gebiet jener Temperaturen, welche die günstigste Ausbeute gewährleisten, d. i. jenes Gebiet, in dem der Nutzeffekt zwischen 60 und 73 Proz. liegt. Die Temperatur wurde dabei so gewählt, daß man auf jene Seite der Kurve des Totalnutzeffektes kam, welche vom Maximum rechts liegt, um bei diesen höheren Temperaturen eben auch eine größere Dampfgeschwindigkeit einhalten zu können und dadurch auch eine größere Leistungsfähigkeit eines Generators von bestimmten Dimensionen zu erreichen. Man hält dann je nach den Umständen, ob man die beste Ausbeute oder große Stundenleistung erreichen will, eine niederere um 800° gelegene (12 Proz. CO<sub>2</sub>) oder eine höhere in der Nähe von 1000° gelegene Temperatur ein (7 Proz. CO<sub>2</sub>).

Als Dellwik mit seinem Patent und Fleischer mit den Erläuterungen hierzu in die Öffentlichkeit traten, da ließen sich viele Fachmänner von der Einfachheit der Erklärung blenden und meinten, daß nun tatsächlich durch die Anwendung einer großen Windgeschwindigkeit und einer geringen Schichthöhe die Möglichkeit vorliege, bei der Warmblaseperiode des Wassergasprozesses eine vollständige Verbrennung zu Kohlensäure zu erzielen und dementsprechend Nutzeffekte zu erzielen, wie sie früher nicht bekannt waren. Die Urteile jedoch über das Dellwiksche Verfahren, welche man in den neueren Werken<sup>1)</sup> findet, schließen sich den hier gegebenen Erläuterungen über die Theorie des Warmblasens und der Wassergaserzeugung vollständig an, so daß man nun wohl annehmen darf, daß die Periode des Irrtums beendet ist.

Wir werden später sehen, daß es bei der praktischen Durchführung des Wassergasprozesses in manchen Fällen geboten ist (vgl. S. 825), das Gegenstromprinzip beim Dampfleinleiten zu verlassen. Bei manchen Generatorkonstruktionen ist es notwendig, das Einleiten des Dampfes abwechselnd von unten und von oben zu vollziehen, damit der Unterteil des Generators gekühlt wird und die dort angebrachten Roststäbe nicht Schaden leiden. Das abwechselnde Gasen von oben und von unten bedingt allerdings eine wesentliche Komplikation des Generatorbetriebes, hingegen wird der Betrieb des Generators wesentlich vereinfacht, wenn man den Dampf überhaupt nur von unten einleitet, also an derselben Stelle, wo auch der Wind zugeführt wird. Der Einfachheit halber wollen wir den letzten Fall zuerst betrachten, obwohl derselbe in der Praxis seltener angewendet ist.

Die Folgen, welche dadurch hervorgerufen werden, daß der Wasserdampf von unten eingeblasen wird, sind zweierlei Art. Einmal gelangt der Dampf mit der Temperatur, wie er eben in den Generator einströmt, direkt in die zersetzende Zone, er ist also nicht im geringsten vorgewärmt, dadurch wird natürlich der Nutzeffekt der Gaseperiode ein schlechterer; zum zweiten aber ergibt die Abkühlung des Generatorunterteiles eine gleichmäßigere Verteilung der Wärme, indem der Dampf bzw. das durch die Zersetzung desselben ent-

---

<sup>1)</sup> Zum Beispiel v. Jüptner, Chemische Technologie der Energien, und v. Ihering, Die Gasmaschinen.

standene Wassergas einen Teil der Wärme des Unterteiles des Generators nach oben trägt und die oberen Koksschichten erwärmt. Die gleichmäßigere Wärmeverteilung hat zur Folge, daß bei gleicher mittlerer Temperatur des ganzen Generators die untersten Schichten, wo die Luft beim Blasen eintritt, weniger heiß sind, und daß deshalb der Nutzeffekt bei der Warmblaseperiode verbessert wird, weil weniger Kohlenoxyd entsteht. Beim Gasen von unten wird also der Nutzeffekt der Warmblaseperiode verbessert, der Nutzeffekt der Gaseperiode hingegen verschlechtert. Es wird von den Umständen abhängen, ob das eine oder das andere überwiegt, jedoch kann man im großen ganzen sagen, daß das Gesamtergebn beim Gasen von unten ein schlechteres ist, als beim Gasen von oben. Es ist dies eben eine Folge der schlechteren Zersetzung des nicht vorgewärmten Dampfes.

Bei den Verfahren, welche abwechselnd von oben und unten gasen, aber immer von unten warmblasen, wie z. B. beim Verfahren von Dellwik-Fleischer und bei dem Verfahren von Humphrey u. Glasgow, wird der Effekt natürlich in der Mitte zwischen den beiden Extremen liegen, d. h. das Resultat beim Blasen wird günstiger sein, als bei jenen Generatoren, bei welchen immer von oben gegast wird, dagegen schlechter als bei jenen, bei denen die Gaserzeugung immer von unten erfolgt. Hingegen wird jedoch der Nutzeffekt des Gasens bei den Generatoren mit Wechselbetrieb ein schlechterer sein, als bei jenen mit Gegenstromprinzip und ein besserer, als bei Generatoren, in die immer von unten Dampf eingeleitet wird. Daß der Nutzeffekt der Gaseperiode bei den Generatoren mit Wechselbetrieb tatsächlich ein schlechterer ist, wenn von unten gegast wird, geht auch daraus hervor, daß die Perioden, wo von unten gegast wird, eine wesentlich geringere Gasmenge ergeben, als wenn die Einleitung des Dampfes von oben erfolgt.

Als das Dellwiksche Verfahren bekannt wurde, haben Kramers u. Aarts die dadurch gegebenen vermeintlichen Vorteile des Warmblasens mit kurzer Schichthöhe dadurch auszunutzen gesucht, daß sie zwei Generatoren mit niedriger Schichthöhe nebeneinander anordneten und zu gleicher Zeit warmbliesen, während sie das Gasen derart bewirkten, daß das zunächst in einem Generator gebildete Wassergas auch noch den zweiten Generator zu durchstreichen hatte, so daß der in dem ersten Generator etwa unzersetzt gebliebene Wasserdampf in dem zweiten vollständig zersetzt wurde. Dieses Verfahren könnte natürlich nur dann Vorteile bieten, wenn die verhältnismäßig niedrige Schichthöhe einen Einfluß auf den Nutzeffekt beim Warmblasen hätte, was jedoch nicht der Fall ist, wie wir oben ausführlich erörtert haben. Die beim Warmblasen verloren gehende Wärme speichern Kramers u. Aarts in Regeneratoren auf, indem sie dort das Kohlenoxyd, welches beim Warmblasen mit entweicht, auch noch verbrennen, und dies bringt natürlich die gleichen Vorteile, wie ein Regenerator überhaupt. Ferner haben Kramers u. Aarts angegeben, daß durch Zufuhr von Wasserdampf zu dem Wassergas, welches aus dem ersten Generator entweicht, der Kohlenoxydgehalt desselben in Kohlensäure verwandelt wird und daß nachträglich diese Kohlensäure in dem zweiten Generator wieder zu Kohlenoxyd reduziert wird, wodurch ein Wassergas mit besonders geringem  $\text{CO}_2$ -Gehalt erzielt werden soll. Zweifellos wird es möglich sein, das Wassergas im Regenerator durch Dampffzufuhr zum größten Teil in Kohlensäure und Wasserstoff zu verwandeln, doch ist nicht einzusehen, warum die nachträgliche Reduktion der Kohlensäure zu Kohlen-

oxyd einen geringeren Gehalt an Kohlensäure ergeben soll, als wenn das Wassergas unmittelbar mit geringem Kohlensäuregehalt erzeugt wird.

Aus den genannten Gründen ist mit allen den Verfahren, die hier erwähnt sind, keine Verbesserung des Wassergasbetriebes erzielt worden; in der Praxis geben alle diese Verfahren die gleiche Ausbeute, wenn sie in gleicher Weise, d. h. bei gleicher Temperatur und Dampfgeschwindigkeit betrieben werden. Die Ausbeute und die Zusammensetzung des erzeugten Wassergases sind eben ausschließlich durch die Temperatur des Brennmaterials beim Warmblasen und durch die Dampfgeschwindigkeit bedingt, so daß bei jedem dieser Verfahren das gleiche Resultat erreicht werden kann, wenn entsprechende Temperaturen und Dampfgeschwindigkeiten eingehalten werden.

Wenn man eine ganz vollständige Zersetzung des Dampfes erzielen und jede Verunreinigung des Wassergases vermeiden könnte, so müßte dasselbe aus gleichen Raumteilen von Kohlenoxyd und Wasserstoff bestehen. Daß das in der Praxis gewonnene Wassergas stets noch Kohlensäure enthalten muß, geht aus dem oben Gesagten zur Genüge hervor. Aber auch andere verunreinigende Stoffe sind in dem Wassergase, wie es dem Generator entströmt, vorhanden, deren Abstammung und Entfernung folgend behandelt werden mögen.

Durch die Geschwindigkeit des Gasstromes werden aus den Generatoren Aschenbestandteile und auch kleine Koksstückchen mit fortgerissen, welche eine mechanische Verunreinigung des Wassergases darstellen. Die Entfernung derselben erfolgt durch Waschen mit Wasser in gewöhnlichen Skrubbern.

Der Kohlensäuregehalt des Wassergases ist eine Folge ungenügender Dampfzersetzung (S. 798) und beträgt je nach der Erzeugungsweise etwa zwischen 2 und 6 Proz. Es liegt jedoch kein Hindernis vor, Wassergas mit viel niedrigerem Kohlensäuregehalt — auch unter 1 Proz. — zu erzeugen, wenn man entsprechend hohe Temperaturen und geringe Dampfgeschwindigkeiten anwendet. Ebenso kann es in der Praxis vorkommen, daß durch unrichtige Leitung des Wassergasprozesses der Kohlensäuregehalt desselben weit über 10 Proz. steigt. Ein Teil der Kohlensäure wird von dem Waschwasser im Skrubber aufgenommen, der größte Teil des Kohlensäuregehaltes verbleibt jedoch im Gase. Eine Entfernung desselben würde umständlich und kostspielig sein und außerdem ist der Kohlensäuregehalt für die weiteren Verwendungszwecke nicht von so besonderer Bedeutung, so daß man denselben gewöhnlich im Gase beläßt. Wassergas mit einem Kohlensäuregehalt von 2 Vol.-Proz. gilt als ein sehr gutes, solches mit 6 Vol.-Proz. als ein schlechtes Wassergas.

Außer der Kohlensäure bildet der Stickstoff eine wesentliche Verunreinigung des Wassergases. Nach dem Warmblasen, wenn das Gebläse abgestellt wird, ist der Unterteil des Generators mit Luft, und sind die Hohlräume zwischen den Koksstücken, sowie der Oberteil des Generators mit Generatorgas bzw. Verbrennungsgasen gefüllt. Ein großer Teil der Hohlräume ist daher mit Stickstoff erfüllt. Wird nun auf „Gasen“ umgestellt und leitet man dann den Dampf in den Generator, so gelangen naturgemäß die in den Hohlräumen vorhandenen Gase mit in das Wassergas, und dadurch gerät eine bedeutende Menge von Stickstoff in dasselbe. Dies könnte vermieden werden, wenn man den ersten Teil des Gases in die Luft auslassen würde. Da jedoch der Stickstoffgehalt im Gase eine nur unbedeutende Rolle spielt,

so läßt man ihn gewöhnlich in dem Gase und nimmt das Ausblasen des Generators nur dann vor, wenn es sich in besonderen Fällen um die Erzeugung eines möglichst stickstoffarmen Wassergases handelt. Der Stickstoffgehalt ist natürlich um so größer, je größer die Hohlräume sind, welche sich im Generator befinden. Ist an den Generator ein Regenerator angeschlossen, so ergeben sich noch größere Hohlräume, und dadurch wird der Stickstoffgehalt gesteigert. In solchen Fällen ist das Ausblasen der Regeneratoren mit Dampf vor der Gaserzeugung zu empfehlen. Weiteres über den Stickstoffgehalt werden wir bei Besprechung des Dampfschlußmehlers kennen lernen. Der Stickstoff im Wassergase schwankt gewöhnlich zwischen 4 und 7 Proz., in besonderen Fällen kann er jedoch auch über 10 Proz. steigen.

Der Stickstoffgehalt bewirkt ebenso wie der Kohlensäuregehalt eine Herabsetzung des Heizwertes des Wassergases in dem gleichen Maße, wie diese verunreinigenden Bestandteile im Wassergase vorhanden sind. Der Stickstoffgehalt ist jedoch nicht so schädlich, wie der Kohlensäuregehalt, weil die Flammentemperatur nicht so sehr vom Stickstoffgehalt beeinflußt wird, wie von dem Kohlensäuregehalt. Die Kohlensäure hat nämlich bei hohen Temperaturen eine weit größere spezifische Wärme als der Stickstoff und verringert daher weit mehr die Flammentemperatur des Gases als der Stickstoff.

Es ist jedoch nicht die Luft allein, von welcher der Stickstoffgehalt im Wassergase stammt. Ein Teil desselben rührt auch von dem Stickstoffgehalt des Brennmaterials her. Dieser Anteil ist zwar kein großer, aber bei Verbrennung gelangt doch der ganze Stickstoff des Brennmaterials in das Wassergas.

Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Cyanverbindungen (CNH) können im Wassergase nur dann vorhanden sein, wenn das Gasen von unten erfolgt, so daß das frisch aufgegebene Brennmaterial durch das heiße Wassergas entgast wird, wobei das erzeugte Wassergas keine besonders hohe Temperatur mehr zu durchschreiten hat. Im anderen Falle, wenn das Gasen von oben erfolgt und das erzeugte Wassergas den Generator an der heißesten Stelle verläßt, werden diese Verbindungen durch die hohe Temperatur vollständig zerlegt. Das Ammoniak zerfällt dabei in Stickstoff und Wasserstoff und der Cyanwasserstoff wird ebenso in seine Elemente zerlegt.

Der geringe Sauerstoffgehalt von etwa 0,5 bis 1,0 Vol.-Proz., welcher sich beinahe immer im Wassergase vorfindet, gerät in der gleichen Weise in das Wassergas wie der Stickstoff. Während des Umsteuerns ist ein Teil des Wassergasgenerators noch mit der zum Warmblasen verwendeten Luft gefüllt und der Sauerstoffgehalt derselben tritt mit dem Wassergase aus. Ein Sauerstoffgehalt verringert zwar den Heizwert des Wassergases ebenso, wie irgend eine andere inaktive Verunreinigung, er bewirkt aber keine Herabsetzung der Flammentemperatur, sondern im Gegenteil eine Steigerung derselben, weil dadurch die Verbrennung beschleunigt wird. Man läßt daher stets den Sauerstoff im Wassergase.

Kohlenwasserstoffe, insbesondere Methan (CH<sub>4</sub>), können im Wassergase in geringen Mengen namentlich dann auftreten, wenn das Gasen von unten erfolgt. Auch wenn man Koks als Brennmaterial verwendet, sind in demselben immer noch wasserstoffhaltige Produkte vorhanden, welche in der Wärme Methan liefern. Dieses entweicht dann beim Gasen von unten unzersetzt mit dem Wassergase. Erfolgt hingegen das Gasen von oben, so muß

das Methan enthaltende Wassergas die heiße untere Zone des Generators passieren und dabei wird auch der größte Teil des Methangehaltes in Kohlenstoff und Wasserstoff zersetzt. Allerdings ist diese Zersetzung selten eine vollkommene, so daß doch noch immer geringe Mengen von Methan im Wassergase enthalten bleiben. Der Methangehalt schwankt dann gewöhnlich zwischen 0,5 und 1,5 Proz.; er kann hingegen 2 bis 3 Proz. betragen, wenn das Gasen von unten erfolgt und dadurch die Zersetzung vermieden wird. Selbst ein geringer Gehalt an Methan vermag den Heizwert des Wassergases pro Kubikmeter wesentlich zu erhöhen, da der Heizwert von 1 Vol. Methan etwa dreimal so groß ist, wie der von 1 Vol. Wassergas. Die Flammentemperatur des Gases wird jedoch durch einen Methangehalt nicht erhöht, weil das Methan eine geringere Verbrennungsgeschwindigkeit besitzt (vgl. S. 60).

Es ist nicht ausgeschlossen, daß der Methangehalt des Wassergases seine Entstehung nicht nur dem angewendeten Brennmaterial verdankt, sondern daß bei der Wassergaserzeugung eine Synthese des Methans stattfindet. Wie wir unter dem Kapitel „Methan“ kennen lernen werden, vermag sich nämlich Kohlenstoff und Wasserstoff direkt zu Methan zu vereinigen, namentlich dann, wenn solche Stoffe vorhanden sind, die eine derartige Vereinigung begünstigen (Katalysatoren). Da nun die Schlacke des Generators eisenhaltig ist, und Eisenoxyd bzw. metallisches Eisen als Katalysator für diese Reaktion dienen kann, so ist es recht wohl möglich, daß sich Kohlenstoff und Wasserstoff im Wassergasgenerator in geringen Mengen zu Methan vereinigen. Auch der Methangehalt wird im Wassergase stets angetroffen und stehen uns gegenwärtig auch keine Mittel zur Verfügung, um denselben zu beseitigen.

Während somit die vorstehenden Verunreinigungen gewöhnlich im Wassergase belassen werden, da sie dessen Verwendung nicht behindern, sind die nachstehenden Verunreinigungen unangenehmerer Art und ist daher eine Beseitigung derselben möglichst anzustreben.

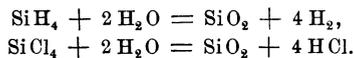
Das zur Wassergaserzeugung verwendete Brennmaterial — gewöhnlich Koks — ist, wenn man nicht Holzkohle verwenden will, stets schwefelhaltig und dementsprechend enthält das erzeugte Wassergas auch stets eine beträchtliche Menge von Schwefelverbindungen. Die wesentlichste derselben ist ebenso wie bei der Steinkohlengaserzeugung der Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ). Die Entfernung desselben muß stets in vollkommener Weise durchgeführt werden, wenn es sich um die Verwendung des Wassergases in geschlossenen Räumen handelt. Dort hingegen, wo das Wassergas im Freien oder in gut ventilierten Räumen verwendet wird, wie z. B. beim Schweißen mit Wassergas, wird die Entfernung des Schwefelwasserstoffs nicht vorgenommen. Die Entfernung geschieht in der gleichen Weise durch die gewöhnliche Gasreinigungsmasse, wie wir dies beim Steinkohlengas bereits kennen gelernt haben (vgl. S. 444).

Die anderen Schwefelverbindungen, namentlich Schwefelkohlenstoff ( $CS_2$ ), treten ebenso wie im Steinkohlengas auch im Wassergase auf. Der Schwefelwasserstoff zersetzt sich ja bei hohen Temperaturen in Schwefel und Wasserstoff und der abgeschiedene Schwefel vereinigt sich dann bei diesen hohen Temperaturen, die im Wassergasgenerator vorhanden sind, mit dem Kohlenstoffgehalt des Brennmaterials zu Schwefelkohlenstoff. Auch andere organische Schwefelverbindungen mögen dabei in geringen Mengen auftreten. Der gesamte Schwefelgehalt des Wassergases, der nicht als Schwefelwasserstoff

austritt, ist jedoch wesentlich geringer als beim Steinkohlengas. Eine Entfernung des Schwefelkohlenstoffs aus dem Wassergase wird aus diesem Grunde wohl nirgends durchgeführt, obwohl die gleichen Mittel zur Entfernung desselben angewendet werden können, wie beim Steinkohlengas (S. 483).

Auch der Schwefelwasserstoffgehalt des rohen, ungereinigten Wassergases ist wesentlich geringer als beim Steinkohlengas und beträgt etwa nur den dritten Teil des letzteren, wenn zur Vergasung Koks verwendet wird; ein großer Teil der Schwefelverbindungen der Steinkohle entweicht ja, wie wir gesehen haben (S. 314), bei der Entgasung der Kohle mit dem Steinkohlengas und nur ein verhältnismäßig geringer Teil verbleibt im Koks. Daraus geht ohne weiteres hervor, daß der Schwefelgehalt des Wassergases, das man aus dem Koks gewinnt, ein geringerer sein muß, als der Schwefelgehalt des Steinkohlengases.

Schädliche Verunreinigungen im rohen Wassergase sind die Verbindungen des Siliciums, nämlich der Siliciumwasserstoff ( $\text{SiH}_4$ ) und das Chlorsilicium ( $\text{SiCl}_4$ ). Die Schlacke des Brennmaterials ist in den allermeisten Fällen kiesel säurehaltig und die Kieselsäure wird während des Wassergasprozesses reduziert, wobei sich das entstehende Silicium zum Teil mit dem im Wassergasprozeß erzeugten Wasserstoff, zum Teil aber mit dem Chlor, welches ebenfalls in der Schlacke des Brennmaterials vorhanden ist, verbindet und die oben genannten Verbindungen liefert. Diese treten zunächst gas- oder dampfförmig im Wassergase auf; durch die natürliche Feuchtigkeit des Gases werden dieselben jedoch zersetzt, indem sich durch Einwirkung des Wasserdampfes Kieselsäure und Wasser bzw. Kieselsäure und Salzsäure bilden, nach den Gleichungen:



Die Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) scheidet sich nun im Gase in Form eines außerordentlich feinen festen Pulvers ab. Dieses feine Pulver bleibt jedoch zunächst im Gase suspendiert und scheidet sich beim ruhigen Stehen desselben nur unvollkommen und langsam ab. Will man dieses Pulver entfernen, so ist eine Filtration des Gases erforderlich. Die gewöhnliche Waschung des Gases mit Wasser in den Skrubbern genügt hierzu keineswegs. Zur Filtration verwendet man Sägemehl aus hartem Holz, das in den gewöhnlichen Massereinigern angewendet wird. Das Sägemehl muß in mindestens 200 mm hoher Schicht und ziemlich fest gestampft angewendet werden, damit das feine Kieselsäurepulver vollständig zurückgehalten wird. Eine derartige Schicht von feinkörnigem Sägemehl setzt jedoch dem Gasstrom einen großen Widerstand entgegen. Es darf daher nur eine geringe Geschwindigkeit des Gasstromes angewendet werden, wenn man keine zu hohen Druckverluste erhalten soll. Die Geschwindigkeit auf den freien Querschnitt des Reinigers gerechnet, soll 10 mm pro Sekunde nicht übersteigen; da jedoch eine so geringe Geschwindigkeit sehr große Reiniger erfordert, so ist es bei größeren Anlagen zweckmäßig, Reiniger mit geteiltem Strome zu verwenden. Es kommt ja bei dieser Art der Reinigung nicht darauf an, das Gas lange Zeit mit der Reinigungsmasse (in diesem Falle Sägemehl) in Berührung zu lassen, wie dies bei der Schwefelwasserstoffreinigung der Fall ist, sondern es genügt eine einmalige Filtration durch eine Schicht von Sägemehl. Deshalb sind Reiniger mit geteiltem Strome, z. B. solche mit Jägerhorden, in diesem Falle sehr zweckmäßig.

Die vollständige Entfernung der Kieselsäure aus dem Wassergase ist immer erforderlich, wenn dasselbe in Brennern verbrannt werden soll, welche verhältnismäßig kleine Ausströmungsöffnungen besitzen, wie z. B. in Brennern für die Gasglühlichtbeleuchtung, weil sich die Ausströmungsöffnungen in kurzer Zeit verlegen würden, wenn die Kieselsäure im Wassergase belassen würde. Dies ist einer der Umstände, welche in früherer Zeit häufig dazu geführt haben, daß Wassergasanlagen, die mit nicht genügender Sachkenntnis ausgeführt oder betrieben waren, nicht dauernd zur tadellosen Beleuchtung mit Gasglühlicht brauchbar waren. Die vollständige Entfernung der Kieselsäure ist jedoch keine Schwierigkeit, wenn genügend reines Sägemehl und unbedingt solches aus hartem Holz, denn nur dieses ist feinkörnig genug, angewendet wird und dafür gesorgt wird, daß das Sägemehl überall gleichmäßig dicht liegt.

In Anlagen, die nur für Heizungszwecke dienen und wo das Gas nur in großen Brennern verbrannt wird, wie z. B. beim Schweißen mit Wassergas, verzichtet man auf eine Entfernung der Kieselsäure. Allerdings ist dann eine häufige Reinigung der betreffenden Brenner erforderlich und auch die Rohrleitungen verlegen sich allmählich mit dem feinen weißen Pulver, das wir soeben als Kieselsäure bezeichnet haben. Eine teilweise Entfernung der Kieselsäure, die manchmal in solchen Anlagen durchgeführt wird, kann dadurch bewirkt werden, daß man absichtlich einen größeren Überschuß von Dampf im Wassergase läßt oder durch Eintropfen von Wasser in das Gasaustrittsrohr, wo das Wasser verdampft, erzeugt, so daß bei der Kondensation des Wasserdampfes im Skrubber die dabei entstehenden feinen Wassertröpfchen die Kieselsäure mit niederschlagen. Die auf diese Weise durchgeführte Entfernung der Kieselsäure ist jedoch durchaus keine vollkommene und sie ist vollständig ungenügend für die Beleuchtung mit Wassergasglühlicht.

Das feine weiße Pulver, welches wir als Kieselsäure bezeichnet haben und welches sich auch in beträchtlichen Quantitäten an allen Teilen ansetzt, wo das uncarburierte Wassergas dem Generator entweicht, insbesondere auch an den Mortonverschlüssen, besteht allerdings nicht aus reiner Kieselsäure, sondern nur zum großen Teil aus Kieselsäure. Eine von Jahoda ausgeführte Analyse<sup>1)</sup> ergab folgende Resultate:

SiO <sub>2</sub> . . . . .	51,5 Proz.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	8,7 "
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	8,3 "
CaO . . . . .	2,8 "
MgO . . . . .	3,4 "
K <sub>2</sub> O . . . . .	2,0 "
Na <sub>2</sub> O . . . . .	9,1 "
S . . . . .	2,2 "
Glühverlust (CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O) . . . . .	10,0 "
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	geringe Mengen
SO <sub>3</sub> . . . . .	Spuren
Mn. . . . .	"

Eine andere Verunreinigung, welche bei der Glühlichtbeleuchtung mit uncarburiertem Wassergas sehr schädlich wirkt, ist eine Verbindung von Kohlenoxyd mit Eisen, die allerdings in sehr geringer Menge in dampfförmigem Zustande im rohen Wassergase enthalten ist. Diese „Eisencarbonyl“ oder

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1899, S. 378.

„Kohlenoxydeisen“ genannte Verbindung entsteht, wenn Kohlenoxyd über fein verteiltes frisch reduziertes Eisen geleitet wird. Die Verbindungen, welche sich dabei bilden, sind noch nicht genau untersucht. Es ist nur festgestellt, daß sich ein Atom Eisen mit mehreren Molekülen Kohlenoxyd zu verschiedenen Eisenkohlenoxydverbindungen vereinigen kann. Diese Verbindungen sind zuerst von Mond, Langer und Quincke entdeckt worden. Leitet man Kohlenoxydgas über frisch reduziertes Eisen, so soll sich bei gewöhnlicher Temperatur ein Eisenpentacarbonyl von der Formel  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  bilden. Bei einer Temperatur von  $80^\circ$  dagegen verbindet sich das Eisen mit 4 Mol. Kohlenoxyd zu der Verbindung  $\text{Fe}(\text{CO})_4$ . Diese beiden Verbindungen sind allerdings bei gewöhnlicher Temperatur flüssig, sie sind jedoch leicht flüchtig, so daß sich Dämpfe dieser Flüssigkeiten auch bei gewöhnlicher Temperatur im Wassergase vorfinden.

Die Entstehung dieser Verbindungen im Wassergasgenerator ist wohl erklärlich, denn die Schlacke des Brennmaterials enthält Eisenoxyde, welche durch das Wassergas in der hohen Temperatur des Generators zu Eisen reduziert werden. Dieses metallische Eisen verdampft und verbindet sich dann beim Austritt des Wassergases aus dem Generator, wo dasselbe eine geringere Temperatur besitzt, mit dem Kohlenoxydgehalt des Wassergases zu den genannten Eisencarbonylen. In der Glühhitze werden diese Verbindungen wieder zu metallischem Eisen und Kohlenoxyd zerlegt. Es ist also nicht wahrscheinlich, daß das Eisencarbonyl in der heißesten Zone des Generators gebildet wird, sondern es kann erst dort entstehen, wo das Gas schon eine geringere Temperatur besitzt. Es fragt sich dann nur, ob an diesen Stellen auch metallisches Eisen zur Verfügung steht. Nun enthält aber auch das weiße Pulver, welches sich an den Generatorenwandungen im Unterteil ansetzt, wie wir schon erwähnt haben (S. 817), stets Eisenoxyd, was ein Beweis dafür ist, daß das Eisen in Dampfform mit dem Wassergase aus der heißen Zone des Generators entweicht. Auch etwas eisenhaltige Flugasche mag mitgerissen werden, jedoch könnte diese letztere nicht in so fein verteilter Form auftreten, daß dies den gleichmäßigen Belag der Rohrleitungen und sonstigen Apparateile mit diesem außerordentlich feinkörnigen Pulver bewirken würde. Ferner aber steht das aus dem Generator entweichende Gas auch mit den eisernen Wandungen der Apparate und Rohrleitungen in Berührung, so daß auch von diesen Eisen in das Wassergas aufgenommen werden kann. Daß eine solche Aufnahme auch bei gewöhnlicher Temperatur tatsächlich stattfindet, geht daraus hervor, daß vollständig von Eisen befreites Wassergas, wenn man es durch blanke eiserne Rohrleitungen leitet, wieder Eisen aufnimmt unter Bildung der Eisencarbonyle.

Man kann das Eisencarbonyl im Wassergase nachweisen, wenn man dasselbe in langsamem Strome durch ein schwer schmelzbares Glasrohr leitet, welches an einer Stelle zu einer Kapillare ausgezogen ist. Diese Kapillare steckt man zum Zwecke der gleichmäßigen Erhitzung in ein Porzellanröhrchen (Pfeifenröhrchen), welches durch eine Gasflamme an einer Stelle zum hellen Rotglühen erhitzt ist. Das Eisen scheidet sich dann in Form eines schwarzen Beschlages in der Glaskapillare ab und man kann durch die Intensität der Färbung die abgeschiedene Eisenmenge kolorimetrisch bestimmen. Sind nur sehr geringe Mengen vorhanden, so löst sich das Eisen in dem erweichten Glase auf, indem es dem Glase eine braune Färbung erteilt; will man daher

die Probe noch genauer gestalten, und auch außerordentlich geringe Mengen von Eisen im Gase nachweisen, so leitet man nach der Abscheidung des Eisens einen Strom von Schwefelwasserstoff in das Kapillarröhrchen und erwärmt dasselbe über einer Gasflamme ein wenig. Es bildet sich dann schwarzes Schwefeleisen, welches noch viel deutlicher erkannt werden kann, als die braune Färbung, welche das Eisen dem Glase mitteilt.

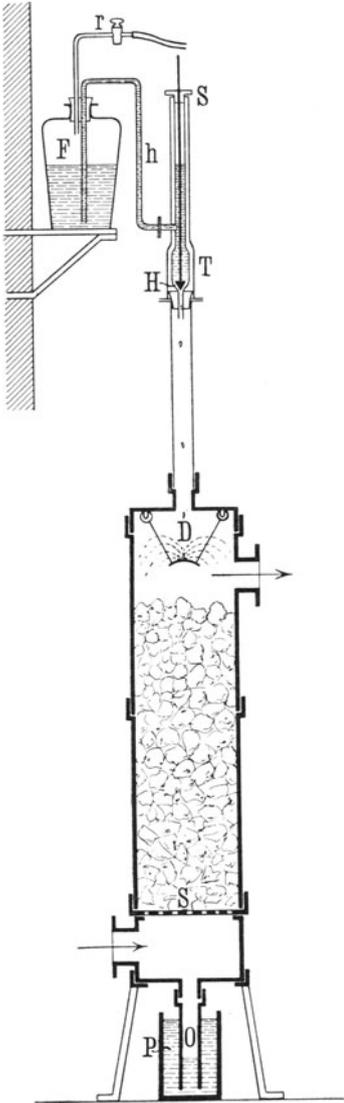
Die Mengen des im Wassergase enthaltenen Eisencarbonyls ist zu verschiedenen Zeiten und in verschiedenen Anlagen außerordentlich verschieden. Selbst bei Anwendung des gleichen Brennmaterials in der gleichen Anlage und bei gleicher Arbeitsweise ist die Menge von Eisen, welche im Wassergase enthalten ist, durchaus verschieden. Sie schwankt sogar zwischen 0,1 und 1,0 mg metallischem Eisen pro Kubikmeter Gas. Der Gehalt von 0,6 mg Eisen in 1 m<sup>3</sup> Wassergas macht das uncarburierte Gas zur Beleuchtung mit Glühlicht schon untauglich, weil das Eisencarbonyl in der Flamme des Wassergases zu Eisenoxyd verbrennt und dieses sich an den Glühkörpern absetzt und dieselben in einen braunen nicht leuchtenden Überzug einhüllt. Erzeugt man dagegen ölcaburiertes Wassergas, so tritt ein wesentlicher Gehalt an Eisencarbonyl im Gase überhaupt nicht auf, weil der Ölgasteer, welcher sich aus dem Gase in der Kondensation abscheidet, ein gutes Lösungsmittel für Eisencarbonyl ist und dieses daher aus dem Gase niedergeschlagen wird. Bei der Anwendung des ölcaburierten Gases hat man also von einer Verunreinigung nichts zu fürchten, dies ist wohl auch der Umstand, der es ermöglichte, daß auch das ölcaburierte Wassergas, welches in den Vereinigten Staaten in so ausgedehntem Maße bereits Verwendung fand, als das Glühlicht auftrat, der Verbreitung des Auerschen Gasglühlichtes kein Hindernis in den Weg legte. Dagegen mußte eine Anzahl von Versuchen, welche im großen Maßstabe durchgeführt worden waren, um das uncarburierte Wassergas zur Beleuchtung mit Gasglühlicht zu verwenden, zufolge der Anwesenheit dieser Verunreinigung aufgegeben werden, und erst als es gelang, diese Verunreinigung vollständig zu beseitigen, konnte das uncarburierte Wassergas zur Gasglühlichtbeleuchtung verwendet werden<sup>1)</sup>.

Die Entfernung der Eisencarbonyle aus dem Wassergase kann auf zweierlei Weise geschehen. Entweder mit Hilfe von konzentrierter Schwefelsäure oder durch Behandlung des Gases mit Mineralölen. Zur Behandlung mit Schwefelsäure wird das Gas durch skrubberähnliche Apparate geleitet, welche mit Bimsstein gefüllt sind und von oben aus mit Schwefelsäure berieselt werden. Fig. 343 zeigt einen derartigen Schwefelsäureapparat. Bei gleichmäßiger Berieselung des Bimssteines mit Schwefelsäure ist der Verbrauch an Säure ein außerordentlich geringer. Er ist hauptsächlich dadurch bedingt, daß das Wassergas durch die Schwefelsäure nicht nur von Eisen befreit, sondern auch gleichzeitig getrocknet wird. Durch die Aufnahme von Wasser aus dem Gase verdünnt sich aber die Schwefelsäure und wird dadurch für die Aufnahme von Eisencarbonyl ungeeignet, so daß man dafür sorgen muß, daß immer ein genügender Anteil an konzentrierter Schwefelsäure vorhanden ist. Es muß daher bei diesen Schwefelsäurereinigern das Gegenstromprinzip eingehalten werden, derart, daß die konzentrierte bereits mit Eisen beladene Schwefelsäure zur Trocknung des frisch hinzuströmenden Gases dient und sich dabei verdünnt.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1894, S. 96.

Zufolge des geringen Verbrauches an Schwefelsäure muß man besondere Vorrichtungen dazu verwenden, um eine gleichmäßige Verteilung der auf-tropfenden Säure auf den ganzen Querschnitt der Bimssteinschicht herbeizu-führen. Man bedient sich daher der Tropfvorrichtung, wie sie in der Fig. 343

Fig. 343.



angegeben ist. In der Flasche *F* befindet sich der Vorrat an konzentrierter Schwefelsäure; dieselbe trägt ein Heberrohr *h*, welches durch einen Kautschukstopfen dicht in die Flasche eingesetzt ist. Der Kautschukstopfen trägt ferner ein zweites Rohr *r*, welches mit einem Quetschhahn und einem Gummischlauch verbunden ist. Durch Einblasen von Luft in diesen Schlauch bringt man die Schwefelsäure in dem Heberrohr zum Überfließen, und da dieses Rohr mit der Tropfvorrichtung *T* verbunden ist, so stellt sich die Schwefelsäure in diesem ebenso hoch wie in der Vorratsflasche. Die Vorratsflasche muß daher auf einer Konsole an der Wand derart angebracht sein, daß das Flüssigkeitsniveau mit den Glas-teilen der Tropfvorrichtung in gleicher Höhe steht. Die Schwefelsäure darf dabei natür-lich nicht mit den Metallteilen der Tropf-vorrichtung in Berührung kommen. Die letz-teren, welche das Glasrohr umhüllen und es vor Bruch schützen, dienen auch dazu, die Einstellvorrichtung für die gläserne Ventil-spindel zu tragen. Das gläserne Kegelventil *H* verschließt die Tropfvorrichtung vollständig und erst wenn mit Hilfe der Schraube *S* das Ventil gelüftet wird, setzen sich Tropfen an der gläsernen Spitze des Kegelventiles an und tropfen von dort aus in den Schwefelsäure-reiniger. Die Anzahl der abtropfenden Tropfen kann durch das Glasrohr beobachtet werden. Die Tropfen fallen auf eine Bleiplatte *D* im Inneren des Oberteiles des Schwefelsäure-apparates und diese Bleiplatte ist derart gekrümmt, daß die auffallenden Tropfen nach allen Seiten zerstäubt werden. Auf diese Weise wird von einer Vorrichtung ein Um-kreis von etwa 500 mm Durchmesser gleich-mäßig mit Schwefelsäure benetzt. Handelt es

sich also um Reiniger von größerem Querschnitt, so muß eine entsprechend größere Anzahl von Tropfvorrichtungen verwendet werden. Bei Reinigern von 1000 m<sup>3</sup> Stundendurchgang werden sieben Tropfvorrichtungen verwendet, von welchen sich eine in der Mitte befindet, während die anderen sechs gleich-mäßig am Rande verteilt sind. Die über den Bimsstein herabrieselnde Säure nimmt zunächst aus dem getrockneten Gase das Eisenkohlenoxyd auf, indem

sie dabei eine dunkelrot gefärbte Verbindung bildet. Das Eisencarbonyl wird nämlich von der Schwefelsäure nicht vollständig zerstört (etwa unter Bildung von Eisenvitriol), sondern es wird zu einer Verbindung aufgelöst, die noch nicht näher untersucht ist. Diese eisenhaltige konzentrierte Säure fließt dann über die unteren Lagen des Bimssteines und bewirkt dort die Trocknung des Wassergases, sie verdünnt sich dabei bis auf etwa 50 Proz. Wassergehalt und fließt schließlich durch den Siebboden *S* des Apparates in den Unterteil und von diesem durch das Siphonrohr *O* in den Tontopf *P*. Von hier aus wird sie durch den Überlauf in eine Flasche geleitet. Die verdünnte Säure kann dann wieder verkauft werden und dieser Verkauf deckt einen großen Teil des Einkaufspreises der Säure.

Da metallisches Eisen von der Schwefelsäure stark angegriffen wird, muß der ganze Apparat entweder innen verbleit sein oder er muß aus Ton bestehen, wie dies in Fig. 343 angenommen ist. Letzteres ist billiger und wohl auch sicherer, als die Anwendung der verbleiten Apparate, weil bei letzteren durch etwaige kleine Undichtheiten in der Bleiausfütterung Säure eintreten und den schmiedeeisernen Mantel allmählich zerstören kann. Bei tönernen Apparaten verwendet man drei bis vier aufeinandergesetzte zylindrische Ringe von etwa 20 bis 30 mm Wandstärke, die mit Kitt ineinandergedichtet werden.

Wenn das nicht carburierte Wassergas aus Koks erzeugt wird, so ist es natürlich teerfrei, ebenso ist jedoch auch das Wassergas, welches nach besonderen Verfahren (vgl. S. 850) aus Steinkohlen dadurch gewonnen wird, daß die Gesamtmenge des Gases durch die glühende Kokssäule hindurchgeleitet wird, ebenfalls teerfrei, weil der Teer hierbei zersetzt wird. Das Gas hingegen, welches man gewinnen kann, wenn man in einen Wassergasgenerator gewöhnlicher Bauart Steinkohle bringt, ohne das erzeugte Wassergas durch die glühende Kokssäule zu leiten, enthält natürlich außer dem reinen Wassergase noch Steinkohlengas und dementsprechend auch Ammoniak und Teerdämpfe beigemischt. Ein solches Gas ist jedoch kein reines Wassergas mehr, und wir werden dasselbe unter dem Kapitel 61 „Mischgas“ (vgl. S. 911) besonders behandeln. Aus diesem ist dann natürlich die Entfernung des Ammoniaks und des Teeres erforderlich, nicht aber bei dem reinen Wassergase, welches wir hier besprechen.

Zufolge des Mangels von Kohlenwasserstoffen im reinen Wassergase ist dasselbe, sobald es gereinigt ist, geruchlos. Vor der Reinigung hat dasselbe den starken Geruch des Schwefelwasserstoffs, der jedoch in den Reinigeranlagen entfernt wird. Die Verteilung des geruchlosen Wassergases würde arge Übelstände mit sich bringen, da man dann Ausströmungen unverbrannten Gases nicht wahrnehmen könnte. Wir haben hierüber bereits ausführlich in dem geschichtlichen Teile über das Wassergas (S. 776) gesprochen. Der Zusatz eines Riechmittels ist daher notwendig und gegenwärtig verwendet man das sogenannte Carbialin, welches aus jenen Kohlenwasserstoffen besteht, die sich bei der Komprimierung des Ölgases abscheiden und einen außerordentlichen intensiven Geruch nach Ölgas besitzen. Es sind dies leicht flüchtige Kohlenwasserstoffe, welche verdunsten, wenn man Gas darüber leitet. Es genügt ein Zusatz von 2 bis 5 g pro Kubikmeter Wassergas, um demselben einen genügenden Geruch zu erteilen, so daß Ausströmungen rasch wahrgenommen werden können. Die Apparate, welche hierzu dienen, werden wir auf S. 866 näher besprechen.

Die mittlere Zusammensetzung des gereinigten Wassergases bewegt sich in folgenden Grenzen:

Wasserstoff . . . . .	50	bis	55	Vol.-Proz.
Kohlenoxyd . . . . .	39	"	42	"
Kohlensäure . . . . .	2	"	6	"
Methan . . . . .	0	"	1	"
Stickstoff . . . . .	3	"	5	"
Sauerstoff . . . . .	0	"	1	"

Das Wassergas ist zufolge seines hohen Gehaltes an Kohlenoxyd giftig. Wenn aber auch das Wassergas viermal so viel Kohlenoxyd enthält wie das Steinkohlengas, so darf daraus noch nicht geschlossen werden, daß auch seine Giftigkeit viermal so stark ist, wie jene des Steinkohlengases. In letzterem sind ja, wie wir gesehen haben, auch noch andere Stoffe enthalten, welche giftig auf den menschlichen Körper wirken, die im Wassergase nicht vorhanden sind, so z. B. Cyanwasserstoff, der noch viel heftiger giftig wirkt, als das Kohlenoxyd und Benzoldampf und andere Kohlenwasserstoffe, welche ebenfalls betäubend wirken und Vergiftungserscheinungen hervorrufen.

Gelegentlich der Einführung des Wassergases in den Vereinigten Staaten und in England holte man die Urteile verschiedener Autoritäten über die Frage der Giftigkeit des Wassergases ein. Dieselben seien nachstehend wiedergegeben.

E. Frankland, Prof. of Royal College of Chemistry in London, sagt in seinem Briefe vom 16. Mai 1878 an Herrn Charles G. Franklin, Präsident der Municipal Gas Light Cie. in New York, daß er nicht zögere zu erklären, daß das Wassergas mit Sicherheit in den Privathäusern, wie in öffentlichen Anstalten angewendet werden könne und daß er gern in seinem Hause in London das Steinkohlengas durch jenes ersetzen wollte und dies selbst in seinem Schlafzimmer.

Adolf Wurtz, Professor an der École de Médecine in Paris, sagte in seinem Briefe vom 12. Juni 1878 an Franklin: „Die Vergiftungsgefahr besteht bei allen Gasen, welche Kohlenoxyd enthalten, und das Steinkohlengas ist hiervon nicht ausgeschlossen, weil es mehr als 12 Proz. davon enthalten kann. Meiner Ansicht nach ist die Furcht vor der Gefahr übertrieben, weil diese nur in dem außergewöhnlichen Falle durch Ausströmung des Gases aus einer Undichtheit entsteht, und man braucht damit nicht zu rechnen, da man Steinkohlengas trotz der Explosionsgefahr, die im gleichen Falle auftritt, verwendet. Das Wassergas war in Frankreich nicht verboten und nur seine Herstellungskosten, die bis jetzt wenig vorteilhaft waren, waren es, welche seine Anwendung einschränkten. Es ist daher ein bedeutender Fortschritt, wenn man jetzt Wassergas unter vorteilhaften Bedingungen erzeugen kann und wenn man ihm einen genügenden Gasgeruch erteilen kann, um seine Gegenwart erkenntlich zu machen.“

Dr. C. F. Chander, Präsident des Gesundheitsrates in New York, sagt in seinem Bericht, welcher am 15. April 1881 vom Municipalrat von New York einstimmig angenommen wurde, daß die gegen das Wassergas gerichtete Petition gebührend geprüft wurde, daß dieses Gas nicht mehr und nicht weniger Gefahren bietet, wie das Steinkohlengas, wenn man in dem einen wie in dem anderen Falle mit gleicher Sorgfalt umgeht, daß seine größere Dichte ein weniger schnelles Ausströmen zuläßt, daß der ihm gegebene Geruch genügend

sei, um Ausströmungen zu entdecken, daß nicht die geringste Ursache vorliege, um die Verbreitung des Wassergases zu verhindern, und daß die Petition, welche gegen dasselbe eingereicht wurde, jeder Begründung entbehre.

Dr. Josef John, Präsident des Gesundheitsrates von New Orleans, kommt in seinem Bericht an den Maire dieser Stadt vom 9. August 1880 zu folgendem Schluß: Das Wassergas ist dem Steinkohlengase in seiner Anwendung für die Beleuchtung überlegen. Das Wassergas kann für einen geringeren Preis erzeugt werden, als das gewöhnliche Gas. Im Falle von Undichtheiten ist das Wassergas nicht gefährlicher als Steinkohlengas. Die Verbrennungsprodukte des Wassergases sind weniger schädlich, als die des Steinkohlengases.

Prof. H. Wurtz in Hoboken erklärte zur selben Zeit, daß die narkotische Wirkung hauptsächlich von Kohlenwasserstoffen, welche die Leuchtkraft eines Gases liefern, hervorgerufen werde, ebenso wie von dem Kohlenoxyd, daß vom Gesichtspunkte der Explosion die Gefahr beim Wassergas eine geringere sei, und daß man von der Einführung des Wassergases eine Verringerung der Gefahren, welche Gesundheit und Eigentum bedrohen, erwarten könne.

Vielfach sind Versuche unternommen worden, das Kohlenoxyd aus dem Wassergase zu entfernen, um es seiner giftigen Eigenschaften zu berauben; es sind auch Verfahren bekannt, welche dies ermöglichen, aber dadurch erhält man eine dem CO-Volumen entsprechend verminderte Ausbeute, und dies macht ein solches Verfahren unrentabel, wenn nicht an Stelle des verschwindenden CO durch das Verfahren Wasserstoff geliefert wird. Wir werden hierüber im Kapitel 63 „Wasserstoff“ näheres hören.

Die Explosionsgefahr ist beim Wassergas eine geringere als beim Steinkohlengas. Luft, in welche Wassergas ausströmt, vermag sich erst dann zu entzünden, wenn mindestens 12 Proz. Wassergas in ihr enthalten sind. Bei Steinkohlengas tritt jedoch bereits bei 7 Proz. die Entzündungsgefahr ein. Anders liegt der Fall allerdings, wenn nicht Wassergas in die Luft ausströmt, sondern wenn umgekehrt in irgend welchen Apparaten neben einer größeren Menge von Wassergas Luft enthalten ist. In diesem Falle ist die Explosionsgefahr beim Wassergas größer als beim Steinkohlengas. Beim Wassergas tritt nämlich dann die Explosionsgefahr schon ein, wenn ein Gehalt von 33 Proz. Luft vorhanden ist, während bei Steinkohlengas diese sogenannte obere Explosionsgrenze erst bei einem Gehalt von 81 Proz. Luft vorhanden ist. Diese Gefahr, daß eine große Menge von Wassergas mit einer geringen Menge von Luft gemischt ist, besteht aber nur bei der Erzeugung des Gases und nicht bei den Konsumenten, für welche die Gefährlichkeit eines Gases in erster Linie in Betracht kommt.

Die geringe Explosionsgefahr hebt also einen Teil der Übelstände auf, welche dann anzunehmen wären, wenn das Wassergas wirklich als giftiger betrachtet würde, als das Steinkohlengas. Jedenfalls darf man, wenn man Gefahren der Gasausströmung bei Steinkohlengas und Wassergas vergleichen will, nicht die Fälle von Vergiftungen allein berücksichtigen. Es ist statistisch nachgewiesen, daß mehr Unglücksfälle durch Gasexplosionen vorkommen, als durch Gasvergiftungen. Durch Anwendung des Wassergases kann sich also die Anzahl der Unglücksfälle nur verringern.

Wir wollen nun die Apparate kennen lernen, welche zur Darstellung des uncarburierten Wassergases dienen. Da das uncarburierte Wassergas mit blauer, kaum leuchtender Farbe brennt, so gibt man demselben häufig

den Namen Blaugas. Der Name ist jedoch unzweckmäßig, weil man unter dem Namen Blaugas auch das verflüssigte Gas bezeichnet, das von dem Chemiker Blau zu Beleuchtungszwecken eingeführt wurde (S. 680).

Um nicht zu weitläufig zu sein, müssen wir uns auf die Beschreibung jener Systeme von Wassergasapparaten beschränken, welche zurzeit am Kontinent im Betriebe sind. Wir wollen die einzelnen Teile der Apparate gesondert besprechen.

Der Unterteil eines Generators ist deshalb von der größten Bedeutung, weil sich in diesem die eigentliche Reaktion der Zersetzung des Wasserdampfes beim Gasen sowie auch der Wärmeersatz beim Warmblasen vollzieht. Die Dimensionierung des Unterteiles ist für die stündliche Leistungsfähigkeit eines Wassergasgenerators maßgebend. Allerdings läßt sich die Leistungsfähigkeit eines Generators durch eine kleinere oder größere Dampfgeschwindigkeit verändern, doch ist die Dampfgeschwindigkeit, wie wir auf S. 805 gesehen haben, an bestimmte Grenzen gebunden, damit der Nutzeffekt des Generators kein zu schlechter wird. Betreffs des Warmblasens ist man allerdings an keine so engen Grenzen gebunden, d. h. man kann durch Anwendung einer höheren Windgeschwindigkeit die Zeit des Warmblasens abkürzen und dadurch mehr Zeit für die Gaserzeugung, d. h. für das Dampfdurchleiten gewinnen, also den Generator forcieren. Aber eine allzuhohe Windgeschwindigkeit bringt wieder den Nachteil mit sich, daß eine größere Wärmemenge aus dem Generator in den Schornstein entführt wird, weil die Abgase nicht Zeit genug haben, ihre Eigenwärme im Oberteile des Generators an den Koks abzugeben. Die übermäßige Beanspruchung eines Generators durch zu hohe Windgeschwindigkeit oder durch zu hohe Dampfgeschwindigkeit ist daher unter allen Umständen nachteilig. Somit ist pro Quadratmeter freier Querschnittsfläche des Generators rationell nur eine bestimmte Wassergasmenge pro Stunde zu erzeugen und diese Beanspruchung des Generators pro Quadratmeter Querschnittsfläche stellt einen wesentlichen Faktor zur Beurteilung der Verwendbarkeit eines Generators dar. Daher sollte bei Offertstellungen stets die Beanspruchung des Generators pro Quadratmeter freier Querschnittsfläche und Stunde angegeben werden.

Bei Generatoren, welche eine gleichmäßigere Temperaturverteilung haben, also bei allen jenen, wo abwechselnd von oben und unten gegast wird, kann die Beanspruchung pro Quadratmeter etwas höher gewählt werden als bei den Generatoren, bei welchen immer von oben gegast, also das Gegenstromprinzip genau eingehalten wird.<sup>1)</sup> Dies liegt wohl daran, daß bei gleicher Maximaltemperatur in der Reaktionszone bei den Generatoren mit gleichmäßigerer Temperaturverteilung in derselben Menge Brennmaterial mehr Wärme aufgespeichert ist. Jedoch die großen Schwankungen in der Beanspruchung von Generatoren verschiedener Systeme, wie sie in der Praxis vorgefunden werden, sind ungerechtfertigt und es ist nicht möglich, in Generatoren von so verschiedener Beanspruchung stets das günstigste Resultat zu erreichen. So wurden z. B. bei der Untersuchung einer großen Anzahl von Generatoren verschiedener Systeme Beanspruchungen von 160 m<sup>3</sup> Stundenleistung bis zu 1010 m<sup>3</sup> Stundenleistung pro Quadratmeter Querschnittsfläche gefunden<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Strache, Die Einführung des rationellen Verfahrens der Wassergaserzeugung in Deutschland. Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, 13. Heft.

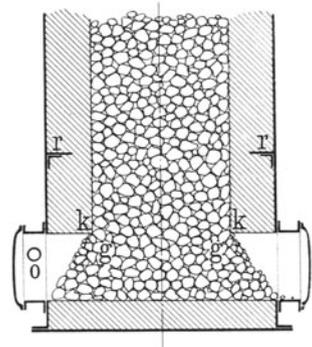
Die Konstruktion der Unterteile der Generatoren ist wesentlich dadurch beeinflußt, ob immer von oben oder abwechselnd von unten und oben gegast wird. In letzterem Falle können gewöhnliche Planroste als Auflager für das Brennmaterial verwendet werden, weil durch das Dampfeinleiten von unten eine derartige Kühlung der Roststäbe stattfindet, daß dieselben nicht Schaden leiden. Wird dagegen immer von oben gegast, so wird die Wärme, wie schon erwähnt, dann auf den Unterteil des Generators konzentriert und dadurch werden die Roststäbe derart erhitzt, das sie in der kürzesten Zeit durchschmelzen. Bei solchen Generatoren können Roststäbe überhaupt nicht verwendet werden.

Wendet man Roststäbe an, so geschieht das Schlacken in der gleichen Weise wie bei den gewöhnlichen Generatoren der Steinkohlengasretortenöfen (vgl. S. 344). Es werden dann wie bei diesen Notroststäbe in einigen Dezimetern Höhe über dem Planrost eingeschlagen, und das gesamte Brennmaterial, welches sich unter diesen Notroststäben befindet, wird beim Schlacken aus dem Generator herausgenommen. Die Notroststäbe müssen dabei die gesamte Brennmaterialsäule, welche sich noch im Generator befindet, tragen.

Da in den Wassergasgeneratoren die Öffnungen zum Einführen der Notroststäbe, wie sie sonst üblich sind, nicht gut angebracht werden können, so muß man sich damit begnügen, die Notroststäbe an der Oberkante der Schlacktüren entlang in die Brennmaterialsäule einzuführen. Zu diesem Zwecke versieht man die Mortontüren, welche zum Schlacken dienen, mit einem Rahmen, auf dem die Notroststäbe das erforderliche Auflager finden können. Das Herausziehen der Schlacke erfordert etwa  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{3}{4}$  Stunden Zeit, und es ist unvermeidlich, daß jedesmal beträchtliche Quantitäten von Koks mit der Schlacke herausgezogen werden. Diese Koksstücke müssen dann ausgelesen und neuerdings in den Generator gebracht werden. Da jedoch der Auslesekokks naturgemäß wesentlich mehr Schlacke enthält als der reine Koks und man gewöhnlich bestrebt ist, möglichst schlackenfreies Material zur Wassergaserzeugung zu verwenden, um eben die Arbeit des Schlackens zu erleichtern, so wird der Koks häufig nicht mehr in den Generator eingefüllt, sondern man verwendet ihn zur Dampfkesselheizung. Das in dieser Art ausgeführte Schlacken der Generatoren wird gewöhnlich alle 12 Stunden vorgenommen. Bei Anwendung von sehr schlackenarmem Koks kann das Schlacken eventuell auch alle 24 Stunden einmal vorgenommen werden.

Wie schon erwähnt, ist bei den Generatoren, bei welchen immer von oben gegast wird, die Anwendung von Roststäben von vornherein ausgeschlossen. Bei diesen läßt man den eintretenden Wind auf die freie Böschung des Brennmaterials wirken. Der Generator muß dann in der Höhe der Mortontüren genügend stark ausgemauert sein, damit die freie Böschung, welche von der Kante der Ausmauerung *k* in obenstehender Fig. 344 nach abwärts reicht, die äußere Kante der Mortontüre noch nicht erreicht, so daß der Koks, welcher im Böschungswinkel nach auswärts rollt, beim Öffnen der Mortontüre nicht

Fig. 344.

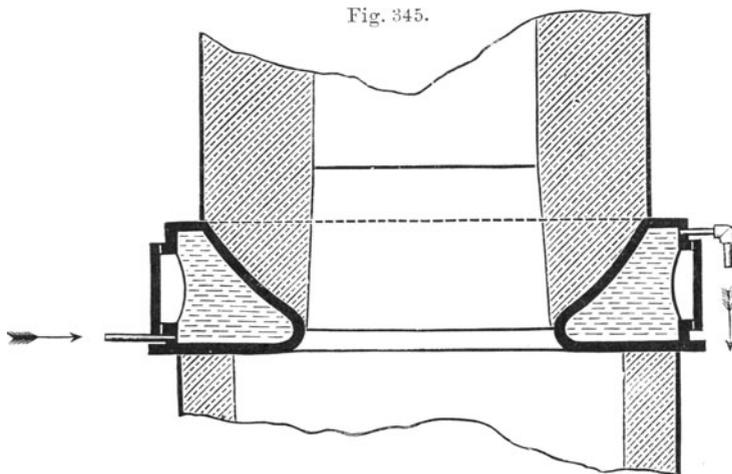


herausfallen kann. Die Luft, welche durch die Öffnung  $o$  in den Stützen der Mortontüre eintritt, trifft dann in der ganzen Breite der Mortontüre auf das Brennmaterial und tritt von hier aus in das Innere des Generators ein. Die Schlacke bildet sich bei dieser Anordnung am stärksten knapp oberhalb der Mortontüre, und da, wie erwähnt, die Temperatur an diesem Teil des Generators sehr hoch ist, so schmilzt die Schlacke ab und fließt in Tropfenform von oben her in den Raum der Mortontüre. Hier wird sie von dem eintretenden kalten Winde gekühlt und erstarrt zu glasartigen Tropfen, welche von oben herabhängen. Auf diese Weise wird der freie Querschnitt für den Eintritt des Windes von oben her verringert und die Luft ist genötigt, weiter unten in die Koksäule einzutreten. Es setzen sich dann auch dort Schlackenklumpen an, welche allmählich derart zusammenwachsen, daß der ganze Raum der Türe von einem großen Schlackenklumpen ausgefüllt wird. In dem Maße, als die Verschlackung zunimmt, wächst natürlich der Widerstand, welchen der Wind zu überwinden hat. Man kann also aus dem Stande eines Manometers, welches den Druck des eintretenden Windes anzeigt, auf die Verschlackung des Generators schließen. Ist dieselbe zu weit vorgeschritten, so daß zu wenig Wind in den Generator eintritt, so wird abgeschlackt, indem nach Öffnen der Mortontüre durch Einstoßen eines scharf zugekanteten Eisens der Schlackenklumpen am ganzen Umfange der Mortontüre abgestoßen wird, was leicht möglich ist, wenn der Generator heiß ist, weil dann die Schlacke weich oder zähflüssig ist. Mit einem starken Haken zieht man dann den ganzen Klumpen auf einmal oder zumindest in einzelnen größeren Stücken heraus, so daß dabei keinerlei Koks mit herausgerissen wird. Das Schlacken jeder einzelnen Türe dauert auf diese Weise etwa zwei Minuten, so daß man bei größeren Generatoren, welche vier oder sechs Mortontüren besitzen, zum Schlacken 8 bis 12 Minuten benötigt. Das Schlacken bei dieser Anordnung ist außerordentlich einfach, muß aber alle 2 bis 4 Stunden einmal vorgenommen werden.

Da bei Generatoren dieser Art der Wind zuerst an der Oberkante der Mortontüre zwischen Mauerwerk und Koks eindringt, entstehen dort natürlich die höchsten Temperaturen und findet infolgedessen ein rascher Verschleiß des Mauerwerkes statt. Das Mauerwerk wird oberhalb der Mortontüre, und zwar einige Dezimeter oberhalb derselben durch das Abschmelzen ausgehöhlt, es muß daher über der Türe Schamotte von allerbesten Qualität verwendet werden. Aus diesem Grunde muß hier auch das Mauerwerk mindestens 300 mm stark und bequem auswechselbar sein. Die Anzahl der Fugen soll an dieser Stelle möglichst gering sein, da besonders die Fugen leicht aus-schmelzen. Man wählt daher am besten zwei oder drei Wölbsteine, welche die obere Rundung der Mortontüröffnung bilden und welche im Falle des Verschleißes bequem ausgewechselt werden können, ohne daß das andere Mauerwerk deshalb herausgenommen werden müßte. Um das Auswechseln des Mauerwerkes oberhalb der Mortontüren zu ermöglichen, ohne das höher gelegene Mauerwerk entfernen zu müssen, bringt man zweckmäßig etwa  $\frac{1}{2}$  m oberhalb der Mortontüren einen Ring  $r$  (Fig. 344) im Generator an. Man kann dann im Bedarfsfalle das ganze Mauerwerk unterhalb des Ringes herausnehmen, ohne den oberen Teil ersetzen zu müssen. An manchen Stellen wird auch anstatt der Wölbsteine über den Mortontüren je eine große starke Abdeckplatte aus Schamotte verwendet.

Die Beanspruchung des Mauerwerkes ist bei dieser Art der Ausführung natürlich eine verschiedene, je nach der Temperatur, welche im Generator angewendet wird. Strengt man den Generator stark an, d. h. verlangt man von ihm eine hohe Stundenleistung pro Quadratmeter freier Querschnittsfläche, so müssen zufolge der höheren Dampfgeschwindigkeit höhere Temperaturen angewendet werden und dann leidet natürlich das Mauerwerk stark. Im normalen kontinuierlichen 24stündigen Betriebe kann man auf eine etwa dreimonatliche Haltbarkeit des Mauerwerkes rechnen. Dies bezieht sich jedoch nur auf die Steine in der Nähe der Mortontüren, denn der Oberteil der Ausmauerung des Generators, der nur geringere Temperaturen auszuhalten hat, braucht jahrelang nicht erneuert zu werden.

Um das Mauerwerk vor der Abnutzung zu bewahren, hat Blass die Anwendung der Kühlringe eingeführt, wie ein solcher in Fig. 345 dargestellt ist. Der ganze Unterteil des Generators ist in diesem Falle durch einen wasser-



gekühlten Ring hergestellt, der ursprünglich aus Phosphorbronze, später aber aus Schmiedeeisen oder Gußeisen hergestellt wurde. Bei Verwendung von Gußeisen oder Phosphorbronze ist der Ring im Umfange in vier oder sechs Teile geteilt, welche durch Flanschen verbunden werden. Der Kühlring wird gewöhnlich oben offen ausgeführt und man braucht nur so viel Wasser zufließen zu lassen, um das verdampfende Wasser zu ersetzen. Der Kühlring kann jedoch auch in geschlossener Form ausgeführt werden, wie dies Fig. 345 zeigt. In diesem Falle kann das beim Überlauf austretende warme Wasser zur Kesselspeisung oder zu sonstigen Zwecken, wo warmes Wasser gebraucht wird, verwendet werden. Es genügt vollständig, wenn die Temperatur des Kühlringes  $100^{\circ}$  nicht übersteigt, es kann also das Wasser siedend erhalten werden, so daß die ganze Verdampfungswärme des Wassers zur Kühlung ausgenutzt werden kann.

Der Kühlring dringt so weit ins Innere des Generators vor, daß die Kante desselben an der heißesten Stelle nur oben durch Schamotte vor der Glut geschützt ist. Es tritt also das glühende Brennmaterial nur an einem schmalen Streifen in direkte Berührung mit dem Kühlringe. Zuzufolge der Wasserkühlung tritt jedoch auch an dieser Stelle ein Abbrennen des Kühlringes nur nach sehr

langer Benutzung ein. Ein solcher Kühlring kann auch bei angestrengtem Betriebe eines Generators 3 bis 5 Jahre halten. Die beim Warmblasen in den Unterteil des Generators unterhalb des Kühlringes eingeblasene Luft verteilt sich in dem Zwischenraume, welcher zwischen dem Schlackenkegel und dem Mauerwerk unterhalb des Kühlringes verbleibt, so, daß die Luft durch die aus großen Stücken bestehende Schlacke bis ins Innere des Schlackenkegels und von da nach aufwärts in das Innere des Generators gelangt. Ein größerer Teil der Luft tritt allerdings an der Kante des Kühlringes ein und passiert von hier aus das Brennmaterial. An dieser Stelle bildet sich also die meiste Schlacke, und auch die von oben herunterfließende Schlacke, welche von der Schamotteausmauerung des Generators kommt, setzt sich an dieser Stelle fest, weil sie durch die plötzliche Abkühlung, welche durch den Kühlring gegeben ist, plötzlich erstarrt. Es hängen dann von der Kante glasartige Tropfen und Schlackenklumpen nach abwärts, und beim Schlacken genügt es, an diese Schlackenklumpen mit einem Eisen, welches durch die im Unterteile des Generators befindlichen Mortontüren eingeführt wird, leicht anzustoßen, um sie von dem Kühlringe abzubröckeln. Diese Schlackenklumpen bilden dann einen aus großen Stücken bestehenden Schlackenkegel. Durch entsprechende Einteilung der Schlackzeiten gelingt es, den ganzen Unterteil des Generators unterhalb des Kühlringes nur mit kalter Schlacke gefüllt zu halten, so daß sich dort kein brennender Koks befindet. Anderenfalls würde eine große Menge von Wärme durch das Kühlwasser aufgenommen. Befindet sich hingegen die eigentliche Brennzone nur an der Kante des Kühlringes, so ist der Wärmeverlust durch die Berührung mit dem Kühlwasser ein sehr geringer, weil die Heizfläche, welche sich hier zwischen Brennmaterial und Kühlwasser ergibt, eine sehr kleine ist. Bei Anwendung eines solchen Kühlringes ist das Abziehen der Schlacke ein außerordentlich einfaches. Es genügt auch bei großen Generatoren, alle 4 bis 5 Stunden etwa eine Viertelstunde Arbeit, um die Schlacke vom Kühlringe abzustößen und in der Weise aus dem Unterteil des Generators zu entfernen, daß die Brennzone immer an der Kante verbleibt. Gerät dieselbe durch ungenügendes Entfernen der Schlacke in eine zu hohe Zone, so findet ein Festbrennen an den Schamottewandungen statt, so daß das Schlacken dann sehr erschwert wird; bei einiger Aufmerksamkeit kann dies jedoch vermieden werden. Bei Anwendung des Kühlringes braucht das Mauerwerk oberhalb desselben nur etwa alle Jahre einmal erneuert zu werden und auch dies nur bei angestrengtem Betriebe des Generators. Zweckmäßig bringt man wieder weiter oben einen Winkelring an, welcher das Mauerwerk oberhalb desselben zu tragen vermag, wenn man das Mauerwerk zwischen diesem und dem Kühlringe entfernt. Die Anwendung derartiger Kühlringe bildete eine der wichtigsten Vervollkommnungen, welche die Europäische Wassergas-Aktiengesellschaft einführte, um die Anwendung des Wassergases in Europa zu fördern.

Das Brennmaterial wird in die Generatoren von oben her durch Füllöffnungen eingefüllt, die mit einem bequem zu öffnenden Verschuß, der vollständig gasdicht schließt, versehen sein müssen. Bei den Generatoren, bei welchen immer von oben gegast wird, befindet sich allerdings im Oberteile des Generators am Schluß des Gasens nur Dampf, jedoch auch der Austritt von Dampf bei undichten Stellen würde zu Unannehmlichkeiten führen. Bei Generatoren hingegen, wo abwechselnd von oben und von unten gegast wird,

ist beim Gasen von unten nach Schluß der Gasperiode im Oberteile des Generators Wassergas vorhanden und es würde also bei etwaigen Undichtheiten Wassergas austreten. Im Gegegensatz zu anderen Generatoren ist es daher bei Wassergasgeneratoren wichtig, gute selbstdichtende Türen, also Mortonverschlüsse, anzuwenden.

Bei kleinen Generatoren kann man die Fülltüren so anordnen, daß sie sich einfach nach oben öffnen, wie dies sonst üblich ist. Bei größeren Generatoren jedoch ist es zweckmäßiger, das Öffnen der Türen durch Drehen in einer horizontalen Ebene um eine vertikale Achse vorzunehmen. Dann bringt man in einer Ebene mit der Dichtfläche der Mortontüre eine Gleitfläche an, auf welcher die letztere gleitet.

Ist der Generator mit einer einfachen Fülltüre versehen, so ist es natürlich nicht möglich, während der Gasperiode oder während der Warmblaseperiode Koks nachzufüllen. Man muß vielmehr das Nachfüllen von Brennmaterial am Schluß der Gasperiode vornehmen, noch bevor wieder Wind eingeblasen wird. Im anderen Falle würde ja während des Warmblasens Generatorgas aus der Füllöffnung entweichen; jedoch auch, wenn man das Nachfüllen auf Zeiten verlegt, wo weder gegast noch geblasen wird, also auf eine Ruhepause, treten kleine Unannehmlichkeiten auf. Das Gas nämlich, welches sich im Oberteile des Generators befindet — sei dies nun Generatorgas oder Wassergas —, entzündet sich beim Öffnen der Mortontüre und es schlägt dann eine Flamme nach oben heraus, welche die Arbeiter eventuell belästigen kann. Bei solchen Apparaten tut man daher besser, das Nachfüllen nur dann vorzunehmen, wenn man gerade eine Gasperiode von oben her durchgeführt hat, so daß der Oberteil des Generators nur mit Dampf gefüllt ist.

Will man jedoch diese Unannehmlichkeiten, welche beim Nachfüllen des Brennmaterials auftreten können, vollständig vermeiden, so wendet man einen doppelt verschließbaren Fülltrichter an, wie wir diese bei der Besprechung der Halbwassergasgeneratoren kennen gelernt haben (S. 745 bis 759). Bei kleineren Generatoren verwendet man doppelt verschließbare Fülltrichter, deren unterer Verschußkegel sich nach oben öffnet, bei großen Generatoren kann man hingegen solche verwenden, bei denen sich der untere Verschußkegel nach unten öffnet. Letzteres hat den Vorteil, daß der Koks glatter aus dem Fülltrichter herausrutscht und seltener ein Spießen des Kokes im Unterteil des Fülltrichters stattfindet. Bei kleineren Generatoren ist jedoch diese Anordnung nicht möglich, weil hier zwischen dem Kegel des Fülltrichters und dem Mauerwerk des Generators nicht genügend Platz bleibt. Diese Verschußkegel bewirken zwar kein vollständiges Abdichten; doch ist dies belanglos, wenn nur der obere Verschuß vollkommen dicht schließt. Es ist ja nur notwendig, während des Nachfüllens den Austritt größerer Mengen von Gas zu vermeiden. Treten z. B. beim Warmblasen während des nur etwa eine halbe Minute dauernden Einfüllens von Koks geringe Mengen von Generatorgas durch den Fülltrichter aus, so ist dies ganz belanglos. Der Austritt von Wassergas würde unangenehmer sein, aber man verlegt aus diesem Grunde das Nachfüllen immer in die Zeit der Blaseperiode. Der obere Verschuß des doppelt verschließbaren Fülltrichters muß natürlich ein vollständig dichter sein. Er wird deshalb gewöhnlich durch eine Mortontüre gebildet. Die Spindel des Ventilkegels des doppelt verschließbaren Fülltrichters wird dann entweder durch eine Stopfbüchse im Deckel des Fülltrichters geführt oder aber man

hängt den unteren Kegel nur an eine Kette und bringt einen Hebelarm an, der sich um eine Achse dreht, die in einer Stopfbüchse drehbar angeordnet ist. Die Betätigung erfolgt dann durch einen entsprechenden Hebel von außen.

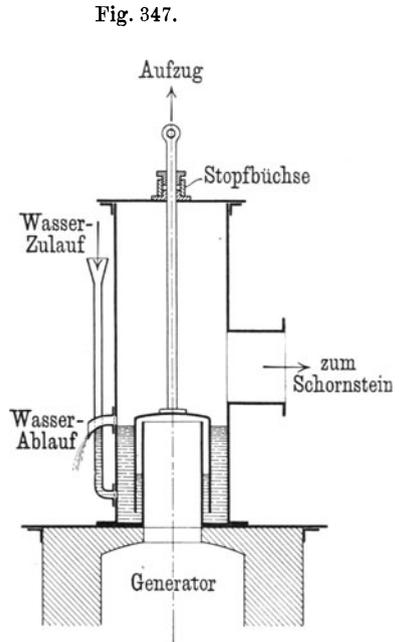
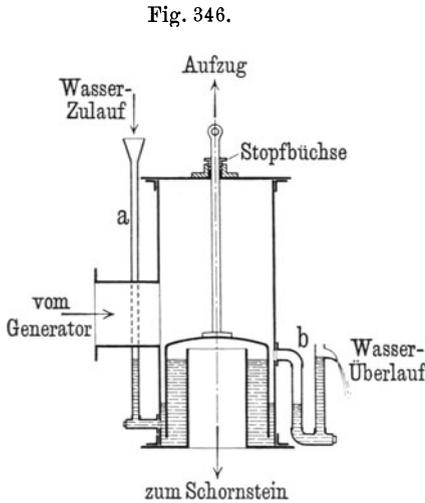
Bei kleineren Generatoren erfolgt das Einfüllen des Brennmaterials in den Fülltrichter entweder mit der Schaufel oder besser vermitteltst kleiner Blechgefäße oder Körbe von etwa 30 kg Inhalt, welche auf der Arbeitsbühne, d. i. in Höhe des Fülltrichters, gefüllt vorbereitet stehen und mit der Hand bis zur Mündung des oberen Verschlusses des Fülltrichters gehoben und umgekippt werden. Bei großen Generatoren hingegen, wo etwa 100 bis 200 kg Koks auf einmal in den Fülltrichter gegeben werden, erfolgt dieses Einfüllen mit Hilfe von Füllwägen. Es sind dies nach unten zu konisch verlaufende Gefäße, welche auf einem fahrbaren Gestell stehen und über die Mündung des Fülltrichters gefahren werden. Der untere Verschuß dieser Gefäße ist durch einen Konus oder durch eine Klappvorrichtung gebildet, welche den Inhalt des Füllwagens beim Öffnen in den Fülltrichter oder, wenn ein solcher nicht vorhanden ist, direkt in den Generator entleert. Ist der Füllwagen unten durch einen Konus abgeschlossen, so wird das Schließen und Öffnen desselben am bequemsten durch eine Kette besorgt, an welcher der Konus hängt. Die Kette wickelt sich an einer Welle auf, die mittels Kurbel von außen gedreht werden kann. Besitzt der Füllwagen einen Klappenverschuß oder einen Schieberverschuß, so erfolgt das Öffnen und Schließen desselben mit Hilfe eines Hebels.

Die Abgase müssen durch ein verschließbares Ventil in den Schornstein geleitet werden. Das Abgasventil ist bei allen Generatoren an den Oberteil mittels eines mit Schamotte ausgemauerten Verbindungsstutzens angeschlossen. Die Ausmauerung mit Schamotte ist hier erforderlich, weil die Abgase so heiß sind, daß anderenfalls der Mantel des Generators glühend würde. Der Verschuß im Abgasventil kann entweder ein trockener oder ein hydraulischer sein. Der trockene Verschuß wird entweder mittels eines Schiebers oder mittels eines Kegelventils, oder schließlich mittels einer konischen Klappe bewirkt. Verwendet man einen einfachen Schieber, so muß derselbe gekühlt werden, weil zufolge der hohen Temperatur der Abgase im anderen Falle ein Verziehen der Dichtflächen eintritt und dann ein dichter Abschluß nicht mehr erzielt werden kann. Ferner muß dafür gesorgt werden, daß die kleinen Koksstückchen, welche beim Warmblasen vom Luftstrom mit herübergerissen werden, einen Raum finden, in welchem sie sich ansammeln können, damit das Abschließen des Schiebers nicht durch Ansammlungen von Flugasche in diesem unmöglich gemacht wird. Die Schieber schließen auf die Dauer nie vollkommen dicht und müssen häufig nachgesehen werden. Oft wird dies aus dem Grunde vernachlässigt, weil beim Gasen von oben nach unten im Oberteile des Generators nur Dampf vorhanden ist, also beim Gasen durch die Undichtheiten nur Dampf verloren geht. Wir werden jedoch später (S. 902) sehen, daß eine genaue Bemessung der Dampfgeschwindigkeit notwendig ist und deshalb in Generatoren mit derart undichten Abschlüssen nicht die besten Resultate erzielt werden können.

Dasselbe, was diesbezüglich über die Schieber zu sagen ist, trifft, allerdings in geringerem Maße, auch für die Kegelventile zu. Das Kegelventil hat vor dem Schieber den Vorteil, daß die Sitzfläche oft eingerieben werden kann, indem an der Spindel des Kegelventils ein Hebel angebracht ist, ver-

mittelst welchem die Spindel, und somit auch das Kegelventil, in eine drehende Bewegung versetzt werden kann. Wird dann durch das Eigengewicht des Kegelventils ein Druck auf die Sitzfläche ausgeübt und gleichzeitig die drehende Bewegung hervorgerufen, so werden alle Koksstückchen und dergleichen Unreinheiten, welche sich an der Sitzfläche befinden, zu feinem Pulver zerrieben und dadurch wird ein dichter Abschluß herbeigeführt. Natürlich ist aber auch dieser Abschluß kein vollkommener. Am verlässlichsten kann ein Abschluß auf hydraulischem Wege bewirkt werden.

Bei manchen Generatoren, welche keine Fülltrichter besitzen, wird die Füllöffnung des Generators gleichzeitig als Abgasventil benutzt. Natürlich muß sich dann oberhalb der Füllöffnung ein Schornstein mit einer trichterförmigen Erweiterung befinden, durch welche die Abgase abgeführt werden. Schließt sich an den Generator ein Regenerator an, so kann sich die Öffnung zum Austritt der Abgase direkt am Obertheil des Regenerators befinden und



werden dann die Abgase wieder durch einen trichterförmig erweiterten, unten offenen Schornstein hinausgeführt. Derartige Öffnungen werden dann mit einer Klappe verschlossen, die unten konisch abgeschliffen ist und so eine vollständige Dichtung herbeiführt. Solche Klappenverschlüsse haben den Vorteil, daß sie leicht zugänglich sind und stets kontrolliert werden können. Auch kann man unten Undichtheiten sofort wahrnehmen und beseitigen. Die Dichtungsflächen solcher Klappenverschlüsse müssen aber häufig gereinigt werden und außerdem kann man auch bei ihnen durch eine Drehung des Abschlußkegels ein Einschleifen der Dichtfläche bewirken.

Wie erwähnt, sind aber die hydraulischen Abgasventile die verlässlichsten, weil bei diesen ein Undichtwerden von vorneherein ausgeschlossen ist. Ein hydraulisches Abgasventil besteht aus einem Ringraum, welcher mit Wasserzulauf und -überlauf versehen ist und mit Wasser bis zu einer bestimmten Höhe gefüllt werden kann, wie dies Fig. 346 zeigt. Der Wasserzulauf erfolgt durch das Rohr *a*, der Überlauf durch das Rohr *b*; an den Überlauf muß ein

Siphonrohr angeschlossen sein, weil anderenfalls bei abgeschlossener Ventilglocke durch das Ventil auch Gas austreten könnte, im Falle der Gasdruck von oben auf dem Ventile lastet. Wir haben hier zweierlei verschiedene Anordnungen zu unterscheiden, von denen die eine in der genannten Fig. 346 wiedergegeben ist, während die andere in Fig. 347 dargestellt ist. Bei der ersteren Anordnung wird die Abgasventilglocke von oben mit dem Gasdruck belastet, bei der zweiten Anordnung von unten. Bei der ersteren Anordnung wird beim Senken der Abgasventilglocke, sobald Druck im Generator entsteht, die Ventilglocke nach abwärts gedrückt und in der untersten Stellung wird sie durch den Druck des Gases festgehalten. Es ist daher zum Zwecke des Öffnens dieser Ventilglocke die Überwindung dieses Gasdruckes erforderlich, was bei kleinen Generatoren keinerlei Schwierigkeiten bietet, bei großen Generatoren jedoch mit Hilfe eines Zahnrades und einer Zahnstange, welche die Spindel bewegen, geschehen muß. Bei der zweiten Anordnung hingegen sucht der Gasdruck die Glocke zu öffnen, sobald dieselbe ins Wasser taucht. Die Glocke muß daher das erforderliche Gewicht haben, um dem Gasdruck widerstehen zu können, oder sie muß mit Gewalt nach abwärts gedrückt werden, um den Gasdruck überwinden zu können. In diesem Falle vollzieht sich das Öffnen des Abgasventiles leichter als das Schließen, doch wirkt dem die notwendigerweise entsprechend schwerere Abgasventilglocke entgegen. Man hat dann beim Aufziehen der Glocke das Gewicht der Glocke zu überwinden und ist aus diesem Grunde bei größeren Generatoren ebenfalls wieder ein Zahnrad und eine Zahnstange erforderlich.

Ferner ist noch zu berücksichtigen, daß zufolge des Gasdruckes auch das Wasserniveau in dem Abgasventilgehäuse verändert wird. Im ersteren Falle z. B. wird das Wasser, sobald im Generator Druck auftritt, im Gehäuse außerhalb der Glocke nach abwärts gedrückt und der Wasserspiegel hebt sich im Inneren der Glocke. Es könnte also ein Überlaufen des Wassers durch den inneren Stutzen des Abgasventiles zum Schornstein erfolgen, wenn nicht entsprechende Vorkehrungen getroffen wären. Diese bestehen darin, daß man die Ventilglocke möglichst groß macht, so daß der Raum außerhalb der Glocke sehr klein ist und der Raum innerhalb der Glocke, d. h. zwischen Glocke und Abgasstutzen, einen großen Querschnitt besitzt. Die geringe Menge von Wasser, welche außen verdrängt wird, kann sich dann leicht im Inneren ansammeln, d. h. sie bewirkt dort nur ein geringes Steigen des Niveaus. Das Umgekehrte tritt ein, wenn die Abgasventilglocke von unten durch den Druck belastet wird (Fig. 347). Dann senkt sich beim Eintreten des Druckes das Wasser im Inneren der Ventilglocke und es steigt im Ventilgehäuse. Es würde nun bei unrichtiger Dimensionierung der beiden eine große Menge von Wasser durch den Überlauf ausfließen. Daher muß in diesem Falle die Glocke möglichst klein sein, d. h. innen an dem Abgasrohrstutzen anliegen und außen zwischen Glocke und Gehäuse einen großen Querschnitt frei lassen. Die geringe Menge von Wasser, welche innerhalb der Glocke verdrängt wird, bewirkt nur ein geringes Steigen des Wasserspiegels außerhalb der Glocke.

Während des Gasens muß man beim Wassergasgenerator mit einem Drucke bis zu 600 mm Wassersäule rechnen, daher müssen die Abgasventile derartige Tauchungen besitzen, daß dieser Druck im Generator herrschen kann, ohne daß deshalb Dampf oder Gas unter dem Rande der Abgasventil-

glocke durch das Wasser ausströmen kann. Die Glocke muß also eine Höhe von mehr als 600 mm besitzen. Dementsprechend muß auch der Ringraum, welcher das Wasser aufnimmt, eine Höhe von mehr als 600 mm haben. In gehobener Stellung muß die Glocke noch genügend Raum unterhalb der unteren Kante frei lassen, daß die Abgase aus dem Generator ungehindert austreten können. Dadurch bekommt das ganze Abgasventil eine sehr große Bauhöhe. Um diese zu vermindern, hat der Verfasser Abgasventile konstruiert, welche diese Übelstände vermeiden. Wir werden darauf bei Besprechung der Type E (S. 853) zurückkommen.

Bei allen Wassergasgeneratoren, bei denen auch von oben gegast wird, und dies ist wohl bei allen neueren Systemen der Fall, muß am Unterteile des Generators eine Vorrichtung angebracht sein, welche gestattet, einmal Wind in den Generatorunterteil einzuleiten, das andere Mal das beim Gasen entstehende Gas aus dem Generator abzuführen. Man könnte dies einfach durch das abwechselnde Öffnen und Schließen zweier Schieber, welche einesteils die Windzufuhr, anderenteils die Gasableitung abschließen, bewirken. Es muß jedoch damit gerechnet werden, daß die Schieber im Laufe der Zeit undicht werden und dies kann in diesem Falle sehr üble Folgen haben, wie dies tatsächlich bei den anfangs in die Praxis eingeführten Generatoren der Fall war. Ist nämlich der Schieber, welcher das Windrohr mit dem Generatorunterteil verbindet, undicht, so gelangt während des Gasens zufolge des hohen Druckes, welcher im Generator herrscht, Gas in die Windleitung. Dort mischt sich das Gas mit Luft und das Gemisch gelangt manchmal bis in das Gebläse. Wird dann der Windschieber zum Zwecke des erneuten Warmblasens wieder geöffnet, so fördert das Gebläse das in der Windleitung angesammelte Gasluftgemisch in den Generator und es erfolgt dort eine Entzündung, welche schon häufig zur vollständigen Zertrümmerung des Gebläses geführt hat. Es müssen also hier irgendwelche Sicherungsvorkehrungen getroffen werden, um dies zu vermeiden. Bei Generatoren, bei denen immer von unten warmgeblasen wird und bei denen auch das Gasen immer von unten erfolgt, so daß also während des Gasens der Unterteil des Generators mit Dampf gefüllt ist, während das Gas oben entweicht, sind derartige Sicherheitsvorrichtungen nicht erforderlich, denn bei solchen Generatoren würde bei etwaiger Undichtheit des Windschiebers während des Gasens nur Dampf in die Windleitung gelangen, was keine Gefahr verursacht.

Man kann Mittel verwenden, um das Eintreten der Undichtheit des Windschiebers rasch zu erkennen. Zu diesem Zwecke führt man z. B. ein enges, etwa 2 Zoll weites schmiedeeisernes Rohr von der Gebläseleitung knapp vor dem Windschieber bis auf die Arbeitsbühne. Dieses Rohr kann während des Warmblasens durch eine Kuppelung mit dem Windschieber geschlossen sein, ist jedoch beim Gasen geöffnet. Tritt nun eine Undichtheit im Windschieber ein, tritt daher Gas in die Windleitung, so steigt dieses durch das genannte Rohr auf und entweicht bei der Mündung desselben, die sich auf der Arbeitsbühne befindet, und man kann dort das austretende Gas wahrnehmen und entsprechende Abhilfe schaffen. Ein anderes Mittel ist, das Gebläse während des Gasens nicht abzustellen, sondern fortlaufen zu lassen, so daß in der Windleitung ein höherer Druck herrscht als im Generator. In diesem Falle wird bei undichtem Windschieber nicht Gas in die Windleitung gelangen, sondern umgekehrt etwas Luft in die Gasleitung kommen. Dies ist jedoch

mit keiner so großen Gefahr verbunden, da die Luftmenge, welche durch die Undichtheit eines Schiebers eintreten kann, nicht so groß ist, daß ein explosionsfähiges Gemisch erreicht würde, während umgekehrt bei Austreten von Gas in die Luftleitung die Explosionsgrenze schon viel früher erreicht wird. Zur weiteren Sicherung bringt man dann in der Windleitung große Klappen an, welche sich im Falle einer Explosion rasch öffnen können, oder man versieht eine große Öffnung, die sich in der Windleitung befindet, mit einem Verschuß aus einer Gummiplatte oder mit einem sonstigen windundurchlässigen Stoffe, welcher im Falle einer Explosion zerreißt, so daß der dabei auftretende Druck sich dort Luft macht und sonst keinerlei Schaden anrichtet.

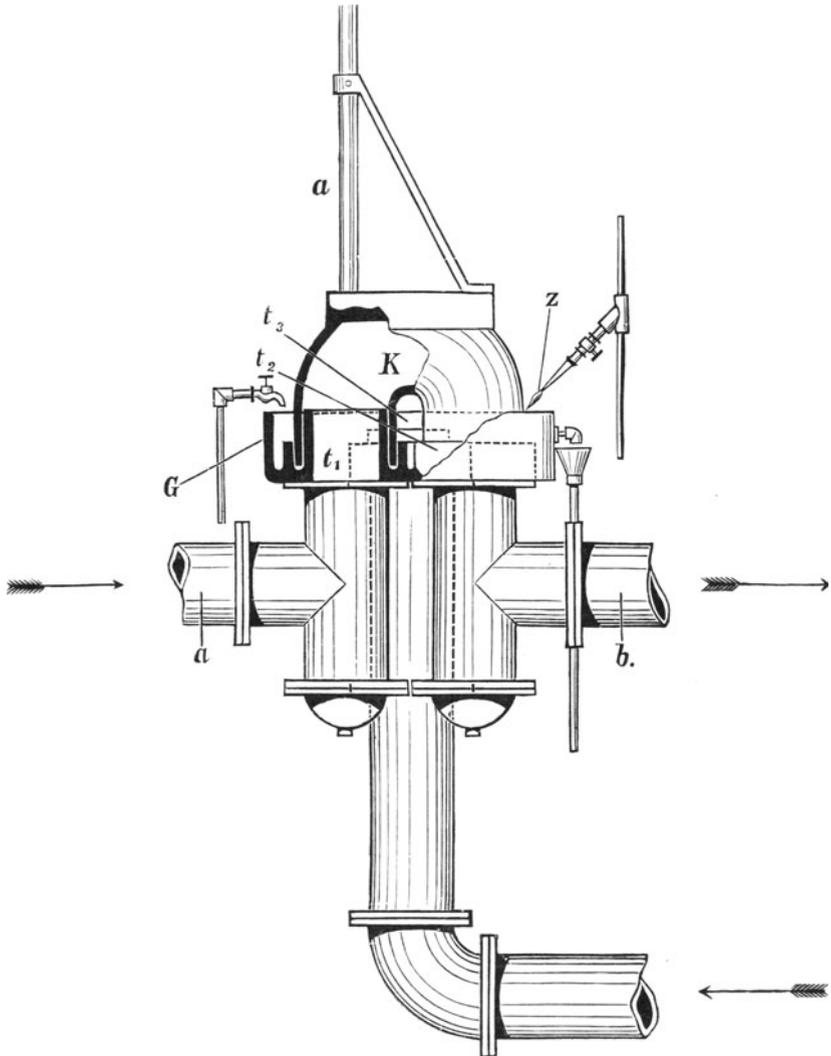
Eine andere Sicherheitsvorrichtung, welche das gleichzeitige Abstellen der Windzufuhr und das Öffnen des Gasabganges bewirkt, ist der sogenannte D-Schieber, der von der Europäischen Wassergas-Aktiengesellschaft für den Wassergasbetrieb eingeführt wurde. Er besitzt Wasserkühlung, um die Dichtflächen kühl zu halten und vor dem Verziehen zu bewahren. Dieser Schieber besitzt an den Dichtflächen auch einige kleine Kanäle, welche das etwa durch undichte Stellen hindurchtretende Gas nach außen abführen. Wir werden diesen wassergekühlten D-Schieber bei Besprechung des Generators der Europäischen Wassergas-Aktiengesellschaft näher kennen lernen.

Ein Umschalter, welcher die Sicherheit bietet, daß weder Gas in die Windleitung, noch umgekehrt Wind in die Gasleitung gelangen kann, ist vom Verfasser konstruiert worden. Es ist dies ein hydraulischer Umschalter, der in Fig. 348 dargestellt ist. Die drei Rohre, nämlich das Windzuführungsrohr, das Gasableitungsrohr  $b$  und das Rohr, welches den Umschalter mit dem Generator verbindet ( $a$ ), sind an einer gemeinsamen Wassertasse  $G$  befestigt, die an Stelle des Anschlusses jedes Rohrstutzens, je eine ringförmig kleine Tasse  $t_1$ ,  $t_2$  und  $t_3$  besitzt, welche mit Quecksilber gefüllt werden. Zur Kühlung des Quecksilbers und zur Reinhaltung der Oberfläche desselben ist die Tasse  $G$  mit Wasser gefüllt, das durch den Zulaufhahn unterhalb  $t_2$  ein- und durch einen Überlauf abfließt. Eine in die Tasse  $t_1$  eingesetzte U-förmige Kappe  $K$  verbindet jeweilig zwei der genannten Rohrleitungen. Diese Kappe  $K$  ist um die Achse der Tasse  $t_1$  drehbar, so daß sie die Rohrleitung  $a$ , welche vom Generator kommt, entweder mit der Gasableitung  $b$  oder mit der Windzufuhr verbindet. Durch das Eintauchen in das Quecksilber wird ein hydraulischer Abschluß erzielt, welcher auch für hohe Drucke ausreichend ist. Ist z. B. die Tiefe der Quecksilbertauchung 100 mm, so entspricht dies einem Drucke von mehr als 1300 mm Wassersäule. Bei großen Generatoren, wo eine größere Hubhöhe keine Unannehmlichkeiten mit sich bringt, verwendet man Wasser als Sperrflüssigkeit an Stelle von Quecksilber; in diesem Falle muß die Höhe der Wassertasse mindestens 700 mm betragen. Eine besondere Sicherung ist bei diesem Umschalter noch durch die Zündflamme  $z$  gegeben. Diese dient dazu, den Gasrest zu entzünden, welcher in der Umschalterkappe  $K$  vorhanden ist, wenn dieselbe beim Schlusse der Gasperiode gehoben und gedreht wird, um die Verbindung mit der Windleitung herzustellen.

Das Gas, welches im Momente des Öffnens der Umschalterkappe noch nicht mit Luft gemischt ist, entzündet sich dann ganz ruhig und brennt auch bei Herstellung der Verbindung mit der Windleitung ganz ruhig ab. Um dies zu erreichen, muß allerdings der Schenkel der Umschalterkappe  $K$ , welcher dem Generator zugekehrt ist, länger sein, als der andere Schenkel, so daß

der erstere auch dann noch in das Wasser der Kühltaße *G* eintaucht, wenn der andere Schenkel bereits herausgehoben ist und gedreht wird. Ist dies nicht der Fall, so bewirkt der Zug des an dem Generator angeschlossenen Schornsteines, daß beim Heben der Umschalterkappe auch bei dem dem Gene-

Fig. 348.



rator zugekehrten Schenkel Luft eingesogen wird, welche ein Gasluftgemisch in der Kappe *K* hervorruft, das dann mit Knall explodiert. Ist dagegen dieser Schenkel länger, so bleibt hier der hydraulische Abschluß bestehen und eine Mischung von Luft und Gas ist dann vollständig ausgeschlossen.

Bei den Wassergasgeneratoren von Dellwik-Fleischer wird diese Sicherung dadurch bewirkt, daß die Windleitung mit einem vertikal nach aufwärts führenden Rohr verbunden ist, welches ein Tellerventil und in dem

daran geschlossenen horizontalen Stutzen noch einen Schieber enthält. Das Tellerventil läßt in der Stellung, wo es die Windleitung abschließt, eine weite Öffnung nach oben frei, so daß, wenn auch der Schieber in der horizontalen Leitung undicht wird, das austretende Gas hier in die Luft entweichen kann. Tellerventil und Schieber sind durch einen Hebel derart miteinander verkuppelt, daß beim Öffnen der Windleitung zunächst das Tellerventil gehoben wird und die genannte Ausblaseöffnung verschließt, wonach sich dann erst der Schieber öffnet. Beim Schließen hingegen wird zuerst der Schieber geschlossen und dann wird die genannte Öffnung freigegeben, wobei gleichzeitig durch das Tellerventil die Gebläseleitung abgeschlossen wird <sup>1)</sup>.

Natürlich erfüllen alle genannten Umschaltevorrichtungen nur dann ihren Zweck, und verbürgen nur dann die Sicherheit, wenn die Umschaltung der Ventile des Generators in der richtigen Reihenfolge vorgenommen wird. Zu diesem Zwecke verblockt man die Ventile oder deren Steuervorrichtungen derart, daß eine falsche Bedienung nicht stattfinden kann. Besonders muß beachtet werden, daß das Abgasventil nie früher geschlossen werden darf, als bis die Windleitung abgeschlossen und die Gasableitung geöffnet ist. Steht der Generator noch mit der Windleitung in Verbindung, während das Abgasventil geschlossen wird, so tritt durch das oft undichte, wenn auch noch geschlossene Dampfventil häufig Dampf in den Generator und das dadurch erzeugte Wassergas gelangt in die Windleitung und kann dann bei Beginn des Blasens zu Explosionen führen. Die Verblockung, welche das vorzeitige Schließen des Abgasventiles verhindert, muß also unbedingt sicher arbeiten.

Auf die Art der Dampfzufuhr legte man früher beim Betriebe der Wassergasgeneratoren wenig Wert. Wir haben jedoch bereits bei Erläuterung der Theorie des Wassergasprozesses (S. 802) ausführlich erörtert, daß eine ganz bestimmte Dampfgeschwindigkeit eingehalten werden muß, wenn man den besten Nutzeffekt erzielen will. Eigentlich müßte man die Dampfzufuhr jeweilig der Temperatur anpassen; sie sollte anfangs, bei Beginn der Gasperiode, wenn der Generator noch heiß ist, stärker sein und sollte im Laufe des Gasens allmählich so weit abgedrosselt werden, wie dies der Verringerung der Temperatur in der Brennmaterialsäule entspricht. Ein solches Vorgehen wäre jedoch zu umständlich, und deshalb kann man sich begnügen, eine konstante Dampfgeschwindigkeit anzuwenden, wenn dieselbe nur so eingerichtet ist, daß auch am Schlusse der Gasperiode, wenn die Temperatur des Generators schon stark gesunken ist, noch keine zu große Menge unzersetzten Dampfes austritt. Als Maß für die eingeblasene Dampfmenge kann der Druck dienen, welcher zwischen dem Dampfventil und der Einblasedüse des Generators herrscht. In diesem Rohrstück tritt allerdings nur dann ein größerer Druck auf, wenn vor dem Eintritt in den Generator eine Verengung in der Dampfleitung angebracht ist. Ein Manometer, welches zwischen dem Dampfventil und dieser Verengung eingeschaltet ist, gibt dann Aufschluß über die Menge von Dampf, welche in den Generator pro Zeiteinheit einströmt. Der Querschnitt dieser Verengung muß im richtigen Verhältnis zum Generator-

<sup>1)</sup> In Amerika scheinen derartige Sicherheitsvorrichtungen noch sehr wenig bekannt zu sein, sonst würde nicht Russel (American Gaslight Journ. 1907; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 499) den Vorschlag machen, Reservegebläserohre anzulegen, welche zur Aushilfe dienen sollen, im Falle ein Gebläserohr explodiert. Siehe ferner auch Leybold, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 739 und Strache, ebend. 1909, S. 812.

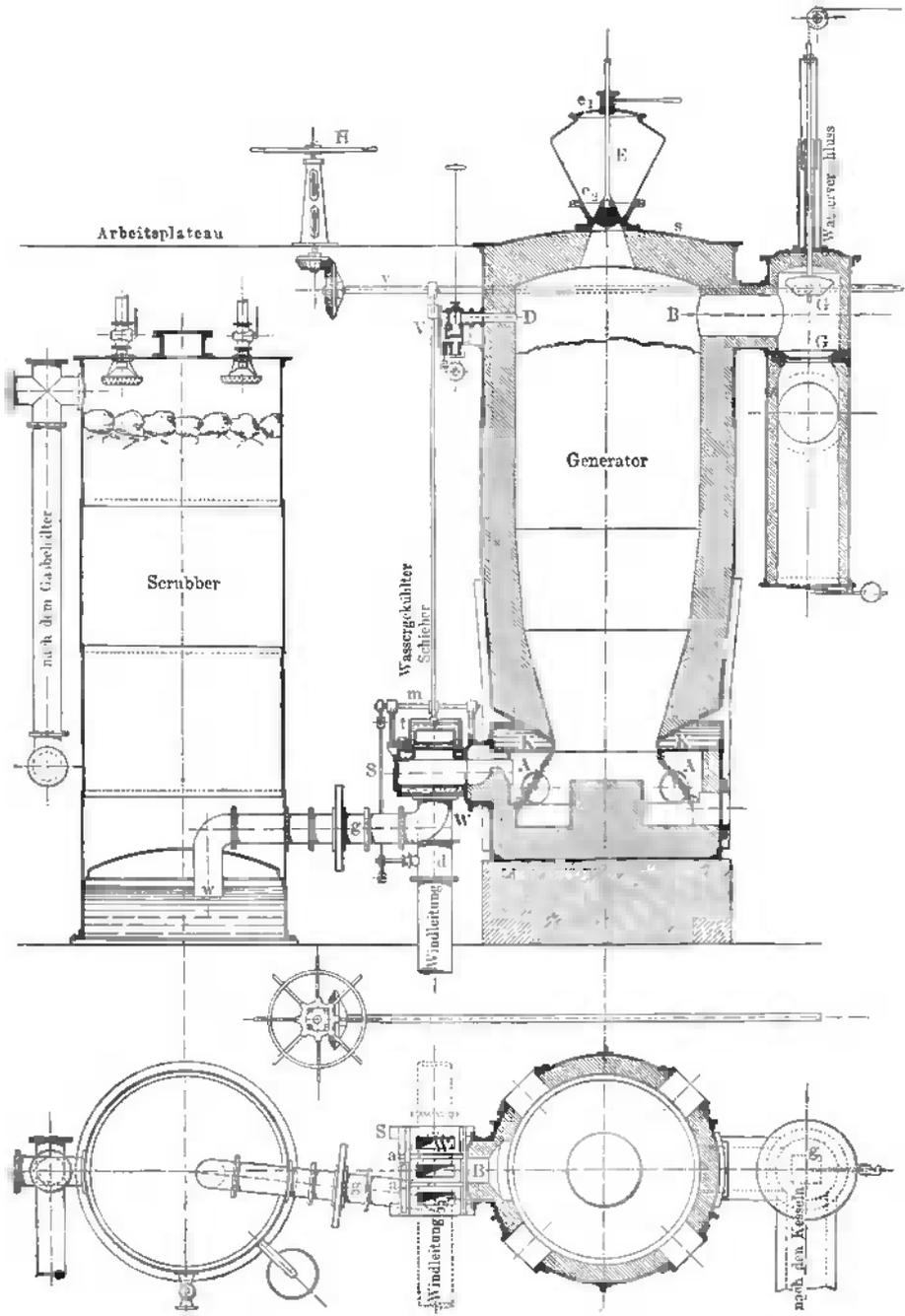
querschnitt stehen, um bei einem bestimmten Dampfdrucke vor der Düse eine bestimmte Dampfgeschwindigkeit, auf den freien Generatorquerschnitt gerechnet, zu ergeben. Auf alle Fälle muß die Dampfzufuhr abgeschlossen werden, sobald die Temperatur im Generator so weit gesunken ist, daß eine beträchtliche Menge von Dampf unzersetzt aus dem Generator entweicht. Wir werden hierauf noch ausführlich bei der Besprechung des sogenannten Vergleichsmanometers und des Dampfeschlußmelders (S. 903) zu sprechen kommen.

Das Dampfventil, welches bei jeder Gasperiode geöffnet und geschlossen werden muß, muß notwendigerweise oberhalb der Arbeitsbühne, also beim Stande des Arbeiters, angeordnet sein und es soll von hier aus bequem bedient werden können! Es ist auch zu berücksichtigen, daß die Dampfventile namentlich dann, wenn sie so oft benutzt werden wie in diesem Falle, meist nicht dicht abschließen. Dies hat dann zur Folge, daß auch während des vermeintlichen Stillstandes des Generators etwas Dampf in den Generator gelangt und Wassergas erzeugt. Ist der Generator während des Stillstandes mit dem Schornstein in Verbindung, d. h. ist das Abgasventil geöffnet, so entweicht der Dampf durch den Schornstein; ist jedoch das Abgasventil geschlossen, so darf der Unterteil des Generators nicht in Verbindung mit der Windleitung stehen, sondern er muß mit der Gasableitung verbunden sein, und das Eintreten des Gases in die Windleitung muß unter allen Umständen verhindert werden.

Das erste Wassergassystem, welches sich am europäischen Kontinent in die Praxis einführte, ist das System der Europäischen Wassergas-Aktiengesellschaft, Fig. 349. Diese übernahm die Patente von Blass zur Verwertung, welche vornehmlich in der Anwendung des Kühlringes und des wassergekühlten D-Schiebers bestanden. Bei diesem Apparate wird immer im Gegenstrom gearbeitet, d. h. immer von unten geblasen und immer von oben Dampf eingeleitet. Der Gebläsewind tritt unterhalb des D-Schiebers *S* ein, passiert diesen und gelangt schließlich durch einen breiten Schlitz in den Unterteil des Generators. Er verteilt sich in dem Raume oberhalb des Schlackenkegels *A*, tritt dann an der inneren Kante des Kühlringes *K* und durch die Stücke des Schlackenkegels hindurch in das Innere des Generators, dort Generatorgas erzeugend, und die Eigenwärme desselben wird bei der sehr großen Schichthöhe des Generators (etwa 3 m) sehr vollkommen zur Vorwärmung des Brennmaterials ausgenutzt. Das Generatorgas entweicht bei *B* in das mit einem Kegelschluß versehene Abgasventil. Die Spindel des Ventilkegels *G* ist nicht durch eine Stopfbüchse geführt, sondern besitzt ebenfalls einen hydraulischen Glockenschluß; dies aus dem Grunde, weil die Temperatur der Abgase noch sehr hoch ist und daher bei Anwendung einer Stopfbüchse häufiges Festsetzen der Spindel vorkommen könnte. Vor dem Einleiten des Dampfes wird der D-Schieber derart verschoben, daß die Schieberkappe den Generatöraustritt mit dem Skrubbereintritt verbindet, und gleichzeitig wird der Abgasventilkegel geschlossen. Dies erfolgt gleichzeitig durch Drehen des Steuerrades *H*, das mittels eines Zahnrades und Gestänges den D-Schieber verschiebt und mittels einer Seiltrommel und eines Seiles gleichzeitig das Abgasventil herabbläht. Nunmehr wird bei *D* Dampf eingeleitet und das erzeugte Wassergas entweicht in den Skrubber.

Das Nachfüllen des Kokes erfolgt durch den doppelt verschließbaren Fülltrichter *E*. Dieser besitzt unten einen Kegelschluß, dessen Spindel durch eine Stopfbüchse in die Höhe geführt ist. Diese Spindel ist vierkantig

Fig. 349.



und kann mittelst eines Hebels in drehende Bewegung versetzt werden, so daß in der unteren Stellung des Ventilkegels ein Einschleifen des Sitzes vorgenommen werden kann. Der Deckel des Fülltrichters *E*, in der Zeichnung mit  $e_1$  bezeichnet, ist abhebbar und man kann denselben lüften, noch bevor der Ventilkegel in die Höhe gehoben wird. Man kann somit den Koks bei geschlossenem Ventilkegel einfüllen, dann den Deckel *e* schließen und dann erst den Ventilkegel in die Höhe ziehen, wodurch der Koks in das Innere des Generators fällt.

Bei den Generatoren der Europäischen Wassergas-Aktiengesellschaft erfolgte das Warmblasen gewöhnlich während einer Dauer von 10 Minuten und darauf wurde durch 5 Minuten Gas erzeugt. Schon aus dieser Zeiteinteilung geht hervor, daß die Temperatur des Generators eine außerordentlich hohe gewesen sein muß, somit bildete sich beim Warmblasen ein Generatorgas von sehr hohem Kohlenoxydgehalt und geringem Kohlensäuregehalt. Der letztere betrug etwa 3 bis 5 Proz. Dieses sehr gute Generatorgas besaß einen beträchtlichen Heizwert (etwa 800 bis 900 Kal. pro Kubikmeter) und konnte somit vorzüglich zur Kesselheizung, später auch zum Gasmotorenbetriebe verwendet werden. Während der 5 Minuten des Gasens war die Dampfgeschwindigkeit natürlich eine sehr große, so daß eine so hohe Temperatur angewendet werden mußte, um eine einigermaßen vollständige Zersetzung des Dampfes zu erzielen. Trotzdem war am Schlusse der Gasperiode die Dampfzersetzung häufig ungenügend, so daß auch der Kohlensäuregehalt des Gases ziemlich hoch war (etwa 5 Proz.). Wie aus diesen Umständen hervorgeht, konnte mit diesem Verfahren, gemäß unserer theoretischen Erläuterungen (S. 806), keine gute Ausbeute an Wassergas erzielt werden. Man gewann etwa  $1 \text{ m}^3$  aus  $1 \text{ kg}$  Koks. Nebenbei wurden aber  $4 \text{ m}^3$  Generatorgas erzeugt, welche in größeren Betrieben ausreichende Verwendung finden konnten, so daß dadurch eine gute Ausnutzung des Gesamtheizwertes des Koks erzielt wurde.

Das Schlacken erfolgte je nach dem Schlackengehalt des Koks etwa alle 6 bis 12 Stunden einmal. Der Kühlring ermöglichte ein rasches Schlacken, und bei einiger Geschicklichkeit der Arbeiter konnte die Schlacke gezogen werden, ohne viel Koks mit herauszureißen.

Die Haltbarkeit des Mauerwerks oberhalb des Kühlringes war zufolge der Wasserkühlung eine vorzügliche, trotz der hohen Temperatur, die in dieser Zone herrschte, so daß eine Neuausmauerung des Unterteiles nur etwa alle Jahre einmal erforderlich war.

Betreffs der Verwendung des Generatorgases ist zu berücksichtigen, daß der Gasstrom kein kontinuierlicher ist, sondern nur zehn Minuten andauert, dann aber während des Gasens durch 5 Minuten unterbrochen wird. Bei der Verwendung des Generatorgases zur Kesselheizung muß daher ein Hilfsfeuer unterhalten werden, welches jedesmal die Entzündung des Generatorgases bewirkt. Ferner ist auch auf die Zugverhältnisse Rücksicht zu nehmen: Während des Eintrittes des Generatorgases in die Feuerung ist der Luftzug zur Feuerung zu erhöhen, während der Unterbrechung zu vermindern. Zweckmäßig geschieht dies durch eine Vorrichtung, welche infolge direkter Verbindung mit dem Steuerrade des Generators automatisch wirkt. Das Generatorgas tritt durch eine Düse von rechteckigem Querschnitt in die Feuerung ein; die innerhalb dieser Düse angeordneten Kanäle gestatten der Luft den Zutritt, wenn die Schlitze des seitlich verschiebbaren Schiebers mit den

Öffnungen der Kanäle zusammenfallen. Durch Drehen des Steuerrades auf der Arbeitsbühne wird vermittelst einer Kette der Schieber verschoben, und somit werden die Öffnungen während des Gasens verschlossen. Bei der Rückbewegung bewirkt ein Gewicht den Gegenzug.

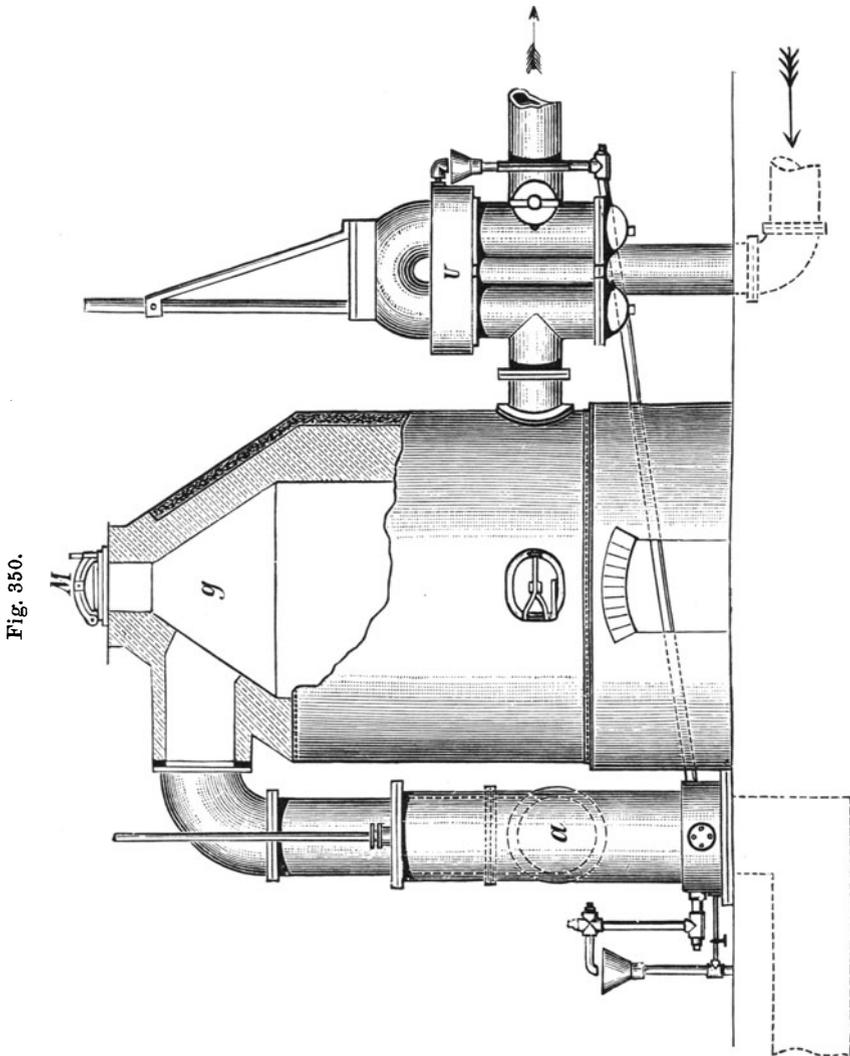


Fig. 350.

Ein anderer Generator, welcher in ähnlicher Weise arbeitet, wie der eben besprochene, ist der vom Verfasser konstruierte, welcher in Fig. 350 wiedergegeben ist und die Bezeichnung „Type A“ erhalten hat.

Bei diesem Generator wurden die umfangreichen Versuche über die Theorie der Wassergasbildung, welche wir auf S. 780 bis 808 erläutert haben, verwertet und ergab sich daraus die Anwendung einer wesentlich geringeren Temperatur, als dies bei dem Verfahren der Europäischen Wassergas-Aktiengesellschaft der Fall war. Zuzufolge dieser geringeren Temperatur wurde die

Anwendung eines Kühlringes überflüssig und man konnte im Unterteile des Generators den Wind direkt auf die Böschung des Brennmaterials wirken lassen, wie dies auf S. 825 erläutert ist. Trotz dieser geringen Temperatur konnte eine vollständige Dampfersetzung erzielt werden, indem man die Dampfgeschwindigkeit entsprechend gering annahm. Daraus folgt natürlich eine größere Dimensionierung des Generatorschachtes *g*, welcher auch an seiner untersten Stelle nicht oder nicht wesentlich eingeschnürt ist, damit die Dampfgeschwindigkeit an der Stelle, wo die Reaktion stattfindet, nicht erhöht wird.

Die Windzufuhr und die Gasabfuhr erfolgen durch den schon auf S. 834 erläuterten Umschalter *U*. Die Verteilung des Windes auf die einzelnen Mortontüren am Umfange des Generatorunterteiles wird durch einen ringförmigen Kanal bewirkt, welcher sämtliche Mortontüren miteinander verbindet. Bei größeren Generatoren tritt der Wind in einer etwas höheren Lage über den Mortontüren ein und verteilt sich in einem ringförmigen Kanale am Umfange des Generators oberhalb der Mortontüren, und besitzt dieser Kanal bei jeder Mortontüre eine Öffnung nach abwärts, so daß von hier aus der Wind in jede einzelne Mortontüre gelangt und sich somit gleichmäßig verteilt. Bei kleinen Generatoren bis zu 25 m<sup>3</sup> Stundenleistung genügt eine einzige Schlacktüre und bei größeren Generatoren werden mehrere angewendet, bei 500 m<sup>3</sup> Stundenleistung sechs Stück. Das Schlacken ist auch bei diesen Generatoren ein leichtes, weil das Herausziehen der Schlacke bei einiger Übung an jeder Türe nur etwa 1½ bis 2 Minuten Zeit in Anspruch nimmt. Das Schlacken muß jedoch öfters erfolgen, als bei Generatoren mit Kühlringen, nämlich alle 3 bis 4 Stunden einmal.

Das Nachfüllen des Kokes erfolgt bei kleinen Generatoren nach Abschluß der Gasperiode durch Öffnen der Fülltüre *M* am Oberteil des Generators, es ist also hier mit Rücksicht auf die Einfachheit kein doppelt verschließbarer Fülltrichter vorgesehen. Bei großen Generatoren ist es hingegen zweckmäßig, einen solchen anzuwenden, weil die Zeit während des Blasens nicht ausgenutzt werden kann, wenn kein doppelt verschließbarer Fülltrichter vorhanden ist.

Die Abgase entweichen durch den seitlich am Oberteil des Generators angebrachten Stutzen zum Abgasventil *a*. Es ist dies ein hydraulisches Ventil, wie wir es bereits auf S. 831 beschrieben haben. In Fig. 350 erscheint dieses Abgasventil auf den Boden gestellt; es ist jedoch zweckmäßig, das Abgasventil direkt an den vom Generator abgehenden Stutzen anzubringen.

In der Höhe der Fülltüre *M*, welche zum Füllen des Generators dient, muß, namentlich bei größeren Generatoren, eine Arbeitsbühne angebracht sein, von welcher aus auch das Abgasventil bedient wird. Bei ganz kleinen Generatoren wird die Spindel des Abgasventils durch eine um eine Rolle geführte Kette, die eine Handhabe besitzt, betätigt. Durch Ziehen an der Handhabe wird das Ventil geöffnet, und durch Herunterlassen schließt sich dasselbe zufolge des eigenen Gewichtes. Bei größeren Generatoren hingegen besitzt die Spindel des Abgasventils eine Zahnstange, welche mittels Zahnrades gehoben wird.

Ebenso wird die Kappe des Umschalters *U* bei kleinen Generatoren direkt mit der Hand bewegt, indem auch hier die Spindel des Umschalters mit einer Kette verbunden ist, die über eine Rolle geleitet und mit einer Handhabe versehen ist. Bei Generatoren von mittlerer Größe ist ein Gegengewicht

angebracht, so daß das Gewicht des Umschalters ausbalanciert ist, wodurch die Beweglichkeit erleichtert wird; dann muß aber zum Zwecke, das Herausheben des Umschalters durch den Gasdruck zu vermeiden, eine Arretierung angebracht sein, welche den Umschalter niederhält. Beim Umschalten muß der Umschalter gehoben, gedreht und wieder gesenkt werden. Bei großen Generatoren trägt die Spindel des Umschalters eine Zahnstange, welche durch ein mit Handrad verbundenes Zahnrad bewegt wird. Dieses, in einer vertikalen Ebene drehbare Handrad muß jedoch mitsamt der Spindel auch um deren Achse drehbar sein, so daß nach dem Anheben des Umschalters das Drehen und Senken bewirkt werden kann. Das Umschalten mit dieser Vorrichtung ist jedoch auch bei größeren Generatoren ein leichtes und beansprucht nur etwa 10 bis 15 Sekunden Zeit.

Zufolge der Einführung des rationellen Verfahrens der Wassergaserzeugung bei einer solchen Temperatur, daß beim Warmblasen ein stark kohlenstoffhaltiges Gas und trotzdem beim Gasen noch eine gute Dampferzeugung erzielt wird, ist die Ausbeute an Wassergas in diesen Generatoren eine gute. Sie beträgt pro 1 kg vergastem Kohlenstoff rund  $2 \text{ m}^3$  Gas. Bei einem Kohlenstoffgehalt des Koks von 85 Proz. entspricht dies einer Wassergasausbeute von  $1,70 \text{ m}^3$  pro 1 kg Koks.

In Elberfeld, wo im städtischen Gaswerke die erste große Wassergasanlage dieser Art errichtet wurde, betrug während des Betriebsjahres 1907 die Ausbeute im Jahresdurchschnitt  $1,84 \text{ m}^3$  pro 1 kg Koks. Dabei sind keinerlei Abzüge für die Auslese von Koks aus der Schlacke, Flugasche oder dgl. gemacht, sondern diese Ziffer drückt einfach die Koks menge aus, welche in den Generator eingefüllt wurde. In der Tat ist ja auch bei dieser Art des Schlackens keinerlei Koksabfall in der Schlacke vorhanden und treten auch durch das Schlacken keine größeren Betriebsunterbrechungen ein. Dieses Resultat ist wohl das günstigste, das bisher bei Wassergasanlagen im Jahresdurchschnitt überhaupt erzielt worden ist.

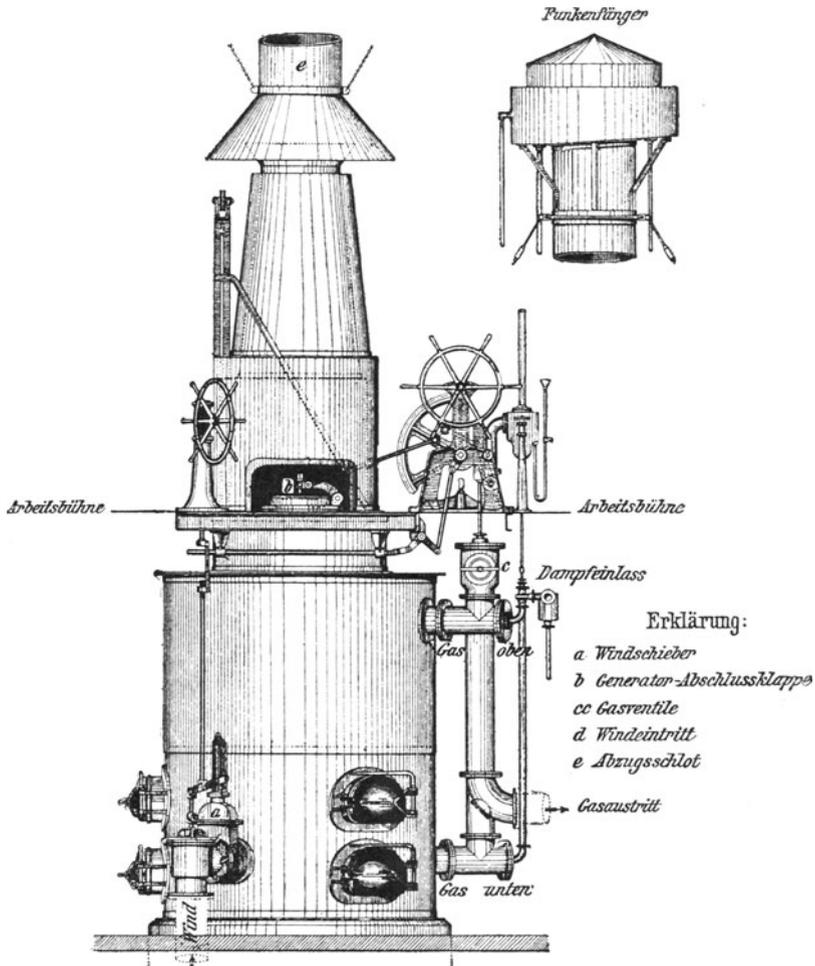
Diese Generatoren zeichnen sich durch besondere Einfachheit und Billigkeit aus und lassen sich in allen Größen von etwa  $\frac{1}{2}$  bis  $1000 \text{ m}^3$  Stundenleistung herstellen. Man gibt einem Generator nicht gerne mehr als  $1000 \text{ m}^3$  Stundenleistung wegen der ungleichmäßigen Verteilung des Windes über die Fläche des Generatorquerschnittes, welche dann zu befürchten wäre.

Die Abgase, welche bei diesem Verfahren entstehen, enthalten noch eine beträchtliche Menge von Kohlenoxyd. Dasselbe kann entweder zur Beheizung eines Regenerators zum Zwecke der Dampfvorwärmung verwendet werden, oder es kann ein Wasserverdampfer oberhalb des Generators angebracht werden (vgl. S. 848), oder aber schließlich, es kann das beim Warmblasen entstehende, allerdings stark kohlenstoffhaltige Generatorgas zur Beheizung eines besonderen Dampfkessels verwendet werden. Zufolge der kurzen Dauer der Warmblaseperiode muß jedoch ein Kessel von verhältnismäßig sehr großer Heizfläche gewählt werden, damit die in dieser kurzen Zeit von der Generatorgasflamme an die Kesselwandungen abgegebene Wärmemenge genügt, um den Kessel zu beheizen.

Die Dauer des Warmblasens nach diesem Verfahren beträgt je nach dem angewendeten Winddruck 1 bis 2 Minuten. Die Dauer des Gasens je nach der gewählten Dampfgeschwindigkeit 4 bis 10 Minuten.

Der von Fleischer verbesserte Dellwiksche Generator ist in Fig. 351 dargestellt. Auch bei diesem erfolgt das Warmblasen stets von unten, das Gasmachen hingegen abwechselnd von unten und von oben. Dementsprechend müssen zwei Gasauslässe angeordnet sein: der eine am Oberteil des Generators, wo das Wassergas entweicht, wenn der Dampf von unten eingeleitet wird, und der zweite am Unterteil des Generators, um das beim Gasen von obenher

Fig. 351.



entstehende Wassergas unten abführen zu können. Der Windzutritt erfolgt durch den Schieber *a*, derselbe ist mit einem Tellerventil gekuppelt, wie wir dies bereits auf S. 835 erwähnt haben. Die Betätigung erfolgt durch Handrad und Zahnstange von der Arbeitsbühne aus und greift das untere Ende der Zahnstange an einem Hebel in der Mitte zwischen den beiden Ventilen an. Da sich nun das Tellerventil leichter bewegt als der Schieber, so wird beim Heben der Zahnstange zunächst das Tellerventil nach oben gehoben, so daß es die im Deckel dieses Tellerventils befindliche Öffnung verschließt und gleichzeitig die den Wind von unten zuführende Rohrleitung

öffnet. In dieser Stellung ist also die Ausblaseöffnung im oberen Teile des Tellerventils abgeschlossen, der Schieber *a* jedoch noch geschlossen, so daß noch kein Wind in den Generator eintreten kann. Erst bei weiterem Heben der Zahnstange öffnet sich der Schieber *a*, weil der eine Arm des Hebels, an dem die Zahnstange angreift, in dem gehobenen Tellerventil einen Stützpunkt findet. Wird hingegen nach Schluß der Warmblaseperiode der Schieber geschlossen, so senkt sich wieder zufolge der leichteren Beweglichkeit zunächst das Tellerventil, indem es die Windleitung absperrt und die Öffnung im Obertheile, welche zur Sicherung gegen Explosionsgefahr dient, freigibt. Erst wenn das Tellerventil sich in der untersten Lage befindet, gibt es den erforderlichen Widerstand, um dem Hebel einen Stützpunkt zu bieten, und bei weiterer Abwärtsbewegung der Zahnstange wird dann auch der Schieber *a* geschlossen. Treten nun während des Gasens Undichtheiten im Schieber *a* auf, so entweicht das Gas in den Obertheil des Tellerventils, kann jedoch nicht in die Windleitung gelangen, da diese nach unten abgesperrt ist, wogegen am Deckel des Tellerventils eine Öffnung freigegeben ist, durch welche diese geringen Gasmengen austreten können. Dieser Gasaustritt ist dann an einem weißen Nebel sichtbar, wodurch man auf die Undichtheit im Schieber *a* aufmerksam wird.

Der Unterteil des Dellwikschen Generators ist mit einem gewöhnlichen Planrost ausgestattet. Derselbe befindet sich in der Höhe zwischen den beiden aus Fig. 351 ersichtlichen Schlackentüren. Beim Schlacken wird an der oberen Kante der oberen Türe der Notrost eingeschlagen, und wird das ganze Brennmaterial, welches sich zwischen diesem und dem Roste befindet, herausgezogen. Die unteren Türen dienen dazu, die durch den Rost durchgefallene Asche zu entfernen und ferner den Rost vollständig zu reinigen. Der Rost ist namentlich dann, wenn beim Gasen hohe Temperaturen angewendet werden, stark mit Schlacke verlegt und diese muß gründlich beseitigt werden. Der Rost verschlackt um so stärker, je häufiger von obenher gegast wird, weil dann einestheils die Temperatur über dem Rost eine höhere ist, und anderenteils, weil der von oben nach unten gehende Gasstrom die weich gewordene Schlacke fest an die Rostspalten drückt. Verlegt sich also der Rost stark mit Schlacke, so ist ein häufigeres Gasen von unten angezeigt.

Die beim Warmblasen entstehenden Verbrennungsgase, die, wie auf S. 811 erwähnt, zu Anfang der Blaseperiode vornehmlich Kohlensäure, später aber auch große Mengen von Kohlenoxyd enthalten, entweichen durch einen während des Warmblasens geöffneten Klappenverschluß, der gleichzeitig als Füllöffnung dient, in den Schornstein. Um nun die während des Warmblasens entstehenden Gase nicht auf die Arbeitsbühne gelangen zu lassen, ist dieselbe mit einem Gehäuse umgeben, das vorne einen Schieberverschluß besitzt, so daß man, wenn Koks nachgefüllt werden soll, durch diese Schieberöffnung einen mit Koks gefüllten Wagen in das Gehäuse einfahren kann, der dann, wie auf S. 830 erörtert, seinen Inhalt in das Innere des Generators entleert.

Der oberste Teil des Schornsteines ist bei den Dellwikschen Generatoren mit einem Funkenfänger versehen, wie er in Fig. 351 seitlich angedeutet ist. Wie schon erwähnt (S. 787), ist der Dellwiksche Generator dazu eingerichtet, eine hohe Windgeschwindigkeit beim Warmblasen anzuwenden. Dabei werden aber große Mengen von kleinen Koksstückchen mit den Abgasen

herausgerissen und diese fliegen im glühenden Zustande durch die Luft und können die Umgebung gefährden. Um dies zu vermeiden, ist eben der genannte Funkenfänger angebracht. Der Schornstein ist mit einer Kappe bedeckt, die sich in einem weiten zylindrischen Mantel befindet. Im letzteren sammeln sich diese kleinen Koksstückchen an, und der Boden desselben ist derart abgeschrägt, daß sie nach einer Seite rollen und durch ein hier angebrachtes Rohr auf die Arbeitsbühne der Wassergasanlage zurückgelangen.

Die Abgase, welche aus der Füllöffnung entweichen, brennen gewöhnlich während des ersten Teiles der Warmblaseperiode nicht, weil sie einen zu hohen Kohlensäuregehalt haben, jedoch schon nach  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{2}$  Minute des Blasens tritt Entzündung zufolge des Kohlenoxydgehaltes ein. Hieraus ist ersichtlich, daß sich der Dellwische Generator trotz der hohen Windgeschwindigkeit in der gleichen Weise verhält wie jeder andere Generator, daß er nämlich bei steigender Temperatur der Kokssäule kohlenoxydhaltiges brennbares Generatorgas liefert. Die der Füllöffnung entweichenden Gase brennen dann mit einer starken, anfänglich blau, später gelb gefärbten Flamme in den Schornstein hinein und verursachen dabei ein beträchtliches Geräusch. Aus dem Wechsel der Farbe des brennenden Generatorgases kann man einen Schluß auf die Temperatur des Generators ziehen. Solange die Flamme fahl blau brennt, ist die Temperatur niedrig, eine intensiv gelbe Flamme zeigt dagegen eine sehr hohe Temperatur; dies rührt daher, daß bei der hohen Temperatur Natronsalze flüchtig sind und die Flamme gelb färben.

Da das Gasen abwechselnd von oben und unten erfolgt, müssen die unten und oben am Generator befindlichen Gasauslässe je ein besonderes Ventil haben, welche von einer besonderen Steuerungsvorrichtung derart betätigt werden, daß das eine stets geschlossen ist, wenn das andere offen steht. Diese Steuerungsvorrichtung, welche vermittelt eines Handrades und eines Zahnradsegments in Bewegung gesetzt wird, bewirkt auch gleichzeitig das Öffnen und Schließen der Abschlußklappe *b*. Ferner werden durch diese Steuerungsvorrichtungen auch abwechselnd zwei Schilder freigegeben, welche anzeigen, ob das Gasen von unten oder von oben erfolgen soll, d. h. ob das Dampfventil, welches zum Unterteil des Generators oder jenes, welches zum Oberteil des Generators führt, geöffnet werden soll.

Wie wir schon auf S. 811 bei Besprechung der Theorie des Wassergasprozesses erwähnt haben, ist die Gaserzeugung stets eine größere, wenn von oben gegast wird, weil hierbei der Dampf, bevor er in die eigentliche Reaktionszone gelangt, an dem glühenden Koks vorgewärmt wird. Das Gasen von oben ist also stets mit einem besseren Nutzeffekt verbunden. Das Gasen von unten muß bei diesem Generator nur deshalb durchgeführt werden, weil sonst der Unterteil des Generators zu warm (und die Schlacke sich zu fest an dem Rost ansetzen würde. Wird zu häufig von unten gegast, so kühlt hingegen der Unterteil des Generators derart aus, daß unter Umständen auch Dampfkondensationen im Unterteil stattfinden. Dann wirkt das kondensierte Wasser kühlend auf den Unterteil und dadurch wird dann das Warmblasen erschwert. In einem solchen Falle muß man durch häufiges Gasen von oben dafür sorgen, daß der Unterteil des Generators gehörig warm wird und erst dann kann man wieder das abwechselnde Gasen von oben und unten einführen. Wie oft von oben und wie oft von unten gegast werden soll, muß für jede Anlage besonders erprobt werden. Wird allzuhäufig von oben

gegast, so kann es auch vorkommen, daß der ganze Rost im Unterteil des Generators durchschmilzt; dies muß also unbedingt vermieden werden. In den meisten Fällen ist es aber noch zulässig, abwechselnd zweimal von oben und einmal von unten zu gasen.

Das von den beiden Ventilen austretende, in einer gemeinsamen Abgangsleitung gesammelte Gas tritt ebenso wie bei allen anderen Systemen der Wassergaserzeugung aus dem Generator in einen Skrubber, wo es gekühlt und gewaschen wird.

Das Schlacken des Generators erfolgt je nach Bedarf, meistens nach einem 12stündigen Betriebe und dauert etwa  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{3}{4}$  Stunden.

Die Ausbeute kann mit  $1,6 \text{ m}^3$  pro 1 kg des in den Generator gebrachten Kokes angenommen werden. Allerdings muß dabei die beim Schlacken mit herausgezogene Menge von Koks wieder in den Generator eingefüllt werden, nachdem man die Schlackenstücke davon ausgelesen hat. Ferner kann eine solche Ausbeute auf die Dauer nur dann erreicht werden, wenn man durch geeignete Vorrichtungen Sorge trägt, daß die Dampfgeschwindigkeit keine zu große ist, und daß das Gasen abgebrochen wird, sobald die Temperatur des Generators zu weit herunter geht (vgl. S. 902). In anderen Fällen, wo darauf keine Rücksicht genommen wird, kann die Ausbeute bis auf  $1,2 \text{ m}^3$  pro 1 kg Koks herabsinken.

Beim Wassergasgenerator von Reitmayer wird die Warmblaseluft in der ganzen Höhe der Brennstoffsäule und an dem ganzen Umfang des Schachtes eingeführt<sup>1)</sup> (vgl. S. 789). Bei diesem wird die Luft nicht nur in den Unterteil des Generators eingeblasen, sondern auch noch in einen Verteilungskanal, welcher den Wind in mittlerer Höhe des Generators über den ganzen Umfang desselben verteilt. Von hier aus gelangt derselbe durch Schlitze, welche die Wandung des Generators von unten bis oben durchbrechen, in den Generator. Der Generator muß stets vollständig gefüllt gehalten werden, da sonst der Wind nicht in die Brennstoffsäule, sondern oberhalb derselben in den Generatoroberteil gerät und dort nur das im Unterteil des Generators entstehende Generatorgas verbrennt, ohne jedoch die Brennstoffsäule zu erhitzen<sup>2)</sup>.

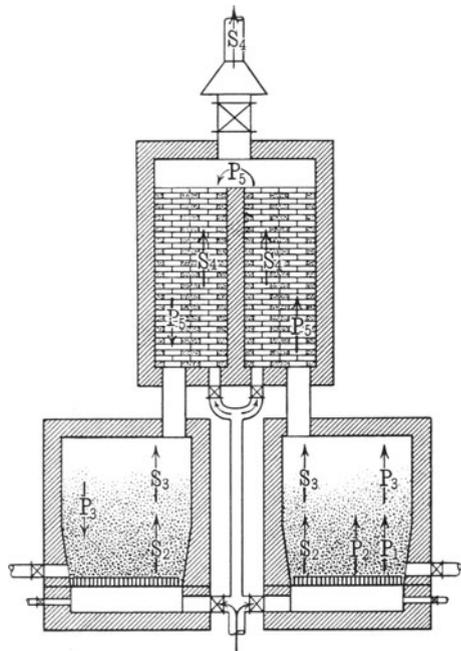
Der Apparat, welcher zur Ausführung des Wassergasverfahrens von Kramers und Aarts dient, ist in Fig. 352 nur schematisch dargestellt. Das Warmblasen der beiden parallel geschalteten Generatoren erfolgt gleichzeitig und soll damit erreicht werden, daß bei Wahl einer geringen Schichthöhe der Kohlensäuregehalt der Abgase ein hoher ist. Wir haben jedoch wiederholt (S. 787) darauf hingewiesen, daß dies praktisch nicht erreichbar ist und auch zwecklos wäre. Die Eigenwärme der abziehenden Gase, sowie die Verbrennungswärme des Kohlenoxydgehaltes in denselben wird durch Einblasen von Sekundärwind zur Beheizung zweier ebenfalls parallel geschalteter Regeneratorkammern benutzt. Die Abgase entweichen dann in den Schornstein. Beim Gasen wird nun nach Abstellung sämtlicher Windventile Dampf in den Unterteil des einen Generators geleitet; das hier erzeugte Wassergas gelangt durch die beiden Regeneratorkammern, wo sich der überschüssige Dampf mit dem Kohlenoxydgehalt des Wassergases zu Kohlensäure und Wasserstoff umsetzt. Dieses Gasgemisch gelangt dann in den zweiten

<sup>1)</sup> D. R. - P. Nr. 193197. — <sup>2)</sup> Vgl. Diskussion zwischen Reitmayer und Strache, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 220.

Generator, passiert diesen von oben nach unten, und hier wird die Kohlen- säure wieder zu Kohlenoxyd reduziert, im Falle die Temperatur des Generators hoch genug ist. Das erzeugte Wassergas entweicht dann aus dem Unterteile des zweiten Generators, und es müssen also auch hier die entsprechenden Vorkehrungen getroffen werden, um den Eintritt von Gas in die Windleitung zu verhindern. Nach neuerlichem Warmblasen der beiden Generatoren wird dann bei der nächsten Gasperiode der Dampf auf der anderen Seite, d. h. in den anderen Generator von unten, eingeblasen und nimmt den umgekehrten Weg, so daß zufolge des abwechselnden Gasens nach der einen und der anderen Richtung die beiden Generatoren die gleiche Temperatur erhalten. Die Praxis hat ergeben, daß auch bei diesem Verfahren keine günstigeren Ausbeuten erhalten werden als bei den anderen der genannten Verfahren, da der Nutzeffekt, wie auf S. 806 abgeleitet, stets nur von der Temperatur des Generators und der Wahl einer entsprechenden Dampfgeschwindigkeit abhängt und die Windgeschwindigkeit und die Schichthöhe nur insofern von Einfluß sind, als bei zu großer Windgeschwindigkeit oder zu geringer Schichthöhe große Mengen von Wärme durch die Eigenwärme der Abgase fortgeführt werden, wodurch der Nutzeffekt verschlechtert wird.

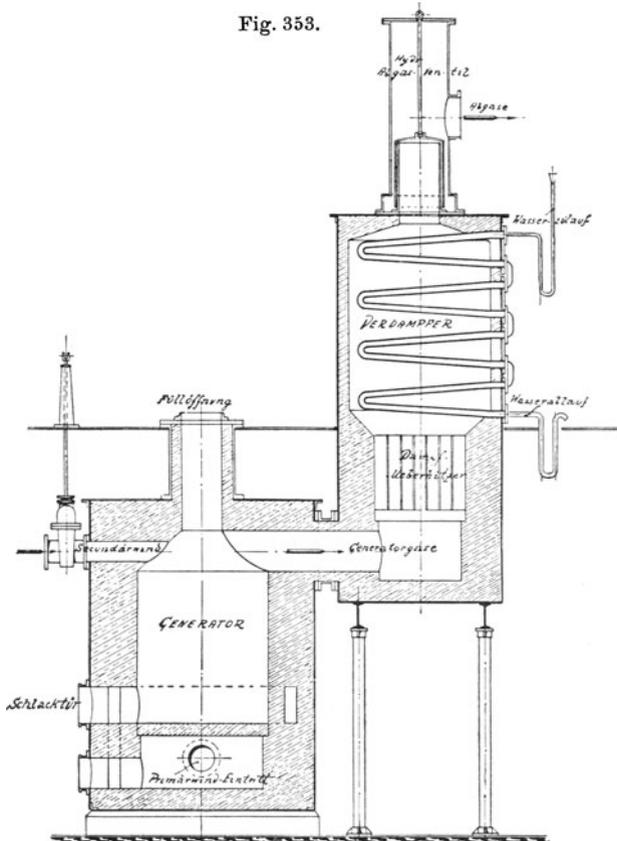
Bei allen diesen Wassergasverfahren entsteht also während der Warmblaseperiode eine bestimmte Menge von Kohlenoxyd, dessen Verbrennungswärme noch ausgenutzt werden kann. Zweckmäßig ist die Ausnutzung derselben zur Verdampfung des Wassers, damit der Dampf nicht in einer besonderen Dampfkesselanlage unter Aufwendung von frischem Brennmaterial erzeugt werden muß. Der Verbrauch an Dampf pro Kubikmeter erzeugten Wassergases beträgt bei einer guten Dampfersetzung 0,5 kg. Er kann jedoch bei nicht entsprechender Leitung des Betriebes leicht bis auf 1 kg pro Kubikmeter Wassergas steigen. Zur Erzeugung dieser Dampfmenge und des Dampfes, welcher zum Antriebe der Gebläse in den Dampfmaschinen erforderlich ist, werden etwa 0,2 bis 0,25 kg Koks pro Kubikmeter Wassergas verbraucht. Allerdings verwendet man für diese Zwecke nicht den großstückigen Generatorkoks, sondern feinkörnigen Abfallkoks. Aber immerhin spielen die Kosten des Brennmaterials für die Dampferzeugung eine beträchtliche Rolle. Sie können erspart werden, wenn man die Abhitze der Generatoren bzw. die Verbrennungswärme des Kohlenoxydgehaltes des beim Blasen entstehenden Generatorgases zur Dampferzeugung ausnützt. Es geschieht dies am besten

Fig. 352.



in Verdampfern, welche direkt auf den Generator aufgesetzt sind. Allerdings ist, wie schon erwähnt, die Zeit des Warmblasens eine geringe und es müssen daher große Heizflächen aufgewendet werden, um in dieser kurzen Zeit die Wärmemenge aufzuspeichern, welche zur Erzeugung des Wasserdampfes für die darauf folgende Gasperiode notwendig ist.

Der Dampfkessel entfällt bei derartigen Anlagen allerdings nur dann vollständig, wenn der Antrieb der Gebläse auf andere Weise besorgt werden



kann, wenn also z. B. elektrischer Strom vorhanden ist, so daß der Gebläseantrieb mit Elektromotoren erfolgen kann, oder wenn man den Antrieb derselben mit Hilfe eines Gasmotors besorgt.

Ein solcher Verdampfer, der zu jedem beliebigen Generator an beliebigen Systemen hinzugebaut werden kann und dessen Konstruktion vom Verfasser angegeben worden ist<sup>1)</sup>, ist in Fig. 353 dargestellt. Derselbe besteht im wesentlichen aus einem System schmiedeeiserner Rohre, die mittels eines Einlaufsiphons mit Wasser berieselt und durch einen entsprechenden Ablaufsiphon entwässert werden. Die einzelnen Elemente dieses Rohrsystems sind in leicht auswechselbarer Weise in einem mit Schamotte ausgefüllten Mantel angeordnet, der oben durch ein hydraulisches Abgasventil abgeschlossen und

<sup>1)</sup> D. R.-G.-M. Nr. 183105; vgl. auch Breisig, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 206.

unten mit einem Stutzen versehen ist, welcher zum Anschluß des Verdampfers an den bestehenden Generator dient. Unterhalb des Rohrsystems ist ein Gitterwerk aus Schamottesteinen eingebaut, welches einerseits beim Blasen eine direkte Berührung der Verdampferrohre durch die Stichflamme des Generatorgases verhindert und andererseits beim Gasen zur Dampfüberhitzung dient.

Das beim Blasen entstehende Generatorgas wird im Generatoroberteil durch Zufuhr von Sekundärwind entzündet und beheizt das Schamottemauerwerk und weiterhin die Röhren des Verdampfers. Nach Abschließen des Abgasventils entwickelt beim darauffolgenden Gasen die in den Verdampferrohren aufgespeicherte Wärme aus dem die letzteren durchfließenden Wasser die erforderliche Menge von Dampf, welcher, durch Öffnungen der Verdampferrohre austretend, sich an den Schamottesteinen überhitzt und in den Generatoroberteil gelangt. Der Dampf durchstreicht den Generator von oben nach unten und entweicht unten in der gewöhnlichen Weise als Wassergas. Es ist eine größere Anzahl derartiger Rohrsysteme parallel nebeneinander angeordnet, und jedes Rohrsystem besitzt seinen eigenen Einlaufsiphon, so daß die Verteilung des Wassers in die einzelnen Rohre genau kontrolliert werden kann. Sind die Rohre so weit abgekühlt, daß das Wasser nicht mehr verdampft, so gelangt dasselbe durch den unteren Überlaufsiphon wieder nach außen, ohne in den Generator einzutreten. Dementsprechend hält die Dampferzeugung nur eine gewisse Zeit an, welche von der beim Warmblasen in den Rohren aufgespeicherten Wärme abhängt. Ferner vermindert sich die Dampferzeugung im Laufe der Gasperiode in dem Maße, als sich die Rohre abkühlen. Beides ist jedoch nicht von Nachteil, sondern von Vorteil, weil ja die Dampfgeschwindigkeit im Generator zweckmäßig im Laufe der Gasperiode verringert werden soll und weil die Dampfung überhaupt abgebrochen werden soll, sobald die Temperatur im Generator zu gering geworden ist. Beides erfolgt nun bei der Anordnung dieser Verdampfer von selbst, so daß niemals unzersetzter Dampf durch den Generator entweichen kann und somit ein Gas von sehr geringem Kohlensäuregehalt erzeugt wird.

Allerdings können derartige Verdampfer nur an solche Generatoren angeschlossen werden, bei denen immer von oben gegast wird. Es können jedoch bestehende Generatoren solcher Systeme, welche abwechselnd von oben und unten gasen, leicht in entsprechender Weise abgeändert werden, indem man den Rost durch eine Mauersohle abschließt, wie dies Fig. 353 andeutet. Die Luftzuführung erfolgt dann mittels eines in die Ausmauerung verlegten Kanals von den Schlackentüren aus, wie wir dies auf S. 826 erörtert haben.

Da zu einer einmaligen Gasperiode verhältnismäßig wenig Dampf verbraucht wird, so ist keine sehr große Masse notwendig, um bei einer Temperatursteigerung von einigen hundert Graden die zur Dampferzeugung erforderliche Wärmemenge aufzuspeichern. Da jedoch das Warmblasen nur sehr kurze Zeit (1 bis 2 Minuten) dauert, so ist eine sehr große Oberfläche notwendig, um die entsprechende Wärmemenge in dieser kurzen Zeit aufzunehmen. Dieser Erwägung entspringt die Anwendung einer großen Anzahl von Rohren. Das etwaige Durchbrennen von Rohren ist belanglos, denn einerseits müssen die Rohre ohnedies Öffnungen besitzen, um den Dampf austreten zu lassen, und schadet es daher nicht, wenn das Durchbrennen schon so weit fortgeschritten ist, daß ganze Löcher eingebrannt sind. Anderer-

seits aber lassen sich die verbrannten Rohre bequem durch neue ersetzen, indem ein ganzes Element seitlich aus dem Verdampfer herausgenommen wird.

Eine andere Art des Verdampfers werden wir auf S. 853 besprechen. Hier sind gußeiserne Platten angeordnet, welche beim Warmblasen die Wärme aufspeichern und auf welchen durch Auftropfen von Wasser während der Gasperiode der erforderliche Dampf erzeugt wird. Derartige Platten haben jedoch gegenüber den Rohren den Nachteil, daß sich Flugasche an ihnen ansetzt, welche dann das auftropfende Wasser aufsaugt wie ein Schwamm, so daß eine lokale Abkühlung entsteht, und an dieser Stelle das Wasser nicht verdampft, sondern in flüssiger Form aufgesogen bleibt. Beim darauffolgenden Warmblasen muß dann erst dieses ganze Wasser verdampft werden, ehe sich die Temperatur über 100° steigert, und dementsprechend entstehen bedeutende Wärmeverluste. Bei dem obengenannten Rohrsystem hingegen kann sich die Flugasche nur an den äußeren Wandungen der Rohre ablagern, während das Wasser nur mit den inneren Wandungen der Rohre in Berührung kommt, so daß ein Aufsaugen des Wassers nicht stattfinden kann.

Die tatsächlich mit derartigen Verdampfern<sup>1)</sup> ausgeführten Anlagen haben gezeigt, daß tatsächlich der Dampf vollständig kostenfrei gewonnen wird, d. h. daß durch den Zubau eines Verdampfers die Ausbeute an Wassergas aus 1 kg Koks im Generator nicht verringert wird und die Kosten des Dampfkesselbetriebes vollständig fortfallen.

Eine andere Methode der Wiedergewinnung der durch die Verbrennungswärme des Generatorgases verloren gehenden Wärmemengen liegt in der Anwendung von Regeneratoren, wie bereits auf S. 790 erläutert wurde. Diese Regeneratoren können zur Dampfüberhitzung dienen, und bei Anwendung derart überhitzten Dampfes ist es dann möglich, Steinkohle oder Braunkohle an Stelle von Koks zur Wassergaserzeugung zu verwenden.

Das Prinzip, Steinkohle vermittelt überhitzten Wasserdampfes zu entgasen, wurde bereits von Blass in Essen angegeben und erprobt. Allerdings muß die Überhitzung des Wasserdampfes eine beträchtliche sein, damit die Wärmeübertragung auch eine genügende ist. Beheizt man jedoch Regeneratormauerwerk durch die Generatorgasflamme auf mehr als 1000°, was ohne Schwierigkeit zu erreichen ist, und leitet dann den zur Gaserzeugung verwendeten Dampf durch diese Regeneratoren, so ist die vom Dampfe mitgeführte Wärmemenge genügend, um die Steinkohle zunächst vollständig zu verkoksen, so daß dann die Wassergaserzeugung aus dem entstandenen Koks glatt vorgenommen werden kann.

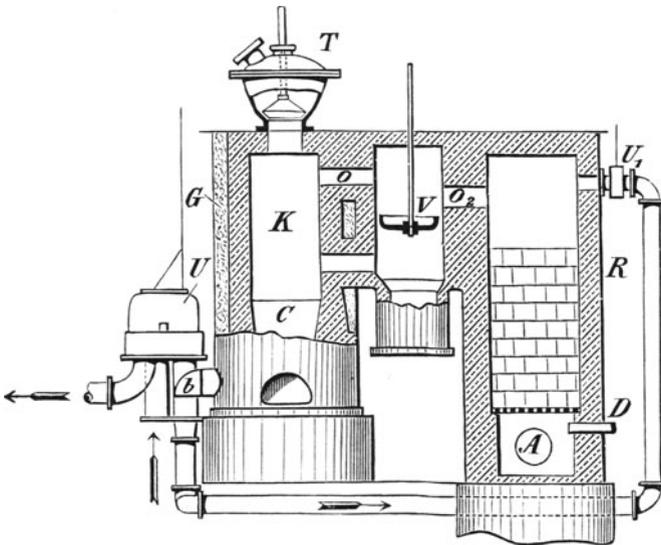
Der Verfasser hat auf dieser Grundlage einen Generator konstruiert<sup>2)</sup>, welcher zur Erzeugung von uncarburiertem Wassergas direkt aus Steinkohle oder Braunkohle dient und als „Type B“ bezeichnet wurde.

Die Wirkungsweise dieses Generators ist aus Fig. 354 ersichtlich. Der Apparat besteht aus einem mit zwei Gasaustrittsöffnungen *O* versehenen Schachtofen (Generator *G*), der in üblicher Weise mit Schamotte ausgemauert ist, aus einem Steuerventil *V*, welches den wechselweisen Verschuß der einen oder der anderen Austrittsöffnung gestattet, und dem Regenerator *R*. Durch die Horizontalebene der unteren Austrittsöffnung kann man sich den Generator

<sup>1)</sup> Breisig, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 206. — <sup>2)</sup> Die sogenannte Type „B“, D. R.-P. Nr. 90 747.

in zwei Teile: den Unterteil oder Koksraum  $C$  und den Oberteil oder Kohlenraum  $K$  zerlegt vorstellen. Bei Inbetriebsetzung wird der ganze Generator mit Koks gefüllt, derselbe unten entzündet und durch Einblasen von Luft zur Glut gebracht. Dabei ist das Steuerventil  $V$  so gestellt, daß die obere Austrittsöffnung  $O$  verschlossen ist, so daß das zunächst entstehende Generatorgas durch die untere Öffnung auszutreten gezwungen ist und auf diesem Wege den Regenerator  $R$  erreicht, wo es durch einen aus  $U_1$  eingeblasenen Sekundärluftstrom zur Verbrennung gelangt. Die dabei erzeugte Wärme wird in dem Schamottmaterial des Regenerators aufgespeichert, indem dasselbe oben zur Gelbglut und unten weniger stark erhitzt wird. Diese Wärme wird später zur Überhitzung des Dampfes verwendet, wodurch eine wesentlich

Fig. 354.



höhere Ausbeute an Wassergas aus dem Brennmaterial erzielt wird. Die Verbrennungsgase entweichen aus dem Regenerator bei  $A$  in den Abgaskanal, welcher sie in den Schornstein leitet.

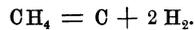
Ist die richtige Temperatur im Generator und Regenerator erreicht, so wird die Lufteintrittsöffnung des Generators und die Austrittsöffnung  $A$  der Verbrennungsgase aus dem Regenerator sowie der Sekundärwind Eintritt  $U_1$  verschlossen. Das Steuerventil  $V$  wird so gestellt, daß es die untere Austrittsöffnung des Generators verschließt und die obere  $O$  offen läßt. Die während des Warmblasens im Generator verbrannte Koks menge wird mit Kohle, welche durch einen geeigneten, doppelt verschließbaren Trichter bei  $T$  eingebracht wird, ersetzt. Nun ist der Apparat zum Gasmachen bereit. Man läßt in der Nähe von  $A$  in den unteren Teil des Regenerators Dampf einströmen. Derselbe erhitzt sich beim Aufsteigen durch die Schamottesteine immer mehr und gelangt mit sehr hoher Temperatur durch den Verbindungskanal und das Steuerventil bei  $O$  auf die eingebrachte Steinkohle im Generatoroberteile. Die Steinkohle wird durch den so hoch überhitzten Dampf vergast und verkokst. Der gebildete Koks gelangt nach Maßgabe des Ver-

brauches an Koks von selbst in den Koksraum *C*. Alle Destillationsprodukte (Steinkohlengas, Teer und Ammoniak) durchstreichen im Gemische mit dem Wasserdampf die darunter befindliche rotglühende Kokssäule *C*, wobei sich das Leuchtgas und alle Bestandteile des Teers in Kohlenstoff und Wasserstoff, das Ammoniak und die übrigen stickstoffhaltigen Substanzen in Stickstoff und Wasserstoff bzw. in Stickstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff zerlegen. Der heiße Wasserdampf setzt sich gleichzeitig mit dem glühenden Koks auf bekannte Weise in Wassergas um und entweicht durch die Öffnung *b* im Untertheile des Generators und den Umschalter zum Skrubber.

Die Prozesse, die bei dieser Wassergaserzeugung vor sich gehen, sind demnach:

1. Die Entgasung und Verkokung der Steinkohle.

2. Die Zersetzung der Destillationsprodukte in Kohlenstoff und Wasserstoff und eine geringe Menge Stickstoff, wobei sich das Volumen des Gases beträchtlich vergrößert, da sich aus je 1 Vol. Sumpfgas ( $\text{CH}_4$ ) je 2 Vol. Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) bilden nach der Formel:



3. Die Umsetzung des bei der Entgasung der Steinkohle entstandenen Kokes in Wassergas.

Die beiden erstgenannten Prozesse liefern aus je 100 kg Steinkohle zufolge der Vermehrung des Volumens des Leuchtgases und zufolge der Zersetzung des Teeres etwa 45 m<sup>3</sup> Wasserstoff. Die gleichzeitig entstehenden 60 kg Koks werden später, wenn sie in den unteren Teil *C* des Generators gelangt sind, in Wassergas umgesetzt, wobei sie etwa 120 m<sup>3</sup> eines Gemisches beiläufig gleicher Raumteile von Kohlenoxyd und Wasserstoff liefern. Man erhält somit aus 100 kg Steinkohle 165 m<sup>3</sup> Wassergas.

Die Zersetzung des Teeres ist eine so vollkommene, daß nach der darauffolgenden Waschung und Kühlung des Gases im Skrubberwasser keine mit dem Auge bemerkbaren Mengen von Teer enthalten sind und dasselbe nur einen geringen Geruch nach Teer besitzt. Dagegen ist das Waschwasser durch den Ruß schwärzlich gefärbt, welcher durch die Zerlegung der Kohlenwasserstoffe entstanden, im rohen Wassergase in staubförmiger Verteilung enthalten ist und erst durch die Waschung im Skrubber beseitigt wird. Ebenso ist die Zerlegung des Ammoniaks eine so vollkommene, daß das Waschwasser keinen Geruch nach Ammoniak besitzt.

Zum Betriebe kann jede Steinkohle, die nicht allzu stark bakt, oder Braunkohle verwendet werden. Selbstredend kann aber in diesen Apparaten auch Koks, Anthrazit oder Holzkohle zur Anwendung gelangen und gibt der Apparat wegen der Dampfüberhitzung im Regenerator aus diesen Materialien eine bessere Ausbeute als Generatoren, welche keinen Regenerator besitzen. Das erste Warmblasen des Apparates hat stets mittels Koks zu erfolgen. Beim fortgesetzten Gasen gelangt jedoch ausschließlich das gewählte Brennmaterial zur Verwendung. Das Brennmaterial muß in Stücken von etwa Faustgröße eingefüllt werden und darf nicht mehr als 20 Proz. Grus enthalten.

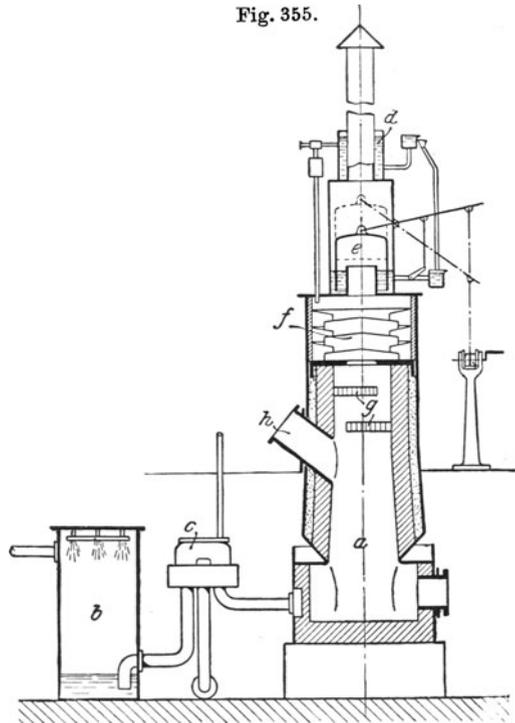
Versuche über den Brennmaterialverbrauch in diesen Wassergasgeneratoren, ausgeführt in der Wassergasanlage in Pettau, sind in den nachstehenden beiden Tabellen wiedergegeben (S. 854 u. 855).

Eine andere vom Verfasser ausgearbeitete Konstruktion eines Generators zur Erzeugung von Wassergas aus Steinkohle ist in Fig. 355 dargestellt.

Der Unterteil des Generators *a*, welcher den Kühlring trägt, ist mit den Schlacktüren versehen, und ist oberhalb des Kühlringes stets mit Koks und unterhalb desselben mit Schlacke gefüllt. Die Gebläseluft wird durch den Umschalter *c* eingeblasen und gelangt durch einen Verteilungskanal zu den Schlacktüren. Bei kleinen Generatoren sind zwei bis drei derselben angeordnet, bei großen Generatoren bis zu acht Stück. Das frische Brennmaterial wird durch die dicht verschließbare Füllöffnung *h* eingegeben. Das beim Warmblasen entstehende Generatorgas wird durch Zufuhr von Sekundärluft, die ebenfalls durch die Füllöffnung *h* erfolgt, in dem regeneratorsartigen Mauerwerk *g* verbrannt. Die Steine dieses Mauerwerkes geraten auf dunkle Gelbglut und die Abhitze gelangt in den Wasserverdampfer *f*. Dieser besteht aus einer Anzahl von gußeisernen, schwach konischen Tellern und der entsprechenden Anzahl von gußeisernen Ringen, welche mit den Tellern derart wechseln, daß das auf den obersten Ring aufgetropfte Wasser im Zickzackwege herunterzufließen gezwungen ist. Die Abgase entweichen durch das direkt auf den Verdampfer aufgesetzte Abgasventil *e* in den Schornstein, wo sie noch zur Vorwärmung des Wassers im kleinen Wasserreservoir *d* dienen.

Es ist hier ein Abgasventil mit kurzer Bauhöhe angewendet, auf das wir schon auf S. 833 verwiesen. Wie erörtert, benötigt man bei dem hydraulischen Abgasventil eine Tauchung von etwa 600 mm, da derartige Drucke in den Wassergasgeneratoren auftreten können. Um jedoch den Hub der Glocke nicht so hoch ausbilden zu müssen und daher das Abgasventil einfacher bedienen zu können, wird folgende Konstruktion verwendet.

Der Stutzen, welcher die Abgase unter die Abgasventilglocke führt, ist nur etwa 200 mm hoch, dementsprechend steht der Wasserspiegel in dem Ringraume nur etwa 180 mm über dem Boden. Während des Warmblasens wird das Wasserniveau hier konstant gehalten, indem Wasser aus einem kleinen Niveautopf durch einen vom Abgasventilhebel gesteuerten, während des Warmblasens offen stehenden Hahn zufließt. Der Niveautopf wird von oben durch ein Rohr mit Wasser gespeist, und das überschüssige Wasser fließt aus der Überlaufschnauze desselben ab. Die Abgasventilglocke ist in geöffneter Stellung nur wenig höher gehoben als das Wasserniveau. Dagegen



Versuche über Brennmaterialverbrauch  
in den Wassergasgeneratoren Type B, ausgeführt in der Wassergasanlage System Strache in Pettau.

Versuch Nr.	Datum 1899	Kohlengattung und Analyse	Versuchsdauer Stunden	Verbranntes Brennmaterial kg	Erzeugte Gasmenge m <sup>3</sup>	Leistung pro Stunde m <sup>3</sup>	Brennmaterialverbrauch pro 1 m <sup>3</sup> Gas kg	Kohlenstoffverbrauch pro 1 m <sup>3</sup> Gas kg	Gasmenge aus 1 kg Kohlenstoff m <sup>3</sup>
<b>Grazer Gaskoks</b>									
		C . . . . . 88,00, 89,76 Proz.							
		H . . . . . 0,64, 0,75 "							
		N . . . . . "							
1	1. Okt.	O ) . . . . . 2,02, 1,09 "	7,0	85	211	30	0,40	0,36	2,78
2	2. "	S . . . . . 0,48, 0,61 "	7,0	110	239	34	0,46	0,41	2,44
		Asche . . . . . 7,58, 7,46 "							
		H <sub>2</sub> O . . . . . 1,28, 0,34 "							
		Heizwert . . . . . 7280, 7461 Kal.							
		Mittel . . . . . 7376 "							
<b>Oberschlesische Steinkohle (Sandkohle)</b>									
3	11. Okt.	C . . . . . 63,57 Proz.	7,0	127	197	28	0,64	0,45	2,22
4	7. "	H . . . . . 4,63 "	4,5	77	135	30	0,57	0,40	2,50
5	7. "	N . . . . . 0,88 "	6,5	134	213	33	0,63	0,44	2,27
6	6. "	O . . . . . 18,50 "	4,5	96	175	39	0,55	0,38	2,63
7	8. "	S . . . . . 0,72 "	4,0	77	158	39	0,49	0,34	2,94
		Asche . . . . . 2,60 "							
		H <sub>2</sub> O . . . . . 9,10 "							
		Heizwert . . . . . 5781 Kal.							
		Verkokungsprobe . . . . . 52,35 Proz.							
<b>Buchberger Braunkohle</b>									
8	14. Okt.	C . . . . . 41,6 Proz.	5,0	216	212	42	1,02	0,53	1,90
		H . . . . . 4,7 "							
		N . . . . . 0,6 "							
		O . . . . . 25,1 "							
		S . . . . . 0,3 "							
		Asche . . . . . 8,1 "							
		H <sub>2</sub> O . . . . . 19,6 "							
		Heizwert . . . . . 3697 Kal.							
		Verkokungsprobe . . . . . 42,92 Proz.							

## Wärmebilanz zu vorstehender Tabelle.

Versuch Nr.	Art des Brennmaterials	Heizwert des verbrannten Materials in Kalorien	Heizwert des erzeugten Gases in Kalorien (1 m <sup>3</sup> = 2500 Kal.)	Menge der Abgase, m <sup>3</sup> (pro Min. 30 m <sup>3</sup> )	Wärme der Abgase bei 2500 in Kalorien (sp. W. pr. 1 m <sup>3</sup> = 0,922)	Wärme des Wassergases bei 6000 in Kalorien (sp. W. pr. 1 m <sup>3</sup> = 0,310)	In Prozenten			
							Heizwert des Gases	Wärme der Abgase	Wärme des Wassergases	Flugasche, unersetzer Dampf u. Strahlung
1 } 2 }	Grazer Gaskoks	{ — 811 360	{ — 598 000	{ — 660	{ — 53 100	{ — 44 500	{ — 73,7	{ — 6,5	{ — 5,5	{ — 14,3
3 } 4 } 5 } 6 } 7 }	Oberschlesische Steinkohle	{ 734 200 445 140 774 650 554 980 —	{ 493 000 338 000 532 000 438 000 —	{ 960 510 840 600 —	{ 77 200 41 100 67 700 48 300 —	{ 36 600 25 100 39 700 32 500 —	{ 67,1 75,9 68,7 78,9 —	{ 10,5 9,2 8,7 8,7 —	{ 4,9 5,6 5,1 5,8 —	{ 17,5 9,3 17,5 6,6 —
8 {	Buchberger Braunkohle	{ 798 000	{ 530 000	{ 1620	{ 130 700	{ 39 500	{ 66,4	{ 16,3	{ 4,9	{ 12,4

befindet sich zwischen der Glocke und dem Gehäuse des Abgasventils genug Platz, so daß die Abgase unter der unteren Kante der Glocke hindurch an dem seitlich verbleibenden Ringraume hinauf zum Schornstein entweichen können, ohne einen merklichen Druckverlust zu ergeben. Wird nun vor dem Gasen die Abgasventilglocke gesenkt, so daß deren Unterteil in das Sperrwasser eintaucht, so schließt sich dadurch gleichzeitig der automatisch mit dem Ventilhebel gesteuerte Wasserzulaufhahn, derart, daß während der Gasperiode, d. h. so lange, als das Abgasventil geschlossen ist, kein Wasser aus demselben austreten kann. Entsteht dann Druck im Generator, so wird das Wasserniveau im Inneren der Ventilglocke heruntergedrückt und außerhalb derselben steigt es in die Höhe. Nun sind die Querschnittsverhältnisse zwischen den Räumen innerhalb der Glocke und außerhalb der Glocke derart gewählt, daß das Wasser außerhalb der Glocke bis zum Rande derselben in die Höhe gestiegen ist, noch bevor sich der Spiegel im Inneren der Glocke bis zur Unterkante der Ventilglocke gesenkt hat. Somit kann man auf diese Weise die volle Höhe der Abgasventilglocke als Tauchung ausnutzen, und man muß dieser Ventilglocke nur die Höhe von 600 mm geben, um diesen Druck halten zu können. Zum Zwecke des Öffnens der Ventilglocke ist jedoch nur ein geringer Hub von etwa 200 bis 300 mm erforderlich, um den Abgasen wieder vollständig freien Austritt zu gewähren. Heben und Senken der Ventilglocke erfolgt mittels einer Seiltrommel, die mit einer Kurbel versehen ist. Bei ganz kleinen Anlagen kann das Heben und Senken auch direkt mit der Hand durch einen entsprechenden Handgriff erfolgen. In der obersten Stellung muß die Glocke bzw. der Glockenhebel natürlich arretiert werden, damit er von dem Gewichte der Glocke nicht wieder heruntergedrückt wird. In der untersten Stellung hingegen besorgt das Gewicht der Ventilglocke das Niederhalten. Die Glocke muß daher so schwer sein, daß sie dem Gasdrucke von 600 mm zu widerstehen vermag.

Bevor die Abgasventilglocke gesenkt wurde, wurde natürlich der Umschalter derart gestellt, daß die Verbindung des Unterteiles des Generators

mit dem Skrubber *b* hergestellt ist. Die Abgasventilglocke ist mit dem Umschalter derart verriegelt, daß ein Senken derselben nicht eher stattfinden kann, bevor nicht der Umschalter in die richtige Stellung gebracht wurde. Wäre eine derartige Verriegelung nicht vorhanden, so könnte der Fall eintreten, daß irrtümlicherweise der Umschalter mit der Windrohrleitung in Verbindung bleibt und daß somit das Gas während der Gasperiode in die Windleitung und zum Gebläse austritt. Dies könnte aber, wie schon auf S. 833 erwähnt, zu Explosionen führen. Es ist also wichtig, diese Verriegelung stets anzubringen.

Das Gasen erfolgt, indem von dem kleinen Wasserreservoir *d*, welches durch ein Niveaugefäß auf konstantem Niveau gehalten wird, Wasser durch einen Regulierhahn und durch ein Niveaurohr in den Verdampfer *f* einfließt. Natürlich soll das Auftropfen des Wassers auf die gußeisernen Platten nicht auf einer Stelle, sondern mindestens an drei Stellen des Umfanges erfolgen, damit die Platten am ganzen Umfange gleichmäßig abgekühlt werden. Die Einstellung des Wasserzulaufes erfolgt am besten derart, daß pro Minute etwa 0,3 bis 0,6 Liter Wasser durch jeden Zulauf einfließen. Besser als mit einem Regulierhahn kann dies auch dadurch geschehen, daß man in das Auslaufrohr von dem Reservoir *d* ein richtig dimensioniertes Glasröhrchen mittels eines Gummistopfens einsetzt, so daß bei dem gegebenen Druck stets die richtige Wassermenge ausfließt. Man hat dann kein weiteres Regulieren notwendig und muß nur dafür sorgen, daß das Glasröhrchen vollständig rein bleibt, was leicht kontrolliert werden kann.

Das in dem Verdampfer *f* eintropfende Wasser verdampft zunächst auf dem obersten Ringe, so lange, bis derselbe so weit abgekühlt ist, daß keine Verdampfung stattfinden kann. Dann fließt das Wasser auf den nächsten gußeisernen Teller, dann wieder herab nach außen auf den nächsten Ring und so weiter. Die Ringe und Teller kühlen sich daher allmählich von oben nach unten ab und der Wasserdampf gerät durch das regeneratorsartige Mauerwerk *g*, wo er sich vorwärmt, in den Generator. Hier wurde kurz vor dem Gasen frisches Brennmaterial (Steinkohle) aufgegeben. Die Kohle wird nun durch dreierlei Einflüsse entgast, nämlich einmal dadurch, daß sie auf die glühende Koksunterlage in *a* aufgebracht wird, zweitens durch den im Regeneratormauerwerk *g* hoch überhitzten Wasserdampf und drittens durch direkte Bestrahlung seitens der glühenden Regeneratorsteine. Die Destillationsprodukte gelangen, gemischt mit Wasserdampf, wieder durch die hellglühende Kokssäule in *a*, werden hier vollständig in Wassergas bzw. Wasserstoff verwandelt und gelangen durch den Umschalter *c* in den Skrubber *b*. Sobald der Generator so weit abgekühlt ist, daß entweder im Verdampfer *f* keine Dampfbildung stattfindet, oder aber die Dampfbildung im Generator *a* unvollkommen geworden ist, muß wieder warmgeblasen werden. Zu diesem Zwecke wird zunächst das Abgasventil durch Drehen einer Kurbel geöffnet und dann der Umschalter wieder mit der Windleitung in Verbindung gebracht. Läßt man das Wasser zu lange in den Verdampfer einfließen, so daß dasselbe nicht mehr verdampfen kann, so sammelt sich dasselbe am Boden des Verdampfers in einer zu diesem Zwecke angebrachten Rinne an, von wo aus es durch einen Ablaufsiphon abfließt. Der Verdampfer hat in dieser Ausführung den schon auf S. 850 besprochenen Nachteil, daß die regelmäßige Wasserverdampfung gestört werden kann, wenn sich Flugasche an den Verdampfer-

platten ansetzt. Es muß daher dafür gesorgt werden, daß die Verdampferplatten und Ringe stets vollständig frei von Flugasche gehalten werden. Die Reinigung erfolgt durch je drei Putzöffnungen, welche am Umfange jeder Etage des Verdampfers angeordnet sind und die durch kleine Mortontüren dicht verschlossen werden. Zweckmäßiger als dieser Verdampfer ist jedoch die Wahl eines Röhrenverdampfers, wie auf S. 848 beschrieben<sup>1)</sup>.

Zum Warmblasen der Wassergasgeneratoren sind Gebläse erforderlich. Man verwendet zwei verschiedene Arten von Gebläsen. Bei den Zentrifugalventilatoren wird die Luft dadurch unter Druck gesetzt, daß ein Flügelrad in sehr rasche Rotation versetzt wird, wodurch zufolge der Zentrifugalkraft die Luft nach außen getrieben wird. Der Druck ist um so höher, je größer die Umdrehungszahl des Gebläses ist. Da die Luft in solchen Zentrifugalventilatoren auch in rotierende Bewegung versetzt wird, so wird der Luftaustritt tangential zu dem flachen zylindrischen Gehäuse angeordnet. Die Tourenzahl der Flügel der Zentrifugalventilatoren ist verschieden, je nach Größe des Apparates und je nach dem Drucke, der geliefert werden soll. Will man eine Windgeschwindigkeit von 500 mm pro Sekunde, auf den freien Querschnitt des Generators gerechnet, erzielen, so genügt bei großstückigem Koks gewöhnlich ein Druck von 150 bis 200 mm Wassersäule, auch dann, wenn der Unterteil des Generators bereits einigermaßen verschlackt ist. In dem Maße allerdings, als die Verschlackung zunimmt, steigert sich auch der Widerstand der Brennmateriasäule und daher der Druck des Windes, welchen das Gebläse liefern muß. Die Zentrifugalventilatoren haben jedoch die Eigenschaft, weniger Wind zu liefern, wenn ihnen ein Widerstand entgegengesetzt wird. Ein Zentrifugalventilator gibt ungefähr denselben Druck, einerlei, ob dem Windaustritt ein hoher Widerstand entgegengesetzt wird oder ein geringer. Bei hohem Widerstand jedoch liefert der Zentrifugalventilator wenig Luft, bei geringem Widerstand dagegen viel Luft. Diese Art der Gebläse hat also die Eigentümlichkeit, daß in dem Maße, als die Verschlackung des Generators zunimmt, die vom Ventilator gelieferte Luftmenge abnimmt, d. h. also, daß die Windgeschwindigkeit bei längerem Blasen allmählich abnimmt. Dies äußert sich darin, daß bei bestimmter Zeitdauer des Blasens eine geringere Wärmemenge aufgespeichert wird, daß infolgedessen, wenn man eine bestimmte Dampfgeschwindigkeit wählt und durch eine bestimmte Zeitdauer gas, die Dampfersetzung immer ungünstiger wird, je weiter die Verschlackung des Generators vorschreitet. Man kann diesem Übelstande einigermaßen entgegenarbeiten, wenn man die sogenannten Compoundventilatoren verwendet, bei denen zwei Flügelräder derart miteinander an einer gemeinsamen Welle verbunden sind, daß die von dem einen Flügelrade vorkomprimierte Luft von dem zweiten weiter komprimiert wird, so daß schon bei verhältnismäßig geringer Tourenzahl ein hoher Luftdruck entsteht.

Jedoch auch diese Compoundventilatoren liefern bei zunehmender Verschlackung des Generators weniger Wind. Aus diesem Grunde ist es im allgemeinen vorzuziehen, an Stelle der Zentrifugalventilatoren Gebläse zu verwenden, welche abdichtende Fläche haben, derart, daß die Luft aus dem Gebläse mit Gewalt herausgedrängt wird. Man könnte dazu z. B. Kolbenkompressoren verwenden, wie dies bei den Hochofenanlagen der Fall ist.

---

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1907, S. 565; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 411.

Solche sind jedoch sehr kostspielig und werden daher nur dort verwendet, wo es sich um die Erzielung sehr hoher Drucke handelt. Für die geringen Drucke von etwa 200 bis 400 mm Wassersäule, die hier in Betracht kommen, genügen die rotierenden abdichtenden Gebläse, auch Roots-Blowers genannt.

Bei allen diesen rotierenden Gebläsen, wie beispielsweise ein solches in Fig. 267, S. 600 dargestellt ist, greifen zwei an getrennten Wellen sitzende, besonders geformte Körper derartig ineinander ein, während sie in dem Gehäuse des Gebläses unter Abdichtung gegen die Außenwand rotieren, daß sich der Raum zwischen ihnen und dem Gehäuse auf der einen Seite, der Ansaugseite, vergrößert, dagegen auf der anderen Seite, d. i. der Ausblase-seite, verringert; dadurch wird die Luft auf der einen Seite angesogen, auf der anderen Seite herausgeblasen. Da hier die Gebläseflügel gegen die Wandung des Gehäuses abdichten, muß, wenn überhaupt die Flügel in Rotation versetzt werden sollen, die hier befindliche Luft aus dem Gebläse herausgepreßt werden. Die Folge davon ist, daß die Luft, welche das Gebläse bei einer Umdrehung zu liefern hat, unter allen Umständen aus dem Gebläse herausgedrückt werden muß, einerlei wie hoch der Widerstand ist, welcher sich der Luftströmung entgegensezt. Würde die Abdichtung der Gebläseflügel gegen die Gehäusewandung eine ideal vollkommene sein, so könnte das Gebläse überhaupt nicht in Rotation versetzt werden, wenn der Windausgang abgeschlossen würde oder wenn sich demselben ein unüberwindlicher Widerstand entgegensezt. Dies bringt den Vorteil mit sich, daß bei zunehmender Verschlackung eines Wassergasgenerators die von dem Gebläse gelieferte Luftmenge nicht abnimmt, sondern ungefähr stets die gleiche bleibt. Allerdings ist ja die Abdichtung der Gebläseflügel gegen die Gehäusewandung keine ideale und deshalb wird diese vorausgesehene Wirkung nicht auf das vollkommenste eintreten, d. h. es tritt auch bei diesen Gebläsen bei zunehmendem Widerstande im Generator eine Verringerung der Windleistung pro Minute ein, aber lange nicht in dem Maße, wie dies bei den Zentrifugalventilatoren der Fall ist.

Naturgemäß aber steigt bei derartigen Gebläsen bei zunehmendem Verschlackungsgrade der Generatoren der Kraftbedarf infolge des zunehmenden Widerstandes und man erkennt den Widerstand an einem starken Zunehmen des Druckes im Generatorunterteile während der Blaseperiode. Man kann also aus dem Stande des Manometers, welches an dem Generatorunterteile angeschlossen ist, ohne weiteres auf den Verschlackungsgrad des Generators schließen, wenn die Tourenzahl des Gebläses stets die gleiche bleibt; es ist aber zu berücksichtigen, daß eben der Kraftbedarf für den Gebläseantrieb in diesem Falle mit zunehmender Verschlackung des Generators ein größerer wird und daß daher der Antriebsmotor stark genug gewählt sein muß, um auch bei diesem höheren Kraftbedarf das Gebläse noch ohne wesentliche Verringerung der Tourenzahl anzutreiben. Bei den obengenannten Zentrifugalventilatoren dagegen wird der Kraftbedarf umgekehrt bei zunehmendem Widerstande sogar geringer, weil der Druck, unter welchem die Luft dem Generator zuströmt, der gleiche bleibt und die gelieferte Windmenge abnimmt.

Der Vorteil, welchen die abdichtenden Gebläse gegenüber den Zentrifugalventilatoren haben, wird zum Teil durch den wesentlich höheren Preis aufgehoben. Bei ganz kleinen Wassergasanlagen spielt die Höhe der Anlagekosten eine wesentliche Rolle, deshalb verwendet man bei diesen gewöhnlich

Zentrifugalventilatoren. Auch ist hier der Widerstand der Brennmaterialsäule zufolge der geringen Höhe der Generatoren verhältnismäßig klein, so daß die obengenannten Übelstände nicht so sehr ins Gewicht fallen. Bei größeren Wassergasanlagen hingegen, wo die Anlagekosten nicht mehr so eine große Rolle spielen, ist es zweckmäßiger, abdichtende Gebläse zu verwenden. Dieselben werden jedoch gewöhnlich nur bis zur Größe von 300 oder 500 m<sup>3</sup> Windleistung pro Minute gebaut und werden in den größeren Ausführungen sehr kostspielig, so daß bei ganz großen Wassergasanlagen wieder zu den Zentrifugalventilatoren gegriffen wird.

In neuester Zeit geht man aber auch daran, bei den größten Anlagen Gebläse zu verwenden, welche bis zu 1000 mm Wasserdruck liefern<sup>1)</sup>. Bei 396 m<sup>3</sup> Luftleistung pro Minute beträgt der Kraftverbrauch 200 PS.

Die Größe des Gebläses ergibt sich aus folgender Überlegung: Soll der Generator 50 m<sup>3</sup> Wassergas pro Stunde leisten, und nimmt man z. B. als Beanspruchung pro Quadratmeter Fläche des freien Generatorquerschnittes 200 m<sup>3</sup> stündliche Leistung an, so ergibt sich der lichte Querschnitt des Generators zu

$$50 : 200 = 0,25 \text{ m}^2.$$

Wählt man nun als Windgeschwindigkeit auf den freien Generatorquerschnitt gerechnet 0,7 m pro Sekunde, so ergibt sich die pro Sekunde zu leistende Luftmenge

$$0,25 \cdot 0,7 = 0,175 \text{ m}^3 \text{ pro Sekunde}$$

oder

$$0,175 \cdot 60 = 10,5 \text{ m}^3 \text{ pro Minute.}$$

In ähnlicher Weise läßt sich der Windbedarf für jeden Generator von beliebiger Stundenleistung ermitteln.

Arbeiten die Generatoren mit Regeneratoren oder Ölüberhitzern oder dergleichen, wie wir dies später erläutern werden (S. 885), und wie dies auch bei Anwendung der Type „B“ und der Type „E“ des Verfassers (S. 853 und S. 850) der Fall ist, so ist natürlich eine größere Windmenge erforderlich. Würde beim Einblasen von Primärwind sämtlicher Sauerstoff der Luft nur zu Kohlenoxyd verbrennen und somit im Generatorgas gar keine Kohlensäure enthalten sein, so würde ebensoviel Luft zur Verbrennung des Generatorgases erforderlich sein, wie zur Bildung des Generatorgases notwendig war. Auf je 100 m<sup>3</sup> Luft, die dem Generator als Primärwind eingeblasen wurde, müßten also dann 100 m<sup>3</sup> Sekundärluft in den Regenerator eingeführt werden. Dies entspricht jedoch nicht den praktischen Verhältnissen, weil das Generatorgas ja stets eine beträchtliche Menge von Kohlensäure enthält, so z. B. beträgt bei den Generatoren, die rationell betrieben werden, der Kohlensäuregehalt des Generatorgases etwa 10 Proz. In diesem Falle ist natürlich der Gehalt des Generatorgases an Kohlenoxyd ein wesentlich geringerer, dementsprechend ist auch eine geringere Menge zur Verbrennung desselben erforderlich. Im allgemeinen kann man annehmen, daß auf je 100 m<sup>3</sup> Primärwind 50 m<sup>3</sup> Sekundärwind zu rechnen sind. Verwendet man also Regeneratoren, so muß die oben berechnete Windmenge noch um 50 Proz. erhöht werden.

Als Antriebsmaschinen für die Gebläse kommen Dampfmaschinen, Elektromotore und Gasmotore in Betracht. Bei den älteren Wassergasanlagen wurden

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1067.

die Gebläse beinahe ausschließlich mittels Dampfmaschinen angetrieben. Ein Dampfkessel war bei allen diesen älteren Wassergasanlagen vorhanden, und dort, wo man das Generatorgas unter dem Dampfkessel verbrannte, war auch das Brennmaterial zur Dampflieferung von vornherein gegeben, so daß man naturgemäß sich dieses Antriebsmittels bediente.

Aus der Windleistung des Gebläses pro Minute und dem Widerstande im Generator ergibt sich der Kraftbedarf. Im allgemeinen genügt es, denselben für Generatoren ohne Regeneratoren so zu bewerten, daß man für je  $100 \text{ m}^3$  Stundenleistung an Wassergas etwa 6 bis 8 PS rechnet. Bei ganz großen Generatoren kann man mit etwas geringeren Kraftleistungen auskommen, so z. B. genügt für einen Generator von  $500 \text{ m}^3$  Stundenleistung ein Motor von 25 bis 30 PS, unter der Voraussetzung, daß der Generator nur Primärwind zu empfangen hat und die Windgeschwindigkeit keine zu große ist.

Es wurde bereits früher darauf hingewiesen (S. 811), daß eine große Windgeschwindigkeit für den Betrieb des Generators nicht günstig ist. Auch wurde auf S. 787 erläutert, daß durch Versuche nachgewiesen ist, daß selbst bei einer Windgeschwindigkeit von 4 m pro Sekunde keine günstigere Verbrennung des Kohlenstoffs im Generator stattfindet. Würde man aber, wie dies nach dem Dellwikschen Patent vorgeschlagen war, Windgeschwindigkeiten verwenden, die noch größer sind als 4 m/Sek. auf den freien Generatorquerschnitt gerechnet, so käme man zu Dimensionierungen des Gebläses und der Antriebsmotoren, die eine Rentabilität einer derartigen Anlage von vornherein ausschließen würden. Es wäre nämlich die sechsfache Luftmenge der vorhin berechneten erforderlich, und somit würde ein Generator von  $500 \text{ m}^3$  Stundenleistung pro Minute  $630 \text{ m}^3$  Luft erfordern und der Kraftbedarf wäre ein noch mehr als sechsfacher, weil der Widerstand des Generators nicht proportional der Luftmenge, sondern proportional dem Quadrat der Luftmenge wächst, so daß also bei Verdoppelung der Luftmenge der Druck vierfach so groß wird, bei sechsfacher Windmenge also 36 mal so hoch, und dementsprechend auch die Antriebskraft 36 mal so groß sein müßte.

Der Verbrauch an Dampf zum Antriebe der Dampfmaschinen für die Gebläse ist natürlich ein verschiedener, je nach der Art der Dampfmaschine, welche angewendet wird. Bei kleinen Anlagen können mit Rücksicht auf die Anlagekosten nur Auspuffmaschinen einfacher Konstruktion verwendet werden. Bei solchen wird man praktisch mit einem Dampfbedarf von 20 kg auf die PS-Stunde rechnen müssen. Daher ergeben sich pro  $100 \text{ m}^3$  erzeugten Wassergases pro Stunde an Dampfbedarf für den Maschinenantrieb  $8 \cdot 20 = 160 \text{ kg}$ . Rechnet man bei diesen kleinen Anlagen, wo auch nur einfach konstruierte Kessel verwendet werden können, mit einer sechsfachen Verdampfung, so ergibt dies einen Kohlenaufwand für  $100 \text{ m}^3$  Wassergas von

$$160 : 6 = 27 \text{ kg oder pro } 1 \text{ m}^3 \text{ Wassergas } 0,27 \text{ kg Kohle.}$$

Für die Berechnung des gesamten Dampfbedarfes ist noch der Dampfbedarf des Generators hinzuzurechnen, der für  $100 \text{ m}^3$  mit etwa 50 kg anzunehmen ist. In Summa also gibt dies 210 kg Dampf oder

$$210 : 6 = 35 \text{ kg pro } 100 \text{ m}^3,$$

d. i.

$$0,35 \text{ kg Kohle pro } 1 \text{ m}^3.$$

Bei größeren Dampfmaschinen stellt sich die Rechnung natürlich wesentlich günstiger, da bei diesen mit einem Dampfverbrauch von 12 kg pro 1 PS gerechnet werden kann. Es ergeben sich dann

$$\begin{aligned} 8 \cdot 12 &= 96 \text{ kg für die Dampfmaschine,} \\ 100 \cdot 0,5 &= 50 \text{ kg Dampf für den Generator,} \\ \hline \text{Summa} & 146 \text{ kg,} \end{aligned}$$

und da bei größeren Dampfkesseln auch mit einer höheren Verdampfungsziffer von etwa 7 gerechnet werden kann, so stellt sich der Kohlenverbrauch für die Dampferzeugung auf

$$146 : 7 = 21 \text{ kg pro } 100 \text{ m}^3,$$

d. i.

$$0,21 \text{ kg Kohlenverbrauch pro } 1 \text{ m}^3.$$

Allerdings muß berücksichtigt werden, daß die Dampfmaschine nur während der Zeit des Warmblasens voll belastet ist, wogegen während der Zeit der Gaserzeugung die Maschine leer läuft. Da nun die Periode des Warmblasens 1 bis 2 Minuten, die Periode des Gasens hingegen bei den neueren Verfahren 6 bis 10 Minuten dauert, so ist die Antriebsmaschine nur während des sechsten Teiles der ganzen Zeit voll belastet. Dementsprechend wird auch der Dampfverbrauch etwas geringer sein als oben berechnet wurde. Bei kleinen Maschinen erfordert jedoch der Leerlauf schon so viel Dampf, daß diese Ersparnis nicht recht zum Ausdruck kommt. Größere Ersparnisse kann man dann erzielen, wenn man die Maschine während der Gasperiode ganz langsam laufen läßt. Die Dampfmaschine darf natürlich nie vollständig abgestellt werden, weil sie sonst bei jeder einzelnen Periode wieder frisch in Betrieb gesetzt werden müßte, was mit Rücksicht auf das Ablassen des Kondenswassers usw. zu umständlich wäre. Man kann jedoch während der Zeit des Gasens die Tourenzahl der Maschine auf das allergeringste Maß beschränken. Dies geschieht am einfachsten dadurch, daß man an das Hauptdampfventil der Dampfmaschine eine kleine Umgangsleitung einbaut, welche ein Drosselventil enthält. Dieses wird so klein gedreht, daß die Maschine, wenn sie ausschließlich durch dieses Ventil mit Dampf versorgt wird, nur ganz langsam läuft. Das Hauptventil kann dann bei jeder Gaseperiode vollständig abgedreht und bei Beginn der Warmblaseperiode wieder vollständig geöffnet werden. Dies erfolgt am besten automatisch durch Kuppelung mit dem Riemeneinrücken für das Gebläse. Die Dampfmaschinen haben vor den anderen Motoren den Vorzug, daß sie bei auftretenden höheren Widerständen nicht stehen bleiben, sondern, wenn auch mit verringerter Tourenzahl, weiter laufen. Dies kommt bei der Anwendung von dichtenden Gebläsen in Betracht, welche einen höheren Kraftbedarf ergeben, wenn der Generator allmählich verschlackt.

Die in neuerer Zeit viel verwendeten Dampfturbinen eignen sich besonders gut zum Antriebe der Gebläse. Sie besitzen den gleichen Vorteil wie die Dampfmaschinen, auch bei verhältnismäßig höherer Beanspruchung noch weiter zu laufen, besitzen aber dabei den Vorteil, daß sie während der Gaseperiode gänzlich still gesetzt werden können und daß die Dampfzufuhr von der Arbeitsbühne aus bei jeder Blaseperiode durch Öffnen des Dampfventiles erfolgen kann. Dadurch ergibt sich eine beträchtliche Dampfersparnis. Verwendet man Zentrifugalventilatoren als Gebläse, so lassen sich die Dampf-

turbinen sehr zweckmäßig direkt mit diesen Ventilatoren kuppeln. Vor dichtenden Gebläsen werden dann gewöhnlich Vorgelege eingeschaltet, weil die Dampfturbinen zu hohe Tourenzahlen im Vergleich mit der Tourenzahl des Gebläses besitzen.

Eine weitere Möglichkeit, Dampf zu sparen, liegt in der Verwendung des Auspuffdampfes der Dampfmaschinen zum Betriebe der Generatoren. Bisher scheiterte dies an dem Umstande, daß der Dampf nicht zur selben Zeit und in jeweils derjenigen Menge gebraucht wird, wie ihn die Dampfmaschine liefert; in neuester Zeit sind aber diesbezüglich neuerlich Versuche gemacht worden <sup>1)</sup>).

Überall, wo elektrischer Strom vorhanden ist, ist die Anwendung von Elektromotoren an Stelle anderer Motoren vorzuziehen. Das bequeme Einschalten und Ausschalten von der Arbeitsbühne aus ist ein Vorzug derselben. Man soll sie jedoch reichlich groß wählen, da bei auftretenden Widerständen im Generator der Strombedarf wesentlich steigt und Störungen zufolge Durchbrennens der Sicherungen eintreten können, wenn der Elektromotor zu klein gewählt war. Der Strombedarf stellt sich bei Generatoren mit rationeller Betriebsweise, d. h. kurzer Blasezeit und langer Gasezeit, auf etwa 1,0 bis 1,2 KW-Stunden für einen Generator von 100 m<sup>3</sup> Stundenleistung.

Sehr vorteilhaft lassen sich auch Gasmotoren zum Antriebe der Gebläse verwenden. Zum Betriebe der Gasmotoren dient dann ein Teil des erzeugten Wassergases, was besonders bei Erzeugung von uncarburiertem Wassergas vorteilhaft ist. Der Gasmotor muß zwar ebenso wie die Dampfmaschine auch während der Zeit des Gasens durchlaufen, d. h. er kann nicht bei jeder einzelnen Periode an- und abgestellt werden. Der Gaskonsum ist jedoch während des Leerlaufes ein geringer. Für eine Anlage von 100 m<sup>3</sup> Stundenleistung beträgt daher der Gaskonsum eines 8-PS-Motors nicht 8 m<sup>3</sup> Wassergas, wie dies der Fall wäre, wenn der Motor beständig belastet wäre, sondern nur 4 m<sup>3</sup>. Der Verbrauch an Wassergas zum Antriebe des Gebläses beträgt somit 4 Proz. des erzeugten Gases. Der Brennmaterialverbrauch für diese Gasmenge kommt überhaupt kaum in Betracht, da er nur 4 Proz. des Gesamtverbrauches ausmacht. Da pro 1 kg Koks 1,6 bis 1,8 m<sup>3</sup> Wassergas erzeugt werden, also für 1 m<sup>3</sup> Gas rund 0,6 kg Koks erforderlich sind, so steigt zufolge des Gaskonsums für das Gebläse der Koksverbrauch pro 1 m<sup>3</sup> Wassergas von 0,6 auf 0,624 kg, der Mehrverbrauch beträgt also nur 0,024 kg, also ungefähr ein Zehntel von jenem, wie er beim Gebläseantrieb durch Dampfmaschinen erforderlich ist.

Die Anwendung von Gasmotoren ist an allen Orten, wo kein elektrischer Strom vorhanden ist, unbedingt aber dort zu empfehlen, wo Generatoren mit Wasserverdampfung angewendet werden, denn in diesem Falle ist dann die Anlage eines Dampfkessels überhaupt nicht mehr notwendig. Dies verbilligt nicht nur die Anlagekosten, sondern es vereinfacht auch ganz bedeutend den Betrieb, weil die Kesselbedienung vollständig entfällt. Der Gasmotor erfordert nur so wenig Bedienung, daß diese leicht von dem beim Generator beschäftigten Gasmacher mit besorgt werden kann. Die Gasmotoren müssen ebenfalls reichlich groß gewählt werden, weil sie die unangenehme Eigenschaft besitzen, bei vorkommender Überlastung stehen zu bleiben.

---

<sup>1)</sup> Progressiv age 1911, S. 734.

Das Ein- und Ausschalten der Gebläse muß unbedingt vom Stande des Arbeiters, welcher den Generator bedient, erfolgen können. Bei Elektromotoren und Dampfturbinen ist dies durch Ein- und Ausschalten des betreffenden Betriebsmittels leicht durchführbar. Bei Dampfmaschinen und Gasmotoren erfolgt das Ausschalten der Gebläse durch Riemenausrücker und müssen die Gebläse zu diesem Zwecke Leerlaufscheiben besitzen. Zentrifugalventilatoren besitzen solche gewöhnlich nicht und muß in diesem Falle die Leerlaufscheibe an der Transmission angebracht sein.

Nachdem das Gas den Generator verlassen hat, passiert es den Skrubber. Derselbe dient dazu, dem Gase den Wasserabschluß zu geben, damit das unter Behälterdruck stehende Gas nicht in den Generator zurücktreten kann und gleichzeitig zur Waschung des Gases mit Wasser. Der Wasserabschluß befindet sich im Unterteil des Skrubbers, wie wir dies gelegentlich der Besprechung des Wassergasgenerators der Europäischen Wassergas-Aktiengesellschaft auf S. 838 in Fig. 349 im Schnitte gesehen haben. Oberhalb des Wasserspiegels befindet sich ein Rost, welcher die Koksfüllung des Skrubbers trägt. Die Berieselung erfolgt von oben durch Wasserbrausen. Zum Unterschiede von den Gaswäschern, welche für Steinkohlengas dienen, kann hier eine große Menge von Wasser verwendet werden, weil es hier nicht auf die Absorption von Ammoniak ankommt, denn Ammoniak ist im Wassergase ja nicht enthalten. Zufolge der Anwendung großer Wassermengen ist es nicht notwendig, eine besondere Kippvorrichtung oder dgl. zu verwenden, sondern es genügen gewöhnliche Brausen. Das durch den Koks und den Rost hindurchrieselnde Wasser sammelt sich im Unterteile des Skrubbers an, bildet hier den Wasserverschluß und läuft schließlich durch ein Überlaufrohr in einen Siphontopf. Die Tauchung im Siphontopf muß mindestens 600 mm betragen. Das Tauchrohr soll mindestens 2 Zoll weit sein und an der Stelle der Biegung ein Kreuzstück mit Pfropfen tragen, damit es nach beiden Richtungen hin leicht gereinigt werden kann. Namentlich bei frischer Beschickung des Skrubbers fließt mit dem Wasser immer Koksstaub ab und auch vom Generator her kommen kleine Koksstückchen, diese führen leicht zu Verstopfungen des Ablaufrohres, insbesondere dann, wenn sich viel Kieselsäureschlamm am Boden des Skrubbers abgesetzt hat. Auch muß der Ablauftopf weit genug sein, damit der Schlamm vom Boden desselben entfernt werden kann.

Den Durchmesser des Skrubbers wählt man derart, daß auf 100 m<sup>3</sup> Stundenleistung 1 m<sup>2</sup> lichter Querschnitt des Skrubbers kommt. Die Höhe der Koksfüllung kann zwischen 2 und 4 m variieren, je nach der Größe der Anlage. Der Skrubber hat nur die Aufgabe, das Gas zu kühlen und die mitgerissenen festen Partikelchen zu beseitigen, sowie den überschüssigen Dampf zu kondensieren. Eine Auswaschung der Kieselsäure aus dem rohen Wassergase ist mit dem Skrubber nie zu erreichen und braucht deshalb dessen Höhe nur so dimensioniert zu sein, daß das Gas genügend gekühlt den Skrubber verläßt. Dies ist aber bei den angegebenen Höhen immer der Fall.

Für die Leitung, welche den Generator mit dem Skrubber verbindet, wählt man eine Geschwindigkeit des Gasstromes von höchstens 2 m, wenn man auf kaltes Gas und auf eine gleichmäßige Geschwindigkeit des Gasstromes während der ganzen Zeit der Gaserzeugung einschließlich des Warmblasens rechnet. Effektiv ist natürlich die Gasgeschwindigkeit eine viel größere, einerseits weil das Gas den Generator mit etwa 300 bis 500° verläßt, anderenteils

weil das Gas ja nicht gleichmäßig entsteht, sondern während der Blaseperiode überhaupt kein Gas erzeugt wird und auch während der Gaserzeugung zu Anfang, wenn der Dampf noch vollkommen zersetzt wird, eine größere Gasstromgeschwindigkeit herrscht, als am Schluß der Gaseperiode, wenn der Generator schon abgekühlt ist und einiger unzersetzter Dampf entweicht. Auch setzt sich in dieser Leitung zwischen dem Generator und Skrubber die größte Menge der Kieselsäure ab (vgl. S. 816), so daß es zweckmäßig ist, diese Leitung etwas größer zu dimensionieren, als dies sonst bei den Gasproduktionsleitungen üblich ist.

Die Gasableitung vom Skrubber hat ebenfalls noch unter dem Absatze von Kieselsäure zu leiden, so daß auch diese bequem zu reinigen sein muß, d. h. es müssen an allen Stellen, wo diese Leitung Krümmungen macht, entweder Kreuzstücke oder T-Stücke oder Krümmer mit Reinigungsöffnungen eingesetzt sein. Aus dem gleichen Grunde ist auch diese Leitung reichlich zu dimensionieren. Man kann hier eine Gasstromgeschwindigkeit von 2 bis 3 m pro Sekunde wählen. Erst hinter dem Behälter oder hinter den Reinigungsapparaten, wenn solche überhaupt angewendet werden, wo das Gas frei von Kieselsäure ist, kann die übliche Gasstromgeschwindigkeit von 4 m zugelassen werden.

In vielen Fällen, wenn das Gas nur zu technischen Zwecken im großen, z. B. zum Schweißen, verwendet wird, gelangt das Gas aus dem Skrubber direkt in den Gasbehälter und von hier zu den Verbrauchsstellen. Dient hingegen das Gas zur Beleuchtung oder zur Verwendung in geschlossenen Räumlichkeiten oder in Brennern mit kleinen Ausströmungsöffnungen, so muß es, wie wir auf S. 815 bis S. 819 bereits besprochen haben, gereinigt werden. Als Apparate hierzu dienen die gewöhnlichen Reinigerkästen, wie wir sie auf S. 466 kennen gelernt haben. Um eine vollständige Entfernung der Kieselsäure zu erzielen, ist die Anwendung von feinpulverigem Sägemehl aus hartem Holze erforderlich. Wegen des Widerstandes, welchen dieses dem Gasstrom bietet, ist es zweckmäßig, Reiniger mit geteiltem Gasstrom zu verwenden, am besten solche mit Jägerhorden (S. 471).

Ist das Gas zu wenig gekühlt, so setzt sich in den Sägemehltreinigern Wasserdampf ab, der das Sägemehl befeuchtet und dasselbe gegen das Gas undurchlässig macht, so daß hohe Druckverluste entstehen. Aus diesem Grunde ist der Sägemehltreiniger stets in einem Raume unterzubringen, welcher nicht kühler sein darf als die Temperatur des aus dem Skrubber austretenden Gases.

Ist ein hoher Druckverlust im Reiniger vorhanden, so kann, wenn der Gasstrom den Reiniger von unten nach oben passiert, auch ein Aufbrechen der Sägemehlschicht stattfinden, indem die Schicht an einer Stelle von der Horde abgehoben und nach oben gedrückt wird. Es bildet sich dann an der Bruchstelle ein Kanal, so daß das Gas dort ungereinigt hindurchtreten kann. Man vermeidet dies, indem man im Sägemehltreiniger den Gasstrom von oben nach abwärts streichen läßt. Dann kann naturgemäß ein Aufbrechen der Masse nicht stattfinden, aber man erhält auf diese Weise auch stets einen höheren Druckverlust, weil die Feuchtigkeit aus dem Gase, welche sich im Sägemehl absetzt, nicht nach unten abfließen kann, sondern im Sägemehl verbleibt. Beim normalen Gasstrom von unten hingegen sammelt sich das Kondenswasser am Boden des Reinigers an und kann von hier abgelassen werden.

Nachdem das Gas von Kieselsäure befreit ist, folgt die Entfernung des Schwefelwasserstoffs auf die gewöhnliche Weise (S. 466). Bei größeren Anlagen verwendet man einen besonderen Kieselsäurereiniger und dahintergeschaltet gewöhnlich zwei Massereiniger, eventuell auch drei. Bei kleinen Anlagen begnügt man sich dagegen damit, eine Horde mit Sägemehl und die darüberliegenden drei Horden mit Reinigungsmasse zu beschicken. Beim Auswechseln der Reinigungsmasse läßt man dann die unterste, mit Sägemehl beschickte Horde darin, weil das Sägemehl um so besser reinigt, je länger es im Kasten verbleibt. Erst wenn der Druckverlust ein zu hoher wird, muß die Sägemehlschicht erneuert werden. Am ersten Tage wird dann das frische Sägemehl die Kieselsäure noch nicht völlig entfernen. Die Schaltung der Reiniger ist die gleiche, wie wir sie beim Steinkohlengas kennen gelernt haben (S. 475). Die Größe der Reiniger wird gewöhnlich derart bemessen, daß eine Geschwindigkeit des Gasstromes von 10 mm/Sek. auf den freien Reinigerquerschnitt gerechnet, vorhanden ist. Eine höhere Geschwindigkeit gibt einen großen Druckverlust. Es sei hier bemerkt, daß Exhaustoren zur Überwindung dieses Druckverlustes gewöhnlich nicht verwendet werden, weil der Dampf im Wassergasgenerator den erforderlichen Druck selbst erzeugt, um diesen Druckverlust zu überwinden. Bei hydraulischen Verschlüssen müssen dann allerdings die Tauchungen ausreichend bemessen sein.

Das rohe Wassergas riecht, solange es nicht den Reiniger passiert hat, intensiv nach Schwefelwasserstoff. Etwaige Ausströmungen von unverbranntem Gas können daher leicht wahrgenommen werden. Nach der Reinigung ist jedoch das Gas vollständig geruchlos. Es muß ihm daher künstlich ein Geruch erteilt werden (S. 776 und 822). Es geschieht dies, indem das betreffende Riechmittel, welches eine leichtflüchtige Substanz sein muß, im Gasstrom verdampft wird; gewöhnlich wählt man Substanzen, welche schon bei gewöhnlicher Temperatur genügend verdunsten. Man kann diese Flüssigkeiten entweder an Dochten herunterrieseln lassen, oder sie durch Dochte aufsaugen und den Gasstrom an diesen Dochten vorbeileiten. Bei besonders leichtflüchtigen Substanzen genügt es auch, die Flüssigkeit einfach durch einen Tropftrichter in die Rohrleitung einzutropfen.

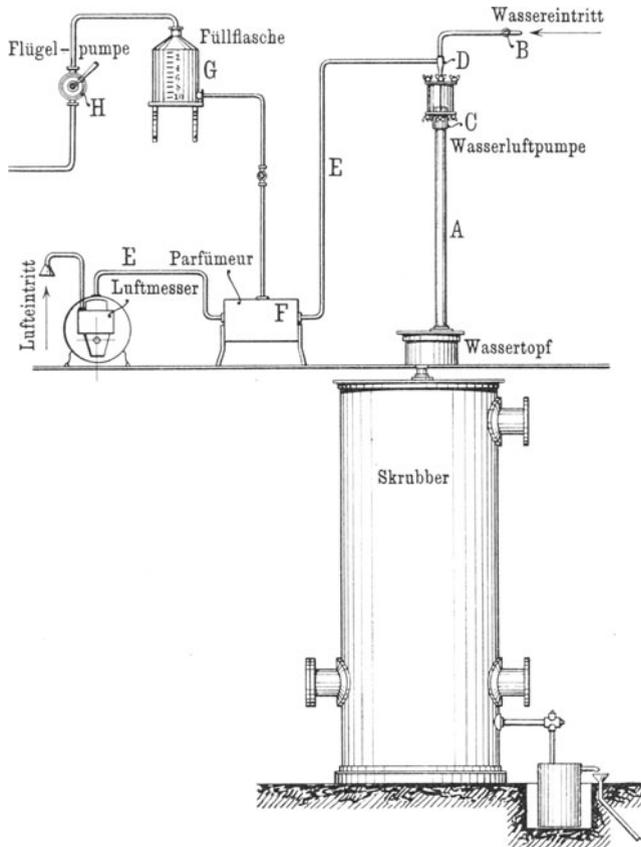
In neuerer Zeit wird zum Zwecke der Regenerierung der Reinigungsmasse in den Reinigerkästen dem Wassergase ebenso wie dem Steinkohlengase (S. 450) etwas Luft zugesetzt. Mit diesem Luftzusatz kann in sehr zweckmäßiger Weise nach einem vom Verfasser gemeinsam mit Reitmayer angegebenen Verfahren<sup>1)</sup> die Parfümierung des Wassergases vorgenommen werden. Man leitet dann den Luftstrom, welcher von einer Luftpumpe geliefert wird, über das betreffende Parfümierungsmittel und führt die mit den Dämpfen desselben gesättigte Luft dem Gasstrome entweder schon im Skrubber oder in der Leitung vom Skrubber zum Reiniger zu. Es hat dies den Vorteil, daß man die Intensität der Parfümierung bequemer regeln kann als dies mit Hilfe einer Tropfvorrichtung möglich ist. Als Parfümierungsmittel dient gewöhnlich das Carbialin (S. 821). Dieses ist ein Gemisch von Kohlenwasserstoffen, welches an sich außerordentlich leicht brennbar ist, wenn es mit einer genügenden Menge von Luft gemischt ist. Andererseits aber verdampft es so leicht, daß die Luft, welche mit den Dämpfen desselben gesättigt ist, nicht

<sup>1)</sup> Österr. Pat. Nr. 20291.

entzündbar ist, sondern wie gewöhnliches Gas brennt. Daraus geht hervor, daß dann selbst bei Zusatz großer Mengen von Luft zum Wassergase eine Explosionsgefahr ausgeschlossen erscheint; denn mit der Luft werden so viel Kohlenwasserstoffdämpfe zugeführt, daß das Gemisch eben nicht mehr explosionsfähig ist.

Den Apparat, welchen man zur Parfümierung des Gases nach diesem Verfahren anwendet, zeigt Fig. 356. Er besteht aus der Wasserstrahlpumpe *D*, welche gleichzeitig zur Berieselung des Skrubbers dient, dem Gasmesser, aus

Fig. 356.



dem die Luft durch die Leitung *E* in den Parfümeur *F* und zum Skrubber strömt, ferner der Vorratsflasche *G*, welche durch die Pumpe *H* zeitweise mit dem Riechmittel gefüllt wird. Man setzt etwa  $1\frac{1}{2}$  bis 2 Proz. Luft zu.

Das gereinigte und parfümierte Gas gelangt dann in den Gasbehälter, welchen wir weiter unten besprechen werden. Hinter dem Gasbehälter wird dann, wenn das Gas zu Beleuchtungszwecken dient, noch der Schwefelsäure-reiniger eingeschaltet, welchen wir bereits auf S. 819 besprochen haben.

Die Größe des in einer Wassergasanlage zur Anwendung kommenden Gasbehälters hängt natürlich von den Umständen ab, unter denen die Verwendung des Gases erfolgt. Für städtische Wassergaszentralen rechnet man mit Rücksicht auf den Umstand, daß die Inbetriebsetzung eines Wassergasgenerators

für uncarburiertes Gas nur eine halbe Stunde dauert, nur 50 bis 60 Proz. Behälterraum vom Maximaltageskonsum, gegenüber 80 Proz. beim Steinkohlengas. Natürlich ist aber auch der Wassergasbetrieb ein um so angenehmerer, je größer der vorhandene Behälterraum ist. In kleinen städtischen Wassergasanlagen bis zu etwa 300 000 m<sup>3</sup> Jahresproduktion richtet man den Betrieb auch gewöhnlich so ein, daß man nur Tagesarbeit macht und es hängt dann die notwendige Behältergröße davon ab, auf welche Tagesstunden die Betriebszeit verlegt wird. Das zweckmäßigste ist, den Betrieb gegen Mittag zu beginnen und gegen Mitternacht zu schließen. Dies bringt den Vorteil, daß während des stärksten Konsums derselbe durch die Produktion gedeckt wird, so daß ein Sinken des Behälters nicht oder nur in geringem Maße stattfindet. Der Gasbehälter braucht dann nur den Gaskonsum von 12 Uhr mitternachts bis 12 Uhr mittags zu decken, so daß man mit einem Behälterraum von 40 Proz. des Maximaltageskonsums auskommen kann. Ist der Betrieb dagegen ein 24 stündiger, so muß natürlich ein größerer Gasbehälter verwendet werden. Ebenso wenn der 12stündige Betrieb nicht zu den Abendstunden, sondern etwa von 8 Uhr morgens bis 8 Uhr abends geführt wird. Schließlich ist auch die Wahl der Behältergröße davon abhängig, ob ein Reservegenerator vorhanden ist oder nicht. Hat man einen oder bei größeren Anlagen die nötige Anzahl von Reservegeneratoren, um den Konsum jederzeit decken zu können, so ist theoretisch ein Behälterraum überhaupt nur in der geringen Größe erforderlich, um die kleinen Unregelmäßigkeiten des Betriebes decken zu können. Dies kommt besonders dann in Betracht, wenn es sich um Betriebe mit sehr stark wechselndem Konsum handelt. Ein großer Gasbehälter kostet mehr an Anlagekapital als die nötige Anzahl von Reservegeneratoren, und wenn daher der Behälterraum nicht ständig gebraucht wird, sondern nur zur Zeit der schärfsten Wintertage, so ist es vorteilhafter, diesen großen Konsum durch Reservegeneratoren zu decken, was immer leicht möglich ist, da ja die Inbetriebsetzung nur eine halbe Stunde dauert. In dieser Weise wird es möglich, auch Anlagen, welche zur Beheizung dienen, rationell betreiben zu können, denn der im Winter plötzlich auftretende hohe Heizgaskonsum kann eben auf diese Weise bequem gedeckt werden, ohne das Anlagekapital übermäßig zu erhöhen.

Handelt es sich nur um Wassergasanlagen für industrielle Zwecke, so genügt es gewöhnlich, den Behälter in der Größe des einstündigen Konsums zu wählen, denn in diesem Falle ist gewöhnlich eine größere Behälterreserve nicht notwendig, weil die Betriebszeit der Wassergasanlage mit der Betriebszeit der betreffenden Fabrik zusammenfällt. Dasselbe gilt für die Verwendung des Wassergases als Zusatzgas zum Steinkohlengas (vgl. S. 911), wo auch der Behälter nur zur Ausgleichung der Unregelmäßigkeiten des Betriebes dient und daher nur die einstündige Produktion fassen soll.

Die Betriebskosten einer Anlage für uncarburiertes Wassergas sind natürlich außerordentlich stark verschieden je nach den Umständen, unter welchen die Anlage arbeitet. An Brennmaterialverbrauch sind, wenn mit Koks gearbeitet wird, 0,6 bis 0,8 kg pro Kubikmeter Wassergas, je nach der Größe der betreffenden Generatoren und je nach dem System, mit welchem gearbeitet wird, erforderlich. Bei Verwendung von Steinkohle (S. 850) hat man 0,7 bis 0,9 kg pro Kubikmeter zu rechnen, je nach der Qualität der verwendeten Kohle, bei Braunkohle 1,0 bis 1,2 kg pro Kubikmeter. Dies ist

der Brennmaterialverbrauch für Blasen und Gasen zusammengenommen bei einem Betriebe, der nur den normalen Unterbrechungen beim Schlacken, Nachfüllen usw. ausgesetzt ist. Bei größeren Betriebsunterbrechungen muß natürlich der Wärmeverlust, welcher durch Strahlung während der Unterbrechung stattfindet, durch längeres Warmblasen wieder ersetzt werden. Bei 12stündigen oder längeren Betriebsunterbrechungen sind für dieses frische Anblasen bei Generatoren, die keinen Regenerator besitzen und daher nicht viel Schamottemasse haben, für je  $100\text{ m}^3$  Stundenleistung  $50\text{ kg}$  Koks erforderlich, so z. B. braucht ein Generator von  $200\text{ m}^3$  Stundenleistung  $2 \times 50 = 100\text{ kg}$  Koks zum ersten Anheizen nach einer 12stündigen Unterbrechung. Bei Generatoren mit Regeneratoren, wie z. B. bei der Vergasung von Kohle, ist die doppelte Menge an Material zum ersten Anheizen in Rechnung zu stellen.

In Anlagen, bei denen kein Wasserverdampfer angewendet wird, sondern wo der Dampf im eigenen Dampfkesselbetriebe erzeugt werden muß, sind  $0,2$  bis  $0,3\text{ kg}$  Koks pro  $1\text{ m}^3$  Wassergas für die Dampferzeugung einzusetzen. Als Brennmaterial für die Dampferzeugung braucht man jedoch nicht den hochwertigen Koks in Rechnung zu stellen, wie er für den Generatorbetrieb verwendet wird, sondern man kann Koksabfall und besonders auch den Auslesekokk verwenden, welcher nach dem Schlacken des Generators von der Schlacke abgesondert wird. Ferner ist noch die Antriebskraft für das Gebläse in Rechnung zu stellen. Die Kosten derselben schwanken je nach der verwendeten Antriebskraft, wie auf S. 860 bereits erörtert. Die billigste Antriebskraft ist zweifellos durch die Verwendung des erzeugten Wassergases zum Gasmotorenbetriebe gegeben. Denn hier werden nur  $4\text{ Proz.}$  des erzeugten Gases gebraucht und wenn man den Kubikmeter mit  $0,6\text{ kg}$  Koks in Rechnung stellt und dabei berücksichtigt, daß dieselbe Anzahl von Arbeitern im Wassergasbetriebe ebensogut  $4\text{ Proz.}$  Gas mehr erzeugen kann, da nur die Generatorgröße entsprechend höher gewählt werden muß, so sind eben nur  $0,04 \times 0,06 = 0,024\text{ kg}$  Koks für die Antriebskraft einzusetzen. Leider ist dieser vorteilhafte Antrieb der Gebläse mit Gasmotoren in Wassergasanlagen noch wenig eingeführt.

Die Arbeitslöhne für uncarburiertes Gas beschränken sich auf einen Mann für die Bedienung des Generators, im Falle demselben der Koks auf der Arbeitsbühne zur Verfügung gestellt wird und eine Antriebskraft für die Gebläse vorhanden ist, welche keine besondere Bedienung benötigt, also etwa Elektromotoren oder Gasmotoren, und wenn der Dampf ebenfalls loko Generator zur Verfügung steht. Im anderen Falle, wenn der Dampf mit Hilfe eines Dampfkessels erzeugt werden muß oder Dampfmaschinenbetrieb vorliegt, ist ein besonderer Kesselwärter erforderlich. Dieser wird überflüssig, wenn ein Verdampfer (S. 847 und 853) angewendet wird und der Betrieb mit Elektromotoren oder Gasmotoren geführt wird. Bei großen Anlagen ist zur Herbeischaffung des Brennmaterials auf die Arbeitsbühne noch ein Mann zu rechnen. Bei kleinen Anlagen kann man sich dagegen in der Weise helfen, daß der Gasmacher in einer Anzahl von kleinen Gefäßen, die mittels eines Aufzuges auf die Arbeitsbühne gehoben werden, den Vorrat für mehrstündigen Betrieb aufstapelt, so daß ein eigener Mann hierfür nicht erforderlich ist; dies ist bei kleineren Generatoren leicht möglich, denn ein Generator z. B. von  $50\text{ m}^3$  Stundenleistung benötigt stündlich  $30\text{ kg}$  Koks, die in kleinen Gefäßen von

je 15 kg Inhalt auf der Arbeitsbühne bereitgestellt werden können, so daß der Gasmacher nur alle halbe Stunde einen solchen Eimer in den Generator zu füllen hat und es kann auf diese Weise bequem der Vorrat für sechsstündigen Betrieb auf der Arbeitsbühne vorbereitet werden, noch bevor der Betrieb beginnt.

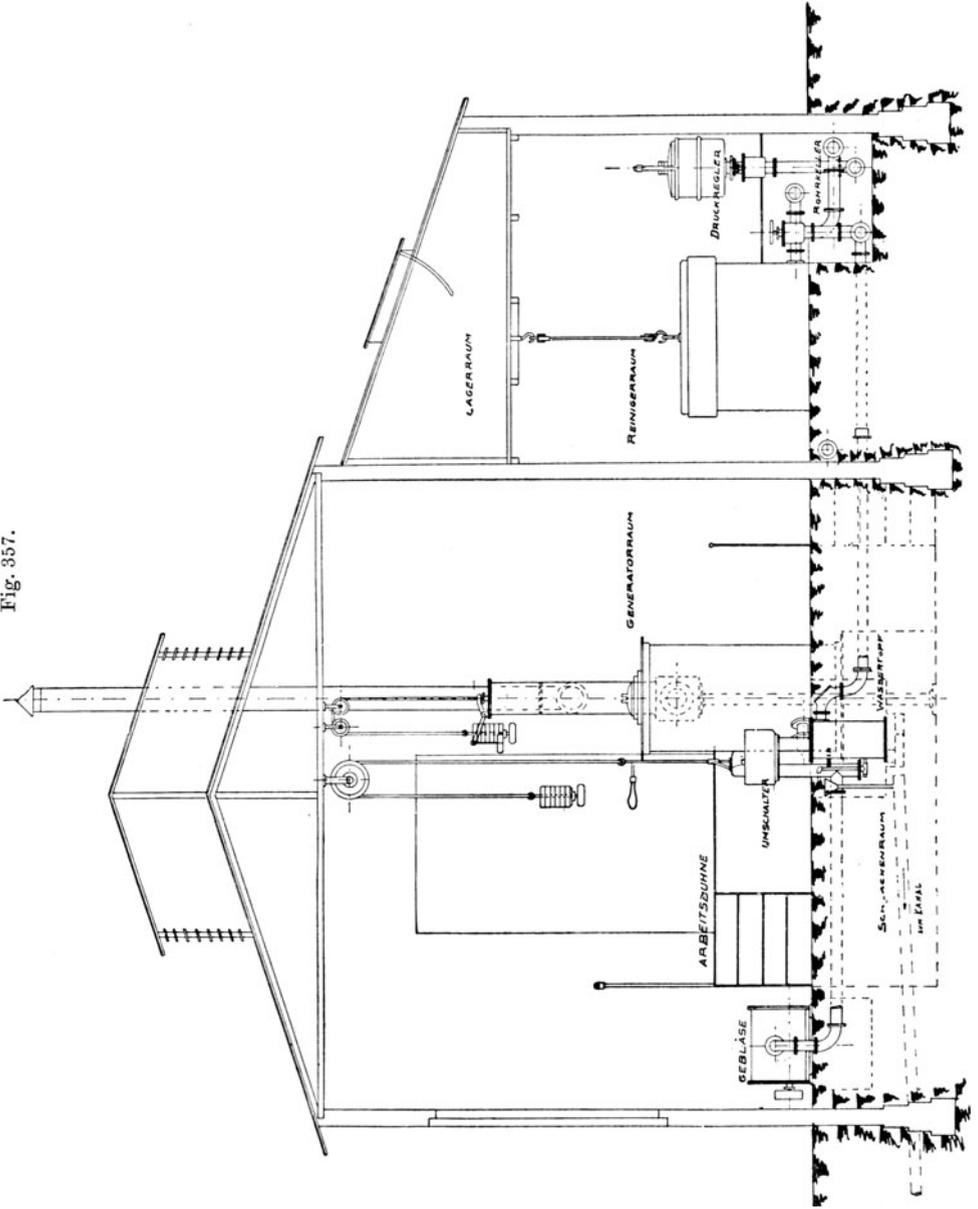
Die Arbeit des Schlackens ist eine sehr verschiedene, je nachdem, welches System des Generatorunterteiles verwendet wird. Beim Schlacken mit Notroststäben sind mindestens drei Arbeiter erforderlich, welche etwa  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{3}{4}$  Stunden Zeit benötigen, um etwa alle 12 Stunden das vollständige Ausräumen des Generatorunterteiles und das Reinigen des Rostes zu bewirken. Bei Generatoren ohne Rost und ohne Kühlring (S. 825) benötigt das Abschlacken etwa alle 3 bis 4 Stunden einen Mann auf 5 bis 10 Minuten. Diese Arbeit kann also bequem vom Gasmacher besorgt werden und zwar bis zu einer Stundenleistung des Generators von etwa 200 m<sup>3</sup>. Bei größeren Generatoren sollen auch hier zwei Mann zum Schlacken verwendet werden, von denen der eine die Schlacke abstößt, während sie der andere herauszieht. Bei Generatoren mit Kühlringen hingegen ist die Arbeit des Abschlackens eine so einfache, daß sie unter allen Umständen ein Mann besorgen kann. Bei solchen Anlagen, bei welchen ein eigener Mann zur Herbeischaffung des Brennmaterials auf der Arbeitsbühne vorhanden ist, können der Gasmacher und dieser Handlanger zusammen das Schlacken in allen Fällen besorgen, wo Generatoren ohne Rost verwendet werden.

Da die größten Generatoren mit etwa 1000 m<sup>3</sup> Stundenleistung hergestellt werden, so können somit diese beiden Leute in 12stündiger Schicht 12000 m<sup>3</sup> Wassergas erzeugen, so daß pro Arbeitsschicht 6000 m<sup>3</sup> Wassergas erzielbar sind. Dabei ist aber wie gesagt Bedingung, daß die Anlage so eingerichtet ist, daß kein besonderer Dampfkesselbetrieb erforderlich ist (vgl. S. 868).

Die Kosten der Reinigung des Gases beschränken sich auf die Kosten des Waschwassers im Skrubber (etwa 4 Liter pro Kubikmeter) und dort, wo das Gas zu Beleuchtungszwecken verwendet wird, kommt noch die Reinigungsmasse und die Schwefelsäure hinzu. Während bei Steinkohlengaswerken die Anwendung der Reinigungsmasse keine Auslage darstellt, sondern im Gegenteil eine Einnahme, weil die cyanhaltige Masse zu einem besseren Preise verkauft werden kann, als jener der frischen Masse war, trifft dies bei Wassergas nicht zu. Da das Wassergas kein Cyan enthält, kann die ausgebrauchte Reinigungsmasse nur zur Gewinnung von Schwefel verarbeitet werden und hat daher keinen beträchtlichen Verkaufswert. Da aber mit 1 m<sup>3</sup> Masse bei geeigneter Regenerierung 25000 m<sup>3</sup> Wassergas gereinigt werden können, so stellen sich die Kosten der Reinigungsmasse pro Kilometer auf kaum 0,1 ₤. Ebenso sind die Kosten der Schwefelsäure gering. Pro 100 m<sup>3</sup> Gas werden 0,6 kg Schwefelsäure benötigt und rechnet man einen Einkaufspreis von 15 *M* pro 100 kg, so stellen sich die Kosten pro Kubikmeter ebenfalls auf weniger als 0,1 ₤. Dabei ist aber noch zu berücksichtigen, daß die verdünnte Schwefelsäure, mit Rücksicht auf die Zunahme ihres Gewichtes durch die Verdünnung, annähernd zum selben Preise verkauft werden kann, den die konzentrierte Schwefelsäure kostete.

Die Kosten des Schamotteersatzes sind in kleinen Anlagen verhältnismäßig höher als in großen Anlagen. Sie können bei Generatoren, welche ohne Regeneratoren arbeiten unter normalen Verhältnissen bei kleinen Anlagen auf

Fig. 357.



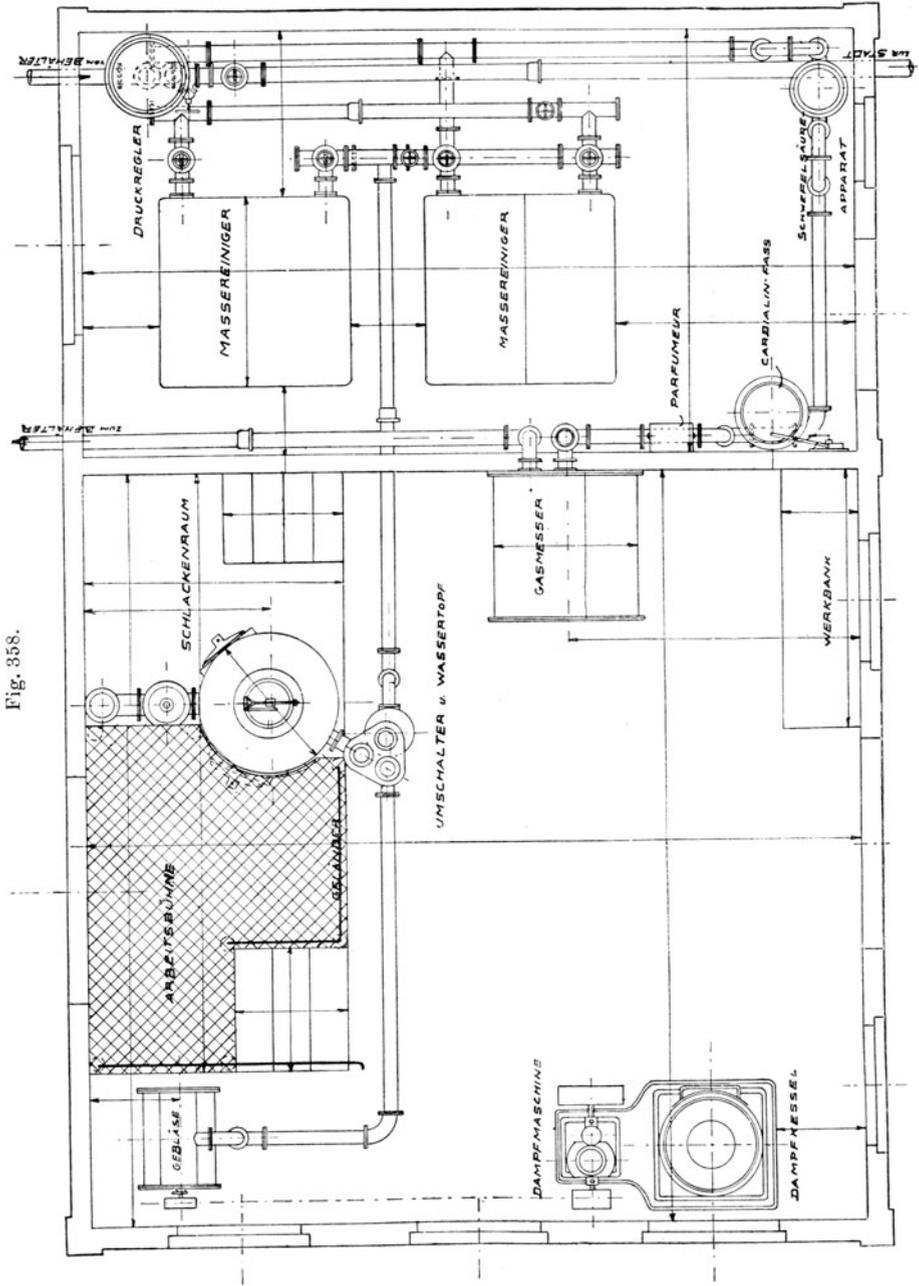


Fig. 358.

0,3  $\text{§}$  pro Kubikmeter geschätzt werden, sinken jedoch bei großen Anlagen auf 0,1  $\text{§}$  pro Kubikmeter herab.

Für Verbrauch an Schmieröl, Putzlappen und dgl. kleinem Betriebsmaterial sind bei kleinen Anlagen etwa 0,2  $\text{§}$  pro Kubikmeter und bei großen Anlagen 0,1  $\text{§}$  pro Kubikmeter zuzuschlagen.

Zu den reinen Betriebskosten einer Wassergasanlage ist dann noch die Verzinsung und Amortisation der Anlage hinzuzurechnen. Hierüber können einheitliche Zahlen nicht gegeben werden, da dies von den besonderen Umständen, die in jedem einzelnen Werke herrschen, abhängt. Da jedoch die Anlagekosten für eine Wassergasanlage zur Erzeugung von uncarburiertem Wassergas geringer sind als die Anlagekosten eines Steinkohlengaswerkes, und da ferner die Abnutzung der Apparate jedenfalls keine höhere ist, so stellen sich die Kosten für Verzinsung und Amortisation pro Kubikmeter sicher geringer als bei Steinkohlengaswerken. In großen Anlagen von mehr als 500 000 m<sup>3</sup> Jahreskonsum sind bei günstiger Ausnutzung der Wassergasanlagen die Anlagekosten sogar wesentlich geringer und dementsprechend auch die Kosten für Verzinsung und Amortisation wesentlich geringer als bei Steinkohlengas. Im großen und ganzen kann gesagt werden, daß das uncarburierte Wassergas pro Kubikmeter, einschließlich Verzinsung und Amortisation etwas weniger als die Hälfte des Steinkohlengases kostet.

Das uncarburierte Wassergas hat sich in dreierlei gänzlich voneinander verschiedenen Verwendungszwecken in die Praxis eingeführt. Nämlich

1. als Zusatzgas bei Erweiterung von Steinkohlengaswerken;
2. als selbständige Zentrale zur Beleuchtung, Heizung und zum Küchengebrauch für ganze Städte und auch für einzelne kleinere Objekte;
3. für technische Zwecke, speziell zum Schweißen von größeren Rohren, Kesseln und dgl. in chemischen Fabriken, zum Glasblasen, zum Sengen von Geweben und dgl. mehr.

Die Verwendung des uncarburierten Wassergases als Zusatz zum Steinkohlengase, die sich in England und namentlich in Deutschland in ausgedehntem Maße eingeführt hat, werden wir im Kapitel 61 „Mischgas“ genau erläutern. Die Wassergasanlage verwertet das wichtigste Nebenprodukt der Steinkohlengaswerke, den Koks. Jedoch nicht nur als Zusatz, sondern auch in anderer Form kann die Wassergaserzeugung die Frage der Koksverwertung lösen. Diesbezüglich sei z. B. auf den Vorschlag Andrees<sup>1)</sup> verwiesen, der in den Farbenfabriken von Bayer in Leverkusen zur Ausführung gekommen ist.

Der im Steinkohlengaswerke gewonnene Koks wird dort in der Wassergasanstalt vollständig in Wassergas verwandelt. Die beiden Gase werden dann getrennt durch zweierlei verschiedene Rohrnetze abgegeben. Auf diese Weise werden 40 Proz. des gesamten Gasabsatzes als Wassergas für technische Zwecke verwendet, 10 Proz. als Wassergas für Beleuchtungszwecke, 25 Proz. als Steinkohlengas für Beleuchtung und die restlichen 25 Proz. als Steinkohlengas für die gewöhnlichen Zwecke des Haushaltes. Durch diese günstige Kombination der Vergasung der Kohle und des Koks ist das Werk in der Lage gewesen, den Antrag der Werke Stinnes abzulehnen, welche Koksofengas zu einem billigen Preise liefern wollten, denn das Gas kommt auf diese Weise billiger zu stehen als das Koksofengas. Andree empfiehlt,

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 785.

das gleiche Verfahren auch in städtischen Gaszentralen zu verwenden, d. h. zwei Rohrnetze zu schaffen, so daß der Koks ebenfalls restlos vergast und den Konsumenten durch ein zweites Rohrnetz in Form von Wassergas die entsprechende Wärmeenergie geliefert werden kann.

Wir wollen nun zunächst die selbständigen Wassergasanlagen und jene für einzelne Objekte besprechen.

Die einfache Herstellungsweise und die geringen Anlagekosten ermöglichen es, das uncarburierte Wassergas auch für die Beleuchtung von ganz kleinen Städten zu verwenden, bei denen Steinkohlengasanlagen gar nicht mehr in Betracht kommt; so z. B. stellt Fig. 357 und 358 eine Wassergasanlage für einen Ort von 1800 Einwohnern dar. Dieselbe besteht aus einem Generator von  $15 \text{ m}^3$  Stundenleistung mit einer einzigen Schlacktüre, die von einer Vertiefung aus (Schlackenraum genannt), bedient werden kann. In diese Schlackgrube führt eine kleine Treppe hinunter. Das Nachfüllen des Brennmaterials erfolgt von einer kleinen Arbeitsbühne aus, die neben dem Generator angebracht ist und auf welche einige Stufen hinaufführen. Der Koks wird aus kleinen Eimern nach dem Schluß der Gasperiode in die obere einfache Fülltür eingefüllt. Das Gebläse wird von einer kleinen Dampfmaschine angetrieben, die in direkter Verbindung mit einem Dampfkessel (Zwergkessel) steht. Der Wind tritt durch einen hydraulischen Umschalter in den Generator ein, und die Abgase entweichen durch ein hydraulisches Abgasventil in den Schornstein über Dach. Das erzeugte Wassergas passiert einen Wassertopf, welcher die erforderliche Tauchung enthält, und einen Skrubber ersetzt. Ein solcher ist bei so kleinen Anlagen nicht erforderlich. Das erzeugte Gas geht durch die Reinigungsanlage, welche aus zwei Massereinigern von je  $1 \text{ m}^2$  Fläche besteht, in den Schwefelsäureapparat, dann in die Parfümierung und durch den Gasmesser zum Gasbehälter. Von diesem kommend, passiert das Gas einen Druckregler und geht dann direkt zur Stadt. Die Parfümierung erfolgt bei dieser Anlage hinter dem Schwefelsäureapparat; es ist jedoch, wie bereits auf S. 865 erwähnt, besser, die vor dem Reiniger eingeblasene Luft zu parfümieren.

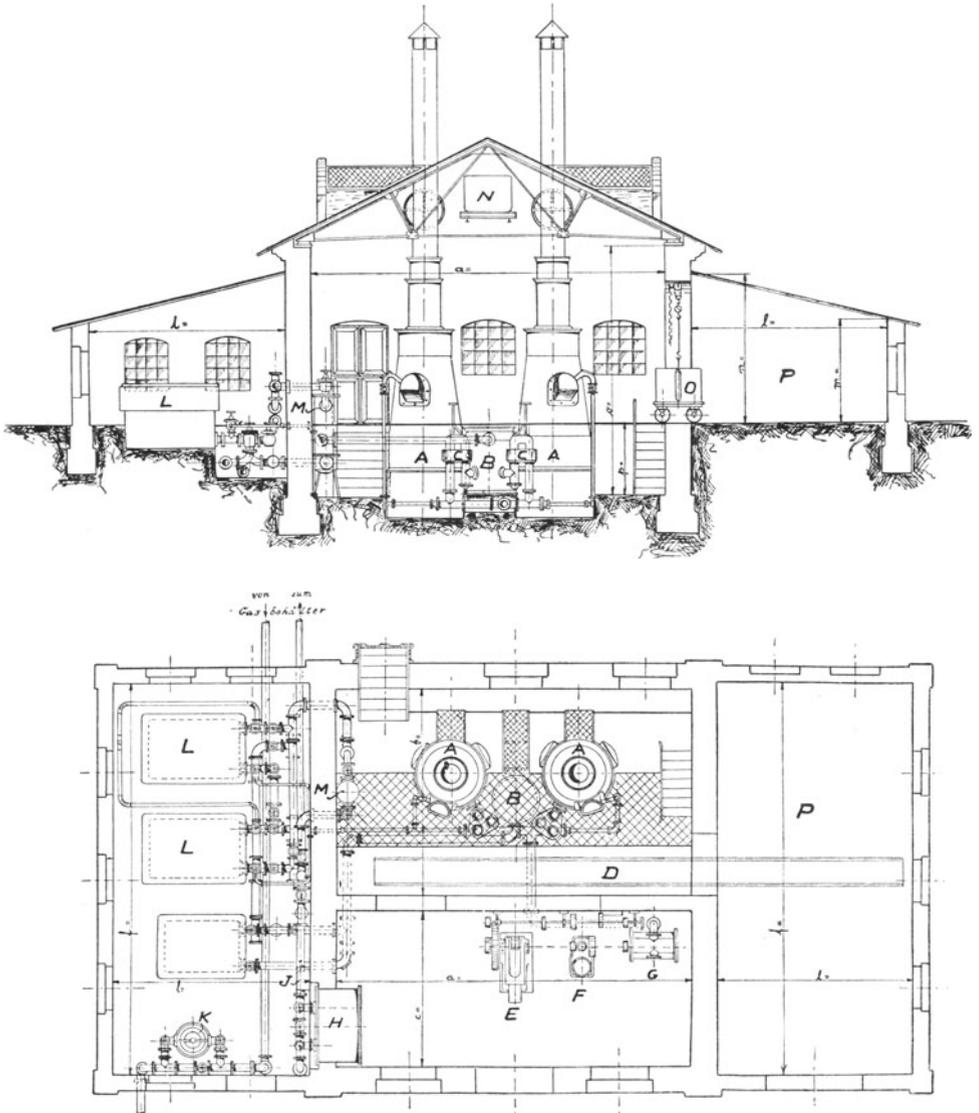
Der Brennmaterialverbrauch beträgt für eine derartig kleine Anlage, welche im 10 stündigen Betrieb  $10 \times 15 = 150 \text{ m}^3$  Wassergas zu erzeugen vermag, für den Generator 120 kg Koks und etwa 30 kg Kohle für den Dampfmaschinenbetrieb und den Dampfkessel. Für die Bedienung der ganzen Anlage ist hier nur ein Mann erforderlich, der bei so kleinen Anlagen gleichzeitig den Dampfkessel und den Generator bedienen kann. Schon hieraus ist ersichtlich, wie gering die Betriebskosten einer derartigen Anlage sind.

Eine größere Anlage mit zwei Generatoren von je  $50 \text{ m}^3$  Stundenleistung zeigt Fig. 359. In dieser Anlage können maximal  $2 \times 50 \times 24 = 2400 \text{ m}^3$  uncarburiertes Wassergas pro Tag erzeugt werden, was einen Jahreskonsum von  $480\,000 \text{ m}^3$  deckt. Diese Anlage kann jedoch auch 12 stündig betrieben werden und es kann auch nur mit einem Generator, anstatt mit beiden gearbeitet werden, so daß eine Anlage dieser Ausführung für den Jahreskonsum von  $120\,000$  bis  $480\,000 \text{ m}^3$  entspricht, also für alle Fälle geeignet ist, die bei der Neuerrichtung von Gaswerken in kleinen Städten von etwa  $2000$  bis  $6000$  Einwohnern in Frage kommen.

Die hier angewendeten Generatoren sind zur Vergasung von Kohle eingerichtet und besitzen Wasserverdampfer, so daß ein eigener Dampfkessel nicht

erforderlich ist. Die Kohle wird im Kohlenmagazin *P* aufgestapelt und von hier mittels des auf einem Geleise *D* fahrenden Kohlenwagens *O* in den Generatorenraum gebracht. Der Generator *A* steht im Souterrain, das jedoch nur

Fig. 359.



*A* Generator. *B* Skrubber. *C* Umschalter. *D* Geleise. *E* Gasmotor. *F* Dampfmotor. *G* Gebläse. *H* Gasmesser. *J* Parfümeur. *K* Druckregler. *L* Maasereiniger. *M* Schwefelsäureapparat. *N* Wasserreservoir. *O* Kohlenwagen. *P* Kohlenmagazin.

teilweise durch eine Arbeitsbühne abgedeckt ist, so daß die Fülltüren der Generatoren von hier aus bedient werden können. Die Luft wird von einem Gebläse *G* geliefert, das von dem Gasmotor *E* angetrieben wird. Der Ausrücker der Transmission befindet sich auf der Arbeitsbühne neben dem Stande

des Arbeiters, so daß das Gebläse während des Gasens stets abgestellt werden kann. Der Gebläsewind tritt durch einen hydraulischen Umschalter in den Generatorunterteil ein und in der Höhe der Fülltür wird Sekundärwind eingeblasen, um das entstehende Generatorgas zu verbrennen. Die Abgase entweichen durch den Schornstein über Dach.

Bei der Gaserzeugung wird Wasser in die am Oberteil der Generatoren aufgebauten Verdampfer eingetroppt und das erzeugte Wassergas entweicht durch den Umschalter in den kleinen Skrubber *B*, von welchem es zunächst in den Kieselsäurereiniger und dann in die Massereiniger *L* gelangt. Nach diesen passiert das Gas den Schwefelsäurereiniger *M*, dann den Stationsgasmesser *H* und gelangt zum Gasbehälter, von dem aus es durch den Druckregler *K* zur Stadtleitung geht. Das zur Waschung des Gases im Skrubber *D* erforderliche Wasser wird von Pumpen geliefert, die von der Transmissionswelle aus angetrieben werden. Diese liefern das Wasser in das Hochreservoir *N*, so daß dieses auch Druck genug zu liefern vermag, um die kleinen Wasserbehälter der Generatoren, die sich am Unterteil des Schornsteines befinden, mit Wasser versorgen zu können. Die Regenerierung der Reinigungsmasse erfolgt in einem an dem Reinigerraum angebauten Schuppen.

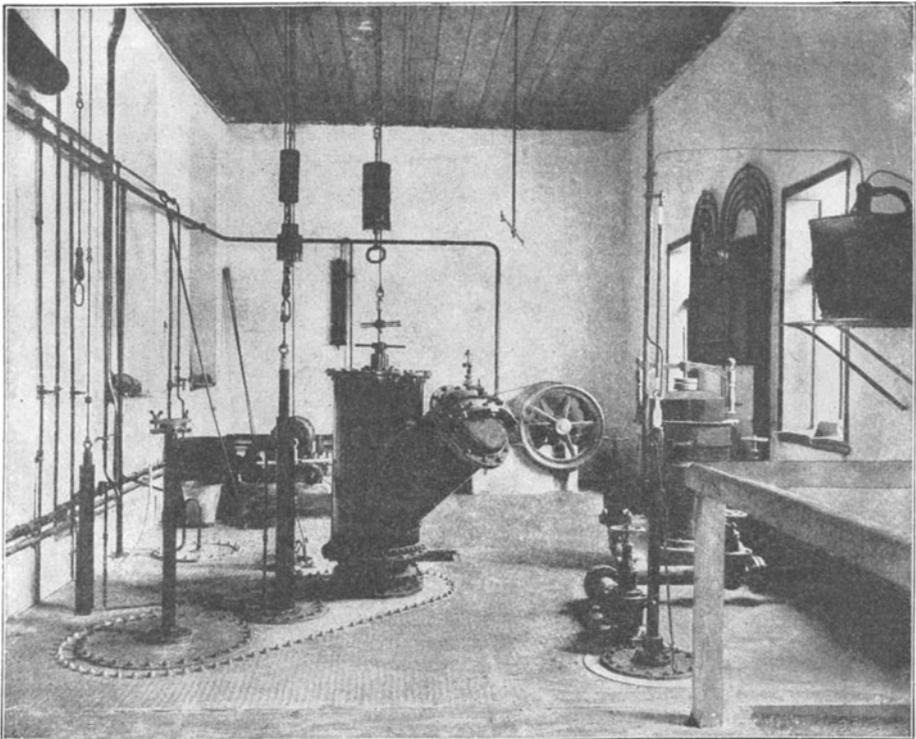
Betreffs der Größe des Behälters sei hier folgendes bemerkt: Arbeitet die Anlage mit einem Generator von  $50 \text{ m}^3$  Stundenleistung bei nur 12 stündigem Betrieb, so werden täglich  $600 \text{ m}^3$  Wassergas erzeugt. Entspricht dies dem Maximaltageskonsum, so genügt ein Gasbehälter von 40 Proz., d. i. rund  $250 \text{ m}^3$  Inhalt vollständig, wenn die Betriebszeit von 12 Uhr Mittag bis 12 Uhr Mitternacht eingerichtet wird, denn der Behälter hat ja dann nur den geringen Nachtkonsum der ganznächtigen Straßenflammen und den Kochgasbedarf am Morgen zu decken. Überdies steht der zweite Generator immer in Reserve, so daß im Bedarfsfalle  $100 \text{ m}^3$  pro Stunde erzeugt werden können, also jedenfalls viel mehr, als bei dem Maximaltageskonsum von  $600 \text{ m}^3$  in der Stunde des stärksten Gasabsatzes verbraucht wird. Allerdings müssen dann die Reinigungsapparate groß genug gewählt sein, um im Notfalle auch  $100 \text{ m}^3$  Wassergas durchlassen zu können.

Steigt der Konsum im Laufe der Jahre auf  $1200 \text{ m}^3$  pro Maximaltag, so kann derselbe entweder durch einen Generator mit 24stündigem Betrieb oder durch zwei Generatoren bei 12stündigem Betrieb gedeckt werden. In ersterem Falle ist dann die Anlage eines größeren Gasbehälters erforderlich, weil dann der Behälterraum mindestens 60 Proz. von  $1200 \text{ m}^3$ , d. i.  $720 \text{ m}^3$  betragen soll. Auch im letzteren Falle, wenn beide Generatoren gleichzeitig arbeiten, ist ein größerer Behälterraum zweckmäßig, weil derselbe doch 40 Proz. von  $1200 \text{ m}^3$ , d. i.  $480 \text{ m}^3$  betragen soll. Aus diesen Gründen ist es ratsam, den von vornherein aufgestellten Gasbehälter nicht mit  $250 \text{ m}^3$ , sondern mit  $400$  oder  $500 \text{ m}^3$  zu dimensionieren und die Reiniger so einzurichten, daß sie im Bedarfsfalle  $100 \text{ m}^3$  stündlich durchzulassen vermögen. In diesem Falle genügt die Anlage bis zu einem Konsum von  $1200 \text{ m}^3$  pro Tag bei 12stündigem Betriebe von 12 Uhr Mittag bis 12 Uhr Mitternacht. Steigt dann der Konsum weiter bis auf  $2400$  im Tag, d. i.  $480\,000 \text{ m}^3$  Jahresleistung, so ist nur der Zubau eines zweiten Behälters erforderlich, denn dann muß der Behälterraum mindestens 60 Proz. von  $2400$ , d. i.  $1440 \text{ m}^3$  betragen. Es wird also dann ein Gasbehälter von rund  $1000 \text{ m}^3$  Inhalt zu dem von  $400 \text{ m}^3$  hinzuzubauen sein.

Um gegen etwaige Betriebsstörungen des Gasmotors gesichert zu sein, ist in der Anlage noch eine kleine mit einem Dampfkessel direkt verbundene Dampfmaschine *F* aufgestellt. Aus dem Dampfkessel kann dann auch der Dampf in die Generatoren geleitet werden, im Falle irgend welche Betriebsstörungen an den Verdampfern vorkommen.

Daß sich derartige Wassergasanlagen, in ganz kleinem Maßstabe ausgeführt, auch zur Beleuchtung einzelner Objekte, wie größere Gebäude, Fabriken oder dgl. eignen, zeigt die Ausführung einer Anlage mit 25 m<sup>3</sup> Stundenleistung deren Arbeitsbühne in Fig. 360 dargestellt ist.

Fig. 360.

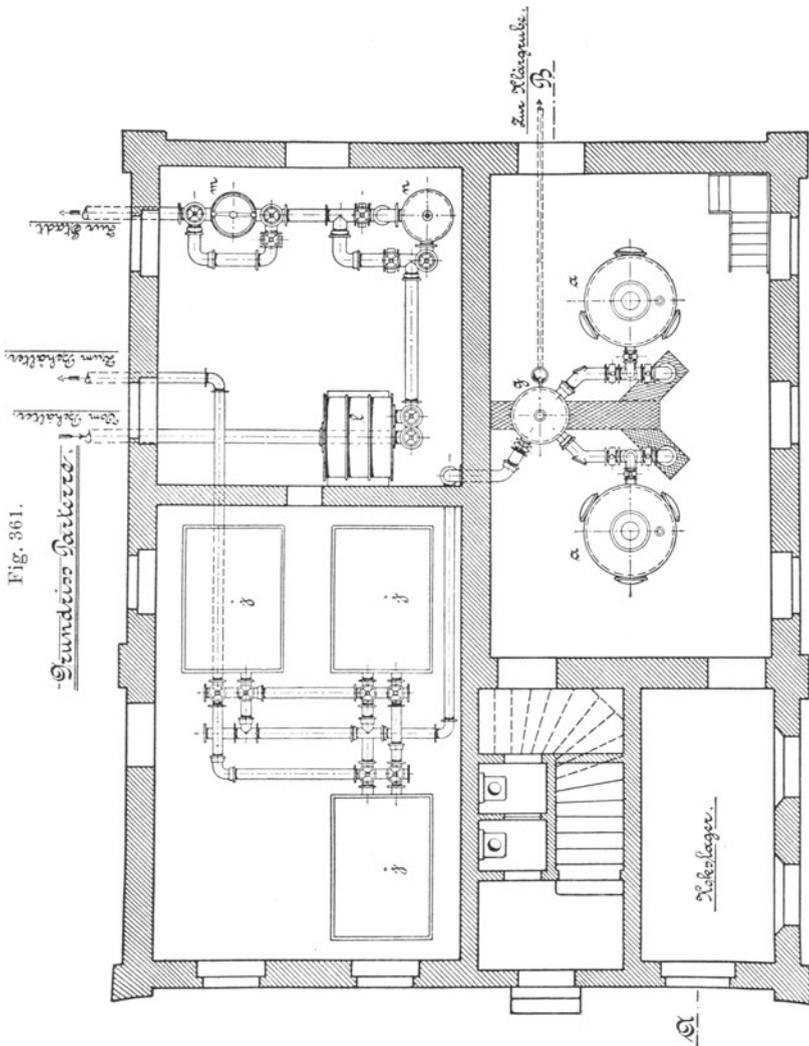


Hier ist der Gasbehälter so groß gewählt, daß er den Konsum von drei bis vier Tagen zu decken vermag. Beträgt derselbe 100 m<sup>3</sup>, so kann der Behälter mit einem Generator von 25 m<sup>3</sup> Stundenleistung in vierstündiger Arbeit gefüllt werden und braucht dann durch vier Tage lang kein Gas gemacht zu werden. Die Kosten des Arbeitslohnes, die sonst bei so kleinen Anlagen sehr ins Gewicht fallen, werden dadurch verschwindend klein.

In Nordböhmen sind drei Wassergaszentralen, welche namentlich zur Abgabe des Gases an Glasbläsereien dienten, ausgeführt worden und zeigt Fig. 361 den Grundriß einer derartigen Anlage<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Ausgeführt von der Firma Franz Manoschek-Wien; vgl. Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 250.

Die Anlage besteht aus zwei Generatoren *a*, die von einem Ventilator mit Luft bedient werden, welcher sich im ersten Stockwerk des Gebäudes befindet, damit derselbe Arbeiter, welcher die Generatoren bedient, gleichzeitig auch die Aufsicht über den Maschinenraum führen kann. Der Antrieb des Ventilators erfolgt normal durch einen Gasmotor, doch steht zur Reserve auch eine



Dampfmaschine zur Verfügung, welche den Dampf aus dem Dampfkessel erhält, welcher sich ebenfalls auf der Arbeitsbühne oberhalb der Generatoren befindet. Von diesem erhalten auch die Generatoren den Dampf. Die Umschaltung erfolgt hier nicht durch hydraulische Ventile, sondern durch einfache Schieber. Beide Generatoren sind auch hier gemeinsam an einen Skrubber *g* angeschlossen, nach welchem das Gas die drei Reiniger *j* passiert und dann zum Behälter gelangt. Vom Behälter kommend, geht das Gas durch

den Gasmesser *l*, durch den Schwefelsäureapparat *n* und schließlich den Druckregler *m*, um dann in das Rohrnetz nach der Stadt zu gelangen.

Die Brenner, welche zur Beleuchtung mit Wassergasglühlicht dienen, werden wir später auf S. 972 kennen lernen. Hier sei nur erwähnt, daß das Wassergas an sich ohne Luftbeimischung mit einer blauen, rußfreien Heizflamme brennt, daß also die Anwendung von Bunsenbrennern, wie beim Steinkohlengas nicht erforderlich ist. Dadurch entfallen alle Übelstände, die mit den Bunsenbrennern zusammenhängen, insbesondere das Zurückschlagen derselben. Ferner ist aus diesem Grunde die Höhe des Druckes an den Konsumstellen ohne besondere Bedeutung, weil hier nicht ein bestimmter Druck erforderlich ist, um die Luft in der Bunsendüse anzusaugen. Dies hat nicht nur bei der Beleuchtung Vorteile, sondern auch bei Kochapparaten und bei der Verwendung des Gases zu industriellen Zwecken aller Art, denn die Heizflamme kann dadurch noch besser geformt werden als beim Steinkohlengas, wo stets Ausströmungsöffnungen von beträchtlicher Größe vorhanden sein müssen, aus denen das Gasluftgemisch brennt. Beim Wassergas hingegen können ganz dünne Stichflammen erzielt werden, wenn man das Gas aus Öffnungen ausströmen läßt, die nur Bruchteile eines Millimeters im Durchmesser besitzen.

Bei richtig aufgesetzten Glühkörpern und richtig eingestellter Flamme beträgt der Wassergaskonsum des stehenden Wassergasglühlichtbrenners, je nach der Größe desselben für die horizontale Hefnerkerze und Stunde 1,1 bis 1,5 Liter. Der hierbei erforderliche Gasdruck beträgt 15 bis 30 mm. Das uncarburierte Wassergas ist also, wenn es in richtigen Brennern verbrannt und mit einem Kohlensäuregehalt von nicht mehr als 2,5 Proz. hergestellt wird, was durchaus keine Schwierigkeiten bietet, dem gewöhnlichen Steinkohlengasglühlicht an Sparsamkeit im Gaskonsum mindestens gleichwertig. Es bleibt jedoch hinter dem Steinkohlengas-Invertlicht in der mittleren unteren hemisphärischen Lichtstärke auf den gleichen Konsum gerechnet etwas zurück.

Die Vorteile der Anwendung des uncarburierten Wassergases bei Beleuchtungszentralen liegen also in billigeren Anlagekosten und in den wesentlich geringeren Betriebskosten, während der Gasverbrauch im Glühlicht etwa der gleiche ist wie bei Steinkohlengas. Das uncarburierte Wassergas erscheint auch besonders für die Beleuchtung mit Hängelicht geeignet, doch besteht derzeit noch kein hierfür passender Brenner. Ein weiterer Vorteil in der Anwendung des uncarburierten Wassergases liegt darin, daß das Gas die Gasanstalt in vollständig getrocknetem Zustande verläßt, so daß Kondensationen in den Rohrleitungen nicht vorkommen können. Es sind also sowohl das Einfrieren als auch die Naphtalinverstopfungen vollständig vermieden, denn das Wassergas enthält keinerlei Naphtalin. Schließlich ist noch hervorzuheben, daß die Explosionsgefahr beim uncarburierten Wassergase geringer ist als bei Steinkohlengas, indem die untere Explosionsgrenze bei 12 Proz. Gasgehalt der Luft liegt, während sie beim Steinkohlengas schon bei 7 Proz. gelegen ist. Ein Nachteil des Wassergases ist hingegen der höhere Gehalt an Kohlenoxyd, doch haben wir bereits auf S. 822 darauf hingewiesen, daß die Giftigkeit eines Gases nicht nur allein vom Kohlenoxydgehalt abhängt<sup>1)</sup>.

Auch bei der Verwendung zum Heizen und Kochen zeigt sich beim Wassergase der Vorteil, daß kein Bunsenbrenner angewendet werden muß

<sup>1)</sup> Über die Vorzüge der Beleuchtung mit uncarburiertem Wassergase siehe auch Kaiser, Gesundheitsingenieur 1907, S. 215.

und dementsprechend das Zurückschlagen von vornherein ausgeschlossen ist. Es ist aber zu berücksichtigen, daß sich der Heizwert des Wassergases zu dem des Steinkohlengases etwa wie 3:5 verhält, daß also im gleichen Verhältnis mehr Gas gebraucht wird. Der Preis des Heizgases muß also im gleichen Verhältnis geringer berechnet werden, während der Preis für Beleuchtungsgas die gleiche Höhe behalten kann wie bei Steinkohlengas. Bei der zentralen Verteilung von uncarburiertem Wassergas ist also die Anwendung eines Doppeltarifes unbedingt notwendig. Der geringere Heizgaspreis bedeutet aber keine Verringerung der Gesamteinnahme, denn diese gleicht sich durch den entsprechend höheren Verbrauch der Konsumenten wieder aus. Es käme hier eigentlich auf den Preis an, zu welchem 1000 Kal. abgegeben werden können und dieser ist bei Wassergas noch niedriger als beim Steinkohlengas, weil die Herstellungskosten des uncarburierten Wassergases nicht die Hälfte der Herstellungskosten des Steinkohlengases betragen. Natürlich darf aber dabei die Verzinsung und Amortisation des Anlagekapitals auch nicht auf den Kubikmeter in Rechnung gestellt werden, sondern auf die 1000 Kal. Würde man nur auf die Abgabe von Heiz- und Kochgas rechnen, ohne Gas für Beleuchtungszwecke zu berücksichtigen, so hätte man ungefähr wie folgt zu überlegen: Würde der Konsum an Steinkohlengas im Jahre 300 000 m<sup>3</sup> ausmachen, so wären an dessen Stelle 500 000 m<sup>3</sup> Wassergas einzusetzen. Die Anlage wäre entsprechend größer zu dimensionieren, jedoch die Anlagekosten würden unter diesen Umständen etwa die gleichen bleiben, weil die Wassergasanlage, auf den Kubikmeter gerechnet, billiger ist als Steinkohlengasanlagen. Die Gesamtquote für Verzinsung und Amortisation der Gaswerksanlage ohne dem Rohrnetze bleibt also in beiden Fällen die gleiche. Daraus folgt, daß die Verzinsung und Amortisation, pro Kubikmeter berechnet, sich bei Steinkohlengas auf eine geringere Anzahl von Kubikmetern verteilt, infolgedessen größer ist, als bei Wassergas. Auf die 1000 Kal. Heizwert gerechnet hingegen, bleibt diese Quote bei beiden Gasen etwa gleich.

Ebenso stellt sich dies betreffs der Quote für Verzinsung und Amortisation des Rohrnetzes. Es ist oft eingewendet worden, daß zufolge des geringeren Heizwertes des Wassergases das Rohrnetz größere Dimensionen besitzen müsse als bei einer Steinkohlengasanlage. Das ist aber nicht richtig. Gegenwärtig ist noch immer der Maximalstundenkonsum im Rohrnetze durch die Beleuchtung bedingt und nicht durch die Beheizung. Das Rohrnetz muß derart dimensioniert sein, daß der Konsum am Abend, wenn die stärkste Beleuchtung einsetzt, den Konsum zu bewältigen vermag. Der Konsum an Heizgas findet hingegen vornehmlich des Morgens und jener des Kochgases mittags statt. Zu diesen Zeiten ist das Rohrnetz durchaus nicht auf das stärkste belastet und es kann daher durch das gleiche Rohrnetz, welches den Beleuchtungsgaskonsum bewältigt, auch der Heizgaskonsum bewältigt werden und dies auch dann, wenn er in dem Verhältnis 5:3, wie dies beim Wassergas der Fall ist, größer ist. Es verteilen sich somit auch die Kosten für Verzinsung und Amortisation des Rohrnetzes beim Wassergase auf eine größere Anzahl von Kubikmetern als beim Steinkohlengas, so daß pro 1 m<sup>3</sup> ein geringerer Betrag resultiert. Für 1000 Kal. gerechnet, stellen sich wieder beide Werte bei Wassergas und Steinkohlengas gleich hoch. Es bleibt also noch immer der Vorteil, daß im Wassergas die 1000 Kal. billiger hergestellt werden können, als im Steinkohlengas.

Bei der Verwendung des Wassergases zu industriellen Zwecken spielt dessen hohe Flammentemperatur neben der Billigkeit der Erzeugung die Hauptrolle. Die hohe Flammentemperatur ist durch die Geschwindigkeit der Verbrennung bedingt, denn dadurch wird das Flammenvolumen des Gasluftgemisches ein sehr kleines, also die Ausstrahlung der Flammenoberfläche eine geringe. Aus gleichem Grunde ist es mit Hilfe der Wassergasgebläseflamme möglich, die Wärmeentwicklung auf einen bestimmten Punkt zu konzentrieren und dies spielt namentlich bei der Anwendung des Wassergases zum Schweißen eine bedeutende Rolle.

Das Schweißen von Eisenblechen mit Hilfe der Wassergasflamme erfolgt derart, daß sowohl Gas als Gebläseluft unter mehreren hundert Millimetern Wassersäulendruck einem Brenner zugeführt werden, der aus einem Schamottehohlkörper besteht. Innerhalb dieses Schamottekörpers treffen Gas und Luft durch zwei im Schamottestein angebrachte Kanäle unter rechtem Winkel gegeneinander, so daß hier eine lebhafte Wirbelbewegung und dadurch eine gute Mischung von Gas und Luft eintritt. Die Flamme entwickelt sich zunächst in einem Hohlraum und tritt dann durch einen Spalt hervor. Diesen Spalt bringt man knapp an die zu erheizende Stelle des Eisenbleches heran, so daß diese von der Spitze der Flamme berührt wird. Diese ist sehr heiß, weil während der Verbrennung im Inneren des Schamottekörpers keine Ausstrahlung der Wärme stattfinden kann. Man regelt Gas und Luft derart, daß die Flamme stets einen geringen Überschuß an Gas besitzt, also reduzierend wirkt, so daß das Eisen an der Schweißstelle nicht zu stark verbrennt. Die beiden aneinander zu schweißenden Bleche werden überlappt zunächst provisorisch aneinander befestigt und dann erfolgt die Erhitzung von beiden Seiten durch zwei der soeben erläuterten Brenner. Bereits nach 1 Minute, bei sehr starken Blechen nach 2 Minuten, ist Schweißhitze erreicht und die Bleche können dann durch Hämmern oder aber durch Walzen zusammengeschweißt werden. Die beiden Brenner sitzen an sehr langen Stielen, so daß man beim Schweißen von Rohren sehr tief in dieselben hineinreichen kann. Beim Schweißen von Rohren werden die Bleche erst zusammengebogen und die überlappte Naht provisorisch zusammengeschraubt. Sie gelangen dann auf einen Wagen, der die zu schweißende Stelle, auf einem Geleise fahrend, zwischen die zwei Brenner hineinschiebt. Eine derartige Einrichtung nennt man eine Schweißstraße. Das Rohr liegt auf vier Rollen, so daß es um seine Achse gedreht werden kann. Nachdem das Rohr durch die beiden Brenner an der zu schweißenden Stelle bis zur Weißglut erhitzt ist, wird es zur Seite gedreht, so daß die zu schweißende Stelle über den Amboß gelangt. Hier wird sie dann durch Hämmern geschweißt.

Bei den sogenannten maschinellen Schweißstraßen befindet sich unmittelbar neben den Schweißfeuern ein Rollenpaar, welches mit Hilfe hydraulischen Druckes zusammengepreßt werden kann. Die zu schweißende Stelle wird dann durch Verschieben des Rohres zwischen diese beiden Rollen gebracht, dieselben werden zusammengepreßt und durch eine Hebeleinrichtung gleichzeitig hin und her bewegt. Dadurch erfolgt das Zusammenschweißen der beiden Teile. Das Schweißen mit Wassergas ist bereits in einer großen Anzahl von Betrieben eingeführt und hat sich vorzüglich bewährt. Es können Bleche von 5 bis zu 30 mm Stärke geschweißt werden. Bei dünneren Blechen kann die Wassergasschweißung nicht angewendet

werden, weil sonst zu leicht ein Durchbrennen der betreffenden Stelle stattfindet.

Die wassergasgeschweißten Rohre werden ähnlich wie die Mannesmannrohre für Hochdruckleitungen aller Art benutzt. Speziell bei Turbinenleitungen für Elektrizitätswerke sind sie in neuerer Zeit vielfach zur Anwendung gekommen. Ebenso aber auch für Hochdruckgasleitungen. Während Mannesmannrohre speziell nur in geringeren Dimensionen hergestellt werden, eignet sich die Wassergasschweißung für Rohre von etwa 300 mm aufwärts bis auf mehrere Meter Durchmesser. Ebenso wie Rohre können jedoch auch alle anderen Gegenstände, Kessel, Bojen für die Ölgasbeleuchtung, Gasrezipienten usw. mit Wassergas geschweißt werden.

Auch das Schweißen von Ketten erfolgt zweckmäßig mittels Wassergas. Die maschinell gebogenen Kettenglieder werden durch einen langen Brenner hindurchgezogen, in welchem eine große Anzahl von Flammen brennt. Während des Durchziehens gerät die Kette an den zu schweißenden Stellen bis zur Schweißhitze und wird sofort nach dem Austritt aus dem Brenner durch einen scharfen Druck zusammengepreßt.

Aber nicht nur zum Schweißen, sondern auch zum Löten, insbesondere zum Bleilöten für Akkumulatorenfabriken an Stelle des Wasserstoffs und zu allen anderen Zwecken, wo hohe Temperaturen benötigt werden, kann das uncarburierte Wassergas vorzüglich dienen. Auch in der Glasindustrie spielt es eine hervorragende Rolle. Es wird dort zur Verarbeitung des Glases benutzt und dienen dazu ähnliche Brenner, wie sie für das Schweißen mit Wassergas angewendet werden.

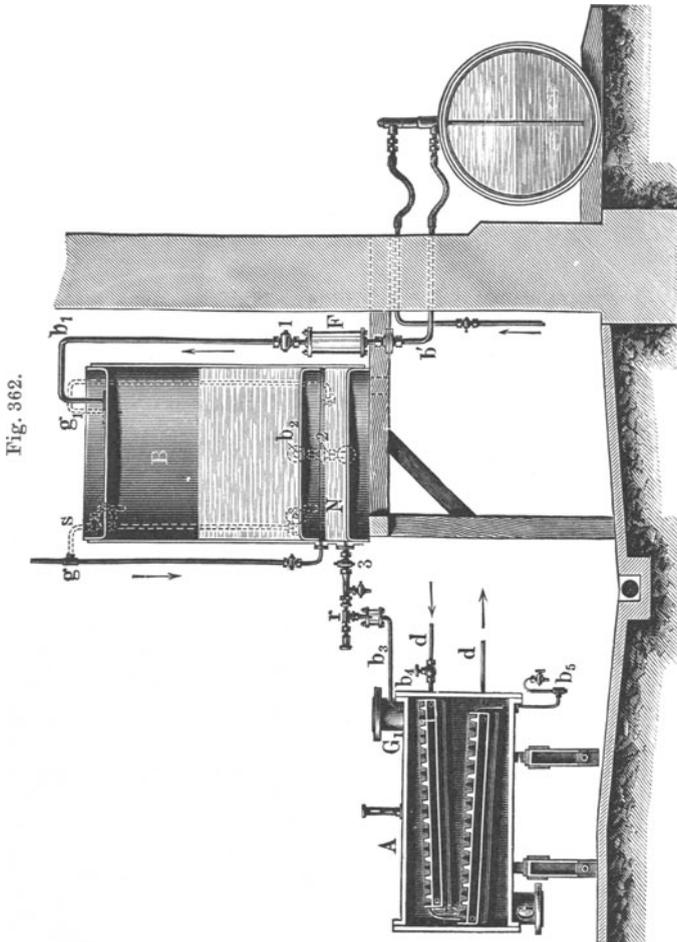
Soll das Wassergas mit einer selbstleuchtenden Flamme brennen, oder soll der Heizwert desselben erhöht werden, so setzt man demselben Kohlenwasserstoffe zu. Man nennt dies die „Carburatation“ des Wassergases. Als Carburiermittel können Acetylen, Ölgas, Benzol oder Dämpfe von anderen flüchtigen Kohlenwasserstoffen verwendet werden. Je nachdem ob diese Kohlenwasserstoffe nur durch Verdampfung bei geringer Temperatur dem Wassergase beigemischt werden, oder ob man die Kohlenwasserstoffdämpfe durch Erhitzung in fixe Kohlenwasserstoffe, d. h. solche, welche sich auch bei starker Abkühlung nicht kondensieren, verwandelt, unterscheidet man die kalte Carburatation oder die heiße Carburatation. Zur ersteren dient hauptsächlich das Benzol, zur letzteren die Mineralöle. An Stelle der Mineralöle können allerdings auch die Öle, welche bei der Braunkohlenschwelerei erhalten werden, Verwendung finden. Da die Mineralöle in Deutschland nur in beschränkter Weise vorkommen und vornehmlich aus dem Auslande bezogen werden müssen, was hohe Preise zur Folge hat und wodurch diese auch starken Schwankungen unterworfen sind<sup>1)</sup>, lehnt Kobbert<sup>2)</sup> alle Carburiermittel, die nicht der Steinkohle selbst entstammen, grundsätzlich ab.

Das carburierte Wassergas kommt gewöhnlich in Gemischen mit Steinkohlengas zur Verwendung und die Carburatation von Wassergas hat sich speziell deshalb so umfangreich eingeführt, weil das carburierte Wassergas ähnliche Eigenschaften hat wie das Steinkohlengas, also demselben beigemischt werden kann, ohne die Eigenschaften des letzteren zu sehr zu

<sup>1)</sup> Wassergas und Gasölpreise, Journ. f. Gasbel. 1907, S. 387. — <sup>2)</sup> Grenzfragen der Gaswerke, ebend. 1907, S. 781.

ändern. Insbesondere kann es — sei es allein oder gemischt mit Steinkohlengas — in den gleichen Brennern für die Beleuchtung oder Beheizung verwendet werden wie das Steinkohlengas. Das carburierte Wassergas wird jedoch in Amerika in ausgebreiteter Weise und auch in Europa an einzelnen Stellen<sup>1)</sup> allein an die Konsumenten verteilt.

Die Besprechung der Gemische von Steinkohlengas mit carburiertem Wassergas wollen wir ebenso wie die Gemische von Steinkohlengas mit un-



carburiertem Wassergas einem besonderen Kapitel, der Mischgaserzeugung (S. 911), vorbehalten. Hier sei nur die Erzeugung des carburierten Wassergases besprochen und wenden wir uns zunächst der Benzolcarburation zu.

Das benzolcarburierte Wassergas wird dadurch erzeugt, daß man dem Wassergase Benzoldämpfe beimischt. Es kann dies auf vollständig kaltem Wege geschehen, indem man das Gas über Benzol streichen läßt, oder aber, indem man das Benzol durch Beheizung verdampft und die Benzoldämpfe

<sup>1)</sup> Z. B. in Helsingfors.

dem Wassergase beimischt. Auch in letzterem Falle spricht man von einer kalten Carburatation zum Unterschiede von der heißen Carburatation mit Öldämpfen, die eine weit höhere Temperatur durchmachen müssen, um zu un-kondensierbaren Gasen verwandelt zu werden. Bei der Verdampfung des Benzols wird eine beträchtliche Wärmemenge verbraucht und es würde daher eine zu starke Abkühlung des Benzols stattfinden, wenn man größere Mengen von Wassergas ohne jede Zufuhr von Wärme mit Benzoldämpfen carburieren wollte. Die Verdampfung des Benzols geschieht im Benzolcarburator der Bamag, Fig. 362, in der Weise, daß man die Flüssigkeit in einen rechteckigen Kasten *A* durch Auftropfen auf einen mit Tuch belegten Dampfrippenheizkörper zum Verdampfen bringt. Die Benzoldämpfe werden dann direkt von dem durchströmenden Gase aufgenommen. Die Flüssigkeit wird aus dem Fasse in das Reservoir *B* durch Verdrängung mit Wasser überfüllt. Das Reservoir *B* ist als Mariottesche Flasche ausgebildet, so daß es das Benzol unter gleichbleibendem Druck austreten läßt; es ist ferner mit einem Flüssigkeitsstandzeiger versehen, so daß man stets erkennen kann, wieviel Benzol zugeführt wurde.

Die Menge von Benzol, welche 1 m<sup>3</sup> Gas aufnehmen kann, ist sehr verschieden, je nach der Temperatur des Gases. Sie entspricht der Dampftension des Benzols bei den jeweiligen Temperaturen.

Bezeichnet  $\tau$  die Tension des Benzoldampfes in Millimetern Quecksilber und *b* den Barometerstand in Millimetern Quecksilber, ferner *p* den Druck des Gases auf Millimeter Quecksilberdruck umgerechnet, schließlich *s* das Gewicht eines Kubikmeters Benzoldampf (d. i. 3,5 kg), so berechnet sich die Menge des Benzoldampfes in Grammen, welche von 1 m<sup>3</sup> Gas aufgenommen wird nach der Formel:

$$\frac{\tau}{b + p} \cdot s.$$

Die Tension  $\tau$  des Benzoldampfes ist aus der Tabelle auf S. 318 zu entnehmen. Ebenso sind dort die Mengen von Benzoldampf angegeben, welche ein damit gesättigtes Gas enthält. Sie beträgt z. B. bei +10° 200 g. Bei höheren Temperaturen wächst die vom Gase aufnehmbare Benzolmenge ganz beträchtlich, bei niederen Temperaturen hingegen nimmt sie rasch ab, so z. B. beträgt diese Menge bei 0° nur mehr 116 g. Wird also das Gas unter 0° abgekühlt, so scheidet sich sämtliches Benzol, welches diese Menge übersteigt, in flüssiger Form ab. Da aber im Winter die Straßenrohrleitungen leicht eine Temperatur von 0° annehmen können, so kann keine größere Benzolmenge zugegeben werden, als 116 g pro Kubikmeter, wenn man sicher sein will, daß das Benzol nicht nachträglich wieder aus dem Gase herausfällt. Dies betrifft allerdings nicht nur das Wassergas. Auch wenn man Steinkohlengas mit Benzol carburiert, so darf es nur diese Menge enthalten, wenn das Gas bei Abkühlung unter 0° keine Kondensation ergeben soll. Allerdings wurde von manchen Seiten behauptet, daß das Benzol in einer Atmosphäre von Sumpfgas leichter verdampfbar sei, als wenn kein solches vorhanden ist. Dies ist jedoch noch nicht sichergestellt.

Die Benzolmenge, welche dem Wassergase zugesetzt werden muß, um ein Gas von bestimmter Leuchtkraft in der freibrennenden Flamme zu erzielen, ist nicht einfach zu berechnen, weil die Leuchtkraft durchaus nicht

proportional der zugesetzten Benzolmenge wächst. Anfangs braucht das Gas eine große Menge von Benzol, ehe überhaupt die Flamme deutlich zu leuchten beginnt. Später bewirkt ein kleiner Benzolzusatz eine höhere Lichtzunahme. Man kann annehmen, daß bis etwa zu einer Leuchtkraft von 6 Kerzen, auf 150 Liter Gaskonsum gerechnet, der Benzolzusatz 8 g pro Kerze zu betragen hat. Darüber hinaus genügt ein Benzolzusatz von 4 g pro Kerze. Soll z. B. ein Gas von einer Leuchtkraft von 15 Kerzen (auf 150 Liter Konsum im Argandbrenner gerechnet) erzeugt werden, so sind für die ersten 8 Kerzen  $8 \times 8 = 64$  g Benzol pro Kubikmeter erforderlich. Für die weiteren 7 Kerzen von 8 bis auf 15 Kerzen Leuchtkraft sind dann  $7 \times 4 = 28$  g erforderlich, zusammen also  $64 + 28 = 92$  g Benzol pro Kubikmeter. Diese Berechnung ist jedoch eine sehr rohe und kann nur für die Berechnung solcher Lichtstärken angewendet werden, wie sie gewöhnlich von dem benzolcarburierten Wassergase verlangt werden, nämlich etwa zwischen 12 und 20 Kerzen.

St. Claire Deville hat die absolute Leuchtkraft des benzolcarburierten Wassergases bestimmt, d. h. die Leuchtkraft im Gasglühlicht, welche erreicht wird, wenn man mit Hilfe von künstlicher Luftzufuhr auf das Maximum des Lichteffektes einstellt. Er erhielt bei Anwendung eines Wassergases, welches im uncarburierten Zustande einen Heizwert von 2711 Kal. pro Kubikmeter hatte, also als schlechtes Wassergas zu bezeichnen ist, da ein gutes Wassergas über 2900 Kal. Heizwert besitzt, folgende Zahlen:

Benzolzusatz in Grammen pro Kubikmeter Gas . . . . .	0	50	100
Heizwert . . . . .	2711	3086	3468
Leuchtkraft Carcel pro 1000 Kal. . . . .	22,1	22,7	22,5
Liter Gasverbrauch pro 1 Hefnerkerze Leuchtkraft	1,55	1,33	1,19

In welcher Weise die Berechnung des Benzolzusatzes durchzuführen ist, werden wir gelegentlich der Besprechung der Berechnung des Ölzusatzes für ölcarburiertes Gas (S. 897) näher kennen lernen.

Das benzolcarburierte Wassergas wird wohl niemals allein verwendet, sondern stets nur im Gemisch mit Steinkohlengas. In letzterem Falle ist die Gefahr der Kondensation von Benzol nicht so groß, weil ja das Steinkohlengas selbst nicht mit Benzoldampf gesättigt ist und daher ebenfalls noch eine beträchtliche Menge desselben aufzunehmen vermag. Reines, unvermishtes benzolcarburiertes Wassergas hingegen würde in den Rohrleitungen zu leicht Kondensationen ergeben, wenn man ein mit gut leuchtender Flamme brennendes Gas verlangen würde und daher eine große Menge von Benzol zusetzen müßte. Wohl wird das uncarburierte Wassergas in manchen Fällen örtlich carburiert, wenn man es aus einer städtischen Zentrale bezieht und unbedingt eine selbstleuchtende Flamme zu haben wünscht. Allerdings ist dies in den seltensten Fällen durchgeführt, weil die Beleuchtung mit Wassergasglühlicht um so viel günstiger ist, daß man auf die selbstleuchtende Flamme wohl unter allen Umständen verzichtet.

Lewes hat versucht, dem Wassergase dadurch Kohlenwasserstoffe beizumengen, also es zu carburierten, daß er es während der Steinkohlengaserzeugung durch die Steinkohlengasretorten leitete. Er nahm dabei an, daß durch die Verdünnung des Steinkohlengases die Kohlenwasserstoffe desselben vor der Zersetzung in der Retorte bewahrt würden, daß also ein Teil dieser Kohlenwasserstoffe zur Carburatation des Wassergases dienen könnte („Autocarburatation“). Genaue Versuche hierüber, die wir gelegentlich der Besprechung

des Mischgases behandeln werden (S. 919), haben jedoch ergeben, daß das Wassergas nicht zum Schutze dieser Kohlenwasserstoffe beiträgt, daß also in diesem Falle von einer Carburation des Wassergases nicht gesprochen werden kann.

Natürlich erzielt man gewissermaßen eine Carburation des Wassergases in allen Fällen, wo man es mit Steinkohlengas mischt, denn dann sind es eben die Kohlenwasserstoffe des Steinkohlengases, welche die Flamme zu einer selbstleuchtenden machen. Insofern gehört auch die Zumischung von Wassergas zum Steinkohlengas, welche dadurch vorgenommen wird, daß man in der Vertikalretorte am Schlusse der Gaserzeugung durch Einblasen von Wasserdampf in den Unterteil der Retorten Wassergas erzeugt, in das Kapitel über die Carburation des Wassergases. Wir werden jedoch dieses Verfahren, von welchem wir schon gelegentlich der Erläuterung der Vertikalöfen (S. 355) gesprochen haben, ebenfalls im Kapitel über Mischgas (S. 920) näher behandeln.

Die Ölcarburation oder sogenannte „heiße Carburation“ wird in ganz anderer Weise durchgeführt als die Benzolcarburation oder kalte Carburation. Es handelt sich hier ja nicht um leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe, die schon bei gewöhnlicher Temperatur verdunsten und so dem Gase beigemischt werden können. Es müssen die Kohlenwasserstoffe erst aus dem Öle gewonnen werden, indem das Öl verdampft und die Öldämpfe überhitzt werden. Es ist dies derselbe Vorgang, den wir schon bei der Ölgaserzeugung (S. 663) kennen gelernt haben. Die Ausführung ist jedoch eine andere als bei der Ölgaserzeugung, denn das Öl wird hier nicht in Retorten verdampft und vergast, sondern in Regeneratoren, die mit Schamottesteinen ausgesetzt sind und die vom Generatorgas des Wassergasgenerators zum Glühen erhitzt werden. Der Vorgang ist also der, daß man an einem Wassergasgenerator einen Regenerator oder auch deren zwei anschließt, von denen der eine gewöhnlich zur Verdampfung des Öles, der andere zur Fixierung der Öldämpfe dient. Das beim Warmblasen entstehende Generatorgas wird durch Zufuhr von Sekundärwind in den Regeneratoren verbrannt und man beheizt die Schamottefüllung so lange, bis dieselbe auf eine Temperatur von etwa 750° gekommen ist. Dann erfolgt die Wassergaserzeugung im Generator in derselben Weise, wie wir dies bereits früher (S. 823 bis 836) besprochen haben, doch wird das erzeugte Wassergas nicht direkt vom Generator abgeleitet, sondern es passiert die eben genannten Regeneratoren. Gleichzeitig wird in diese Öl eingespritzt, welches verdampft, und der Öldampf durchstreicht, gemischt mit dem Wassergase, das glühende Schamottemauerwerk dieser Regeneratoren, indem sich dabei die Öldämpfe zu Ölgas umsetzen. Das Gemisch des Ölgases mit dem Wassergase stellt dann das rohe ölcarburierte Wassergas dar, welches den Reinigungsapparaten zugeführt wird. Die Reinigung besteht hauptsächlich in der Abscheidung des Teeres. 20 bis 25 Proz. des Öles werden nämlich nicht vergast, sondern treten als Ölgasteer oder Wassergasteer auf. Dieser muß in Kühlern kondensiert werden, worauf wir auf S. 896 noch zurückkommen. Die letzten Reste des Teeres können dann mit Hilfe eines Teerscheiders entfernt werden und das vom Teer befreite Gas kann der weiteren Reinigung von Schwefelwasserstoff in der gewöhnlichen Weise in Reinigerkästen (S. 466) unterzogen werden.

Natürlich geben verschiedene Carburieröle verschiedene Resultate. Wir haben diese Öle und deren Untersuchung bereits bei der Besprechung des Ölgasprozesses (auf S. 664 bis 670) ausführlich behandelt.

Die Carburierung des Wassergases durch den Zusatz von Ölgas erhöht natürlich den Heizwert des Wassergases, weil das Ölgas pro Kubikmeter einen wesentlich höheren Heizwert hat (8000 bis 10 000 Kal.) wie das uncarburierete Wassergas (2900 Kal.). Ebenso wie bei der Carburation mit Benzol wird auch durch die Carburation zufolge des Ölgaszusatzes die Flamme des Gases selbstleuchtend und die Leuchtkraft hängt von der Menge des zugesetzten Öles ab. Leuchtkraft und Heizwert stehen jedoch beim carburierten Wassergase nicht in demselben Verhältnis wie beim Steinkohlengas. Wassergas, dem man durch die Ölcarburation den gleichen Heizwert gegeben hat, wie ihn das Steinkohlengas besitzt, hat einen beträchtlich höheren Leuchtwert in der frei brennenden Flamme. So hat z. B. ein Steinkohlengas von 5000 Kal. oberem Heizwert (0°, trocken) im Durchschnitt eine Leuchtkraft von 12 Kerzen (bei 150 Liter Stundenkonsum gemessen), während carburiertes Wassergas von 5000 Kal. oberem Heizwert (0°, trocken) einen Leuchtwert von 16 bis 18 Kerzen (bei 150 Liter Stundenkonsum) besitzt. In neuerer Zeit jedoch, wo man die Gase nicht mehr nach der Leuchtkraft der offen brennenden Flamme beurteilt, sondern wo der Heizwert eines Gases die Hauptrolle spielt, beurteilt man auch die Carburation des Wassergases nicht nach der Leuchtkraft der offenen Flamme, sondern nach dem Heizwert.

Scheller<sup>1)</sup> hat die Formel für die Berechnung des Heizwertes des carburierten Wassergases für bestimmte Öl- bzw. Benzolzusätze wie folgt angegeben. Es bedeuten darin:

$y$  den oberen Heizwert des Wassergases;

$z$  die Gramme Öl oder Benzol, welche pro 1 m<sup>3</sup> carburierten Wassergases zugesetzt werden;

$m$  die Wärmeausbeute pro 1 g Carburiermittel;

$a$  die Liter Ölgas oder Benzoldampf, welche 1 g Carburiermittel erzeugt.

Der Heizwert des carburierten Wassergases rechnet sich dann nach der Formel

$$z = \frac{y - 2750}{m - 1,65},$$

wobei für ölcarburiertes Wassergas  $a = 0,6$  Liter und für benzolcarburiertes Wassergas  $a = 0,294$  Liter angenommen ist. Ferner ist für Benzol  $m = 10,4$  anzunehmen. Mithin geht die obengenannte Gleichung über in

$$z = \frac{y - 2750}{9,6},$$

welche Gleichung nur für benzolcarburiertes Wassergas gilt.

Für Carburieröle ist die Wärmeausbeute  $m$  nicht stets die gleiche. Sie muß aus einem Versuche berechnet werden nach der Formel

$$m = \frac{y - 2750}{z} + 1,65.$$

Der Zusatz an Carburiermittel berechnet sich bei bekanntem  $m$  wie beim benzolcarburierten Wassergas aus der Formel

$$z = \frac{y - 2750}{m - 1,65}.$$

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 307; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 189.

In allen diesen Formeln ist der obere Heizwert des Wassergases bei 0° trocken mit 2750 Kal. angenommen. Für ein nach neueren Prinzipien bei guter Überwachung erzeugtes Wassergas kann dieser Heizwert mit 2950 Kal. angenommen werden, dann ist die betreffende Zahl in den obigen Formeln natürlich entsprechend umzuändern (s. Ableitung auf S. 897).

Das Öl wird bei der Vergasung im Wassergasgenerator besser ausgenutzt, als wenn es zur gewöhnlichen Ölgaserzeugung verwendet wird. Dies rührt daher, daß beim Wassergasprozesse das Öl in Gegenwart von Wassergas, also in Gegenwart einer großen Menge von Wasserstoff vergast wird. Wir haben bereits auf S. 665 erwähnt, daß durch diese Art der Vergasung eine günstigere Spaltung der Öldämpfe vor sich geht. So z. B. lieferte nach Graefe<sup>1)</sup> ein Öl bei der Wassergaserzeugung 5700 Kal., dagegen bei der direkten Ölgaserzeugung nur 5190 Kal.

Eine neuere Untersuchung über die Zusammensetzung des carburierten Wassergases ist von Peifer ausgeführt worden<sup>2)</sup>. Es wurde ein Öl angewendet von den nachstehenden Eigenschaften:

Flammpunkt, spez. Gew. 0,875 . . . . .	88° C
Siedebeginn . . . . .	102° C
Brennpunkt . . . . .	122° C
Fraktionierte Destillation bis 300° . . . . .	58 Proz.
Schwefel . . . . .	0,28 „
Oberer Heizwert . . . . .	10 860 Kal.
Unterer Heizwert . . . . .	10 134 „
Wasserstoffgehalt . . . . .	13,43 Proz.

Aus diesem Öle wurde ein Gas erhalten von der nachstehenden Zusammensetzung:

Wasserstoff (H <sub>2</sub> ) . . . . .	39,9 Vol.-Proz.
Sumpfgas (CH <sub>4</sub> ) . . . . .	12,3 „
Kohlenoxyd (CO) . . . . .	24,6 „
Benzoldampf (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ) . . . . .	1,15 „
Äthylen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) . . . . .	7,18 „
Kohlensäure (CO <sub>2</sub> ) . . . . .	7,9 „
Sauerstoff (O <sub>2</sub> ) . . . . .	0,6 „
Stickstoff (N <sub>2</sub> ) . . . . .	6,4 „
Oberer Heizwert pro Kubikmeter . . . . .	4530 Kal.
Unterer Heizwert „ „ . . . . .	4190 „
Spezifisches Gewicht . . . . .	0,5658
Schwefel in 100 m <sup>3</sup> Gas . . . . .	38,6 g
Naphtalin . . . . .	1,9 „
Ammoniak (NH <sub>3</sub> ) . . . . .	0,2 „

Der hohe Kohlensäuregehalt dieses Gases und der verhältnismäßig geringe Heizwert zeigen hier, daß eine verhältnismäßig große Dampfmenge im Generator angewendet wurde, so daß keine vollkommene Dampfzersetzung und eine starke Kohlensäurebildung stattfand.

<sup>1)</sup> Petroleum 1908, S. 194; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 483, Carburation von Wassergas mit Mineralöl. — <sup>2)</sup> Bericht des Laboratoriums des Gaswerkes Magdeburg 1907; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 630.

Teodorowicz<sup>1)</sup> verwandte ein Öl von nachstehenden Eigenschaften:

Spezifisches Gewicht . . . . .	0,878 bis 0,885
Viskosität bei 20° . . . . .	1,646 „ 3,1543
Entflammungspunkt . . . . .	48 „ 130° C
Entzündungspunkt . . . . .	98 „ 154° C
Heizwert . . . . .	10473 „ 10685 Kal.
Fraktionierte Destillation bis 360° . . . . .	86,8 „ 95,3 Proz.

Das erzeugte carburierte Wassergas zeigte folgende Zusammensetzung:

Bestandteil	März 1907	April 1907
Kohlensäure (CO <sub>2</sub> ) . . . . .	4,60 Vol.-Proz.	4,34 Vol.-Proz.
Schwere Kohlenwasserstoffe (C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> ). . . . .	9,25 „	9,81 „
Sauerstoff (O <sub>2</sub> ) . . . . .	0,30 „	0,38 „
Kohlenoxyd (CO) . . . . .	31,20 „	31,44 „
Sumpfgas (CH <sub>4</sub> ) . . . . .	17,95 „	17,50 „
Wasserstoff (H <sub>2</sub> ) . . . . .	31,71 „	23,88 „
Stickstoff (N <sub>2</sub> ) . . . . .	4,99 „	3,65 „
Heizwert, unterer bei 0° . . . . .	5069	5129
Leuchtkraft . . . . .	18,49 HK	19,39 HK
Spezifisches Gewicht . . . . .	0,64	—
Koksverbrauch pro Kubikmeter bei 0° . . . . .	0,6707 kg	0,6433 kg
Ölverbrauch pro Kubikmeter bei 0° . . . . .	0,4483 „	0,4586 „
Temperatur im Carburatorunterteil . . . . .	680° C	700° C

Teodorowicz hat auch die Vergasung von Rohöl erprobt von nachstehenden Eigenschaften:

Fraktionierte Destillation bis 150° C . . . . .	12,15 Proz.
„ „ „ 300° C . . . . .	34,55 „
„ „ „ 350° C . . . . .	45,00 „
Rest . . . . .	8,3 „
Unterer Heizwert . . . . .	10 578 Kal.

Das daraus erzeugte Gas hatte nachstehende Zusammensetzung:

Kohlensäure (CO <sub>2</sub> ) . . . . .	4,27 Vol.-Proz.
Schwere Kohlenwasserstoffe (C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> ). . . . .	10,24 „
Sauerstoff (O <sub>2</sub> ) . . . . .	0,45 „
Kohlenoxyd (CO) . . . . .	34,34 „
Sumpfgas (CH <sub>4</sub> ) . . . . .	16,51 „
Wasserstoff (H <sub>2</sub> ) . . . . .	31,38 „
Stickstoff (N <sub>2</sub> ) . . . . .	6,81 „
Leuchtkraft . . . . .	18,4 HK
Spezifisches Gewicht . . . . .	0,69
Schwefel in 100 m <sup>3</sup> Gas . . . . .	106,4 g
Koksverbrauch pro Kubikmeter (0°) . . . . .	0,5845 kg
Rohölverbrauch pro Kubikmeter (0°) . . . . .	0,4698 „
Temperatur im Carburator zu Beginn des Gasens	728°
„ zu Ende des Gasens . . . . .	725°

Der Rohölverbrauch ist also nur unbedeutend höher als der Verbrauch an richtigem Carburieröl. Daher kommt die Vergasung von Rohöl an jenen Stellen, wo dieses billig erhältlich ist, recht wohl in Betracht. Allerdings muß man beachten, daß dasselbe von dem oft darin enthaltenen Sande

<sup>1)</sup> Verwendung galizischer Petroleumöle zur Herstellung carburierten Wassergases; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 301; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 637.

filtriert werden muß, oder aber daß man den Sand in genügend großen Behältern absitzen läßt. Ebenso ist das Rohöl häufig mit beträchtlichen Mengen von Wasser vermischt, welche natürlich die Steine des Carburators beim Einspritzen rasch zerstören. Doch ist ein Ersatz dieser Steine bequem auszuführen, so daß dies keine große Rolle spielt.

Der Grad, wie weit die Zersetzung der Öldämpfe fortschreitet, hängt im wesentlichen davon ab, auf welche Temperatur dieselben erhitzt werden und wie lange dieselben in Berührung mit den heißen Flächen des Überhitzers bleiben. Ist die Überhitzung eine lange dauernde und die Temperatur eine verhältnismäßig hohe, so wird eine geringere Menge dickflüssigeren Teeres erzielt, während bei kurzer Erhitzung oder bei Erhitzung auf geringere Temperatur ein sehr dünnflüssiger Teer erhalten wird. Natürlich hängt auch die Menge des Teeres und die Qualität desselben von der Art des angewendeten Öles ab. Im Durchschnitt werden zwischen 20 und 30 Proz. des vergastem Öles als Teer wiedergewonnen. Unter allen Umständen ist der Teer dünnflüssiger als der Steinkohlenteer. Er ist nur wenig schwerer als Wasser und kann unter Umständen, wenn die Erhitzung der Öldämpfe eine sehr geringe ist, auch leichter als Wasser sein, so daß er dann auf demselben schwimmt.

Zwarg<sup>1)</sup> fand die Zusammensetzung des Wassergasteeres wie folgt:

Wasser . . . . .	1,0 Proz.
Leichtöle, bis 170 <sup>o</sup> destillierend . . . . .	6,5 "
Mittelöle, " 230 <sup>o</sup> " . . . . .	9,0 "
Schweröle, " 270 <sup>o</sup> " . . . . .	18,5 "
Anthracenöle . . . . .	42,0 "
Spezifisches Gewicht . . . . .	1,068

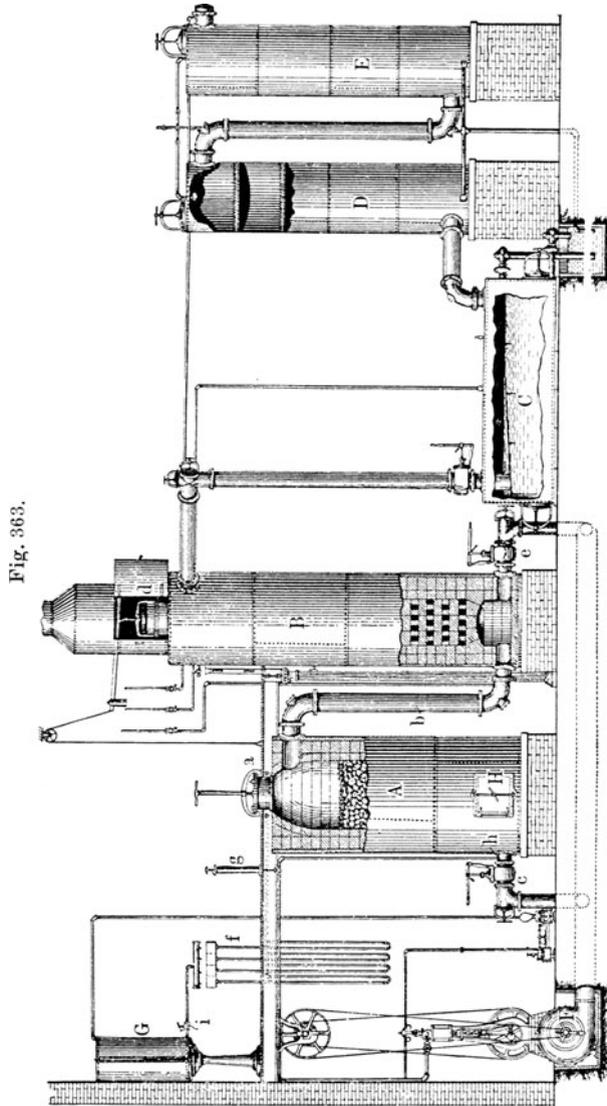
Der Wassergasteer ist übrigens recht gut für die Naphtalinwäsche (S. 435) verwendbar, da er 25 bis 30 Proz. Naphtalin zu lösen vermag, und kann auch vorzüglich zum Dieselmotorenbetrieb verwendet werden, da er dünnflüssiger ist als Steinkohlenteer. Gewöhnlich wird er aber dem Steinkohlengasteer einfach beigemischt.

Zum Zwecke der richtigen Zersetzung der Öldämpfe ist es notwendig, im Überhitzer eine ganz bestimmte Temperatur einzuhalten. Erhitzt man nicht hoch oder nicht lange genug, so werden die Öldämpfe nicht genügend weitgehend zersetzt und man erhält eine zu große Menge von Teer und eine zu geringe Ausbeute an Ölgas, so daß dadurch der Carburationswert sinkt. Ist dagegen die Überhitzung eine zu hohe, so wird ein dickflüssiger Teer oder sogar Kohlenstoff, der sich als staubförmiges Pulver ausscheidet, erhalten. Dieser kann binnen kurzem die Gasabgangsleitungen verstopfen, so daß eine so weitgehende Zersetzung schon aus diesem Grunde vermieden werden muß. Aber auch für die Carburation selbst ist eine weitgehende Zersetzung nicht zweckmäßig, weil sonst die Kohlenwasserstoffe, welche eben zur Carburation des Wassergases dienen, zersetzt werden. Im allgemeinen ist die Temperatur im Überhitzer zwischen 700 und 750<sup>o</sup> zu halten. Natürlich ist die richtigste Temperatur für jeden Generator und für jedes Öl besonders zu bestimmen. Die günstigsten Temperaturen liegen aber meistens zwischen den angegebenen Grenzen.

Eine gute Kontrolle über die Einhaltung der richtigen Temperatur ist dadurch gegeben, daß man den Teer auf seine Konsistenz prüft. Es erfolgt

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 837; vgl. auch Deau u. Dowus, Journ. of Ind. and Eng. Chem. 1911, S. 108; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1164.

dies am raschesten und sichersten, wenn man aus einem Probegahn, der direkt an dem Überhitzer angebracht ist, das diesen verlassende Gas unter dem vollen Gasdruck auf ein weißes Blatt Papier strömen läßt. Die Teerdämpfe verdichten sich beim Austreten des Gases an die Luft sofort zu Teernebeln



und diese schlagen sich am Papier nieder. Ist die Überhitzung eine zu geringe, so erhält man einen öligen gelblichen Fleck. Ist die Überhitzung dagegen eine zu starke, so scheidet sich ein schmieriger, brauner Teer in Form von Klumpen auf dem Papier ab. Die richtige Überhitzung ist dann gegeben, wenn sich der braune Teer auf dem Papier fingerförmig auseinanderebreitet, was ein Zeichen dafür ist, daß er noch dünnflüssig ist. Bei allzu

starker Erhitzung kann es vorkommen, daß sich auf dem Probepapier Kohlenstoff in Form eines schwarzen Pulvers abscheidet, welches vom Papier weggeblasen werden kann. Dies zeigt natürlich eine viel zu starke Überhitzung der Teerdämpfe an.

Wir wollen nun die Apparate kennen lernen, welche zur Erzeugung des ölcarburierten (heißcarburierten) Wassergases dienen.

Die ersten derartigen Apparate sind von Lowe in Amerika eingeführt worden. Einen von Granger verbesserten Loweschen Apparat sehen wir in Fig. 363. Er besteht aus dem Generator *A*, welcher durch die luftdicht verschließbare Füllöffnung *a* mit Anthracit oder Koks beschickt wird. Das Warmblasen erfolgt durch Gebläseluft, welche durch den mittels eines Dampfmotors betriebenen Ventilator *F* geliefert wird. Ein Sekundärluftstrom wird bei *e* eingeführt. Dieser bewirkt die Verbrennung des Generatorgases, dessen Flamme den mit feuerfesten Steinen ausgesetzten Regenerator *B* beheizt. Die Verbrennungsgase entweichen durch eine mittels einer Klappe verschließbare Öffnung *d* in den Schornstein. Sobald sich die Steine im Regenerator in gehöriger Glut befinden, wird die Primärluft und Sekundärluft bei *c* und *e* abgestellt und die Schornsteinklappe geschlossen, worauf die Gaserzeugung beginnen kann. Zu diesem Zwecke wird in den Unterteil des Generators Dampf eingeblasen, welcher sich in Wassergas umsetzt. Gleichzeitig läßt man von dem Gefäße *G* aus das Mineralöl durch eine Anzahl von Verteilungsrohren einfließen, welche dasselbe an mehreren Stellen in den oberen Teil des Generators eintreten lassen. Hier verdampft das Mineralöl und die Dämpfe gelangen, gemischt mit dem heißen Wassergase in den hochoverhitzten Regenerator, wo sie fixiert, d. h. in niedrige Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden. Da die Schornsteinklappe verschlossen ist, muß das entstandene carburierte Wassergas in das seitliche Ableitungsrohr und durch eine Vorlage entweichen. Hier scheiden sich die am schwersten flüchtigen Anteile des Teeres ab. Gleichzeitig ist in der Vorlage eine Wassertauchung vorhanden, so daß beim Unterbrechen der Gaseperiode das Gas aus dem Behälter nicht zurücktreten kann. Der Rest des Teeres wird in zwei mit Wasser berieselten Wäschern *D* und *E* zur Abscheidung gebracht.

Entsprechende Hebelübersetzungen gestatten es, sämtliche Ventile von der Arbeitsbühne aus zu steuern, wo auch eine Manometertafel zur Beobachtung der Drucke im Regenerator, in der Vorlage und in den Wäschern angebracht ist.

Bei diesem Apparate wird also das Wassergas im Generator immer durch Dampfleinleiten von unten erzeugt. Es kann dabei leicht vorkommen, daß das Brennmaterial über dem Rost zu stark gekühlt wird und daß dann eine schlechte Dampfzersetzung die Folge ist. Um dies zu vermeiden, verwendet man in neuerer Zeit Generatoren für die Erzeugung ölcarburierten Wassergases, bei welchen entweder abwechselnd von oben und von unten oder aber nur von oben gegast wird. Das erstere, nämlich das abwechselnde Gassen von oben und unten, ist bei dem System der Fall, welches sich am europäischen Kontinent in der ausgedehntesten Weise eingeführt hat. Es ist dies das sogenannte Doppelüberhitzersystem von Humphrey u. Glasgow. Dieses ist in Fig. 364 dargestellt. Bei diesem wird das Öl nicht in den Generator auf den glühenden Koks, sondern in einen besonderen Verdampfer, auch Carburator genannt, eingespritzt. Generator und Carburator stehen in gleicher Höhe und werden beide von einer darüber gelegenen Arbeitsbühne aus bedient.

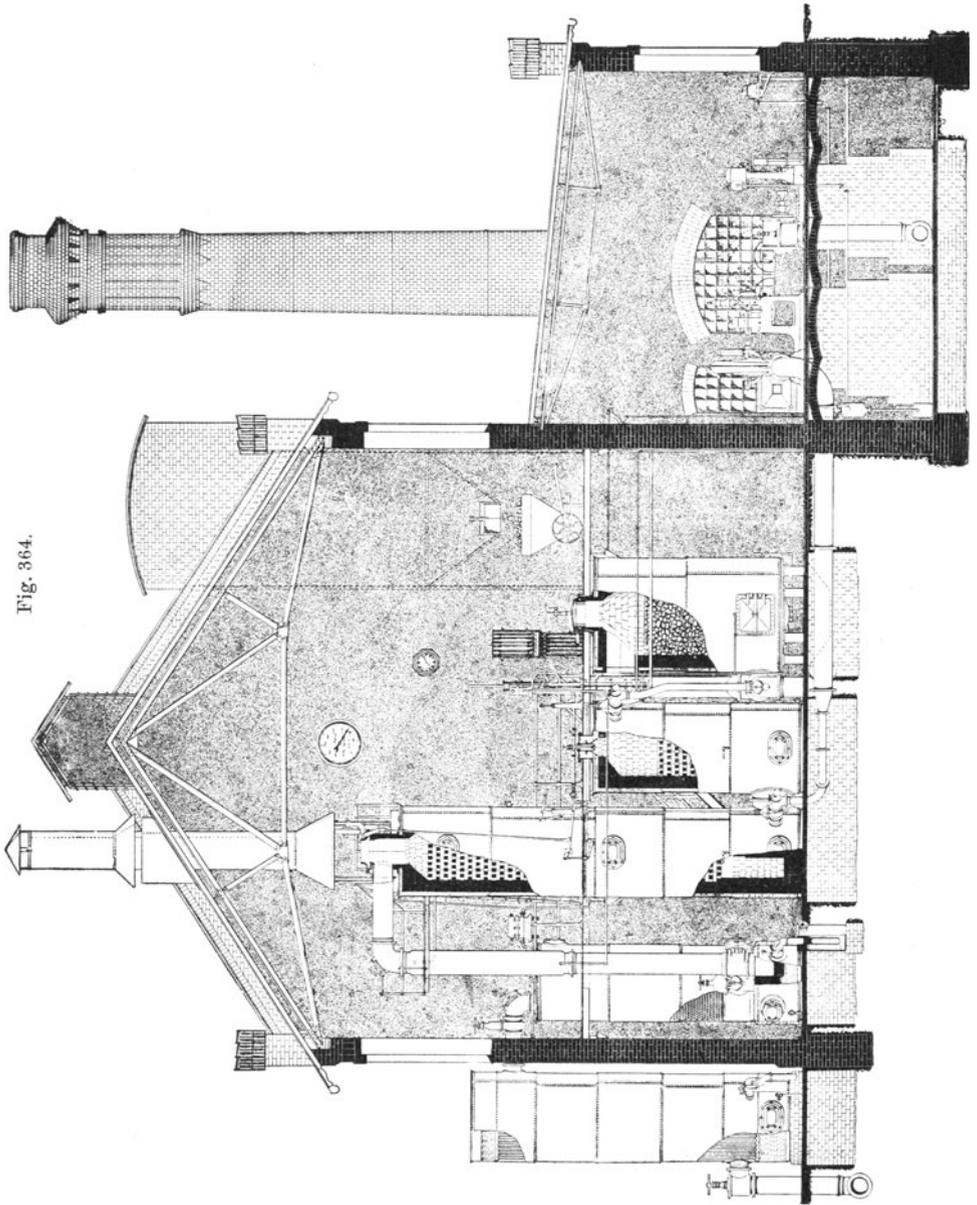


Fig. 364.

Der Koks wird in einem über der Arbeitsbühne gelegenen Bunker aufgespeichert und gelangt durch eine Auslaufschurre in den konischen Füllwagen. Dieser wird über den Mortonverschluß des Generators gefahren und letzterer durch Seitwärtsdrehen geöffnet. Durch Öffnen der Bodenklappe des konischen Füllwagens gelangt der Koks in den Generator. Der Generator besitzt unten ebenso wie wir dies bei den Dellwikschen Anlagen für uncarburiertes Gas kennen gelernt haben, eine Luftzufuhr. Das Warmblasen erfolgt mit Hilfe eines Ventilators, der von einer Dampfturbine angetrieben wird. Ein in einem Nebengebäude befindlicher Dampfkessel liefert den Dampf hierzu. Das Generatorgas entweicht am Oberteil des Generators durch einen mit Wasser gekühlten Schieber in den mit Schamottesteinen ausgesetzten Carburator. Hier wird aus der Gebläseleitung Sekundärluft eingeblasen und die sich entwickelnde Flamme beheizt den Carburator. Die Zufuhr des Sekundärwindes erfolgt jedoch nur in dem Maße, daß nur ein Teil des Generatorgases verbrennt, während ein Teil des Kohlenoxyds durch den Carburator unverbrannt hindurchgeht. Dieser gelangt dann erst in dem Überhitzer zur Verbrennung, indem dort an der Unterseite nochmals Luft eingeblasen wird. Auf diese Weise ist es möglich, den Überhitzer auf die erforderliche Temperatur zu bringen, ohne den Carburator zu heiß zu machen. Die Abgase entweichen bei geöffneter Schornsteinklappe durch einen unten trichterförmig erweiterten Schornstein über Dach.

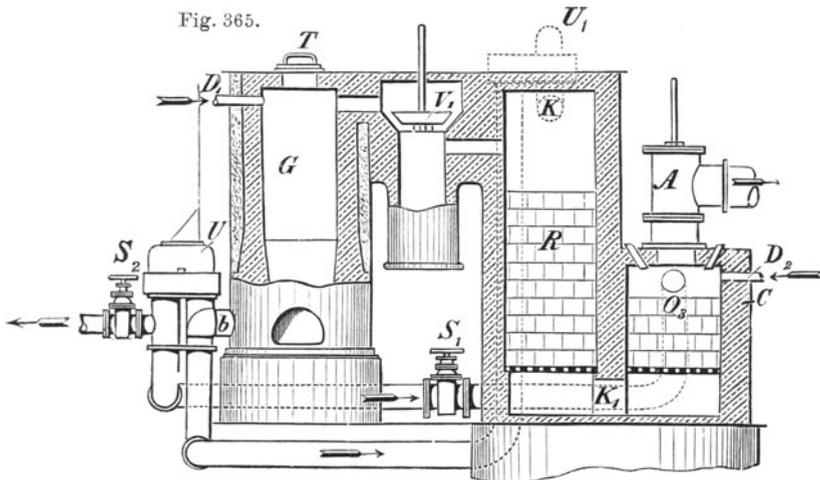
Ist das Warmblasen vollendet, so wird die Schornsteinklappe geschlossen und in den Generator Dampf eingeblasen. Der Dampf kann nun abwechselnd von oben oder von unten eingeblasen werden. Dementsprechend entweicht das erzeugte Wassergas entweder durch einen besonderen Gasabgang, welcher am Unterteil des Generators angebracht ist, oder aber durch den Gasaustritt aus dem Oberteil des Generators, durch welchen beim Warmblasen das Generatorgas in den Carburator gelangt ist. Wird dagegen die Gaserzeugung durch Einblasen des Dampfes von oben vorgenommen, so entweicht das Gas aus dem Unterteil des Generators durch ein vertikal nach aufwärts führendes Rohr zum Carburator. Beide Gasauflüsse sind durch Schieber verschließbar, welche derart miteinander gekuppelt sind, daß stets der eine geschlossen ist, wenn der andere geöffnet ist. Im Carburator wird durch eine besondere Ölaufbevorrichtung das Öl eingespritzt. Es sind dort im Kreise bewegliche Rohrarne vorhanden, welche das Öl bei der Drehung an verschiedenen Stellen des Schamottemauerwerkes aufspritzen, so daß nicht einzelne Stellen zu stark abgekühlt werden. Um das Öl in genügend dünnflüssiger Form aufzubringen, ist es zweckmäßig, eine Vorwärmung desselben vorzunehmen. Dies geschieht in vielen Anlagen dadurch, daß das aus dem Überhitzer kommende Gasabgangsrohr mit einer konzentrischen Hülle umgeben ist, durch welche das dem Carburator zuffießende Öl vorgewärmt wird. Das Öl wird durch einen Ölmesser gemessen, welcher in ähnlicher Weise konstruiert ist wie die Wassermesser. Man ist dadurch in der Lage, bei jeder Gaseperiode eine ganz bestimmte Menge Öl zuffießen zu lassen, um die Carburierung auf den gewünschten Grad zu bringen. Die im Carburator entstehenden Öldämpfe gelangen gemischt mit dem aus dem Generator kommenden Wassergas in den Überhitzer, wo sie auf eine solche Temperatur gebracht werden, daß eben eine vollständige Zersetzung der Öldämpfe ohne Ausscheidung von Kohlenstoff stattfindet. Das fertige carburierte Wassergas entweicht unterhalb der Schornsteinklappe aus

dem Oberteil des Wassergasapparates zum Skrubber. Die Ventile sind alle von der Arbeitsbühne aus zu betätigen und sind in der Weise miteinander verriegelt, daß eine falsche Stellung ausgeschlossen erscheint. In die Windleitung ist bei diesen Anlagen gewöhnlich noch eine Explosionsklappe eingeschaltet, d. i. eine größere Öffnung, welche durch eine darüber gespannte Membrane abgeschlossen ist, so daß bei etwaigen Zündungen, welche durch Eintreten von Gasen in die Windleitung zufolge undichter Schieber vorkommen könnten, die Explosionen sich durch diesen Sicherheitsverschluß Luft machen können, ohne weiter schädlich zu wirken.

Auch die Dellwik-Fleischerschen Wassergasapparate, die ursprünglich nur zur Erzeugung von uncarburiertem Wassergas dienten, sind später für die Erzeugung von ölcaburiertem Wassergas eingerichtet worden. Bei diesen ist ja das abwechselnde Gasen von oben und unten ohnedies üblich gewesen, so daß an den Generator, den wir bereits auf S. 843 kennen gelernt haben, nur ein Verdampfer und ein Überhitzer angeschlossen werden muß und die entsprechenden Zuleitungen von Sekundärwind angebracht werden müssen, um zu dem gleichen Verfahren zu gelangen wie nach Humphrey u. Glasgow. In ganz ähnlicher Weise arbeitet auch der Wassergasapparat von Cuttler, der vornehmlich in England, aber auch in einigen Werken am Kontinent ausgeführt wurde.

Diese Wassergasapparate sind bis zu einer üblichen Größe von 750 m<sup>3</sup> Stundenleistung ausgeführt worden. Da jedoch in neuerer Zeit zur Erweiterung von Gaswerken noch größere Typen der Generatoren verlangt wurden, so hat man sich entschlossen, zwei Generatoren an ein einziges System von Verdampfer und Überhitzer anzubauen. Dies ist sowohl bei den Generatoren nach Humphrey u. Glasgow, als auch bei den Generatoren von Dellwik-Fleischer durchgeführt worden. Man gelangt dann auf eine stündliche Leistungsfähigkeit von 1500 m<sup>3</sup> ölcaburierten Wassergases. Diese Anordnung ist jedoch keine glückliche. Wir werden bei Besprechung der Dampfschlußmelderanlagen (S. 910) sehen, daß es notwendig ist, eine bestimmte Temperatur im Generator einzuhalten, wenn man auf eine günstige Ausbeute rechnen will, wie wir dies ja schon auf S. 806 kennen gelernt haben. Wenn aber zwei Generatoren gleichmäßig parallel warmgeblasen werden, so hängt es von dem Grade der Verschlackung der Generatoren ab, ob in den einen oder den anderen Generator mehr Wind eintritt, ob also der eine oder der andere heißer wird. Wenn dann durch die Generatoren Dampf hindurchgeleitet wird, so ist die Zersetzung in dem einen Generator eine andere als in dem anderen und der kältere Generator hat dann durch schlechte Dampferzersetzung einen großen Wärmeverlust, während der wärmere Generator beim Warmblasen einen schlechten Nutzeffekt durch Bildung von zu großen Mengen von Kohlenoxyd liefert. Man hat dem zwar dadurch abzuhelpen versucht, daß man beim Gasen den Dampf nicht parallel durch beide Generatoren schickt, sondern die beiden Generatoren hintereinander schaltete, so daß der Dampf, welcher den einen Generator passiert hat, auch noch den anderen durchstreichen muß. Auch hierbei läßt sich jedoch eine so gleichmäßige Dampferzersetzung, wie dies bei einem einfachen Generator möglich ist, nicht erzielen, weil die Temperaturen, welche in den beiden Generatoren herrschen, nicht so genau überwacht werden können.

Ein Apparat für Ölcarburierung, der vom Verfasser angegeben wurde, und bei dem sowohl im Generator, als auch im Überhitzer das Gegenstromprinzip streng eingehalten ist, ist in Fig. 365 dargestellt. Den Vorteil des Gegenstromes im Generator haben wir bereits auf S. 811 erläutert. Jedoch auch bei der Fixierung der Öldämpfe im Überhitzer ist das Gegenstromprinzip von Wert. Es wird nämlich dabei eine allmähliche Überhitzung der Öldämpfe erzielt, während bei den anderen obengenannten Apparaten das Öl an der heißesten Stelle des Verdampfers einfließt und an der kältesten Stelle den Verdampfer verläßt, dann wieder im Überhitzer zunächst auf die heißeste Stelle trifft und denselben ebenfalls an der kältesten Stelle verläßt. Durch Einhaltung des Gegenstromes kann man mit einer geringeren Wärmemenge auskommen und braucht auch nur eine geringere Temperatur, so daß die Zersetzung der Öldämpfe zu Kohlenstoff hier sicherer vermieden wird.



Der Apparat besteht aus dem Generator  $G$ , welcher von der Tür  $T$  aus mit Koks gefüllt wird und durch den Umschalter  $U$  den Wind zum Warmblasen empfängt, dem Regenerator  $R$  und dem Verdampfer  $C$ . Während des Warmblasens ist das zwischen Generator und Regenerator angebrachte Ventil  $V_1$  geöffnet, so daß das im Generator befindliche Generatorgas in den Regenerator eintreten kann. Hier wird dieses durch bei  $K$  eintretende Sekundärluft verbrannt, wodurch die Füllsteine des Regenerators zum Glühen gebracht und auch die des Verdampfers  $C$  erhitzt werden. Die Abgase entweichen durch das Abgasventil  $A$  zum Schornstein. Beim darauffolgenden Gasen wird das Abgasventil sowie das Ventil  $V_1$  geschlossen, der Umschalter  $U$  so gestellt, daß das hier austretende Wassergas durch ein Rohr zum Verdampfer  $C$  zu strömen gezwungen ist und der Umschalter  $U_1$  so gestellt, daß der eintretende Sekundärwind nicht abgeschlossen, dagegen die Verbindung mit dem Austritt des carburierten Gases in den hier anzuschließenden Teerabscheider und zum Kühler hergestellt ist. Nun wird bei  $D_1$  in den Obertheil des Generators Dampf eingeblasen, dieser tritt in Wassergas verwandelt durch den Umschalter  $U$  und durch das Verbindungsrohr in den Verdampfer  $C$ . Hier werden durch Düsen Mineralölrückstände eingespritzt, das Öl verdampft

und dieser Dampf passiert, gemischt mit dem Wassergase, den Regenerator, der die Öldämpfe vergast (fixiert). Das so carburierte Wassergas entweicht durch den Umschalter  $U_1$  in die Leitung zum Teerscheider.

In diesem Apparat kann auch mit Vorteil uncarburiertes Wassergas erzeugt werden. Dann dient die im Überhitzer  $R$  und im Verdampfer  $C$  aufgespeicherte Wärmemenge zur Überhitzung des Dampfes. Zu diesem Zwecke wird zunächst der Schieber  $S_1$  geschlossen und der Gasaustritt zum Skrubber  $S_2$  geöffnet. Das Ventil  $V_1$  bleibt dann auch während des Gasens geöffnet und nun wird der Dampf nicht in den Generator bei  $D_1$ , sondern in den Verdampfer bei  $D_2$  eingeleitet. Verdampfer und Regenerator dienen jetzt als Dampfüberhitzer und das uncarburierte Wassergas entweicht bei  $S_2$  in den Skrubber.

Obwohl die Anwendung des Gegenstromes im allgemeinen einen Vorteil bedeutet, so ist hier doch auch eine nachteilige Wirkung desselben zu bemerken. Der Verdampfer kühlt nämlich an der Stelle, wo das Öl eingespritzt wird, ab und bleiben dann Reste unverdampften Öles auf den Schamottesteinen. Beim darauffolgenden Warmblasen verdampfen diese Ölrreste und ergeben einen wenn auch geringen Ölverlust. Die Unannehmlichkeit, welche dadurch hervorgerufen wird, liegt jedoch hauptsächlich in der Entwicklung eines beträchtlichen Rauches beim Warmblasen. Bei den früher genannten Apparaten, wo nicht im Gegenstrom gearbeitet wird, werden hingegen diese Öldämpfe durch das Einblasen des Sekundärwindes verbrannt. Man kann jedoch diese nachteilige Wirkung der Anwendung des Gegenstromes dadurch vermeiden, daß man einen Verdampfer anwendet, wie wir ihn bereits auf S. 848 kennen gelernt haben. Bei diesem läßt man das Öl in die heißen Rohre einfließen und es verdampft dort. Die Menge von Öl, welche in den schmiedeeisernen Rohren nach Beendigung der Gaseperiode zurückbleibt, ist gering und außerdem wird der beim darauffolgenden Warmblasen durch die Verdampfung der Reste des Öles erzeugte Öldampf besonders aufgefangen, so daß er nicht in den Schornstein gelangen kann.

An Stelle des Ventiles  $V_1$ , welches zufolge des Herüberkommens von Flugasche aus dem Generator nie einen vollständig dichten Abschluß gewährleistet, verwendet man zweckmäßig mit Wasser gekühlte Schieber in der Art, wie sie beim Hochofenbetriebe üblich sind. Übrigens bewirkt ein nicht vollständig dicht schließender Schieber an dieser Stelle keinen Verlust von Gas, sondern es tritt dann bloß etwas Dampf durch die undichte Stelle hindurch, und zwar so viel, als der Druckdifferenz zwischen Generator  $G$  und Überhitzer  $R$  entspricht. Diese Druckdifferenz ist aber sehr gering, weil sie nur durch den Widerstand der Brennmaterialsäule und des Überhitzermauerwerkes hervorgerufen ist. Beim Warmblasen ist dieser Widerstand ein verhältnismäßig höherer, beim Gasen hingegen ist er verschwindend klein.

Das aus den Generatoren austretende ölcarburierte Wassergas passiert zunächst einen Skrubber mit Koks- oder Holzchordeneinlagen (vgl. S. 427 bis 430), die ähnlich gebaut sein können wie beim uncarburierten Wassergas (S. 863). In diesen wird das Gas gewaschen, wobei die größte Menge des Teeres kondensiert wird, der mit dem Skrubberwasser abfließt. Der Rest des Teeres kondensiert sich in einem daran geschlossenen Kühler, am besten einem Kühler System Reutter (S. 415), der in gleichen Dimensionen zu wählen ist, wie die Kühler für Steinkohlengas (S. 415). Soll vollständig reines

Gas erzeugt werden, so wird noch ein Teerscheider (S. 416) angeschlossen. Das Gas kann dann der weiteren Verwendung zugeführt werden. Wird das Gas dem Steinkohlengas zugesetzt, so ist ein besonderer Teerscheider nicht nötig und erfolgt auch die Reinigung vom Schwefelwasserstoff gewöhnlich gleichzeitig mit dem Steinkohlengas. Anderenfalls, oder wenn die Reinigungsanlage der Steinkohlengaserzeugung hierzu nicht ausreicht, so erfolgt die Entfernung des Schwefelwasserstoffs aus dem Gase in derselben Weise, wie wir dies bei der Reinigung des Steinkohlengases (S. 444) kennen gelernt haben.

Zur Erzeugung des ölcarburierten Wassergases in allen den genannten Apparaten sind bei Anwendung eines Koksens von 85 Proz. Kohlenstoffgehalt 0,6 kg Koks erforderlich und die Ölmenge richtet sich nach dem Carburationsgrade, den man im Wassergase erreichen will. Heute wird dieser Carburationsgrad ausschließlich dem Heizwerte des zu erzeugenden Gases angepaßt. Erzeugt man z. B. ein Gas von 5000 Kal. oberem Heizwert (0°, trocken), so stellt sich dann die Rechnung wie folgt:

Bezeichnen wir mit  $y$  den oberen Heizwert des carburierten Wassergases bei 0°, mit  $z$  die Gramme Öl, welche pro  $1 \text{ m}^3$  carburierten Wassergases aufgewendet werden und mit  $m$  die Wärmeausbeute, welche aus  $1 \text{ g}$  Öl in Gasform erhalten wird (diese ist für die meisten Öle mit 7,5 Kal. anzunehmen, da von den 10 Kal. der Verbrennungswärme des Öles 25 Proz. in Form von Teer unvergast bleiben), ferner mit  $a$  die Liter Ölgas, welche aus  $1 \text{ g}$  des Öles gewonnen werden, so entstehen dann bei der Vergasung des Öles  $\frac{az}{1000} \text{ m}^3$  Ölgas mit  $mz$  Kal. Heizwert. Um also  $1 \text{ m}^3$  ölcarburiertes Wassergas zu erhalten, müssen an uncarburiertem Wassergas erzeugt werden:

$$1 - \frac{za}{1000} \text{ m}^3,$$

welche einen Heizwert besitzen von

$$2900 \left( 1 - \frac{za}{1000} \right) \text{ Kal.}$$

Der gesamte Heizwert des carburierten Wassergases ist also gleich der Summe der Heizwerte des Öl-gases und des uncarburierten Wassergases, nämlich:

$$y = mz + 2900 \left( 1 - \frac{za}{1000} \right) \text{ Kal.}$$

Daraus berechnet sich:

$$z = \frac{y - 2900}{m - 2,9a}.$$

Nehmen wir an, daß aus  $1 \text{ g}$  Öl 0,6 Liter Ölgas entstehen, so ergibt sich:

$$z = \frac{y - 2900}{m - 1,74},$$

und wenn die Wärmeausbeute  $m$  aus  $1 \text{ g}$  Öl zu 7,50 Kal. angenommen wird, so ergibt sich:

$$z = \frac{y - 2900}{7,50 - 1,74} = \frac{y - 2900}{5,76}.$$

Will man z. B. ein carburiertes Wassergas von 5000 Kal. oberem Heizwert bei 0° erzeugen, so ergibt sich der Ölzusatz:

$$z = \frac{5000 - 2900}{5,76} = 366 \text{ g Öl.}$$

In den meisten Werken, welche das ölcarburierte Wassergas dem Steinkohlengas beimischen, wird jedoch ein Gas von geringerem Heizwert erzeugt. Das Steinkohlengas hat nämlich im allgemeinen einen höheren Heizwert als 5000 Kal. und somit kann ein Wassergas von geringerem Heizwert zugesetzt werden, um ein Mischgas von 5000 Kal. zu erhalten.

So z. B. wurden in Charlottenburg im Jahre 1909 im Durchschnitt des Jahresbetriebes pro 1 m<sup>3</sup> carburierten Wassergases 0,642 kg Koks und 0,125 kg Öl verbraucht. In Wien und Berlin ist der Verbrauch an Koks ein höherer, weil hier Doppelgeneratoren zur Anwendung gelangen, welche die schon auf S. 894 bemerkten Übelstände besitzen. In Wien betrug der Verbrauch 0,867 kg Koks und 0,247 kg Öl, in Berlin 0,833 kg Koks und 0,167 kg Öl. Dazu ist noch der Koksverbrauch in den Dampfkesseln zu rechnen (vgl. S. 860), welcher in Charlottenburg 0,381 kg, in Wien 0,276 kg pro Kubikmeter ölcarburierten Wassergases betrug.

Die Kosten des ölcarburierten Wassergases sind natürlich wesentlich höhere als die Kosten des uncarburierten Gases; besonders in Deutschland ist die Einfuhr des Mineralöles mit einem hohen Zoll belegt und werden dadurch die Kosten des ölcarburierten Gases höher als die des Steinkohlengases. Die Kosten werden vergleichsweise wie folgt angegeben <sup>1)</sup>:

Autoren	Literaturnachweis	Kosten des ölcarburierten Wassergases f	Kosten des Steinkohlengases f
Puchalla, Graudenz . . . . .	Journ. f. Gasbel. 1908, S. 521.	6,5	—
Menzel (Bamag, Berlin) . .	—	7,1	5,5 bis 6,0
Graefe . . . . .	Journ. f. Gasbel. 1908, S. 483.	9,75	9,42
Gaswerk Leiden (Holland) . .	Journ. f. Gasbel. 1909, S. 762, und Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 532.	5,6	4,2
Gaswerk St. Gallen (Schweiz) .	Journ. f. Gasbel. 1906, S. 739.	4,31	5,43

Bei diesem Kostenvergleich muß allerdings berücksichtigt werden, daß alle diese Kosten in Steinkohlengaswerken ermittelt wurden, welche nur eine Zusatzanlage für ölcarburiertes Wassergas verwenden. In allen diesen ist die Produktion von Steinkohlengas natürlich viel größer als die Produktion an ölcarburiertem Wassergas. Nun sind aber die Betriebskosten der Gas-erzeugung ganz im allgemeinen bei größerer Produktion wesentlich geringer

<sup>1)</sup> Über einen Vergleich der Kosten von kalt- und heißcarburiertem Wassergas siehe auch: van Rossum du Chatel, Journ. of Gaslighting 1910, S. 511; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 67.

als bei kleinerer Produktion und trifft dies besonders für Wassergasanlagen zu, da die Arbeitslöhne für größere oder kleinere Produktionen ungefähr gleich bleiben, solange die Generatoren noch nicht eine Stundenleistung von 1000 m<sup>3</sup> erreicht haben. Der Kostenvergleich würde sich also für das Wassergas günstiger stellen, wenn auf gleiche Gasproduktion gerechnet würde. Ferner kommt noch hinzu, daß die Anlagen für ölcarburiertes Wassergas gewöhnlich nicht während des ganzen Jahres gleichmäßig oder in der Weise, wie dies beim Steinkohlengase der Fall ist, ausgenutzt werden, sondern daß sie nur zeitweise im Betriebe sind, wenn viel Gas benötigt wird. Dadurch werden aber die Betriebskosten naturgemäß noch höhere, denn schon der Koksverbrauch wächst dadurch, daß die Apparate zeitweise frisch angeblasen werden müssen, ferner aber fällt dann die Verzinsung und Amortisation für die Anlage auf eine geringere Anzahl von Kubikmetern und wird infolgedessen bei ungleichmäßiger Ausnutzung verhältnismäßig hoch. Im großen ganzen kann man also sagen, daß in Deutschland bei den Ölpreisen des Jahres 1912, auf gleiche Betriebsverhältnisse gerechnet, das ölcarburierte Wassergas etwa ebensoviel kostete als das Steinkohlengas. Anders ist dies hingegen in anderen Ländern, wo ein derartiger Zoll nicht vorhanden ist. So geht z. B. schon aus obiger Tabelle hervor, daß in der Schweiz in St. Gallen das ölcarburierte Wassergas um 20 Proz. weniger kostete als das Steinkohlengas. Gleiches trifft auch für Österreich-Ungarn zu, da hier die galizischen Mineralöle zu verhältnismäßig billigem Preise zu haben sind.

Rechnet man aus den obigen Preisangaben für das ölcarburierte Wassergas auf die Kosten des uncarburierten Wassergases zurück und berücksichtigt man dabei, daß zur Carburation auf 5000 Kal. etwa 360 g Öl pro Kubikmeter erforderlich sind, so erhält man unter Annahme eines Ölpreises von 10 *M* pro 100 kg an Carburationskosten 3,6 *g* pro Kubikmeter. Zieht man diesen Betrag von den obengenannten Kosten des ölcarburierten Wassergases ab, so ist ersichtlich, daß die Kosten des uncarburierten Wassergases ganz wesentlich geringer sind als die Kosten des Steinkohlengases. Diese Berechnung ist aber noch immer zuungunsten des Wassergases, weil die Verzinsung und Amortisation der Anlagekosten einer Anlage für ölcarburiertes Gas zufolge der viel komplizierteren Apparate naturgemäß wesentlich höher sind als die Verzinsung und Amortisationsquote einer Anlage für uncarburiertes Wassergas. Schließlich muß hervorgehoben werden, daß alle Anlagen für uncarburiertes Wassergas während des ganzen Jahres ziemlich gleichmäßig betrieben werden, so daß auch dadurch die Kosten des uncarburierten Wassergases noch herabgesetzt werden. Dies sei besonders hervorgehoben, weil man häufig rundweg die Behauptung ausspricht, Wassergas lasse sich nicht billiger herstellen als Steinkohlengas, ohne zu betonen, daß dabei nur das ölcarburierte Wassergas und dies nur für deutsche Verhältnisse gemeint ist.

Eine andere Methode zur Erzeugung von carburiertem Wassergas, welche speziell für kleinere Werke geeignet ist, wurde von Dannert angegeben<sup>1)</sup>. Bei diesem Verfahren wird das Öl in einem um den Oberteil des Generators gelegten ringförmigen Verdampfer verdampft und der Öldampf gelangt in die obere Zone des glühenden Koks, während gleichzeitig beim Gasen von unten in den Generator Dampf eingeblasen wird, so daß das hierbei erzeugte

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1907, S. 1093.

Wassergasgemisch mit den Öldämpfen durch die obere Zone des Kokes streicht und sich dort in carburiertes Wassergas verwandelt. Dieses Verfahren hat wegen der Billigkeit der Anlage in einigen kleineren Städten Eingang gefunden. Pro 1 m<sup>3</sup> Gas sollen 0,9 bis 1 kg Koks und 250 bis 300 g Öl verbraucht werden. Es ist fraglich, ob es bei diesem Verfahren möglich ist, den Oberteil der Koksäule stets auf jener Temperatur zu erhalten, welche zur vollständigen Zersetzung des Öles ohne Abscheidung von Kohlenstoff erforderlich ist (vgl. S. 889).

In ähnlicher Weise arbeiten auch die sogenannten Methanwassergasanlagen, bei welchen allerdings nicht Öl, sondern Teer in der glühenden Koksäule zersetzt wird, wobei vornehmlich Methan entsteht. Eine solche Anlage mit 9000 m<sup>3</sup> Tagesleistung ist z. B. in Swindon<sup>1)</sup> ausgeführt worden. Zur Erzeugung eines Kubikmeters Gas von 3145 Kal. waren dort 0,73 kg Koks und 0,16 Liter Teer erforderlich. Ähnliche Resultate, jedoch ohne Angabe des Heizwertes wurden von der Biggs, Wall & Co., Methanwassergasanlage zu Hythe in Kent gemeldet<sup>2)</sup>. Bei diesem fließt der Teer allerdings nicht in den glühenden Koks, sondern in einen hochoverhitzten freien Raum, der durch vorspringendes Mauerwerk im Generator gebildet wird. Ebenso entsteht nach Bird<sup>3)</sup> ein mit Methan angereichertes Wassergas durch Einspritzen von Teer in ein Drittel der Höhe des Generators während des Gasens und gleichzeitiges Einspritzen von Teer in den oberen Raum über dem Koks. Die Zusammensetzung desselben war bei einem Versuche folgende:

CO <sub>2</sub> . . . . .	2,8 Proz.
O <sub>2</sub> . . . . .	0,2 "
CH <sub>4</sub> . . . . .	19,2 "
N <sub>2</sub> . . . . .	5,8 "
C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> . . . . .	0,8 "
CO . . . . .	28,8 "
H <sub>2</sub> . . . . .	42,4 "
Heizwert . . . . .	5000 Kal.
Leuchtkraft . . . . .	17 HK

Auch Doesbourgh<sup>4)</sup> empfahl ein auf ähnliche Weise entstandenes Gas, welches nach dem Verfahren von Rincker und Wolter<sup>5)</sup> erzeugt wird. Auch bei diesem wird Gasöl und Wassergasteer durch glühenden Koks im Generator zersetzt und es wird dabei folgendes Gas erhalten:

CO <sub>2</sub> . . . . .	0,2 Proz.
O <sub>2</sub> . . . . .	0,8 "
H <sub>2</sub> . . . . .	73,2 "
N <sub>2</sub> . . . . .	0,4 "
C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> . . . . .	5,2 "
CO . . . . .	12,0 "
CH <sub>4</sub> . . . . .	48,2 "
Heizwert . . . . .	4900 Kal.
Spezifisches Gewicht . . . . .	0,33

Die Kosten von 1000 m<sup>3</sup> sollen 39,3 holl. Gulden betragen. Während dort für carburiertes Wassergas 33,93 Gulden und für Steinkohlengas

<sup>1)</sup> Journ. of Gaslighting Nr. 2391, S. 97. — <sup>2)</sup> Ebend. Nr. 3319, S. 230. —

<sup>3)</sup> Gas World 1909, S. 332; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 397. — <sup>4)</sup> Chem.-Ztg., Bd. 31, S. 592; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 632. — <sup>5)</sup> Von der Residuegas-Maatschapij in Amsterdam geliefert.

40,84 Gulden Betriebskosten berechnet werden. Über eine ebensolche Anlage in Utrecht berichtete Neurdenburg<sup>1)</sup>. Auch bei dieser wurde durch Einspritzen von Wasserdampf, Gasöl und Wassergasteer auf glühenden Koks ein carburiertes Wassergas von nachstehender Zusammensetzung erhalten:

Bestandteil	Carburiertes Wassergas	Ölteergas I	Ölteergas II
CO <sub>2</sub> . . . . .	5,3	0,2	0,2
C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> . . . . .	9,2	11,6	5,2
O <sub>2</sub> . . . . .	—	0,6	9,8
CO . . . . .	29,7	2,8	12,0
H <sub>2</sub> . . . . .	36,2	46,5	73,3
CH <sub>4</sub> . . . . .	13,9	31,3	8,2
N <sub>2</sub> . . . . .	6,2	7,0	0,4
Unterer Heizwert . . . . .	4470 Kal.	5490 Kal.	—
Spezifisches Gewicht . . . . .	0,70	0,45	0,33

Die Verwendung des ölcarburierten Wassergases ist ungefähr die gleiche wie die Verwendung des Steinkohlengases. In Europa wird dasselbe allerdings nur in ganz vereinzelt Fällen (z. B. in Helsingfors in Finnland) in unvermischt Zustand abgegeben. Meistens wird das ölcarburierte Wassergas als Zusatz zum Steinkohlengas verwendet.

Die Vorzüge, welche das ölcarburierte Wassergas mit dem uncarburierten Wassergas gemein hat und die für die Errichtung von Zusatzanlagen zu den Steinkohlengasanlagen maßgeblich sind, seien im folgenden aufgezählt:

1. Die Wassergasanlage ist stets betriebsbereit und kann je nach Größe und Ausführung der Anlage innerhalb einer halben Stunde bis zu vier Stunden nach Beginn des ersten Warmblasens in Betrieb genommen werden. Sie ermöglicht also eine rasche Gasproduktion, sobald der Gasvorrat zu gering geworden ist.

2. Die Wassergasanlage hat einen viel geringeren Platzbedarf als eine Steinkohlengasanlage gleicher Leistungsfähigkeit und sie ist auch in den Anlagekosten nicht unbeträchtlich billiger. Beides hat zur Folge, daß bei der Erweiterung von Steinkohlengasanlagen, die schon an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit angekommen sind, mit großem Vorteile Wassergaszusatzanlagen zur Ergänzung errichtet werden.

3. Vermittelst der Wassergasanlagen kann der im Gaswerke erzeugte Koks in Gas verwandelt werden und es wird somit ein Nebenprodukt verarbeitet, welches in den Steinkohlengaswerken zu Zeiten des schlechten Koksabsatzes unangenehm ist. Gleichzeitig ist durch die Verarbeitung des Kokses im eigenen Werke ein Einfluß auf die Preisregulierung des Kokses gegeben. Eventuell kann auch der ganze Koks auf Wassergas verarbeitet und dieses durch ein besonderes Rohrnetz als Heizgas abgegeben werden.

4. Die Bedienung der Wassergasanlagen ist keine schwere Arbeit und kann im Bedarfsfalle auch von Ingenieuren und Beamten unter Zuziehung einiger Handlanger durchgeführt werden, so daß die Wassergasanlagen eine Reserve gegen Streik der Arbeiterschaft darstellen.

<sup>1)</sup> Het Gas 1909, S. 363; Gas World Nr. 1211, S. 283; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 17 und 1909, S. 789.

5. Der Schwefelgehalt des Wassergases ist wesentlich geringer als der des Steinkohlengases.

6. Das Wassergas enthält nur Spuren von Naphtalin und bewirkt somit umgekehrt ein Auflösen des Naphtalins aus dem Rohrnetze.

Wir wollen nun im folgenden die Maßregeln besprechen, welche notwendig sind, um die Temperatur eines Wassergasgenerators, einerlei ob derselbe zur Erzeugung von uncarburiertem oder von carburiertem Gase dient, auf jener Höhe zu halten, welche die günstigste Ausbeute gewährleistet.

Die Erzeugung von Wassergas, wie sie gewöhnlich geübt wird, leidet an dem Übelstande, daß dieselbe im praktischen Betriebe nicht dauernd gleichmäßig mit guter Ausbeute erhalten werden kann, daß der Gehalt des Gases an Kohlensäure und unzersetztem Dampf ein hoher und der Heizwert gering ist. Man ist über die im Generator herrschende Temperatur und über die Verteilung derselben innerhalb des Generators nicht unterrichtet und ebensowenig kann man beurteilen, ob der eingeblasene Dampf und inwieweit derselbe tatsächlich in Wassergas umgesetzt wird. Die Betriebsvorschriften lauten meist auf Angabe eines bestimmten Winddruckes, manchmal auf einen innerhalb des Generators einzuhaltenden Druck des entstandenen Gases und setzen die Zeit fest, während welcher gegast und geblasen werden soll.

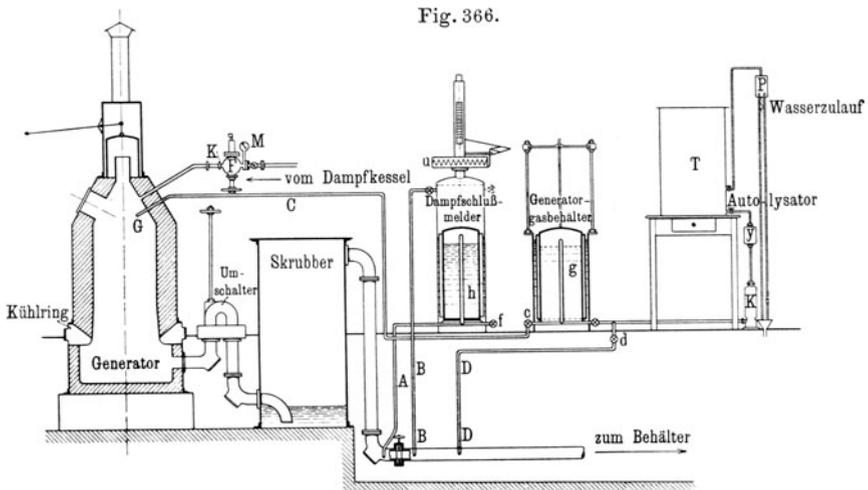
Es ist wohl erklärlich, daß derartige Vorschriften zu durchaus verschiedenen Resultaten führen müssen, je nachdem der Widerstand der Brennstoffsäule, der dem eintretenden Winde, dem Dampf und dem erzeugten Gase entgegensteht, größer oder geringer ist. Sieht man auch von dem wechselnden Widerstand und den hierdurch hervorgerufenen Abweichungen ab, so ist doch durch die Angabe der Dauer des Gasens und Blasens der Wärmezustand des Generators nicht charakterisiert, da derselbe von einem unbekanntem, durch allerlei zufällige Umstände bedingten Anfangszustand abhängt. Es liegt somit das Bedürfnis vor, ein Maß für die jeweilige im Generator herrschende Temperatur und ein Maß für die Vollkommenheit der Dampfzersetzung zu haben. Die in letzter Beziehung häufig verwendete Probeflamme, aus deren Länge man erkennen kann, ob dem Gase eine größere oder geringere Menge von unzersetztem Dampf beigemischt ist, ist nur ein sehr dürftiger Notbehelf, da diese Probeflamme auf kleine Änderungen in der Vollkommenheit der Dampfzersetzung nicht reagiert und dann erst gut erkennbare Änderungen zeigt, wenn schon mehr als 50 Proz. des Dampfes den Generator unzersetzt verlassen. Wie sehr aber der unzersetzte Dampf die Ausbeute beeinflußt, haben wir bereits auf S. 794 bis 805 erörtert. Es ist also außerordentlich wichtig, ein Instrument zu besitzen, welches die Vollkommenheit der Dampfzersetzung im Wassergasgenerator anzeigt. Ein solches wurde vom Verfasser vorgeschlagen und zunächst mit dem Namen „Vergleichsmanometer“<sup>1)</sup> bezeichnet. Es beruht auf folgendem Prinzip.

In die Dampfzuleitung zum Generator ist eine Drosselung eingeschaltet, welche aus einem dünnen Kupferröhrchen besteht. Durch Messung der Druckdifferenzen, die vor und hinter dieser Drosselung herrschen, hat man ein Maß für die Dampfgeschwindigkeit, welche im Generator herrscht. Die Rohrstücke vor und hinter dieser Drosselung werden daher mit einem mit Quecksilber gefüllten U-förmigen Glasrohre, das als Differentialmanometer dient, verbunden, d. h.

<sup>1)</sup> Österreichisches Patent Nr. 17307.

der eine Schenkel desselben wird mit der Rohrleitung vor der Drosselung, der andere mit der Rohrleitung hinter der Drosselung verbunden. Der Stand des Quecksilbers in diesem Manometer gibt also ein Maß für die Dampfgeschwindigkeit.

In ähnlicher Weise ist in die Gasableitung vom Skrubber eine Drosselung eingeschaltet, welche aus einer, mit einem Loche von bestimmter Größe versehenen Blechscheibe besteht. Die Druckdifferenz des Gases vor und hinter dieser Drosselung gibt wieder ein Maß für die Geschwindigkeit, mit welcher das Gas diese Drosselscheibe passiert. Überträgt man diese Druckdifferenz wieder auf ein Differentialmanometer, welches jedoch mit Rücksicht auf die hier viel geringeren Drucke nicht mit Quecksilber, sondern mit Wasser gefüllt ist, so zeigt dieses Manometer die Gasgeschwindigkeit an. Nun kann man das die Dampfgeschwindigkeit zeigende Quecksilbermanometer und das die Gasgeschwindigkeit zeigende Wassermanometer derart nebeneinander an-



bringen, daß ein gleicher Stand in beiden Manometern die vollkommene Dampferzersetzung anzeigt. In dem Augenblick jedoch, wo das Wassermanometer einen geringeren Stand anzeigt als das Quecksilbermanometer, erkennt man, daß die Dampferzersetzung keine vollkommene ist, denn der unzersetzte, den Generator verlassende Dampf kondensiert sich im Skrubber und durch die Drosselscheibe geht nur das dampffreie Gas. Das Volumen desselben nimmt aber in derselben Weise ab, wie die Dampferzersetzung abnimmt. Nun kann man durch Verringerung der Dampfgeschwindigkeit wieder eine Vervollkommnung der Dampferzersetzung erzielen und dann stellen sich die Stände in beiden Manometern wieder gleich hoch. Ist aber eine vollkommene Dampferzersetzung nicht mehr zu erreichen oder nicht in dem Maße, wie dies zur Erzielung einer guten Ausbeute erforderlich ist, so schließt man den Dampf ab und bläst den Generator neuerdings warm.

Die Arbeit mit diesem Vergleichsmanometer erfordert jedoch immerhin einige Aufmerksamkeit, der Verfasser hat daher später ein anderes Instrument in Anwendung gebracht, das denselben Zweck verfolgt und den Namen „Dampfschlußmelder“ erhalten hat. In der Zuleitung des Dampfes zum

Generator befindet sich eine Drosselung  $K$  (Fig. 366) und vor dieser Drosselung ist ein Dampfdruckregler  $F$  eingeschaltet, dessen Manometer  $M$  den Dampfdruck an dieser Stelle anzeigt. Der Stand dieses Dampfmanometers ist somit ein Maß für die Geschwindigkeit des Dampfes, die durch Einstellung des Reglers  $F$  beliebig reguliert werden kann. Der Druck hinter der Drosselung entspricht dem Drucke im Generator und kann im Verhältnis zum Dampfdruck vernachlässigt werden, da letzterer einige Atmosphären, ersterer hingegen nur einige hundertstel Atmosphären beträgt.

Das im Generator erzeugte Wassergas passiert einen Skrubber, in welchem sich der unzersetzte Dampf niederschlägt, und in dem Gasausgange des letzteren ist wieder eine Drosselung angebracht, welche eine um so größere Druckdifferenz hervorruft, je größer die durch diese Drosselung hindurchgepreßte Gasmenge ist. Diese Druckdifferenz wird durch einen Druckdifferenzregistrator angezeigt, welchen wir Produktionsregistrator nennen wollen. Derselbe besteht aus einer in Wasser schwimmenden doppelwandigen Glocke  $h$ . Das Gehäuse derselben ist oben abgeschlossen. Der Raum innerhalb der Glocke steht durch das Rohr  $A$  mit dem Raum vor der Gasdrosselscheibe, der Raum oberhalb der Glocke steht dagegen durch das Rohr  $B$  mit dem Raum hinter der Drosselscheibe in Verbindung, so daß die Glocke  $h$  durch die von der Geschwindigkeit des Gasstromes abhängige Druckdifferenz an der Drosselscheibe einen Auftrieb erfährt. Die Glocke stellt sich dann in eine der Geschwindigkeit entsprechende Höhenlage ein und es kann somit die Gasgeschwindigkeit in Kubikmetern pro Minute an der Skala des Produktionsregistrators beständig abgelesen werden. An der Uhrtrommel  $u$  wird mittels einer Schreibvorrichtung die Minutenproduktion in verjüngtem Maßstabe registriert.

Wenn der Dampf vollständig zersetzt wird, werden pro 1 Vol. Dampf 2 Vol. Wassergas gebildet. Jede Unvollkommenheit der Dampfzersetzung drückt sich durch einen geringeren Ausschlag am Produktionsregistrator aus. Angenommen z. B. von 1 Vol. Dampf würden nur 0,7 Vol. zersetzt und 0,3 Vol. gingen unzersetzt hindurch. Die 0,7 Vol. Dampf erzeugen 1,4 Vol. Wassergas, welche mit den 0,3 Vol. unzersetzten Dampf 1,7 Vol. entweichendes Gasdampfgemisch geben. Von diesen 1,7 Vol. sind also 0,3, das sind 17,5 Proz., unzersetzter Dampf. Da die auftretenden Druckdifferenzen sich wie die Quadrate der hindurchgepreßten Gasmengen verhalten, so werden sich die Ausschläge am Produktionsregistrator verhalten wie  $2^2$  zu  $1,42^2$ , d. i. also wie 4 : 2, d. h. der Ausschlag des Produktionsregistrators wird bei 17,5 Proz. Dampfgehalt nur die Hälfte des bei vollständiger Dampfzersetzung eintretenden Ausschlages betragen.

Wie wir bereits früher wiederholt gezeigt haben, ist es nötig, die Temperatur des Generators auf einer bestimmten Höhe zu erhalten. Da nun bei gleichbleibender Dampfgeschwindigkeit der Dampfzersetzungsgrad von der Temperatur abhängt, so braucht man nur das Gasen zu unterbrechen, sobald die Dampfzersetzung bzw. die Minutenproduktion an Gas auf ein bestimmtes Minimum herabgegangen ist, um den Generator am Schlusse des Gasens immer wieder auf dieselbe Temperatur zu bringen, einerlei wie hoch die Temperatur nach dem Warmblasen, d. h. bei Beginn der Gaseperiode war. Der Dampfschlußmelder besitzt nun eine Einrichtung, welche dem Arbeiter ein Zeichen gibt, wann die Gaseperiode abzubrechen ist. Die Glocke  $h$  setzt

nämlich beim Vorbeistreichen vor einem verstellbaren elektrischen Kontakt eine elektrische Klingel in Tätigkeit.

Zur Kontrolle des ganzen Verfahrens wird sowohl der Kohlensäuregehalt des Wassergases kontinuierlich durch einen Autolysator (S. 243) kontrolliert, als auch der Kohlensäuregehalt des Generatorgases zeitweise ermittelt. Letzteres geschieht, indem in einer besonderen Gasglocke *g* zeitweise beim Warmblasen Generatorgas aufgefangen und dann ebenfalls dem Autolysator zugeführt wird. Zur Trocknung des Generatorgases sowie des Wassergases ist vor dem Autolysator ein mit Chlorcalcium gefüllter Trockenturm *K* und zur Entfernung der Flugasche ein mit Glaspulver gefülltes Filter *Y* eingeschaltet.

Zum Zwecke der rationellen Wassergaserzeugung wird nun der Dampfdruckregler *F* auf einen für die stündliche Leistungsfähigkeit des Generators maßgebenden Dampfdruck eingestellt. Die Dampfgeschwindigkeit wird um so höher gewählt, je höher die stündliche Leistungsfähigkeit des Generators sein soll. Da es aber nicht rationell ist, die Temperatur im Generator so hoch zu halten, daß auch am Schlusse der Gaserzeugung gar kein unersetzer Dampf austritt, so wählt man die Einstellung des Dampfschlußmeldersignals niedriger als wie dies einer vollständigen Dampfersetzung entsprechen würde.

Der Arbeiter erhält dann den Auftrag, das Dampfventil stets voll zu öffnen und zu kontrollieren, ob das Dampfmanometer den richtigen Druck zeigt, der während der ganzen Dauer der Gaseperiode auf dieser Höhe bleiben soll. Die Dampfschlußmelderglocke wird von dem Momente an, da die Dampfersetzung im vollen Gange ist, im Falle die Temperatur des Generators hoch genug ist, auf den höchsten Punkt steigen. Tritt dies nicht ein, so ist dies ein Beweis, daß die im Generator herrschende Temperatur nicht ausreichend ist und es muß daher das Gasen unterbrochen und auf eine höhere Temperatur warmgeblasen werden. Im Lauf des Gasens sinkt die Temperatur des Generators und dementsprechend die Dampfersetzung, und daher wird die Druckdifferenz an der Gasdrosselscheibe geringer. Der Arbeiter erhält den Auftrag, die Gaserzeugung zu unterbrechen, sobald das Glockensignal des Dampfschlußmelders ertönt.

Es wird also die Gaserzeugung vom Arbeiter bei einer ganz bestimmten Dampfgeschwindigkeit stets dann unterbrochen, wenn die Dampfersetzung auf eine bestimmte Größe herabgesunken ist. Nun entspricht aber jeder mittleren Temperatur eine ganz bestimmte Dampfersetzung, und umgekehrt der durch den Dampfschlußmelder für das Gasen festgesetzten Dampfersetzung eine ganz bestimmte mittlere Temperatur des Generators. Durch die Einstellung des Dampfdruckreglers und des Glockensignals wird also die Temperatur fixiert, bei welcher die Gaserzeugung unterbrochen wird, und wenn nun auch beim Warmblasen variable Windmengen eingeblasen werden, so wird zwar die Temperatur nach dem Warmblasen verschieden hoch sein, sie wird aber durch das Gasen mit dem Dampfschlußmelder stets wieder auf die bestimmte Höhe herabgebracht werden. Natürlich wird dann beim Gasen in jeder Charge um so mehr Gas gewonnen, je mehr Wärme beim Warmblasen aufgespeichert wurde.

Man hat es in der Hand, durch Verringerung der Gasgeschwindigkeit, bei der die Gaserzeugung unterbrochen werden soll (schlechtere Dampfersetzung), die Temperatur des Generators herabzusetzen und durch Erhöhung

derselben die Temperatur des Generators zu erhöhen. Umgekehrt wird durch eine Vergrößerung der Dampfgeschwindigkeit bei gleichbleibender Signaleinstellung die Temperatur des Generators herabgesetzt und durch Verringerung der Dampfgeschwindigkeit gesteigert.

Hand in Hand mit der Vollkommenheit der Dampfersetzung geht stets der Kohlensäuregehalt des Wassergases, wie bereits auf S. 798 erörtert. Durch die entsprechende Einstellung des Dampfschlußmelders kann man also den Kohlensäuregehalt des Wassergases beliebig festsetzen. Dies ist besonders bei der Verwendung des Wassergases zu industriellen Zwecken von hoher Bedeutung, z. B. beim Schweißen, da jedes Prozent Kohlensäure im Gas eine Verringerung der Flammentemperatur bedingt. Mit Hilfe des Dampfschlußmelders ist man in der Lage, den Kohlensäuregehalt des Wassergases auf jeder beliebigen Höhe, selbst unter 2 Proz. zu halten, wobei noch eine sehr gute Ausbeute erzielt wird.

Durch die Einstellung des Dampfschlußmelders wird nur die mittlere Temperatur jener Teile des Generators, welche an der Dampfersetzung teilnehmen, festgesetzt. Die Temperatur der obersten Schicht, sowie die Temperatur der Abgase ist von der Dauer und Art des Warmblasens abhängig. Zur Beobachtung dieser Temperatur ist es zweckmäßig, bei solchen Generatoren, bei denen die Abgase keine allzu hohe Temperatur besitzen, in den Kanal, durch welchen die Verbrennungsgase abziehen, ein Pyrometer einzubauen. Man kann dann das Warmblasen in dem Augenblick abbrechen, wenn die Temperatur der Abgase eine gewisse Höhe erreicht hat. Die Temperatur des Generatoroberteiles wird also dadurch reguliert, daß man das Warmblasen unterbricht, sobald die Abgase einen bestimmten Wärmegrad erreicht haben. Beim darauffolgenden Gasen bleibt es trotzdem möglich, die Temperatur des Generatorunterteiles auf beliebiger Höhe zu erhalten, wenn eben das Gasen beizeiten unterbrochen wird.

Mit Hilfe des Dampfschlußmelders und des Pyrometers in den Abgasen ist es gelungen, die Temperatur der Abgase in Generatoren, in denen nur immer von oben gegast wird, auf 150° C zu halten und trotzdem eine so vollkommene Dampfersetzung zu erzielen, daß der Kohlensäuregehalt im Wassergase nur 3 Proz. beträgt.

Zeigt sich der Kohlensäuregehalt der Abgase zu gering, so ist dies ein Beweis einer zu hohen Temperatur im Generatorunterteil und ist daher das Signal weiter herabzusetzen. Steigt hingegen der Kohlensäuregehalt der Abgase zu hoch, so ist das Signal höher einzustellen, also das Gasen früher, d. h. bei einer noch vollkommeneren Zersetzung, bei höherer Temperatur, abzubrechen.

Aber auch der Kohlensäuregehalt des Wassergases, welcher von dem Autolysator ständig aufgezeichnet wird, gibt ein gutes Bild über die richtige Arbeit des Generators. Zu Beginn der Gaseperiode, wenn der Generator noch heiß ist, ist der Kohlensäuregehalt des austretenden Wassergases natürlich gering. In dem Maße jedoch, wie die Temperatur im Generator sinkt, steigt der Kohlensäuregehalt. Auf dem Autolysatordiagramm ergibt sich somit während einer Gaseperiode eine nach aufwärts steigende Linie. Während der kurzen Zeit des Warmblasens saugt der Autolysator eine Zeitlang das im Skrubberausgang noch vorhandene, am Schlusse der Gaseperiode erzeugte Gas ab. Sobald aber die neue Gaseperiode einsetzt, beginnt wieder

ein wesentlich geringerer Kohlensäuregehalt und deshalb begibt sich die Schreibfeder des Autolysators wieder nach abwärts, um dann während der Gaseperiode eine neue Linie nach aufwärts aufzuzeichnen. Das Autolysator-diagramm zeigt daher eine große Anzahl eng aneinander stehender aufwärts gerichteter Zacken.

Wird der Autolysator an einem Generator angeschlossen, welcher keinen Dampfschlußmelder besitzt, so zeigt die Höhe dieser Zacken und die Unregelmäßigkeit derselben, daß die Kontrolle der Dampfzersetzung eine sehr ungenügende ist. So z. B. ergab sich in der Wassergasanlage in Pforzheim das Diagramm Fig. 367. Der Kohlensäuregehalt schwankte hier etwa zwischen 8 und 19 Proz. Der durchschnittliche Kohlensäuregehalt ist stets geringer

Fig. 367.

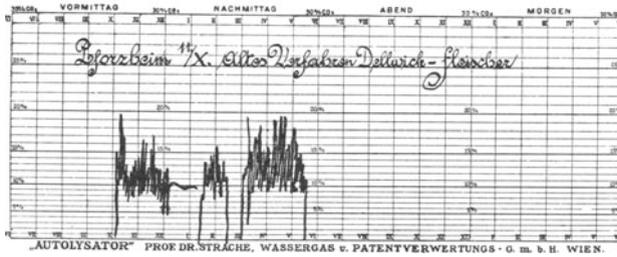
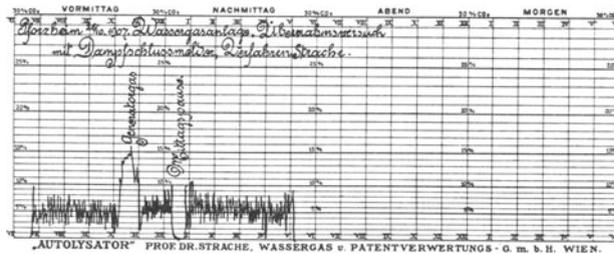


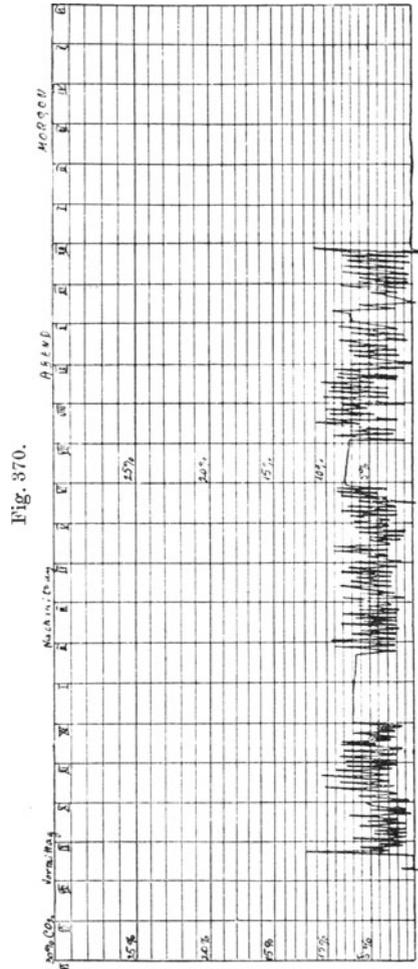
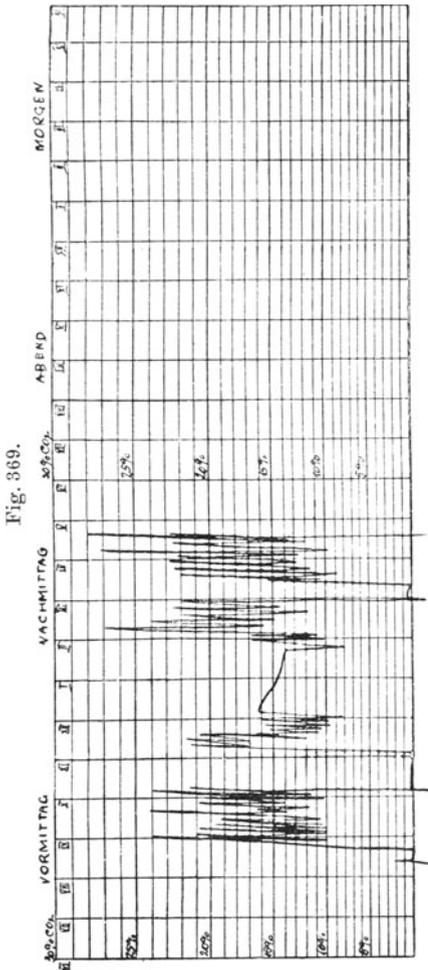
Fig. 368.



als dem Mittel dieser zickzackförmigen Aufschreibungen entspricht, weil während der ganzen Warmblaseperiode das am Schlusse des Gasens erzeugte stark kohlensäurehaltige Gas durch den Autolysator streicht. Der mittlere Kohlensäuregehalt betrug in diesem Falle 8,1 Proz. Nach Einführung des rationellen Verfahrens der Wassergaserzeugung mit Hilfe des Dampfschlußmelders wurde das Diagramm Fig. 368 erhalten. Es zeigt sich die weit größere Gleichmäßigkeit des Kohlensäuregehaltes und namentlich die wesentliche Herabsetzung des Kohlensäuregehaltes. Die eine zwischen 10 und 15 Proz. CO<sub>2</sub> anzeigende Stelle in der Mitte dieses Diagrammes zeigt eine Prüfung des Generatorgases. Der Kohlensäuregehalt des Wassergases schwankt hier zwischen 2 und 8 Proz. Im fertigen Gase wurde derselbe mit 2,8 Proz. ermittelt. Gleichzeitig wurde durch die Einführung des Verfahrens der Koksverbrauch um 10 Proz. verringert, die Stundenleistung um 10 Proz. erhöht, der Kühlwasserverbrauch im Skrubber von 5,1 auf 1,7 Liter ermäßigt und der Heizwert entsprechend der Verringerung des Kohlensäuregehaltes im Gase erhöht.

Die beiden Diagramme Fig. 369 und Fig. 370 zeigen ganz ähnliche Verhältnisse bei der Wassergasanlage der A.-G. Ferrum in Kattowitz.

Ähnlich günstige Resultate wurden mit diesem Verfahren in einer großen Anzahl anderer Wassergasanlagen erzielt, so z. B. wurde in Königsberg die Ausbeute pro 1 kg Koks von 1,55 m<sup>3</sup> auf 1,91 m<sup>3</sup> erhöht. In Elberfeld ergab sich laut Jahresbericht des städtischen Gaswerkes<sup>1)</sup> von 1908 im



Jahresdurchschnitt ohne Abzug der Schlacke eine Ausbeute von 1,84 m<sup>3</sup> pro 1 kg Gaskoks. In Plauen sank der Kohlensäuregehalt bei 18proz. Erhöhung der Stundenleistung von 6 auf 3,5 Proz. In Dortmund ergab sich ein Nutzeffekt von 71,7 Proz. an Wassergas vom Heizwert des aufgewendeten Kokes. In Heidelberg ergab sich eine Erhöhung der Stundenleistung um 20 Proz. bei gleichzeitiger Herabsetzung des Kohlensäuregehaltes auf 3 Proz. In Posen ergab sich eine Verringerung des Kohlensäuregehaltes von 9,6 auf

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 1204.

4,3 Proz., wodurch der Heizwert des Gases so weit stieg, daß 11,6 Proz. Carburieröl gespart werden konnten.

Auch die Diagramme des Produktionsregistrator geben schon ein übersichtliches Bild über den Grad der Dampfzersetzung. So z. B. sind die Diagramme Fig. 371 und Fig. 372 dem Betriebe der Wassergasanlage der A.-G. Ferrum in Kattowitz entnommen. Beim früheren Betriebe wurden zum Beginn des

Fig. 371.

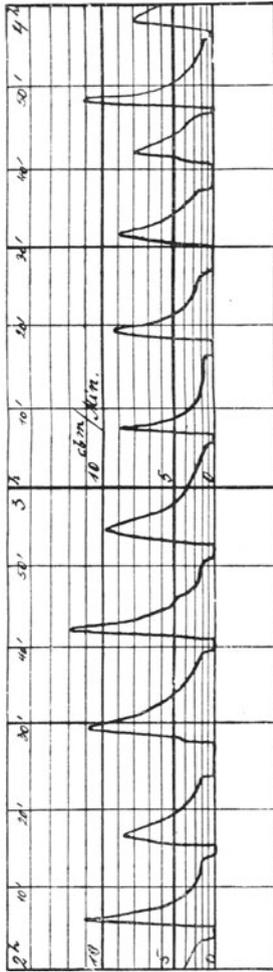
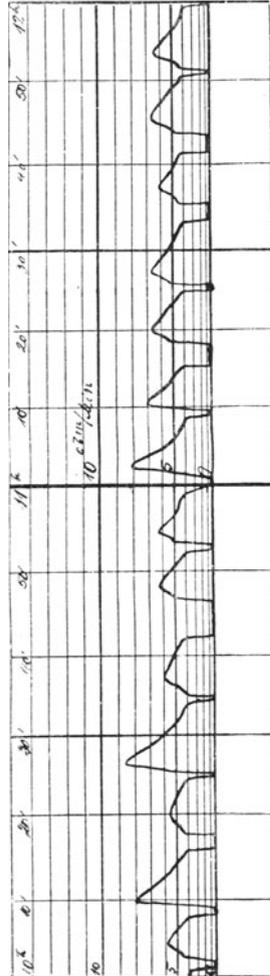


Fig. 372.



Dampfeinleitens zwischen 9 und 11m<sup>3</sup> Wassergas pro Minute gewonnen. Am Schlusse der Gaseperiode hingegen sank die Gaserzeugung pro Minute auf 2 m<sup>3</sup> herab, trotzdem die Dampfgeschwindigkeit nicht verringert, sondern im Gegenteil erhöht worden war. Daraus ergibt sich, daß die Menge des unzersetzten Dampfes am Schlusse der Gaseperiode 80 bis 90 Proz. betrug. Nach Einschaltung des Dampfschlußmelders zeigt der Produktionsregistrator ein ganz anderes Bild. Es ergaben sich nicht mehr die hohen Spitzen, sondern die Gaserzeugung betrug zu Beginn des Gasens nur zwischen 6 und 8 m<sup>3</sup>,

sie dauerte aber dann gleichmäßig an und sank am Schlusse der Gaseperiode nur bis auf  $4\frac{1}{2}$  m<sup>3</sup> herab, was ein Zeichen dafür ist, daß am Schlusse der Gaseperiode nur mehr 20 bis 30 Proz. unzersetzter Dampf vorhanden waren. Das letztere Diagramm ergab dabei eine größere Stundenproduktion als das erstere, weil eben die Gaserzeugung eine gleichmäßigere war.

Aus den Diagrammen des Produktionsregistrator's ist häufig zu ersehen, daß bei den Generatoren, bei denen der Dampf zwecks Kühlung des Rostes abwechselnd von oben und von unten eingeführt wird, die Dampfzersetzung beim Gasen von unten keine so vollkommene ist als beim Gasen von oben, da im letzteren Falle die heiße Koksensäule im Oberteile des Generators als Dampfüberhitzer dient (vgl. S. 811). Dies zeigt aber auch, daß die Generatoren, bei denen kein Rost vorhanden ist und bei denen ausschließlich von oben gegast wird, stets eine bessere Ausbeute geben als Generatoren, bei denen das Gasen abwechselnd von oben und von unten stattfindet.

Die Vorteile, welche die Einführung des rationellen Verfahrens mit Hilfe des Dampfschlußmelders gewähren, sind also:

1. Erhöhung der Stundenleistung.
2. Verringerung des Kohlensäuregehaltes.
3. Erhöhung des Heizwertes.
4. Verringerung des Dampfverbrauches.
5. Erhöhung der Ausbeute.
6. Verringerung des Kühlwasserverbrauches.

Allerdings sind diese Vorteile nicht immer alle gleichzeitig zu erreichen, sondern es hängt von den Umständen ab, ob der eine oder der andere Vorteil besonders angestrebt wird und danach die Einstellung des Dampfschlußmelders erfolgt. Meistens aber ergeben sich mehrere dieser Vorteile gleichzeitig. Außerdem gewährt der Produktionsregistrator und der Autolysator eine sehr zweckmäßige Kontrolle über die richtige Bedienung und richtige Einstellung des Betriebes.

Auch in Nürnberg<sup>1)</sup> hat sich ein auf ähnlichen Prinzipien gegründeter Qualitätsregler mit automatischer Signalvorrichtung für die Gasungsperiode bewährt.

Bei den Doppelgeneratoren, welche in neuerer Zeit vielfach in großen Gaswerken eingeführt wurden, um die Stundenleistung eines Systems auf mehr als 1000 m<sup>3</sup> zu bringen (vgl. S. 894), kann der Dampfschlußmelder seine Aufgabe nicht vollkommen erfüllen. Bei diesen kann der Dampfschlußmelder nicht gleichzeitig die Temperatur in dem einen und in dem anderen der beiden an dem gemeinsamen Carburator angeschlossenen Generatoren anzeigen. Dadurch kann es vorkommen, daß der eine Generator zu kalt, der andere zu heiß ist und demzufolge keiner der beiden die Temperatur besitzt, welche zur Erzielung der günstigsten Ausbeute erforderlich ist. Dies zeigt sich auch aus dem Koksverbrauch, welcher gemäß der Jahresberichte der betreffenden Gaswerke in den betreffenden Wassergasanlagen sich ergibt. So z. B. zeigen die Wassergasanlagen in Berlin und Wien-Simmering, welche derartige Doppelgeneratoren besitzen, den verhältnismäßig ungünstigen Koksverbrauch von 0,833 kg und 0,867 kg m<sup>3</sup> für das Betriebsjahr 1909. Die Anwendung solcher Doppelgeneratoren sollte also vermieden werden.

<sup>1)</sup> Betriebsbericht des Gaswerkes 1908; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1014.

## 61. Mischgas.

Als „Mischgas“ bezeichnet man in der Beleuchtungstechnik ein Gemisch von Steinkohlengas mit Wassergas, einerlei ob letzteres in uncarburiertem Zustande zugesetzt wird oder als carburiertes Wassergas. Die Hüttenmänner bezeichnen zwar mit „Mischgas“ das Gas, welches durch gleichzeitiges Einblasen von Wasserdampf und Luft in einen Generator gewonnen wird, also ein Gemisch von Generatorgas und Wassergas. Wir haben jedoch für diese Gasart das Wort „Halbwassergas“ gewählt, das unzweideutig ist, und müssen uns mit der Bezeichnung „Mischgas“ an die in der Gastechnik übliche Deutung dieses Wortes halten.

Als die Vorzüge bekannt wurden, welche die Erzeugung des Wassergases bieten, da entschloß man sich zunächst in den Vereinigten Staaten, diese Vorzüge in Gaswerken derart auszunutzen, daß man dem Steinkohlengas eine beträchtliche Menge von Wassergas zusetzte. Allerdings handelte es sich dort ausschließlich um carburiertes Gas. In Europa wurde der Mischgasbetrieb zuerst in Königsberg im Jahre 1898 eingeführt, wo uncarburiertes Wassergas dem Steinkohlengas zugeführt wurde. Zu gleicher Zeit wurden auch die ersten Anlagen für den Zusatz carburierten Wassergases in Bremen und Hamburg errichtet. Seither sind die Vorzüge des Mischgasbetriebes so allgemein anerkannt worden, daß heute wohl beinahe jedes größeres Gaswerk eine Wassergaszusatzanlage besitzt.

Die Vorzüge des Mischgasbetriebes liegen darin, daß das Nebenprodukt der Steinkohlengaserzeugung, der Koks, ebenfalls in Gasform verwandelt werden kann und somit ein Absatz für den Koks gefunden ist, der gleichzeitig preisregulierend auf dieses wichtigste Nebenprodukt des Gaswerkbetriebes wirkt. Durch Vergasung eines Teiles des Kokses steigt die Ausbeute an Gas, welche aus 100 kg Kohlen gewonnen werden kann, beträchtlich und sinken demgemäß die Betriebskosten pro Kubikmeter erzeugten Gases. Dazu kommen aber noch die Vorteile, die wir auf S. 901 erläutert haben: die geringen Anlagekosten, der geringe Platzbedarf und die stete Betriebsbereitschaft, so daß man zunächst bei der Erweiterung von Steinkohlengasanlagen allgemein zum Wassergas griff. Es sind jedoch hierbei zwei ganz verschiedene Richtungen eingeschlagen worden. Nach Einführung des Gasglühlichtes hat man sehr bald erkannt, daß die Gegenwart von schweren Kohlenwasserstoffen, welche die Leuchtkraft des Gases in der freien Flamme bedingen, für die Leuchtkraft des Gasglühlichtes ohne Bedeutung sind, daß vielmehr dort eine heiße, nicht leuchtende Flamme einen besseren Effekt erzielt. Man war daher nicht mehr daran gebunden, ein Gas von hohem Kohlenwasserstoffgehalt zu erzeugen und konnte somit dem Steinkohlengas uncarburiertes Wassergas zumischen, ohne deshalb die Leuchtkraft des Gases im Gasglühlicht herabzusetzen. Der Heizwert des Gases wird allerdings durch den Zusatz von Wassergas herabgemindert, jedoch die Selbstkosten des erzeugten Gases pro 1000 Kal. sind beim Wassergas geringer als beim Steinkohlengas, so daß das Gesamtergebnis, auch wenn man auf den Wärmewert rechnet, bei der Mischgaserzeugung immer noch ein günstigeres ist als bei der Erzeugung von reinem Steinkohlengas. Dieser Überlegung folgend, kann man also dem Steinkohlengas dauernd eine bestimmte Menge von uncarburiertem Wassergas zusetzen.

Dadurch ist es auch möglich, Gas von stets gleichbleibendem Heizwert und gleichbleibendem Luftbedarf zu erzeugen, was bei der Erzeugung des reinen Steinkohlengases nicht immer der Fall ist, da hier die Schwankungen im Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen auftreten, welche bei der Entgasung der Kohle unvermeidlich sind. Der Zusatz von uncarburiertem Wassergas vermag daher als Regulator auf den Heizwert zu wirken, und es hat sich ergeben, daß bei der heutigen Gasglühlichtbeleuchtung und ganz besonders beim hängenden Gasglühlicht, die Gleichmäßigkeit des Heizwertes des Gases von viel größerer Bedeutung ist, als die absolute Höhe des Heizwertes.

Nimmt man den durchschnittlichen Heizwert des reinen Steinkohlengases zu 5600 Kal. (oberer Wert bei 0°, trocken) an, und jenen des Wassergases zu 2900 Kal., will man ferner ein Mischgas von 5000 Kal. oberem Heizwert erhalten, so ergibt sich aus der Mischungsregel (vgl. S. 127) nachstehender Ansatz:

$$\begin{array}{r} 5600 \searrow \\ 2900 \nearrow \end{array} \begin{array}{c} 5000 \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} \nearrow 2100 \text{ Steinkohlengas} \\ \searrow 600 \text{ Wassergas} \end{array}$$

Summe 2700 Mischgas.

Es können somit zu 2100 m<sup>3</sup> Steinkohlengas 600 m<sup>3</sup> Wassergas in uncarburiertem Zustande zugesetzt werden und werden 2700 m<sup>3</sup> Mischgas erhalten, welche

$$\frac{600 \cdot 100}{2700} = 22 \text{ Proz.}$$

uncarburiertes Wassergas enthalten.

Aus Betriebsbequemlichkeiten rechnet man häufig den Prozentsatz des Zusatzes an Wassergas nicht auf das gewonnene Mischgas, sondern auf das Steinkohlengas, dann ergibt sich der Prozentsatz an Wassergas, welcher dem Steinkohlengas zuzusetzen ist, zu

$$\frac{600 \cdot 100}{2100} = 28,5 \text{ Proz.}$$

Vergast man somit 100 kg Kohle, so werden bei der Steinkohlengaserzeugung rund 30 m<sup>3</sup> Steinkohlengas (auf 0°, 760 mm, trocken, reduziert) und 70 kg Koks erhalten. Diesen 30 m<sup>3</sup> Steinkohlengas können zugesetzt werden

$$30 \cdot 0,285 = 8,55 \text{ m}^3 \text{ uncarburiertes Wassergas;}$$

die gesamte Gasausbeute beträgt demnach:

$$30 + 8,55 = 38,55 \text{ m}^3 \text{ Mischgas.}$$

Zur Erzeugung der 8 m<sup>3</sup> Wassergas werden einschließlich der Dampferzeugung insgesamt 7 kg Koks verbraucht, so daß von den 70 kg des gewonnenen Koks 63 kg verkäuflich übrig bleiben.

Es ist also ersichtlich, daß die Ausbeute an Gas auf mehr als 38 m<sup>3</sup> (auf 0°, trocken, gerechnet) gesteigert werden kann, wobei ein Gas von 5000 Kal. Heizwert gewonnen wird und die Ausbeute an Koks so unwesentlich sinkt, daß dies praktisch kaum in Betracht kommt.

In Werken, welche nach diesen Prinzipien geleitet werden, setzt man uncarburiertes Wassergas gleichmäßig während des ganzen Jahres zu und ändert den Wassergaszusatz nur dem jeweiligen Heizwert des Mischgases entsprechend, um diesen auf stets gleichbleibender Höhe zu erhalten. Da nun

das uncarburierte Wassergas weniger als die Hälfte des Steinkohlengases kostet (S. 867 bis 872 u. 898), werden bei dieser Betriebsweise durch den ständigen Wassergaszusatz bedeutende Ersparnisse erzielt, und dies rechtfertigt andererseits wieder das Bestreben eines gleichmäßigen, aber möglichst hohen Zusatzes von uncarburiertem Wassergas und verursacht einen gleichmäßigen Betrieb der Wassergasanlage und daher die größtmöglichste Wirtschaftlichkeit im Betriebe derselben.

Ein anderer Teil der Gasfachmänner dagegen ist der Ansicht, daß das Wassergas, welches man dem Steinkohlengas zusetzt, den gleichen Heizwert haben müsse wie das Steinkohlengas selbst und daß es daher nur in carburiertem Zustande zugesetzt werden dürfe. Will man aber das Wassergas auf den vollen Heizwert aufcarburieren, so kommt nur die Ölcarburierung in Betracht, und in Deutschland ist das Carburieröl infolge des hohen Zolles so teuer, daß dadurch die Selbstkosten des carburierten Wassergases etwas höher werden als die Selbstkosten des Steinkohlengases (S. 898). Demzufolge wird dann die Wassergasanlage nur in Betrieb genommen, um die Unregelmäßigkeiten des Konsums auszugleichen und in Fällen des dringenden Gasbedarfs oder bei Streiks eine große Gasmenge liefern zu können. In diesen Fällen ist der Betrieb der Wassergasanlagen auch schon wegen der geringen Beanspruchung ein vollständig unrationeller, und man wird dadurch in der Meinung bestärkt, daß die Wassergasanlagen nur eine zweckmäßige Reserve darstellen und nur zur gleichmäßigeren, daher wirtschaftlicheren Betriebsweise der Steinkohlengasproduktion führen.

Diese beiden verschiedenen Betriebsweisen haben jedoch nicht nur für den Gasproduzenten, sondern auch für den Gaskonsumenten Interesse. Das ölcarburierte Wassergas hat ein wesentlich höheres spezifisches Gewicht als das Steinkohlengas. Das uncarburierte Wassergas steht in der Mitte zwischen beiden. Aus den Düsen der Brenner strömt bei gleichem Druck um so weniger Gas aus, je höher das spezifische Gewicht ist. Werden also wechselnde Mengen von ölcarburiertem Wassergas dem Steinkohlengas beigemischt, so verbrauchen die Brenner bei gleichem Druck wechselnde Mengen von Gas, und dementsprechend wird die Flamme länger oder kürzer, hat einen wechselnden Luftbedarf und gibt daher Störungen im Gasglühlicht. Wird dagegen uncarburiertes Wassergas dauernd zugesetzt, so sind einesteiis die Änderungen im spezifischen Gewicht keine so bedeutenden, und anderenteils wird durch den gleichmäßigen Wassergaszusatz auch das spezifische Gewicht konstant gehalten, so daß Störungen an den Brennern überhaupt nicht auftreten, wenn dieselben einmal dem spezifischen Gewicht und dem Luftbedarf des Gases entsprechend eingestellt sind. Dies hat zur weiteren Folge, daß das ölcarburierte Wassergas bei den Konsumenten häufig Störungen hervorruft, die zu einer weiteren Einschränkung des Wassergaszusatzes führen, während beim Zusatz von uncarburiertem Gas in gleichmäßiger Weise zufolge der dauernden Zufriedenheit der Konsumenten und der Betriebsersparnisse im Gaswerk der Wassergaszusatz immer mehr und mehr gesteigert wird.

Natürlich treten auch Störungen an den Brennern ein, wenn uncarburiertes Wassergas in stark wechselnden Prozentsätzen dem Steinkohlengas zugesetzt wird<sup>1)</sup>. Derartige Unregelmäßigkeiten sind daher so gut wie möglich

<sup>1)</sup> Debruck, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 409.

zu vermeiden. Die kleinen Schwankungen im spezifischen Gewicht, welche dadurch eintreten, daß zwecks Erhaltung des gleichen Heizwertes in geringem Maße wechselnde Mengen von Wassergas zugesetzt werden, sind belanglos. Man ist nur dann gezwungen, größere Änderungen eintreten zu lassen, wenn die Steinkohlengasanlage dem Konsum bei regelmäßigem Zusatz von Wassergas nicht mehr entspricht und somit die Wassergasanlage als Notbehelf zur Erzeugung großer Mengen von Gas herangezogen wird. In diesem Ausnahmefalle wird man diese Störungen ebenso mit in Kauf nehmen müssen, wie beim ölcarburierten Wassergas.

Es ist auch die Meinung vielfach verbreitet, die Wassergasanlagen seien zweckmäßig nur im Winter zu betreiben und im Sommer stillzusetzen<sup>1)</sup>. Daß damit weder eine rationelle Ausnutzung der Wassergasanlage, noch ein gleichmäßiges Gas für die Konsumenten zu erzielen ist, geht aus dem oben Gesagten ja ohne weiteres hervor.

Um die Wirtschaftlichkeit eines hohen Zusatzes an uncarburiertem Wassergas möglichst auszunutzen, hat Terhaerst in Nürnberg<sup>2)</sup> eine Arbeitsweise eingeführt, die sich vorzüglich bewährt hat. Es wird die Entgasung der Kohlen in den Retortenöfen bei geringer Temperatur durchgeführt. Dadurch werden die Kohlenwasserstoffe vor Zersetzung bewahrt, es entsteht eine große Menge von Nebenprodukten und der Heizwert des Gases bleibt ein sehr hoher, so daß große Mengen von Wassergas zugesetzt werden können. Die Gasausbeute bei der Steinkohlengaserzeugung ist dabei allerdings eine geringere, dies wird jedoch mehr als aufgehoben durch die großen Mengen von uncarburiertem Wassergas, welche zugesetzt werden können. Um ein Mischgas von 4600 Kal. unteren Heizwert (0°) zu erzielen, was ungefähr einem oberen Heizwert von 5000 Kal. entspricht, kann der Wassergaszusatz so weit getrieben werden, daß in Summe 38,6 m<sup>3</sup> (0°) Mischgas aus 100 kg Kohle gewonnen werden, also beträchtlich mehr als in den besten modernen Öfen, so z. B. auch in den Vertikalöfen erreichbar ist. Aus der gleichen Kohle wird daher in Nürnberg nicht nur mehr Gas, sondern auch ein größerer Gesamtheizwert gewonnen als in der musterhaften Vertikalofenanlage in Zürich. Ferner wird aber durch diese Arbeitsweise auch eine längere Lebensdauer der Öfen und Retorten erzielt, da dieselben nicht durch so hohe Temperaturen in Anspruch genommen werden und auch der Wechsel in den Temperaturen kein so großer ist, wie z. B. bei den Vertikalöfen mit Naßbetrieb<sup>3)</sup> (vgl. S. 355).

Allerdings müssen die Glühlichtbrenner, wenn man vom reinen Steinkohlengasbetrieb auf einen Mischgasbetrieb mit uncarburiertem Wassergas übergeht, neu einreguliert werden, da eben dieses Mischgas einen geringeren Luftbedarf hat. Aber bei einem allmählichen Ansteigen des Zusatzes von uncarburiertem Wassergas innerhalb mehrerer Monate erfolgt diese Einregulierung bei den Konsumenten teils durch diese selbst, teils durch die Installateure, da ja bei jeder Reinigung des Brenners auf die beste Lichtstärke eingestellt wird und demgemäß die Düse und die Luftzufuhr richtig einreguliert werden. Zweckmäßig ist es auch, den Druck dem Wassergaszusatz entsprechend zu erhöhen, damit die Gasmenge, welche aus den Brennerdüsen austritt, bei dem Gase von höherem spezifischen Gewicht die gleiche bleibt.

<sup>1)</sup> Debruck, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 409. — <sup>2)</sup> Ebend. 1909, S. 493. — <sup>3)</sup> Vgl. auch ebend. 1910, S. 979.

Unter Anwendung dieser Vorsichtsmaßregeln und bei gleichmäßigem Zusatz von uncarburiertem Wassergas derart, daß der Heizwert um nicht mehr als 5 Proz. schwankt, läßt sich, wie das Beispiel von Nürnberg zeigt, ein Zusatz von 20 bis 30 Proz. uncarburiertem Wassergas ohne jede Störung an den Brennern erzielen<sup>1)</sup>.

Auch die steigenden Koksbestände zu Zeiten schlechten Koksabsatzes lassen es empfehlenswert erscheinen, die Wassergasanlagen längere Zeit in Betrieb zu halten<sup>2)</sup>.

Ebenso sollten die steigenden Ölpreise Anlaß geben, daß der Wahl des Carburierungsverfahrens mehr Aufmerksamkeit geschenkt werde<sup>3)</sup>.

Kobbert<sup>4)</sup> lehnt Carburiermittel, die nicht der Steinkohle entstammen, grundsätzlich ab. Aus diesem Grunde wäre es vorteilhaft, wenn der Zusatz von uncarburiertem Wassergas bei der Erzeugung des Mischgases in noch ausgedehnterem Maße angewendet werden könnte. Dies wäre der Fall, wenn man die weitere Herabsetzung des Gehaltes des Mischgases an Kohlenwasserstoffen zulassen würde, d. h. wenn man einen geringeren Heizwert des Gases pro Kubikmeter zulassen würde, als dies heute der Fall ist. Kobbert schlug vor, den Heizwert des Gases bis auf 4000 Kal. zu ermäßigen, wodurch dann, ohne teure Carburiermittel anwenden zu müssen, große Mengen von Wassergas zugesetzt werden könnten. Die Leuchtkraft des Gases im Glühlichtbrenner würde dabei nicht leiden und die Erzeugung des Gases würde eine um so viel billigere werden, daß der Heizgaspreis entsprechend dem geringeren Heizwerte herabgesetzt werden könnte.

Dagegen hat H. Bunte vorgeschlagen, daß der obere Heizwert des Gases nicht unter 5000 Kal. (bei 0° auf trockenes Gas gerechnet) sinken solle. Eine derartige Regelung des Heizwertes des den Konsumenten in den verschiedenen Städten gelieferten Gasgemisches ist insofern von Wichtigkeit, als dadurch die verschiedenen Brenner und andere Apparate in der einen Stadt ebenso funktionieren wie in der anderen, während dies nicht der Fall ist, wenn das Gas in den verschiedenen Städten durchaus verschiedene Heizwerte und einen durchaus verschiedenen Luftbedarf besitzt. Von diesem Standpunkte aus ist eine derartige Regelung wohl zu begrüßen, doch würde eine allmähliche Herabsetzung der Heizwertnorm sowohl im Interesse des Gaskonsumenten wie des Gasproduzenten gelegen sein<sup>5)</sup>.

Zum Zwecke der Berechnung, wieviel uncarburiertes Wassergas dem Steinkohlengas von einem bestimmten Heizwert zugesetzt werden kann, um ein Mischgas von bestimmtem Heizwert zu erhalten, geht man nach der Mischungsregel vor, wie wir dies auf S. 912 erläutert haben. Will man dagegen carburiertes Wassergas zusetzen und hat man die Menge des zuzusetzenden Wasser-

---

<sup>1)</sup> Auch gelegentlich der Versammlung der niederländischen Gasfachmänner in Brüssel (Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1028) wurde hervorgehoben, daß der regelmäßige Wassergaszusatz entschieden vorzuziehen sei, obwohl die meisten Werke die Wassergasanlage nur zum Ausgleich des Betriebes benutzen. Auch dort wurde betont, daß es das wichtigste sei, den Heizwert des Gases möglichst konstant zu halten. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 213. — <sup>3)</sup> Wassergas u. Gasölpreis, Journ. f. Gasbel. 1907, S. 387. — <sup>4)</sup> Grenzfragen der Gaswerke, Journ. f. Gasbel. 1907, S. 781. — <sup>5)</sup> Näheres über diesen Gegenstand siehe „Qualität des Steinkohlengases“, S. 651.

gases etwa durch den Bedarf an Gas gegeben, so berechnet sich der Heizwert des zu carburierenden Wassergases nach Scheller <sup>1)</sup> nach der Formel

$$y = \frac{510000 - 5500x}{100 - x}.$$

Hierin bedeutet  $y$  den oberen Heizwert des carburierten Wassergases und  $x$  die Prozente Kohlengas, welche im Mischgas enthalten sind.

Will man den Heizwert des Mischgases dadurch konstant halten, daß man wechselnde Mengen von Wassergas zusetzt, je nachdem wie der Heizwert des Steinkohlengases ausfällt, so wird dadurch die Wassergasanlage in verschiedener Weise in Anspruch genommen, wobei die Gaserzeugung der Wassergasanlage nicht durch den Gasbedarf pro Tag, sondern durch den Heizwert diktiert wird. Will man aber die Wassergasanlage derart verwenden, daß sie die Unregelmäßigkeiten des Konsums ausgleicht, so daß dann die Steinkohlengasanlage gleichmäßig betrieben werden kann, so kann man das Mittel anwenden, den Heizwert des Mischgases dadurch konstant zu halten, daß man das Wassergas mit wechselnden Mengen von Öl carburiert. Dadurch kommt man zur Anwendung geringer Ölmengen, die das Wassergas nicht zu sehr verteuern. Dieses Verfahren wird z. B. in Berlin <sup>2)</sup>, Charlottenburg <sup>3)</sup> und Wien <sup>4)</sup> geübt. Berlin setzte im Jahre 1909 z. B. 10 Proz. Wassergas zu und verbrauchte pro 1 m<sup>3</sup> 0,167 kg Öl [im Jahre 1910 0,206 kg] <sup>5)</sup>. Charlottenburg verbrauchte 1909 nur 0,125 kg Öl, und Wien, wo im Mittel 17,3 Proz. Wassergas zugesetzt wurden, verbrauchte 0,247 kg Öl pro Kubikmeter.

Der Zusatz von Wassergas zum Steinkohlengas ist trotz der Verringerung des Heizwertes auf die Leuchtkraft des Gases im Gasglühlicht eher von günstigem als von ungünstigem Einfluß. Allerdings müssen die Brenner — wie erwähnt — der veränderten Flamme und den veränderten Eigenschaften des Gases entsprechend einreguliert werden. Diese Regulierung bezieht sich einmal wegen der Erhöhung des spezifischen Gewichtes auf eine Erweiterung der Ausströmungsdüse, dann wegen der Verringerung des Luftbedarfes auf eine Verkleinerung der Luftzuführungsöffnungen, die am besten durch eine Messinghülse mit entsprechenden Ausnehmungen erfolgt, und schließlich soll der Form der Flamme dadurch Rechnung getragen werden, daß der Glühkörper nicht jene oben erweiterte glockenförmige Form besitzt, wie dies beim Steinkohlengas zweckmäßig ist, sondern der Glühkörper soll eher eine nach oben sich konisch verjüngende Form besitzen. Auch soll der Glühkörper eine geringere Höhe haben als bei reinem Steinkohlengas, beides deshalb, weil die Flamme des Wassergases eine kürzere ist, d. h. das Flammenvolumen ein geringeres ist und sich die Flamme deshalb bei gleichbleibender Basis oben stärker verjüngt als beim Steinkohlengas.

Mit Rücksicht auf diese Verhältnisse ist es außerordentlich schwierig, exakte Vergleiche zwischen der Leuchtkraft verschiedener Gemische von Steinkohlengas und Wassergas anzustellen, weil zu vergleichende Ziffern nur zu erhalten sind, wenn man denselben Glühkörper benutzt, andererseits aber eben zur Erzielung der günstigsten Lichtstärke für diese verschiedenen Gas-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 307; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 189. —

<sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 124. — <sup>3)</sup> Ebend., S. 127. — <sup>4)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 472. — <sup>5)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 117.

mischungen verschiedene Glühkörper verwendet werden sollten. Letzteres entspricht auch der Praxis, denn wenn in einer Stadt einmal das Gemisch von Steinkohlengas und Wassergas eingeführt worden ist, so werden sich die Installateure nicht nur betreffs der Einregulierung der Brenner, sondern auch betreffs der Wahl bzw. der Formgebung der Glühkörper der Gasflamme im Laufe der Jahre anpassen.

Im Auftrage der Lichtmeßkommission des Deutschen Vereines der Gas- und Wasserfachmänner sind Untersuchungen über die Leuchtkraft des Mischgases bei wechselndem Wassergaszusatz im Glühlichtbrenner ausgeführt worden und zwar sowohl für carburiertes, als auch für nicht carburiertes Wassergas. Naturgemäß konnten aber diese Versuche nur mit demselben Glühkörper vorgenommen werden, und besaß dieser Glühkörper jene Form, die für Steinkohlengas am geeignetsten ist. Es ist also natürlich, daß die Resultate noch mehr zugunsten des Wassergases ausgefallen wären, wenn ein der Wassergasflamme angepaßter Glühkörper verwendet worden wäre. Namentlich gilt dies für die Versuche mit uncarburiertem Wassergas.

Die Versuche mit ölcarburiertem Gas wurden von Schmidt und Leybold<sup>1)</sup> in Hamburg ausgeführt und gaben die in der nachstehenden Tabelle wiedergegebenen Resultate. Diese Versuche werden bei gleichbleibender Düse und gleichbleibendem Glühkörper nur bei verändertem Druck und veränderter Luftzufuhr ausgeführt, und wurden beide so gewählt, daß der günstigste spezifische Effekt für jedes Gasgemisch erreicht wurde.

Zur Charakteristik der verwendeten Gase dienen nachstehende Zahlen.

	Steinkohlengas	Carburiertes Wassergas
Oberer Heizwert bei 15° C und 760 mm . . . . .	5603 Kal.	4658 Kal.
Unterer Heizwert bei 15° C und 760 mm . . . . .	4976 "	4282 "
Spezifisches Gewicht bei 15° C . . . . .	0,393	0,670

Carburiertes Wassergas, Zusatz in Prozenten von Mischgas	Druck für den günstigsten spez. Verbrauch in Millimetern Wassersäule	Mischgaskonsum in Litern pro Stunde	Lichtstärke in HK	Spez. Verbrauch in Litern pro HK-Stunde
0	25	105	79	1,33
5	30	110	86	1,28
10	35	115	94	1,22
20	37	115	98	1,17
40	45	120	103	1,16
100	55	120	105	1,14

Die Versuche mit uncarburiertem Wassergas wurden von Kobbert und Wolffram in Königsberg ausgeführt und ergaben die nachstehenden Resultate<sup>2)</sup>:

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1904, S. 634. — <sup>2)</sup> Verhandlungen des Deutschen Vereines der Gas- und Wasserfachmänner 1906, Bericht der Lichtmeßkommission, S. 51.

Wassergas, Zusatz in Prozenten Mischgas	Heizwert des Gas- gemisches in Kalorien	Spez. Gewicht des Mischgases	Druck für den günstigsten Verbrauch in Millimetern Wassersäule	Stündlicher Gasverbrauch in Litern	Lichtstärke in HK	Spezifischer Verbrauch in Litern pro HK-Stunde
0	4353	0,360	15	120	76,2	1,58
4,77	4252	0,376	19	130	78,3	1,66
9,10	4174	0,385	23	140	80,0	1,75
16,6	4017	0,397	30	150	82,8	1,81
28,6	3840	0,415	35	160	86,5	1,97
37,5	3665	0,422	41	170	78,5	1,94
44,4	3533	0,438	49	180	88,4	2,04
50	3494	0,500	61	190	90,0	2,11

Aus diesen beiden Tabellen ist ersichtlich, daß beim Zusatz des ölcarburierten Wassergases schon unter diesen, für das Wassergas ungünstigen Verhältnissen der spezifische Verbrauch in Litern pro Lichteinheit noch günstiger wird, je mehr Wassergas zugesetzt wird, obwohl der Heizwert des Gasgemisches geringer wird, weil das carburierte Wassergas, welches hier zugesetzt wurde, einen geringeren Heizwert besitzt als das Steinkohlengas. Beim uncarburierten Wassergas stellen sich allerdings die spezifischen Verbräuche für höheren Wassergaszusatz ungünstiger, dies liegt aber daran, daß eben die Flamme beim Zusatz von uncarburiertem Wassergas sich viel stärker ändert und in ihrer Form viel stärker konisch wird, als beim Zusatz von carburiertem Wassergas. Könnte bei einer derartigen Messung der Glühkörper jeweils der Flammenform angepaßt werden, wie dies den praktischen Verhältnissen entspricht, so würde auch hier mit steigendem Zusatz an uncarburiertem Wassergas der spezifische Verbrauch geringer werden. Dies geht schon daraus hervor, daß, wie wir bereits auf S. 878 gesehen haben, die Leuchtkraft des reinen, uncarburierten Wassergases bzw. der spezifische Verbrauch in Litern pro Hefnerkerze geringer ist, nämlich nur 1,1 bis 1,5.

Eine andere Reihe von Untersuchungen über die Leuchtkraft des Wassergases in Gemischen mit Steinkohlengas im Glühlichtbrenner hat St. Claire-Deville ausgeführt. Diese beziehen sich auf die sogenannte absolute Leuchtkraft des Gasglühlichtes, d. h. auf die Leuchtkraft bei künstlicher Luftzufuhr bis zum Maximum des Lichteffektes. Er erhielt bei Verwendung reinen Wassergases von 2699 Kal. Heizwert (bei 10° C) 19,58 bis 25,4 Carcel Leuchtkraft pro je 1000 Kal. des angewandten Gases. Bei Gemischen von Wassergas mit gutem Leuchtgas erhielt er folgende Zahlen:

Wassergaszusatz in Prozenten von Mischgas	Carcel pro 1000 Kal.
0	20,88
29,2	21,55
66,7	22,63
89,3	23,79
100	24,62

Hieraus ist ersichtlich, daß die höhere Flammentemperatur des Wassergases die Lichtausbeute um 20 Proz. steigert.

Wie schon wiederholt erwähnt, ist die Leuchtkraft der freibrennenden Flamme des Gases heute von keiner Bedeutung mehr, trotzdem wird sie in manchen Ländern, so z. B. in England, noch als Maßstab zur Beurteilung des Gases herangezogen. Es wird dabei meistens ein Argandbrenner, z. B. der Elster-Normal-Argandbrenner, verwendet. Das Wassergas hat jedoch einen anderen Luftbedarf bei der Verbrennung als wie das Steinkohlengas und es gibt daher in einem Brenner, der speziell für Steinkohlengas eingerichtet ist, auch in der freibrennenden oder in der Argandflamme nicht den besten Effekt. Zur Messung von Gemischen von Steinkohlengas und Wassergas auf ihre Leuchtkraft im Argandbrenner ist es deshalb zweckmäßiger, einen Brenner zu verwenden, welcher die Regulierung der zur Flamme strömenden Luft gestattet. Ein solcher ist der sogenannte Carpenter-Brenner. Bei diesem stellt man die Luftzufuhr derart ein, daß das Maximum der Leuchtkraft erreicht wird.

Schließlich ist auch noch zu bemerken, daß der Kohlensäuregehalt des dem Steinkohlengase zugesetzten Wassergases von beträchtlichem Einfluß auf die Leuchtkraft sowohl in der offenen Flamme, als auch im Gasglühlicht ist. Die Kohlensäure setzt die Flammentemperatur herab und vermindert dadurch die Leuchtkraft stärker als den Heizwert. Es ist also wichtig, stets ein möglichst kohlenensäurearmes Wassergas zuzusetzen, wie dies bei der rationellen Wassergaserzeugung erreicht wird (vgl. S. 807).

Ein besonderes Verfahren der Carburatation des Wassergases wurde von Lewes vorgeschlagen. Es hat den Namen Autocarburatation erhalten. Das Verfahren besteht darin, uncarburiertes Wassergas während der Entgasung der Kohlen durch die Steinkohlengasretorten zu leiten. Durch den Gasstrom werden die aus der Steinkohle entstehenden Kohlenwasserstoffe rascher aus der Retorte abgeführt, als dies bei der gewöhnlichen Entgasung der Fall ist, und dies sollte nach den Angaben von Lewes diese Kohlenwasserstoffe vor Zersetzung bewahren und daher einen höheren Heizwert im Mischgase ergeben, als durch nachträgliche Mischung von Steinkohlengas mit dem Wassergas zu erreichen wäre. Das Verfahren wurde auch in mehreren Werken eingeführt, doch zeigte sich bei ausführlichen Untersuchungen, welche Röhm in übersichtlicher Weise zusammenstellte<sup>1)</sup>, daß von einer Vermehrung des Gesamtheizwertes nicht die Rede sein kann. Im Gegenteil, es erfolgt sogar im allgemeinen eine Verringerung der Ausbeute an Heizwert gegenüber der nachträglichen Vermischung der beiden Gase. Die ersten Versuche ergaben allerdings scheinbar eine Erhöhung des Heizwertes des Mischgases pro Kubikmeter, doch zeigte sich bald, daß diese Erhöhung nur dadurch hervorgerufen war, daß zufolge des Einleitens des kalten Wassergases die Entgasungstemperatur der Kohle herabgesetzt und dadurch ein höherwertiges Gas erzielt wurde, wie dies immer bei geringeren Entgasungstemperaturen der Fall ist. Dafür wird aber auch die Ausbeute in Kubikmetern pro 100 kg Kohle eine wesentlich geringere, so daß eben das Produkt aus Ausbeute und Heizwert bei geringeren Temperaturen, also auch bei der sogenannten Autocarburatation, geringer ist. Man ist deshalb von diesem Vorschlage bald wieder abgegangen.

Eine geringfügige Erhöhung des Heizwertes erhält man übrigens, wenn man das uncarburierte Wassergas in die Vorlagen der Steinkohlengas-Retorten-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1906, S. 265.

öfen einleitet. Es werden dann leichtflüchtige Kohlenwasserstoffdämpfe, die sich anderenfalls kondensieren würden, im Wassergas aufgenommen, und es wird somit ein höherer Gesamtheizwert erzielt, als der Summe der Heizwerte des Steinkohlengases und Wassergases entspricht.

Wieder eine andere Art der Erzeugung des Mischgases aus Steinkohlengas und Wassergas besteht darin, daß man am Schlusse der Entgasung der Kohle in die Retorten Wasserdampf einleitet, wobei der noch glühende Koks Wassergas bildet. Dieses Verfahren ist in den letzten Jahren in ausgedehntem Maße in den Vertikalöfen angewendet worden (vgl. S. 355). Ob diese Erzeugung von Wassergas in der Vertikalretorte ökonomisch ist, oder ob es nicht besser ist, Wassergas in getrennten Anlagen zu erzeugen und nachträglich dem Steinkohlengas beizumischen, darüber sind die Meinungen noch geteilt<sup>1)</sup>.

Das Wesen des sogenannten nassen Betriebes der Vertikalöfen ist, daß die nach Beendigung des Gasens im Koks aufgespeicherte Wärme zur Dampferzeugung ausgenutzt wird, um Wassergas zu bilden. Die Menge von Wassergas, welche auf diese Weise gebildet werden kann, berechnet sich aus der aufgespeicherten Wärme und ist in verschiedener Höhe angegeben worden, so z. B. von Körting zu 7,94 m<sup>3</sup>, von Geipert zu 7,3 m<sup>3</sup>. Letzterer<sup>2)</sup> nimmt außerdem an, daß durch die fortdauernde Heizung von außen auch während der Zeit des Dampfdurchleitens durch die Retorte noch Wärme zugeführt wird und daß auf diese Weise die nötige Wärmemenge in die Retorte gelangt, um weitere 4,8 m<sup>3</sup> Wassergas erzeugen zu können. Bei allen diesen Berechnungen ist jedoch nicht berücksichtigt worden, daß der Dampf, welcher in diesem Falle zum großen Teil unzersetzt durch den Koks hindurchgeht, eine große Wärmemenge fortführt. Auch im Wassergasgenerator ist es ja selbst bei geringster Dampfgeschwindigkeit nicht möglich, lange Zeit Gas zu erzeugen, ohne die verlorene Wärme durch Warmblasen zu ersetzen. Die Abkühlung erfolgt zufolge des Wärmeverbrauches und namentlich dann, wenn eine größere Menge von Dampf unzersetzt hindurchgeht, so rasch, daß die Gaserzeugung selbst bei geringster Dampfgeschwindigkeit nur 10 bis 15 Minuten mit einigermaßen gutem Nutzeffekt andauern kann. Allerdings liegt der Koks in den modernen Vertikalretorten in höherer Schicht als in den Wassergasgeneratoren. Dies kann jedoch nicht so viel ausmachen, daß in der Vertikalretorte durch 2 Stunden lang mit günstigem Nutzeffekt gegast werden kann. Es ist vielmehr zweifellos, daß hier der Nutzeffekt des Gasens sehr gering ist, weil eben die größte Menge des Dampfes den Koks unzersetzt verläßt. Beträgt die Temperatur der Vertikalretorte außen 1200 bis 1300°, also etwa ebensoviel als ein Wassergasgenerator, bei dem mit Gegenstrom gearbeitet wird, an der untersten Stelle besitzt, so kann die Temperatur im Inneren, zufolge des Wärmegefälles, keineswegs auch nur annähernd so hoch sein, als bei

<sup>1)</sup> Strache: „Ist die Wassergaserzeugung in Vertikalretorten ökonomisch?“ Journ. f. Gasbel. 1909, S. 12 u. S. 164; ferner Körting u. Geipert: „Ja, die Wassergaserzeugung in Vertikalretorten ist ökonomisch“, ebend. 1909, S. 13; Geipert, „Nasse Vergasung in Vertikalöfen“, ebend. 1909, S. 365; ferner Terhaerst u. Trautwein, „Mischgaserzeugung in der Steinkohlengasretorte“, ebend. 1909, S. 205; Ott, „Vergasungsvorgänge in der Vertikalretorte“, ebend. 1909, S. 837; ferner Debruck, ebend. 1910, S. 409; Terhaerst, ebend. 1910, S. 979 u. ebend. 1908, S. 1041; ferner Diskussion zu Drehschmidts Vortrag, ebend. 1908, S. 813, und Kobbert: „Wie teuer ist die nasse Destillation?“ ebend. 1908, S. 725. —  
<sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 365.

einem solchen Wassergasgenerator. Die Gaserzeugung pro 1 m<sup>2</sup> Fläche, welche in den Wassergasgeneratoren, wie wir auf S. 824 gesehen haben, bei einer Charge zwischen 19,6 und 42,5 m<sup>3</sup> beträgt, kann hier also nicht entfernt so hoch sein oder aber es wird eben mit einer Dampfgeschwindigkeit gearbeitet, welche eine gute Zersetzung unmöglich macht. Die gegenteiligen Rechnungen, welche diesbezüglich ausgeführt worden sind, sind deshalb nicht beweisend, weil sie Versuchsergebnisse, welche an verschiedenen Öfen erhalten wurden, miteinander kombinieren. Hingegen haben direkte Messungen des unzersetzten Dampfes an Vertikalretorten ergeben, daß etwa 60 Proz. unzersetzt aus der Retorte entweichen und dementsprechend ein Wassergas von 8 bis 12 Proz. Kohlensäuregehalt erhalten wird, daß also der aus der vorgenannten Überlegung gezogene Schluß richtig ist.

Als Vorteil der Wassergaserzeugung in der Vertikalretorte ist von manchen Seiten hervorgehoben worden, daß zufolge des Einleitens von Dampf keine Abscheidung von Graphit stattfindet, da der Kohlenstoff direkt in Wassergas verwandelt werde und daß somit der Kohlenstoffverbrauch der Wassergaserzeugung in der Vertikalretorte keine Kosten verursache. Eine direkte Bestimmung des Kohlenstoffverbrauches durch Wägung der Koks- ausbeute ist zu ungenau, da es sich ja doch nur um eine geringe Menge von Wassergas auf eine verhältnismäßig große Menge von Koks handelt. Es ist also nicht möglich, direkt zu ermitteln, ob tatsächlich nur der Graphitkohlenstoff zur Erzeugung des Wassergases verwendet wird. Es ist dies jedoch nicht sehr wahrscheinlich, da der Kohlenstoff in Form des Graphites weit dichter ist, als der Kohlenstoff in Form des Kokes und somit vom Wasserdampf schwerer angegriffen wird. Überdies würde aber auch, im Falle wirklich nur der Graphitkohlenstoff in Wassergas verwandelt würde, auch dieser nicht kostenfrei sein, denn der Graphit repräsentiert einen beträchtlichen Wert, der mindestens ebenso hoch veranschlagt werden muß wie der Wert des Kokes.

Die unrationelle Wärmeausnutzung bei der Wassergaserzeugung in der Vertikalretorte hat zur Folge, daß eine beträchtliche Menge von Unterfeuerung erfordert wird, die zu Lasten der Wassergaserzeugung zu rechnen ist. Daß eine Erhöhung der Unterfeuerungsziffer tatsächlich eintritt, geht ja ohne weiteres auch schon daraus hervor, daß während des Dampfens, d. h. während der Wassergaserzeugung, die Retortenöfen fort beheizt werden müssen, und wenn durch 10 Stunden lang die Kohle entgast und dann durch 2 Stunden lang Wassergas erzeugt wird, so beträgt naturgemäß die Unterfeuerung für die Wassergaserzeugung ein Fünftel der Unterfeuerungskosten für die Entgasung der Kohle allein, so daß der Unterfeuerungsverbrauch bei der nassen Vergasung entsprechend steigt.

Auch die erzielte Gesamtausbeute an Mischgas aus der Kohle ist in der Vertikalretorte geringer, als wenn man getrennte Anlagen für die Erzeugung von Steinkohlengas und Wassergas errichtet. Der Wassergaszusatz in der Vertikalretorte ist ja auf etwa 10 bis 12 Proz. beschränkt, weil eben eine größere Menge von Wassergas infolge der aufgespeicherten Wärme des Kokes nicht erzielt werden kann und weil der hohe Kohlensäuregehalt des in der Vertikalretorte erzeugten Wassergases sonst die Qualität des Gases zu sehr herabdrückt. Ein so geringer Zusatz von Wassergas ist jedoch nicht wirtschaftlich und läßt nicht die gleiche Ausbeute erzielen, wie sie z. B. bei der von Terhaerst angegebenen Nürnberger Betriebsweise erreicht wird. Auch Ott hat gefunden,

daß beim nassen Vertikalofenbetriebe im Züricher Gaswerk 1,8 Proz. weniger Gesamtausbeute an Energie aus der Kohle gewonnen wurden, als beim gewöhnlichen Horizontalofenbetriebe, wogegen beim trockenen Vertikalofenbetriebe 0,6 Proz. mehr Ausbeute an Energie erhalten wurden. Die Differenz beträgt also 4,24 Proz. zuungunsten des Wassergasbetriebes im Vertikalofen.

Selbstverständlich wird auch die Koksausbeute beim nassen Vertikalofenbetrieb durch die Wassergasbildung verringert. Der Mehraufwand an Unterfeuerung und der Verbrauch an Koks in der Retorte selbst können zusammen mit 2,4 Proz. der vergasteten Kohle angenommen werden<sup>1)</sup>; das ist keinesfalls so wenig, daß man die Wassergaserzeugung in der Vertikalretorte als kostenfrei darstellen könnte.

Von seiten der Verfechter des nassen Vertikalofenbetriebes wird hervorgehoben, daß hier die Anlagekosten für eine eigene Wassergasanlage entfallen, weil das Wassergas in der Retorte selbst erzeugt wird. Richtig ist jedoch die folgende Überlegung. Wenn eine Vertikalretorte 10 Stunden zur Entgasung der Kohle dient, 2 Stunden zur Erzeugung von Wassergas, so ist ein Fünftel der gesamten Anlagekosten, ebenso wie ein Fünftel der Bedienungskosten zu Lasten des in der Vertikalretorte erzeugten Wassergases zu rechnen. Auf diese Weise berechnen sich die Anlagekosten der Wassergaserzeugung in der Vertikalretorte teurer, als wenn eine besondere Wassergasanlage vorgesehen wird.

Der Vergleich der Anlagekosten stellt sich nach Terhaerst und Trautwein<sup>2)</sup> für eine Tagesleistung von 160 000 m<sup>3</sup> Mischgas wie folgt:

Für Schrägretortenöfen mit einer entsprechenden Wassergas-	
zusatzanlage . . . . .	1,272 Mill. Mark
„ Horizontalretortenöfen mit Lademaschinen und Wassergas-	
zusatzanlage . . . . .	1,423 „ „
„ eine Kammerofenanlage und Wassergaszusatzanlage . . . . .	2,095 „ „
„ eine Vertikalofenanlage mit Naßbetrieb . . . . .	2,104 „ „

Auch die Kosten der Dampferzeugung sind beim Vertikalofen zufolge des viel höheren Dampfbedarfes wegen der Menge des unzersetzten Dampfes, viel größer als bei einer eigenen Wassergasanlage. Debruck hat zwar angegeben, daß sich der Dampf im Vertikalofenbetrieb durch die Abhitze der Öfen kostenfrei erzeugen ließe; dadurch wird aber die Ofenregulierung erschwert und überdies ist zu berücksichtigen, daß der durch die Abgase erzeugte Dampf ja auch für andere Zwecke verwendet werden könnte, daher also nicht als wertlos in Rechnung zu setzen ist.

Terhaerst und Trautwein gaben einen genauen Vergleich der Resultate des nassen Vertikalofenbetriebes mit dem Mischgasbetrieb, unter Benutzung einer besonderen Wassergasanlage nach der Nürnberger Arbeitsweise. Sie rechnen dabei den Wassergaszusatz so hoch, daß die gleiche Gesamtausbeute von 39,4 m<sup>3</sup> auf 100 kg Kohle erzielt wird und finden nachstehende Werte:

	Nasser Vertikalofenbetrieb	Horizontalöfen mit Wassergaszusatz
Ausbeute pro 100 kg . . . . .	39,4 m <sup>3</sup>	39,4 m <sup>3</sup>
Heizwert (unterer)/m <sup>3</sup> . . . . .	4360 Kal.	4605 Kal.
Koksausbeute . . . . .	68,6 Proz.	69,6 Proz.
Heizwert des Koks/es/kg . . . . .	6900 Kal.	7000 Kal.

<sup>1)</sup> Bössner, Zeitschr. d. österr. Gasvereins 1910, S. 278 u. 323. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 517 u. 1197.

Allerdings läßt sich durch Verlängerung der Entgasung auch im Vertikalofen die angegebene hohe Ausbeute erzielen, jedoch kostet dies bei 10 m<sup>3</sup> Mehrleistung pro Tonne Kohle 1 Proz., das ist 10 kg mehr Unterfeuerung. Diese 10 kg, im Wassergasgenerator vergast, geben aber 18 m<sup>3</sup> Wassergas, also eine wesentlich höhere Ausbeute.

Die Gesamtkosten der Wassergaserzeugung werden von Kobbert für den Betrieb in der Vertikalretorte mit 7,8 ₤, dagegen für den Betrieb im Generator mit 4,72 ₤ pro Kubikmeter angegeben. Auch Terhaerst und Trautwein berechnen die Kosten der Wassergaserzeugung in der Vertikalretorte um beiläufig 20 Proz. höher als die Kosten des Generatorbetriebes. Als jährliche Kosten des Mischgasbetriebes bei einer Maximaltagesleistung von 160 000 m<sup>3</sup> berechnen dieselben:

Für Horizontalöfen mit Wassergaszusatz . . . . .	241 275 M
„ Kammeröfen mit Wassergaszusatz . . . . .	266 550 „
„ Vertikalöfen mit Naßbetrieb . . . . .	263 000 „
„ Schrägretortenanlage allein . . . . .	281 050 „

Die Berechnung hingegen, welche von Debruck für Düsseldorf aufgestellt wurde, ist deshalb nicht maßgeblich, weil dort die Wassergasanlagen derart schlecht ausgenutzt wurden, daß von einem rationellen Betriebe derselben nicht gesprochen werden kann.

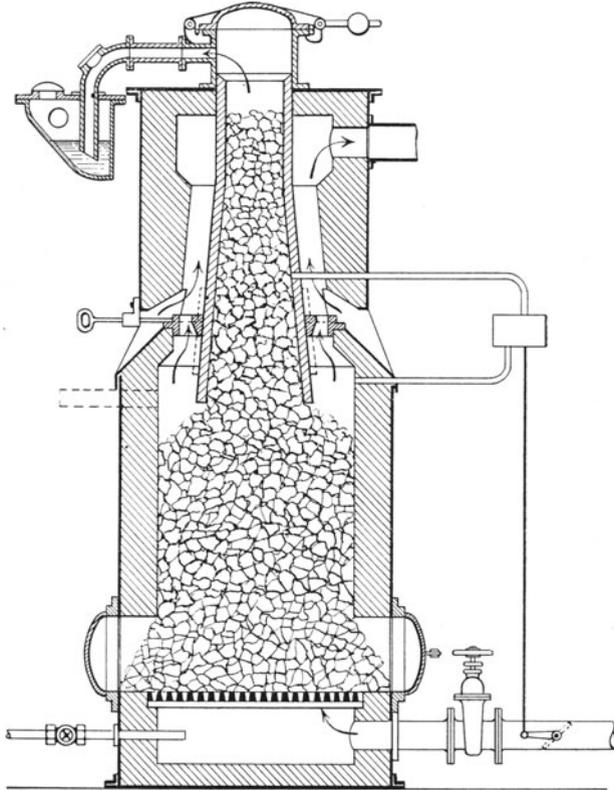
Zugunsten besonderer Wassergasanlagen tritt aber auch noch der Umstand, daß eine Wassergasanlage stets betriebsbereit und deren Betrieb außerordentlich dehnbar ist. Eine Wassergasanlage ist je nach Wahl des angewendeten Systemes in 1/2 bis 2 Stunden betriebsbereit und kann jeden Moment wieder stillgestellt werden. Der Vertikalofenbetrieb ist schon deshalb viel weniger beweglich, weil ein kalter Ofen mindestens 14 Tage zum Anheizen benötigt, also nicht stets sofort Gas liefern kann, wenn solches gebraucht wird. Für eine Tagesproduktion von 100 000 m<sup>3</sup> sind drei Wassergasgeneratoren erforderlich, welche jederzeit sofort zur Verfügung stehen, dagegen müssen für eine gleiche Leistung im Vertikalofen 25 Vertikalöfen erst angeheizt werden, ehe diese Leistung zu erzielen ist. Ferner muß aber noch berücksichtigt werden, daß auch eine Forcierung des Betriebes, wie sie bei den Wassergasgeneratoren leicht zu erzielen ist, beim Vertikalofen unmöglich ist; dieser kann immer nur jene Wassergasmenge dem Steinkohlengase beimischen, wie sie einmal festgesetzt ist. Schließlich ist es auch von Wichtigkeit, daß mit der besonderen Wassergasanlage eine Regulierung des Kokspreises stattfinden kann, indem zu Zeiten schlechten Koksabsatzes dieser vergast wird. Ferner aber, daß durch die besondere Wassergasanlage auch eine Regulierung des Heizwertes des Gases ermöglicht ist, während der Vertikalofen mit seinem beschränkten Wassergaszusatz dies nicht in gleichem Maße gestattet. Ferner ist im Vertikalofenbetrieb die Qualität des erzeugten Wassergases unkontrollierbar, während sie im Generator fortlaufend einer Kontrolle unterzogen werden kann und daher auch ein viel kohlen säureärmeres Gas erzeugt wird als im Vertikalofen.

Schließlich ist noch ein Vorteil der besonderen Wassergasanlage, daß sie auch eine Sicherung gegen die Arbeiterstreiks gibt, was man beim Vertikalofen nicht sagen kann, wenn auch ein Mann in diesen 11 000 m<sup>3</sup> pro Schicht zu erzeugen vermag. Es mangelt aber eben die stete Betriebsbereitschaft und gar wenn es sich um Bergarbeiterstreiks handelt, zu Zeiten, da keine

Kohle an das Gaswerk angeliefert wird, kann der Vorteil der besonderen Wassergasanlage durch den nassen Vertikalofenbetrieb nicht ersetzt werden.

Wenn trotz allen oben geschilderten Umständen in den meisten Vertikalofenanlagen der nasse Betrieb eingeführt ist, so liegt dies daran, daß der Wasserdampfzusatz am Schlusse der Gasperiode besondere Vorteile für den Vertikalofenbetrieb mit sich bringt. Es treten dadurch nämlich weniger Steigrohrverstopfungen auf und außerdem wird dadurch das Graphitieren erleichtert, da der Graphit durch die wechselnde Temperatur abspringt.

Fig. 373.



Auch die kontinuierliche Entgasung der Kohle in Vertikalretorten gehört in das Gebiet der Mischgaserzeugung, wenn der den Retorten entfallende Koks durch Zufuhr von Wasserdampf im Apparat selbst abgelöscht wird. Wir haben dies jedoch bereits ausführlich bei der kontinuierlichen Entgasung (S. 361 bis 364) besprochen.

Einen Apparat, in welchem ein Gemisch von Steinkohlengas und Wassergas in ebenso einfacher Weise hergestellt werden kann, wie es sonst beim uncarburierten Wassergase der Fall ist, hat der Verfasser in dem so benannten Doppelgasverfahren angegeben<sup>1)</sup>. Beim gegenwärtigen Verfahren der Gaserzeugung wird der den Retorten entnommene glühende Koks teil-

<sup>1)</sup> D. R.-P. Nr. 205252 und Österr. Pat. Nr. 27211.

weise in den Generator gefüllt, welcher zur Beheizung der Retorten dient, und zum größeren Teile abgelöscht. Ein Teil dieses gelöschten Kokes wird dann in den Wassergasgenerator gebracht und dort neuerdings durch das Warmblasen zum Glühen erhitzt. Dabei entsteht Generatorgas, welches bei den Generatoren, die ohne Carburatation arbeiten, meistens nutzlos in die Luft entweicht. Das im Wassergasgenerator erzeugte Wassergas, welches den Generator heiß verläßt, wird unter Aufwendung von Kühlwasser im Skrubber gekühlt und dann dem Steinkohlengas zugemischt. Es wird also Generatorgas erzeugt, welches zur Beheizung der Retorten dienen könnte, andererseits aber wird beim Ablöschen des Kokes etwas Wassergas und viel Dampf erzeugt, der ebenfalls nutzlos verloren geht. Bei dem genannten Mischgasgenerator werden hingegen sämtliche Operationen in einem Raum vereint. Der Oberteil des Generators ist als Entgasungskammer ausgebildet, welcher durch das unten entstehende Generatorgas geheizt wird, wie dies aus der schematischen Fig. 373 hervorgeht. Der Unterteil ist ein Generator, der mit der Entgasungskammer in direkter Verbindung steht. Beim Warmblasen des Generators entsteht das zur Beheizung der Entgasungskammer dienende Generatorgas. Das während des Warmblasens entwickelte Steinkohlengas wird in dem Maße, wie es entsteht, oben aus der Entgasungskammer abgenommen. Während der Gasperiode wird Dampf von unten in den Generator eingeblasen und das erzeugte Wassergas geht in sehr heißem Zustande durch die Entgasungskammer und trägt dort wesentlich zur raschen Entgasung der Kohle bei<sup>1)</sup>.

Um die Gefahr zu beseitigen, daß sich Heizgase den Destillationsgasen beimischen<sup>2)</sup>, wurde eine besondere automatisch wirkende Vorrichtung konstruiert, welche die Luftzufuhr bzw. die Gasabfuhr so regelt, daß zwischen Generator und Entgasungskammer stets eine unbewegte Gasschicht erhalten bleibt.

Bei diesem Verfahren erhält man zunächst in dem Entgasungsraume aus 100 kg Kohle 30 m<sup>3</sup> Steinkohlengas von etwa 5600 Kal. und 70 kg Koks. Aus letzterem werden etwa 100 m<sup>3</sup> Wassergas von 2900 Kal. oberem Heizwert erhalten, so daß in Summe 130 m<sup>3</sup> Mischgas mit einem Heizwert von 3530 Kal. pro Kubikzentimeter entstehen. Rechnet man den Heizwert der Kohle, aus welchem dieses Mischgas entstanden ist, mit 6500 Kal. pro Kilogramm, so ergibt sich ein Nutzeffekt an Heizwert des erzeugten Gases von 70 Proz., also ebensoviel wie dies bei den beschriebenen Wassergasgeneratoren der Fall ist.

Will man mittels dieses Verfahrens ein Gas von noch höherem Heizwert, etwa 4000 Kal., erzielen, so kann man einen Teil des Kokes oberhalb des Rostes abziehen. Es wird dadurch weniger Koks in Wassergas umgewandelt und bei der gleichen Stundenleistung des Generators ein größerer Durchsatz an Steinkohle erzielt, so daß also weniger Wassergas und mehr Steinkohlengas gebildet wird; hierdurch steigt natürlich der Heizwert des Gases in entsprechender Weise.

Will man z. B. ein Gas von 4000 Kal. oberem Heizwert erzielen, so zieht man pro 100 kg vergaster Kohle 40 kg Koks ab. Es bleiben dann zur Wasser-

---

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 814. — <sup>2)</sup> Vgl. Bolz: Bemerkungen zum Vortrage von Strache, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 335.

gaserzeugung  $70 - 40 = 30$  kg Koks disponibel. Diese liefern unter den hier waltenden Umständen  $43 \text{ m}^3$  Wassergas von 2900 Kal., welche sich mit den  $30 \text{ m}^3$  Steinkohlengas von 5600 Kal. mischen, wodurch  $73 \text{ m}^3$  eines Mischgases von 4000 Kal. oberem Heizwert entstehen.

Von der angewendeten Kohle sind in diesem Falle vergast

$$100 - 40 = 60 \text{ kg};$$

rechnet man den vergasten Anteil der Kohle wieder mit 6500 Kal. pro 1 kg, so ergibt sich der vergaste Anteil zu einem Heizwert von 3900 Kal. Der Heizwert des erzeugten Gases pro 1 kg zur Vergasung gebrachter Kohle beträgt

$$4000 \cdot 0,73 = 2920 \text{ Kal.},$$

der Nutzeffekt ist somit

$$\frac{2920 \cdot 100}{3900} = 75 \text{ Proz.}$$

Man kann also auf diese Weise ein für die heute in Verwendung stehenden Beleuchtungs- und Beheizungsapparate durchaus geeignetes Gas von 4000 Kal. oberem Heizwert mit einer Ausbeute von  $73 \text{ m}^3$  pro 100 kg vergaster Kohle und mit einem thermischen Nutzeffekt von 75 Proz. erzielen. Dabei werden ferner noch 43 kg Koks und die volle den vergasteten 100 kg Kohlen entsprechende Teer- und Ammoniakmenge erhalten. Die Menge des gebildeten Ammoniaks ist sogar größer als bei der gewöhnlichen Entgasung der Kohle, weil die Entgasung bei sehr niedriger Temperatur und unter rascher Abführung der entstehenden Destillationsprodukte ausgeführt wird.

Die Entgasung der Kohle findet nach diesem Verfahren wesentlich rascher statt, als bei der Erhitzung in Retorten oder Kammern von außen. Hier wird nämlich jedes einzelne Kohlenstück von den heißen, von unten her kommenden Gasen erhitzt, so daß nicht das große Temperaturgefälle von der Wandung bis in das Innere der Retorte erforderlich ist, und dementsprechend genügt es, wenn die ganze Retorte außen und innen eine Temperatur von ungefähr  $800^\circ \text{C}$  hat, um die vollständige Entgasung der Kohle herbeizuführen. Die Retorte ist dementsprechend auch außen nur eben hellrot glühend. Bei diesen Temperaturen findet aber weder eine Zersetzung der Kohlenwasserstoffe, noch eine Zersetzung des Ammoniaks statt, daher werden diese Produkte mit besserer Ausbeute erhalten, als bei Verwendung in Retorten und Entgasungskammern mit den sehr hoch erhitzten Wänden.

Dieses Verfahren hat den Namen „Doppelgasverfahren“ erhalten, welcher andeuten soll, daß zweierlei Gase zu gleicher Zeit in ein und demselben Apparat gewonnen werden.

Young<sup>1)</sup> beschreibt ebenfalls einen Gaserzeuger, in welchem die Kohle im selben Raume entgast wird, in welchem die Verbrennung erfolgt. Ein Schachtofen besitzt Längsrippen, die innen mit Koksfeuer auf helle Glut gebracht werden. Dann wird Kohle eingefüllt, die an den Rippen entgast und sich dabei mit einem Koksmantel umgibt. Sobald die Gaserzeugung nachläßt, bläst man Luft ein, die den Koks außen verbrennt und die Kohle dadurch heizt, dann wird der Schornstein geschlossen, Dampf eingeblasen, der, in Wassergas umgesetzt, den Koks durchstreicht und über die Kohle gelangt, indem er deren Entgasung beschleunigt.

<sup>1)</sup> Journ. of Gaslighting 1909, p. 17; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 378.

## 62. Methan (Sumpfgas).

Das Methan ist nebst dem Wasserstoff einer der wichtigsten Bestandteile der meisten Heiz- und Leuchtgase. Es wird daher zweckmäßig sein, dasselbe hier näher zu besprechen und insbesondere dessen Bildungsweisen kennen zu lernen.

Das Methan ist ein Kohlenwasserstoff von der Formel  $\text{CH}_4$  mit dem Molekulargewicht 16. Da ein Molekulargewicht eines Gases in Grammen ausgedrückt (1 Mol.) 22,3 Liter Raum einnimmt (vgl. S. 43), so ergibt sich das Gewicht eines Kubikmeters Methan zu  $\frac{16}{22,3} = 0,717$  kg, oder die Dichte bezogen auf Luft zu  $\frac{0,717}{1,293} = 0,554$ .

Der Heizwert pro 1 Mol. ergibt sich zu 213,5 Kal.<sup>1)</sup> Der Heizwert eines Kubikmeters Methan berechnet sich danach, indem wir die molekulare Verbrennungswärme durch das Molekularvolumen 22,3 dividieren, d. i.

$$213,5 : 22,3 = 9550 \text{ Kal. (ob. } 0^\circ, \text{ trocken).}$$

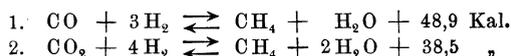
In reinem Zustande ist das Methan ein vollständig farbloses und geruchloses Gas. Beim Ausströmen an der Luft entzündet, brennt es mit einer sehr schwach leuchtenden Flamme, indem sich in der Hitze 1 Mol. Methan in 1 At. Kohlenstoff und 2 Mol. Wasserstoff zerlegt.

Zufolge des hohen Heizwertes des Methans wäre es außerordentlich wertvoll, dasselbe auf einfachem und billigem Wege rein darstellen zu können. Es entsteht bei der trockenen Destillation der meisten organischen Substanzen, meistens im Gemisch mit Wasserstoff und daher bildet es eben auch einen Hauptbestandteil des Steinkohlengases sowie des Ölgases. Es entsteht ferner auch durch Überhitzung anderer Kohlenwasserstoffe, indem sich dieselben in Kohlenstoff und Methan spalten.

Im Laboratorium gewinnt man reines Methan, indem man essigsäures Natron mit Natronkalk erhitzt. Es spaltet sich dabei unter Bildung von Methan und kohlen-säurem Natron nach der Formel:



Man konnte das Methan auch schon früher im Laboratorium synthetisch, d. h. aus seinen Elementen erzeugen, jedoch nur auf verhältnismäßig unständliche Weise. Von größerer Bedeutung sind erst die Synthesen geworden, welche von Sabatier und Senderens aufgefunden wurden. Diese beruhen auf der Reduktion des Kohlenoxyds und der Kohlensäure durch Wasserstoff gemäß der Formeln:

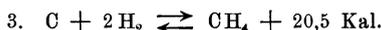


Diesen Reaktionen schließt sich noch die in den letzten Jahren von H. Bunte aufgefundene Reaktion an, nach welcher sich Kohlenstoff direkt mit Wasserstoff zu vereinigen vermag, wenn gewisse Substanzen, die an der

---

<sup>1)</sup> Landolt-Börnstein, Physikalisch-chemische Tabelle. Verlag Springer, Berlin 1905.

Reaktion nicht beteiligt sind (Katalysatoren), anwesend sind. Diese Einwirkung erfolgt nach der Gleichung:



Bei allen diesen Vorgängen, die bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen in Gegenwart von Katalysatoren stattfinden, spielt auch der Zerfall des Kohlenoxyds in Kohlenstoff und Kohlensäure, den wir schon auf S. 327 besprochen haben, eine wichtige Rolle. Derselbe erfolgt gemäß der Gleichung:



Wie schon aus den vorstehenden Gleichungen hervorgeht, sind alle diese Reaktionen umkehrbar, d. h. sie können in dem Sinne von links nach rechts stattfinden, indem sich z. B. gemäß der Gleichung 1 Kohlenoxyd mit Wasserstoff umsetzt zu Methan und Wasserdampf unter Entwicklung von Wärme, oder aber es kann auch umgekehrt Methan von Wasserdampf, natürlich unter Verbrauch von Wärme umgesetzt werden zu Kohlenoxyd und Wasserstoff, so daß also in diesem Falle die Gleichung von rechts nach links vor sich geht. Es bilden sich somit bei allen diesen Reaktionen Gleichgewichtszustände (vgl. S. 44), und da alle diese Reaktionen von links nach rechts gelesen unter Entwicklung von Wärme verlaufen, so geht daraus hervor (vgl. S. 45), daß bei niedriger Temperatur die auf der rechten Seite stehenden Verbindungen bevorzugt werden, während bei höheren Temperaturen sich das Gleichgewicht derart verschiebt, daß mehr von den auf der linken Seite stehenden Verbindungen gebildet wird. Auf alle Fälle aber wird für jede Temperatur ein gewisser Gleichgewichtszustand zwischen allen in jeder einzelnen Gleichung stehenden Substanzen eintreten.

H. Bunte<sup>1)</sup> hat mit seinen Mitarbeitern M. Mayer, Jacoby, Altmayer und Henseling in einer sehr ausführlichen Untersuchung alle diese Gleichgewichtszustände untersucht und dabei eben auch gefunden, daß sich gemäß der Gleichung 3 das Methan synthetisch aus Kohlenstoff und Wasserstoff bei Einwirkung gewisser Katalysatoren herstellen läßt. Ebenso hat Mayer<sup>2)</sup> im Verein mit Henseling und Pott eine Reihe diesbezüglicher Patente und Katalysatoren geprüft und die Gleichgewichtsverhältnisse ermittelt.

Für alle diese Reaktionen ist der beste Katalysator das Nickel, jedoch auch Eisen und Kobalt sind wirksam.

Die Einwirkung des Wasserstoffes auf Kohlenoxyd gemäß der Gleichung 1 geht bei Gegenwart von Nickel schon bei 190° C vor sich. Bei höherer Temperatur ist die Einwirkung eine rasch steigende, schließlich tritt jedoch mehr die Spaltung des Kohlenoxyds gemäß der Gleichung 4 in Kohlenstoff und Kohlensäure in den Vordergrund.

Sabatier<sup>3)</sup> erhielt aus Wassergas durch Nickel bei 380° C ein Gasgemisch von 52,6 Proz. CO<sub>2</sub>, 39,8 Proz. CH<sub>4</sub> und 7,0 Proz. H<sub>2</sub>. Das Kohlenoxyd wurde also auch hierbei in Kohlenstoff und Kohlensäure gespalten. Die aus Kohlenstoff und Nickel bestehende Kontaktmasse kann dann durch Überleiten von Dampf bei 400 bis 500° C wieder in Kohlensäure, Methan und Wasserstoff verwandelt werden, wobei das Nickel regeneriert wird. Absorbiert man aus

<sup>1)</sup> Über einige Gasreaktionen. Journ. f. Gasbel. 1909, S. 166. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1906, S. 990; Zeitschr. f. Elektrochemie 1906, S. 788. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1906, S. 483.

diesem Gasgemisch den Überschuß von Kohlensäure, so kann man ein Heizgas mit 55 bis 60 Proz. Methan und 45 bis 50 Proz. Wasserstoff mit einem Heizwert von etwa 6000 Kal. erhalten.

Mailhe<sup>1)</sup> berichtete über die Einwirkungen von Nickel auf Kohlensäure und Wasserstoff bei einer Temperatur von 300 bis 350° und auf Kohlenoxyd und Wasserstoff bei einer Temperatur von 200 bis 230°, wobei in beiden Fällen Methan neben Wasserdampf erhalten wird, während der Zerfall des Kohlenoxyds in Kohlensäure und Kohlenstoff erst oberhalb 250° stattfinden soll. Auch bei Anwendung von Kobalt als Katalysator kann bei 350° durch einen raschen Gasstrom die Kohlenoxydspaltung so verringert werden, daß nur Methan nach Gleichung 1 gebildet wird.

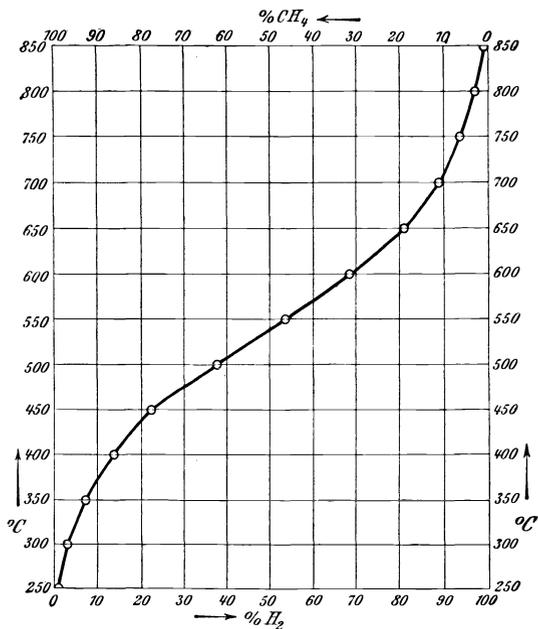
Um die Methanbildung aus Kohlenstoff und Wasserstoff einzuleiten, läßt man Kohlenoxyd bei 200 bis 350° über Nickel streichen, wodurch es sich in Kohlenstoff und Kohlensäure zersetzt. Der Kohlenstoff lagert sich auf dem feinverteilten Nickel ab und beim Darüberleiten von Wasserstoff entsteht dann Methan, gemäß der Gleichung 3. Die Gleichgewichtszustände zwischen Methan und Wasserstoff bei Gegenwart von Kohlenstoff sind aus dem Diagramm Fig. 374 zu entnehmen.

Es kann dabei sämtlicher Kohlenstoff in Methan übergeführt werden. Auch sind alle beliebigen Kohlenstoffarten in Methan überführbar. Aber bei den anderen Kohlenstoffsorten wird eine geringere Ausbeute erzielt, weil keine innige Berührung zwischen Nickel und Kohlenstoff erzielt werden kann. Auch Eisen ist als Katalysator brauchbar. Dies gibt jedoch wegen der Oxydation des Eisens durch die Kohlensäure kompliziertere Verhältnisse.

Leitet man Wasserdampf über den durch Nickel abgeschiedenen Kohlenstoff, so entsteht schon bei 200° zum Teil Kohlensäure und Wasserstoff, die sich dann gemäß der Gleichung 2 zu Methan und Wasserdampf umlagern. Dabei wird allerdings höchstens der vierte Teil des Kohlenoxyds in Methan übergeführt, und das Endgas enthält sehr viel Kohlensäure, deren Entfernung teuer ist.

Es wäre begreiflicherweise von großer Bedeutung, wenn es gelänge, das Kohlenoxyd des Wassergases durch Reduktion mit Wasserstoff in Methan zu

Fig. 374.



<sup>1)</sup> Chem.-Ztg. 1907, S. 1083 und Fortsetzung.

verwandeln. Es ist jedoch dabei ein Überschuß an Wasserstoff erforderlich, der dem Wassergase besonders zugesetzt werden müßte, oder der dadurch zu erzielen wäre, daß von vornherein ein kohlenoxydarmes Wassergas erzeugt würde. Bone und Covard<sup>1)</sup> haben die direkte Vereinigung des Wasserstoffs im Wassergase mit Kohlenstoff zu Methan im Auge und erhielten tatsächlich eine 95proz. Ausbeute an Methan, indem sie Wassergas bei 1150° über 0,3 g gereinigte Zuckerkohle 17 bis 25 Stunden lang leiteten. Zufolge der außerordentlich geringen Reaktionsgeschwindigkeit ist dieses Experiment vorläufig ohne alle praktische Bedeutung, doch wäre es ja möglich, daß es einmal gelingt, diese Umsetzung durch irgend einen Stoff katalytisch zu beschleunigen. Der Vorteil wäre einerseits ein geringerer Kohlenoxydgehalt des Wassergases, andererseits eine Erhöhung des Heizwertes und dies sowohl bei der letztgenannten Umsetzung als auch bei der direkten Vereinigung des Wasserstoffs mit Kohlenstoff zu Methan.

Wassergas enthält stets geringe Mengen von Schwefelverbindungen, welche die Wirksamkeit des Nickels sehr bald aufheben (vergiften). Bedford<sup>2)</sup> hat daher vorgeschlagen, den CO-Gehalt des Wassergases durch Verflüssigung bei sehr niedrigen Temperaturen zu verringern, wobei die Schwefelverbindungen gleichzeitig vollständig beseitigt werden. Bedford konnte mit 200 g Nickel stündlich 5 m<sup>3</sup> des derart behandelten Wassergases quantitativ in Methan überführen, wobei das Nickel auch nach 100 Stunden noch nicht an Wirksamkeit verloren hatte.

Durch die Einwirkung geeigneter katalytisch wirkender Substanzen auf Kohlenoxyd und Wasserstoff lassen sich auch höhere Kohlenwasserstoffe erzeugen. So z. B. hat Orloff<sup>3)</sup> durch die Einwirkung eines Gemisches von Nickel und Palladium auf Kohlenoxyd und Wasserstoff bei 95 bis 100° C Äthylen erhalten, welches durch den gelben Niederschlag nachgewiesen wurde, den es in einer wässrigen Lösung von Kaliumquecksilberjodid in Natronlauge erzeugt.

Technisch ist die Methanbildung aus Kohlenoxyd und Wasserstoff nicht aussichtsreich, weil sie unter erheblichem Wärmeverbrauch stattfindet. Man erhält nämlich aus 1 m<sup>3</sup> Kohlenoxyd und 3 m<sup>3</sup> Wasserstoff, welche zusammen 12 320 Kal. Heizwert besitzen, nur 1 m<sup>3</sup> Methan mit 9550 Kal. oberem Heizwert (0°, trocken). Wollte man dagegen auf diese Weise Kohlenoxyd aus dem Leuchtgase entfernen, so würden auch andere Kohlenwasserstoffe zersetzt und würde der Heizwert daher herabgesetzt. Aber auch bei der Umsetzung des Kohlenoxyds im Wassergase zu Methan würde wegen des Verlustes von 1100 Kal. pro 0,5 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> eine praktische Verwertung des Prozesses Nachteile bringen. Außerdem würde die Erhitzung auf 200 bis 300° einen Wärmeverbrauch bedingen, der allerdings dadurch gedeckt werden könnte, daß man das heiße, dem Generator entströmende Gas direkt zu der Reaktion verwendet.

Die vorgenannten Methansynthesen sind also vorläufig noch nicht zur praktischen Verwendbarkeit gediehen. Deshalb ist man nach wie vor bestrebt, methanhaltige Gase durch Zersetzung organischer Substanzen, insbesondere auch durch Zersetzung höherer Kohlenwasserstoffe zu erzielen.

So z. B. bezweckt auch die Zersetzung des Teeres durch Überleiten über glühenden Koks in Generatoren, die Kohlenwasserstoffe des Teeres im wesent-

<sup>1)</sup> Chem. Soc. Proc. 1910, S. 146; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 836. — <sup>2)</sup> Erdmann, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 737. — <sup>3)</sup> Russische phys. Ges.; Chem.-Ztg. 1908, S. 1153; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 246.

lichen in ein Gemisch von Wasserstoff und Methan zu verwandeln, das man Methanwassergas genannt hat. Eine solche Anlage ist z. B., wie schon unter dem Kapitel über carburiertes Wassergas erwähnt (S. 900), in Swindon<sup>1)</sup> errichtet worden. Ebenso wurde von der Biggs, Wall & Co. zu Hythe in Kent<sup>2)</sup> eine derartige mit Teer betriebene Wassergasanlage errichtet.

Das reinste, zu technischen Zwecken zur Verfügung stehende Methan ist jedenfalls in den europäischen Naturgasquellen gegeben, welche in den letzten Jahren in Neuengamme bei Bergedorf (Hamburg) und in Kiss-Csármás in Siebenbürgen erbohrt wurden (S. 719).

Vorläufig findet aber das Methan nur als Heiz- und Motorengas Anwendung, und daher ist es vorläufig von keinem besonderen Interesse, daß in diesen Gasquellen gerade ein nahezu einheitlicher Stoff vorliegt. Sollte aber einmal zu irgend welchen Prozessen der chemischen Großindustrie Methan nicht als Heizmittel, sondern als chemische Substanz benutzt werden, so kämen jedenfalls diese Naturgasquellen eher in Betracht als die Synthese des Methans, die bis auf weiteres noch immer als eine kostspielige zu betrachten sein wird.

### 63. Wasserstoff, Ballongase.

In dem Streben nach Beherrschung der Luft hat die Gasindustrie der Menschheit wesentliche Dienste geleistet; doch erst in allerletzter Zeit hat sie Methoden geschaffen, die der Luftschiffahrt und besonders den Lenkballons ein Gas zur Verfügung stellen, das sowohl in der Qualität als auch im Preise allen Anforderungen vollkommen entspricht.

Das erste deutsche lenkbare Luftschiff des Paul Haenlein stieg allerdings in Brünn bereits im Jahre 1872 am Fesselseile auf<sup>3)</sup>. Es unterschied sich von den heutigen Lenkballons dadurch, daß auch der Antrieb des Motors für die Propeller mit Gas erfolgte und zwar mittels eines vierzylinderigen 4 PS-Motors, dessen Gewicht 95 kg pro PS betrug. Der Gasverlust wurde genau, wie dies heute üblich ist, durch eine Luftballonet ersetzt. Aber erst im letzten Jahrzehnt hat die Motorenindustrie Maschinen geschaffen, welche in bezug auf Gewicht und Leistung den Ansprüchen der Luftschiffahrt genügen.

Das Streben, ein billiges Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff ausfindig zu machen, ist zum großen Teile der Anwendbarkeit dieses leichtesten aller Gase zur Luftschiffahrt zuzuschreiben. Zufolge des geringen Gewichts, welches der Wasserstoff besitzt, ist die Tragfähigkeit eines gleich großen Ballons bei der Füllung mit Wasserstoff wesentlich größer, als bei der Füllung mit Leuchtgas. Wenn  $l$  das Gewicht eines Kubikmeters Luft und  $e$  dasjenige eines Kubikmeters des betreffenden Gases, ferner  $V$  das Volumen des Gases in Kubikmetern ist, so ist bekanntlich der Auftrieb, welchen das Gas erfährt,

$$V(l - g),$$

somit kann der Auftrieb von einem Kubikmeter Gas niemals größer sein als das Gewicht eines Kubikmeters Luft, das ist bei 0° und 760 mm Barometerstand 1,293 kg. Selbst dies wäre nur möglich, wenn das Gas gar kein Gewicht hätte. Ein vollständiges Vakuum hat somit eine Tragkraft von 1,293 kg pro Kubikmeter, bei einer Temperatur von 0°. Bei höherer Temperatur ist

<sup>1)</sup> Journ. of Gaslighting, Nr. 2291, S. 97. — <sup>2)</sup> Ebend., Nr. 2319, S. 230. — <sup>3)</sup> v. Oechelhäuser, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 883 u. 984.

der Auftrieb geringer, weil das Gewicht eines Kubikmeters Luft ( $l$ ) bei höherer Temperatur geringer ist. Wird dagegen das Gas im Inneren des Ballons erwärmt, so wird der Auftrieb größer, weil dann das Gewicht des Gases pro Kubikmeter ( $g$ ) geringer wird.

Ein Ballon, welcher mit warmer Luft gefüllt ist, erhält einen Auftrieb, weil warme Luft leichter ist als kalte, dies war schon vor Jahrhunderten bekannt. Die Gebrüder Montgolfier waren es bekanntlich, welche diese Eigenschaft der warmen Luft dazu benutzten, sich als die Ersten unter den Menschen in die Luft zu erheben. Merkwürdigerweise liegen seit neuester Zeit wieder Vorschläge vor, welche auf diese allererste Art der Ballongase zurückgreifen, und in der Tat kann auch kein leichtes Gas auf so billigem Wege erzeugt werden, wie warme Luft, nur müßten erst die richtigen Stoffe gefunden werden, welche jene Temperatur aushalten, die einen genügenden Auftrieb gewährleistet. So ist z. B. schon eine Temperatur von  $273^{\circ}$  erforderlich, um die Luft auf ihr doppeltes Volumen auszudehnen und demgemäß eine Tragkraft von 0,646 kg zu erreichen. Dies ist auch der Grund, warum man schon sehr bald von der Verwendung warmer Luft für Ballons abging.

Als das leichteste aller Gase war schon zu einer Zeit, wo man noch kein Steinkohlengas kannte, der Wasserstoff bekannt und die Verwendung des Wasserstoffs zur Luftschiffahrt greift daher schon auf ein Jahrhundert zurück. Ein Kubikmeter reiner Wasserstoff wiegt bei  $0^{\circ}$  und 760 mm Druck wenn er trocken ist, 0,090 kg. Er hat daher eine Tragkraft von 1,293 — 0,090, das ist 1,203 kg. Die hohen Kosten des Wasserstoffs und die allgemeine Verwendung des Steinkohlengases zu Beleuchtungszwecken veranlaßten aber die Aeronauteen, sich des allgemein erhältlichen Steinkohlengases, trotz seiner geringeren Tragkraft zu bedienen, die nur 0,6 bis 0,7 kg pro Kubikmeter beträgt.

In neuerer Zeit ist man bestrebt, Steinkohlengas speziell für Luftschiffahrtzwecke von besonders geringem spezifischen Gewicht herzustellen, worauf wir weiter unten zurückkommen werden. Wie wichtig die Abgabe von Ballongas für die Gasindustrie geworden ist, geht daraus hervor, daß im Jahre 1908 nach dem Jahresbericht des Luftschiffahrtsverbandes in Deutschland allein 1000 Ballonfahrten unternommen wurden, die 1,25 Mill. Kubikmeter Gas verbrauchten <sup>1)</sup>. Wir wollen daher die Erzeugung der Ballongase und speziell des Wasserstoffs näher besprechen. Besonders der Wasserstoff ist in neuerer Zeit wieder in ausgedehnter Weise für die Luftschiffahrt verwendet worden, nicht nur wegen der billigen Methoden seiner Erzeugung, die in den letzten Jahren aufgetaucht sind, sondern hauptsächlich deshalb, weil man für die Lenkballons, die unbedingt eine hohe Tragkraft mit geringstem Volumen verbinden müssen, nur mit dem leichtesten Gase das Auslangen finden kann.

Eines der am längsten bekannten, aber erst in den letzten Jahrzehnten technisch ausgebildeten Verfahren zur Erzeugung von reinem Wasserstoff ist das elektrolytische Verfahren. Wasserstoff entsteht bei der Elektrolyse von wässrigen Lösungen von Säuren sowie von Alkali- und Erdalkalisalzen. Die Stromstärke von 1 Amp. entwickelt in der Stunde 0,45 Liter Wasserstoff. 1 m<sup>3</sup> erfordert daher 2220 Amp.-Stunden. Für die Zersetzung des Wassers sind bei geringen Stromstärken 1,67 Volt erforderlich. Die nötige Spannung steigt jedoch bei wachsender Stromstärke. Eine Verringerung der Spannung

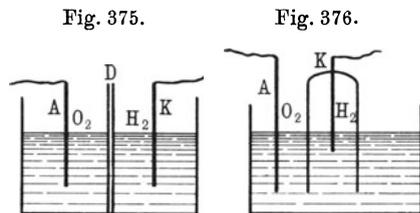
<sup>1)</sup> Riedl, Gasindustrie und Luftschiffahrt, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 321.

kann nur durch Verkleinerung des Widerstandes erreicht werden. Die elektrolytische Leitfähigkeit einer Lösung hängt von der Konzentration derselben und von der Temperatur ab. Je konzentrierter eine Lösung der obigen Stoffe und je wärmer dieselbe, desto größer ist die Leitfähigkeit. Außerdem ist aber der Widerstand durch die Entfernung der beiden Elektroden voneinander bedingt. Es ist daher notwendig, konzentrierte warme Lösungen zu verwenden und die Elektroden möglichst nahe aneinander zu bringen. Hier entsteht jedoch eine Schwierigkeit.

Die beiden Räume, in welche die beiden Elektroden eintauchen — sie werden Anoden- und Kathodenraum benannt —, müssen so getrennt sein, daß die Gase, welche sich an diesen Elektroden ansetzen, nämlich Wasserstoff an der Kathode und Sauerstoff an der Anode, sich nicht vermischen, sondern getrennt voneinander aufgefangen werden können. Zu diesem Zwecke werden zwei verschiedene Verfahren verwendet.

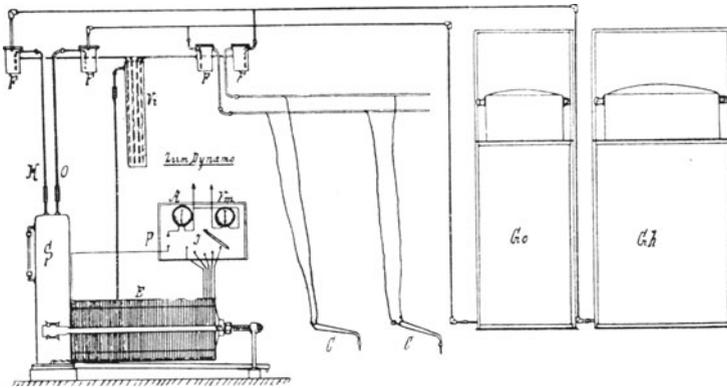
Das eine ist das Diaphragmaverfahren, welches in Fig. 375 dargestellt ist, und das zweite das Glockenverfahren, dessen Schema in Fig. 376 wiedergegeben ist. Das erstgenannte Verfahren kennzeichnet sich durch die Anwendung eines Diaphragmas *D*, welches den Anodenraum *A* von dem Kathodenraum *K* trennt. Dieses Diaphragma trennt jedoch auch den Elektrolyten in zwei Teile, so daß der Strom, welcher von der Anode *A* kommt und durch die Kathode *K* abgeführt wird, durch das Diaphragma *D* hindurchgehen muß. Aus diesem Grunde muß letzteres eben aus einem porösen Stoffe

bestehen, welcher so viel von dem Elektrolyten aufsaugt, daß dadurch die elektrische Leitfähigkeit gegeben ist. Andererseits muß er so dicht sein, daß er die Diffusion der Gase durch das Diaphragma verhindert. Natürlich ist die Wahl eines geeigneten Stoffes zur Herstellung des Diaphragmas von besonderer Bedeutung. Die Maschinenfabrik Örlikon verwendet ein Diaphragma aus Asbest. Um eine Verunreinigung der Gase durch Diffusion möglichst zu verhindern, werden dieselben möglichst schnell zu den Gasabscheidern geführt. Würde man nur eine einzige derartige Zelle verwenden, so würde, wie oben erörtert, die Spannung nur eine sehr geringe sein müssen, dagegen die Stromstärke eine sehr beträchtliche. Man zieht es daher vor, eine große Anzahl von solchen Zersetzungszellen hintereinander zu schalten, so daß dieselbe Stromstärke, in Amp. gerechnet, wiederholt die obengenannte Leistung hervorbringen kann und nur die Spannung sich entsprechend erhöht. Daraus ergibt sich eine Anordnung von Zersetzungszellen, die durch Diaphragmen voneinander getrennt sind, etwa in der Art, wie dies bei den Kammern von Filterpressen der Fall ist. Das Diaphragma verursacht natürlich ebenfalls einen Spannungsverlust. Daher kann man praktisch mit den obengenannten 1,67 Volt pro Zelle nicht das Auslangen finden, sondern man muß praktisch mit 2,5 Volt rechnen. Die Erzeugung von 1 m<sup>3</sup> Wasserstoff erfordert daher  $2,5 \times 2220 = 5550$  Watt, also etwas weniger als 6 Kilowatt. Als Elektrolyt verwendet man bei diesem Verfahren gewöhnlich eine 10proz. Lösung von Natriumcarbonat. Der Wasserstoff ist jedoch nach diesem Verfahren nie vollständig rein und enthält etwa 1 Proz. Sauerstoff.



Schuckert u. Co. arbeiten nach dem Glockenverfahren <sup>1)</sup>. Bei diesem geht der Strom von der Anode durch die untere Öffnung der Glocke hindurch zur Kathode, welche vollständig von der Glocke umschlossen ist. Die Glocke

Fig. 377 a.

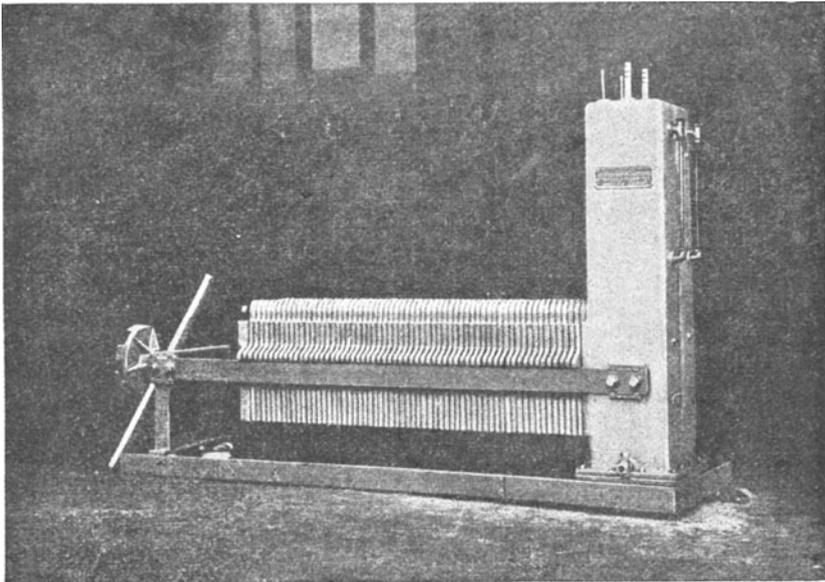


Schema zur Installation eines Oxhydrogenerators.

(D. R.-P. Eyken, Leroy &amp; Moritz.)

A Ampèremeter. C Schweißapparat. E Elektrolyseur. F Sicherheitstöpfe. G h Gasometer für H. G o Gasometer für O. H Wasserstoff. J Anlaßwiderstand. O Sauerstoff. P Sicherung. S Separator. T i Speisetopf. T m Voltmeter.

Fig. 377 b.



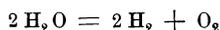
besteht also hier nicht aus einem Diaphragma, durch welches der Strom hindurch muß, sondern sie kann aus einer vollständig gasdichten Substanz gebildet sein. Dagegen muß der Strom bei diesem Verfahren einen längeren Weg

<sup>1)</sup> D. R.-P. 174 845 und 188 900.

zurücklegen. Trotz dieser Anordnung enthält auch der auf diese Weise erzeugte Wasserstoff stets geringe Mengen von Sauerstoff. Um diesen zu entfernen, wird er durch ein geheiztes Rohr geleitet, in welchem sich mit Palladiummohr getränkter Bimsstein befindet. Das Palladiummohr verursacht die Vereinigung von Wasserstoff mit den geringen, darin enthaltenen Mengen von Sauerstoff zu Wasser, so daß auf diese Weise aller Sauerstoff entfernt wird. Als Elektrolyt dient bei diesem Verfahren 20proz. Kalilauge und erfolgt die Zersetzung bei einer Temperatur von 60 bis 70° C.

Fig. 377a und 377b zeigt einen Apparat, wie ihn die Firma Eyken u. Leroy ausführt. Die in den Kammern sich ansammelnden Gase werden jedes in ein besonderes Sammelrohr geführt und gelangen von dort aus in die Behälter für Sauerstoff und für Wasserstoff. Auch bei diesem Apparat sind etwa 6 Kilowatt-Stunden zur Erzeugung von 1 m<sup>3</sup> Wasserstoff erforderlich.

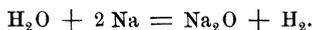
Gemäß der Zersetzung des Wassers nach der Formel



entsteht neben 1 m<sup>3</sup> Wasserstoff stets 1/2 m<sup>3</sup> Sauerstoff. Die Kosten der aufzuwendenden elektrischen Energie sind meist so bedeutende, daß der Wasserstoff nur dann zu einem annehmbaren Preise erhältlich ist, wenn auch der Sauerstoff einer Verwertung zugeführt werden kann, oder aber, wenn der elektrische Strom durch große Wasserkräfte in außerordentlich billiger Weise erzeugt werden kann.

Der elektrolytische Wasserstoff wird jedoch in manchen chemischen Fabriken in großem Maßstabe als Nebenprodukt gewonnen, so z. B. in den Werken Griesheim-Elektron bei Frankfurt a. M., wo 20 000 m<sup>3</sup> täglich gewonnen werden, Bernburg, Rheinfeldern und in Bitterfeld. Den dort gewonnenen Wasserstoff ließ man früher in die Luft entweichen, mangels einer geeigneten Verwendung. Jetzt wird derselbe jedoch aufgespeichert und in Flaschen komprimiert (vgl. S. 945), so daß er dadurch versandfähig gemacht ist. Aber auch die Verwendung des Sauerstoffs hat in neuerer Zeit, besonders durch die Einführung der autogenen Schweißung, einen solchen Umfang angenommen, daß dadurch die elektrolytische Wasserstoffherzeugung praktisch möglich geworden ist. Trotzdem aber ist sie vorderhand in bezug auf den Preis des erzeugten Wasserstoffes mit den anderen, weiter unten besprochenen Verfahren nicht konkurrenzfähig.

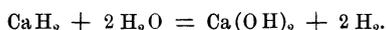
Eine andere Methode der Zersetzung des Wassers bei niedrigen Temperaturen beruht auf der Einwirkung von Metallen. Wirft man z. B. metallisches Natrium ins Wasser, so entwickelt sich Wasserstoff gemäß der Gleichung



Das gebildete Natriumoxyd löst sich dann in dem überschüssigen Wasser zu Ätznatron (NaOH) auf. Die Zersetzung des Wassers durch Natrium ist jedoch wegen des Preises des letzteren eine zu kostspielige. Es müssen daher andere Metalle verwendet werden, die jedoch das Wasser nicht immer schon bei gewöhnlicher Temperatur angreifen, sondern eine etwas höhere Temperatur benötigen. Auch muß dem Wasser eine Substanz zugesetzt werden, welche das gebildete Oxyd des betreffenden Metalles, wenn es nicht in Wasser löslich ist, wie beim Natriumoxyd, aufzulösen vermag. So z. B. muß man Natronlauge

zusetzen, wenn man Wasser durch metallisches Aluminium<sup>1)</sup> zersetzen will. Das zunächst gebildete Aluminiumoxyd löst sich dann in der Natronlauge zu Natriumaluminat auf. Zur Erzeugung von 1 m<sup>3</sup> Wasserstoff sind nach diesem Verfahren 4,1 kg Aluminium erforderlich. Dieses Verfahren soll nach Mödebeck<sup>2)</sup> von den Russen im mandschurischen Feldzuge benutzt worden sein. An Stelle von Natrium oder Aluminium kann man auch Calcium zur Wasserzersetzung benutzen. Zur Erzeugung von 1 m<sup>3</sup> sind dabei nur 1,7 kg des Metalles erforderlich. Noch günstiger ist die Anwendung des Calciumhydrür, das ist eine Verbindung von Calcium mit Wasserstoff von der Formel CaH<sub>2</sub>.

Diese Verbindung bildet sich, wenn man Wasserstoff über erhitztes metallisches Calcium leitet, oder wenn man Wasserstoff in geschmolzenes Calcium einleitet. Das Calciumhydrür zersetzt sich mit Wasser schon in der Kälte nach der Formel



Nach diesem Verfahren, das von Jaubert und den elektrochemischen Werken Bitterfeld ausgearbeitet worden ist<sup>3)</sup>, werden zur Erzeugung von 1 m<sup>3</sup> Wasserstoff nur 0,9 kg des festen Calciumhydrürs benötigt. Es ist also wegen der Leichtigkeit der Ausgangsmaterialien besonders zur Erzeugung von Wasserstoff im Felde geeignet. Als Bezeichnung für das Calciumhydrür verwendet Jaubert das Wort „Hydrolith“.

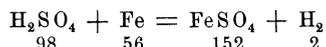
Nicht alle Metalle zersetzen das Wasser schon bei gewöhnlicher Temperatur unter Entwicklung von Wasserstoff. Bei den meisten ist die Anwendung einer höheren Temperatur erforderlich, oder es ist der Zusatz von Säuren oder Alkalien zum Wasser notwendig, um das bei der Zersetzung des Wassers gebildete Metalloxyd zu lösen. Wir haben vorher bereits Erwähnung davon getan, daß bei der Entwicklung von Wasserstoff mit Hilfe von Aluminium Natronlauge notwendig ist. Ebenso kann man das in gelöschtem Kalk enthaltene Wasser durch Erwärmen mit Eisenfeilspänen zersetzen und dadurch schon vor beginnender Rotglut reichliche Mengen von Wasserstoff erhalten.

Auch durch Behandlung von Silicium mit kochender Natronlauge kann man Wasserstoff erhalten. Dieses Verfahren von Schuckert u. Co. wird speziell bei transportablen Anlagen bis zu 300 m<sup>3</sup> Stundenleistung verwendet. Es ist also ebenfalls für die Herstellung des Wasserstoffs im Felde geeignet. Pro Kubikmeter erzeugten Wasserstoffs sind hierbei 2,2 kg der Ausgangsmaterialien und 30 Liter Kühlwasser erforderlich. Die Einwirkung erfolgt in der Hitze und es bildet sich hierbei kieselsaures Natron. Um das übermäßige Schäumen der Flüssigkeit zu vermeiden, setzt man auch etwas Kalk zu.

Die Verfahren zur Entwicklung von Wasserstoff mit Hilfe von Metallen und unter Anwendung von Säuren sind am längsten bekannt, so z. B. verwendete man seit jeher zur Entwicklung von Wasserstoff im Laboratorium Zink und Schwefelsäure, da die Einwirkung der Säure auf das Zink eine sehr lebhaft ist. Für den Großbetrieb ist das Zink jedoch ein zu teures Metall, und hat man daher durch viele Jahrzehnte Wasserstoff für Luftschifferzwecke aus Eisen und Schwefelsäure erzeugt. Dieses Verfahren ist zuerst von

<sup>1)</sup> In neuester Zeit erzeugen Griesheim-Elektron ein aktiviertes Aluminium, bei dessen Anwendung der Kubikmeter Wasserstoff 50 ♂ kosten soll. — <sup>2)</sup> Chem.-Ztg. 29, 54. — <sup>3)</sup> Compt. rend. 142, 788; D. R.-P. Nr. 198303.

Leonardi und Roberts angewendet und später von Tissandier vervollkommen worden<sup>1)</sup>. Es bildet sich dabei schwefelsaures Eisenoxydul (Eisenvitriol) gemäß der Gleichung:

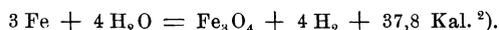


Die unter die Gleichung geschriebenen Zahlen geben an, wieviel Gewichtsteile dabei in Reaktion treten. Es ist daraus ersichtlich, daß 98 kg konzentrierte Schwefelsäure, welche noch mit einer entsprechenden Menge Wasser verdünnt werden müssen, mit 56 kg Eisen nur 2 kg, d. i. rund 22 m<sup>3</sup> Wasserstoff liefern. Die Menge der anzuwendenden Ausgangsmaterialien ist also eine sehr große und der Prozeß ist nur dann rentabel, wenn sich das gebildete Eisenvitriol preiswert verkaufen läßt. Es kristallisiert nach dem Eindampfen der Lösung in großen grünen Kristallen, welche 7 Mol. Kristallwasser enthalten, aus.

Die Apparate, welche zur Anwendung des Verfahrens dienen, sind sehr einfach. Man kann das metallische Eisen am besten in Form von Eisendrehspänen in gewöhnlichen Holzfässern oder sonstigen geschlossenen Gefäßen mit der Schwefelsäure zusammenbringen. Geeignete Abgangsrohre leiten dann das Gas entweder direkt in den Ballon oder in einen Gasbehälter.

Der aus Eisen und Schwefelsäure erzeugte Wasserstoff enthält gewöhnlich eine geringe Menge von Kohlenwasserstoffen, die ihre Entstehung dem Kohlenstoffgehalt des Eisens verdanken, daher rührt auch der Geruch dieses Wasserstoffs. Ferner ist in roher Schwefelsäure gewöhnlich Arsen enthalten und dieses verbindet sich mit dem entwickelten Wasserstoff zu Arsenwasserstoff (AsH<sub>3</sub>). Es ist dies eine außerordentlich giftige Verbindung, die dem Wasserstoff gasförmig beigemischt bleibt und die, selbst wenn sie nur in geringen Spuren vorhanden ist, leicht zu schweren Unglücksfällen führen kann. Es ist daher notwendig, den auf diese Weise erzeugten Wasserstoff zu reinigen. Es geschieht dies am besten durch Oxydation, indem man das Gas mit Kaliumbichromat in saurer Lösung oder Kaliumpermanganat oder ähnlichen oxydierend wirkenden Stoffen wäscht.

Ein anderes Mittel zur Zersetzung des Wassers liegt in der Einwirkung von Metallen auf Wasserdampf bei hoher Temperatur. Leitet man Wasserdampf über glühendes Eisen, so nimmt das Eisen den Sauerstoffgehalt des Wasserdampfes auf nach der Formel:



Es bildet sich bei diesem zuerst von Coustell angewendeten Verfahren das durch die Formel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> gekennzeichnete Eisenoxyduloxyd. Diese Reaktion ist jedoch umkehrbar, d. h. sie vermag auch in der Weise zu verlaufen, daß sich das Eisenoxyduloxyd durch Wasserstoff bei höherer Temperatur zu Wasserdampf und metallischem Eisen umsetzt. Da wir es also hier mit einer umkehrbaren Reaktion zu tun haben, so wird sich wieder ein der Temperatur entsprechender Gleichgewichtszustand (S. 44) einstellen. Da der Vorgang, wie er in der obigen Gleichung aufgeschrieben ist, ein wärme liefernder ist, so wird er im Sinne der obigen Gleichung, d. h. unter Ent-

<sup>1)</sup> Blum, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 56. — <sup>2)</sup> Aus der Bildungswärme des Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, welche nach Berthelot (Landolt-Börnstein, Phys.-chem. Tabellen, S. 440) 4467,7 = 270,8 Kal. beträgt, abgeleitet.

wickelung von Wasserstoff, um so eher vor sich gehen, je niedriger die Temperatur ist. Das Verhältnis der Partialdrucke von Wasserdampf zu Wasserstoff nimmt nach Preuner<sup>1)</sup> folgende Werte an:

Bei 900°C . . . . .	0,69
„ 1025°C . . . . .	0,78
„ 1150°C . . . . .	0,86.

Die Zersetzung des Wasserdampfes wird also um so unvollständiger, je höher die Temperatur ist. Trotzdem aber muß man zur Durchführung der Reaktion die Temperatur auf eine bestimmte Höhe treiben, da sonst die Reaktionsgeschwindigkeit eine zu geringe wäre. Man muß sich also damit zufrieden geben, daß nur ein Teil des Wasserdampfes auf diesem Wege zersetzt werden kann, während ein Teil unzersetzt hindurchgeht. Dies spielt jedoch mit Rücksicht auf die verhältnismäßig geringen Kosten des Wasserdampfes keine große Rolle. Nachteiliger wirkt der Umstand, daß das gebildete Eisenoxyduloxyd nicht teuer genug verkauft werden kann, um wenigstens den größten Teil der Kosten des Eisens zu decken. Außerdem ist für diese Reaktion nachteilig, daß sie in gußeisernen Retorten vorgenommen werden muß, um eine einigermaßen rasche Wärmeübertragung bei Beheizung des Materials zu gewährleisten, und natürlich wird das eiserne Material der Retorte vom Wasserdampf ebenso angegriffen wie die Füllung. Die Retorte leidet daher stark und muß oft erneuert werden.

Um den ersteren Übelstand zu vermeiden und das Eisen in reaktionsfähiger Form immer wieder zu gewinnen, wurde schon vor Jahrzehnten in verschiedenen Patenten der Vorschlag gemacht, das Eisenoxyd durch Darüberleiten reduzierender Gase (Generatorgas, Steinkohlengas, Wassergas oder dgl.) zu metallischem Eisen zu reduzieren, um dieses dann neuerdings auf Wasserdampf einwirken lassen zu können. Ein derartiges Verfahren ist in jüngster Zeit teils von Lane in England, teils von der Dellwik-Fleischer-Gesellschaft, welche ihre diesbezüglichen Patente an die Internationale Wasserstoff-Aktiengesellschaft abtrat, in die Praxis eingeführt worden, indem dabei Wassergas zur Reduktion des Eisenoxyds verwendet wurde.

Es läßt sich nach diesem Verfahren ein Wasserstoff von 98,5 Proz. Reinheitsgrad erzielen, d. h. es sind nur 1,5 Proz. Verunreinigungen vorhanden. Diese bestehen aus geringen Mengen von Stickstoff und Kohlenoxyd, welche beim Umsteuern vom Reduktionsprozeß zur Wasserdampfzersetzung in den Hohlräumen der Retorte enthalten sind und somit in den Wasserstoff gelangen. Allerdings wird zur Vermeidung von Unreinheiten der erste Teil des gewonnenen Wasserstoffs in die freie Luft ausgeblasen, aber es ist natürlich nicht möglich, eine ganz vollständige Entfernung dieser verunreinigenden Stoffe zu erzielen. Ganz geringe Mengen von Kohlensäure, welche auf diese Weise gleichfalls und auch zufolge des Kohlenstoffgehaltes des Eisens in den Wasserstoff gelangen, werden bei der darauffolgenden Reinigung mittels Kalk entfernt. Ebenso wird eine geringe Menge von Schwefelwasserstoff, welche aus dem Schwefelgehalt des Eisens entsteht, auf die gewöhnliche Weise durch die Reinigungsmasse beseitigt (S. 444).

Die Zeit, welche zur Reduktion des Eisenoxyds zu metallischem Eisen aufgewendet werden muß, ist bei diesem Verfahren eine viel längere, als die

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. phys. Chem. 1904, S. 485.

Zeit der eigentlichen Wasserstoffentwicklung, denn die Zersetzung des Wasserdampfes hat eine bedeutend größere Reaktionsgeschwindigkeit als die Reduktion des Eisenoxyds. Es müssen daher zur Reduktion 20 bis 30 Minuten verwendet werden, während die Gaserzeugung derart forciert werden kann, daß sie nur 10 Minuten beansprucht. Die Internationale Wasserstoff-Aktiengesellschaft verwendet zur Ausführung dieses Verfahrens vertikal stehende Retorten, welche mit Hilfe eines Generators, der mit Koks bedient wird, beheizt werden. Die günstigste Temperatur beträgt zwischen 700 und 900°. Der Verbrauch an Wassergas zum Zwecke der Reduktion beträgt pro 1 m<sup>3</sup> erzeugten Wasserstoffs etwa 2,0 bis 2,5 m<sup>3</sup>. Da nun 1 m<sup>3</sup> Wassergas aus 0,6 kg Koks gewonnen werden kann, so beträgt der Koksverbrauch für die Wassergaserzeugung 1,2 bis 1,5 kg pro 1 m<sup>3</sup> erzeugten Wasserstoffgases. Außerdem ist noch der Verbrauch an Unterfeuerung zu rechnen, welcher jedoch sehr gering ist. Die Gesamtmaterialekosten, die auf diese Weise entstehen, betragen bei Annahme eines Kokspreises von 20  $\mathcal{M}$  pro Tonne etwa 10 bis 12  $\text{§}$  pro Kubikmeter Wasserstoff. Dabei sind die Kosten des Verbrauchs an Eisenoxyd und der Auswechslung der Retorten mit inbegriffen. Als Arbeitslöhne kommen in Betracht: ein Mann für die Bedienung des Reduktionsofens, ein Mann für die Bedienung der Wassergasanlage und ein Mann zur Bedienung des Kessels bzw. der maschinellen Anlage, welche zum Betriebe der Gebläse usw. erforderlich ist.

Als Material, aus welchem mit Hilfe des Wassergases metallisches Eisen reduziert wird, verwendet die Internationale Wasserstoff-Aktiengesellschaft die sogenannten Kiesabbrände, das sind die Rückstände, welche in der Schwefelsäurefabrikation beim Verbrennen des Eisenkies mit Hilfe von Luft verbleiben. Es ist dies ziemlich reines Eisenoxyd, welches in genügend poröser Form vorliegt, so daß die Einwirkung sowohl der reduzierenden Gase als auch die des Wasserdampfes möglichst tief in das Innere eindringen kann. Es sind jedoch auch andere eisenhaltige Materialien anwendbar, so z. B. Eisendrehspäne, Briketts aus Eisenoxyden, Roteisenstein oder dgl.

Um das Auswechseln der gußeisernen Retorten zu vermeiden, hat der Verfasser einen Apparat angegeben<sup>1)</sup>, bei welchem die abwechselnde Reduktion des Eisenoxyds und die Zersetzung des Wasserdampfes durch das abgeschiedene metallische Eisen nicht in Retorten, sondern in einem Generator vorgenommen wird. Die Reduktion des Eisenoxyds bzw. Eisenoxyduloxydes erfolgt dabei nicht mit Hilfe von Wassergas, sondern zunächst mit Hilfe von Generatorgas. An einem Wassergasgenerator ist ein Regenerator angeschlossen, d. h. ein Reduktionsraum, welcher das Eisenoxyd aufnimmt. Beim Warmblasen des Wassergasgenerators entsteht Generatorgas, welches das Eisenoxyd im Reduktionsraume zu Eisen reduziert. Die erforderliche Temperatur wird dabei durch Verbrennung eines Teiles des Generatorgases erzielt. Sobald die Reduktion vollendet ist und auch die notwendige Temperatur des Eisenoxyds erreicht ist, wird der Generator und ebenso der Austritt der Abgase zum Schornstein aus dem Reduktionsraum abgeschlossen. Nun kann in den Reduktionsraum von oben Dampf eingeleitet werden, welcher durch das frisch reduzierte Eisen in Wasserstoff verwandelt wird, der unten aus dem Reduktionsraum entweicht. Während dieser Periode oxydiert sich das Eisen und

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 137.

es wird dann neuerdings durch Warmblasen des Generators reduziert und gleichzeitig erhitzt.

Auch mit Hilfe von gasförmigem Kohlenoxyd läßt sich Wasserdampf in Wasserstoff zerlegen. Der Sauerstoff des Wasserdampfes verbindet sich dabei mit dem Kohlenoxyd nach der Gleichung



Diese Reaktion ist jedoch ebenfalls eine umkehrbare, wie wir schon wiederholt (z. B. S. 48) gesehen haben. Auch hierbei bildet sich um so mehr Wasserstoff, je geringer die Temperatur ist und auch hier ist die Reaktionsgeschwindigkeit eine um so kleinere, je geringer die Temperatur ist, so daß ein richtiges Mittel der Temperatur eingehalten werden muß, um eine genügende Reaktionsgeschwindigkeit, aber doch auch eine genügende Menge Wasserstoff zu erhalten.

Bei Anwendung geringer Temperaturen läßt sich die Reaktionsgeschwindigkeit durch Anwendung von Katalysatoren beschleunigen. Bei Anwendung höherer Temperaturen ist es möglich, das Gleichgewicht dadurch zu verschieben, daß man die Kohlensäure ganz oder zum Teil aus dem Gasgemisch entfernt. In dem Augenblick, wo bei einer umkehrbaren Reaktion ein Teil der in Betracht kommenden Gase entfernt wird, wird das Gleichgewicht verschoben, weil eben das Gas nicht mehr in dem Maße vorhanden ist, wie es dem Gleichgewichtszustande zwischen den vorhandenen Gasen entspricht. Dadurch werden neue Mengen von diesem Gas gebildet, die wieder aufgenommen werden usw. Man kann also mit Hilfe von Substanzen, welche einen Teil der gebildeten Gase aufnehmen, die Reaktion in jenem Sinne der Gleichung durchführen, der eben erwünscht ist. Im vorliegenden Falle z. B. kann man die Kohlensäure durch Kalk aufnehmen. Es wird dann auch bei verhältnismäßig höheren Temperaturen die Gleichung stets im Sinne von links nach rechts verlaufen und sämtliches Kohlenoxyd durch den Wasserdampf in Wasserstoff verwandelt werden.

So arbeitet z. B. das Verfahren der chemischen Fabrik Griesheim-Elektron <sup>1)</sup> nach der Gleichung:



Es wird Wassergas, mit Wasserdampf gemischt, bei 450 bis 500° über Kalk geleitet. Die Konstante der Gleichgewichtsformel

$$[\text{CO}_2] \cdot [\text{H}_2] = K \cdot [\text{CO}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]$$

beträgt nach Haber bei Anwesenheit von Kalk bei 500° nahezu 1, während sie ohne Kalk bei gleicher Temperatur nur den Wert 0,2 erreicht.

Die Entfernung der verhältnismäßig großen Mengen von Kohlensäure, welche hierbei entstehen, mit Hilfe von Kalk ist jedoch ein großer Übelstand dieses Verfahrens. Es würden bei der Erzeugung von 2 kg, d. i. 22,3 m<sup>3</sup> Wasserstoff 100 kg kohlenaurer Kalk gebildet. Also z. B. bei einer Tagesproduktion von 1000 m<sup>3</sup> Wasserstoff 500 kg kohlenaurer Kalk. Sowohl die Kosten des Kalkes, als namentlich die Umstände seiner Beseitigung würden hier Schwierigkeiten bereiten. Es ist daher vorzuziehen, das andere Verfahren anzuwenden, nämlich bei geringerer Temperatur zu arbeiten und die Reaktionsgeschwindigkeit durch Anwendung von Katalysatoren zu beschleunigen

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 81.

Ein solcher Katalysator ist z. B. das Eisenoxyd. Demgemäß hat die Company du gaz de Lyon <sup>1)</sup> ein Verfahren angegeben, wonach das Gas mit Wasserdampf gemischt, über glühendes Eisenoxyd bei 400 bis 500<sup>o</sup> geleitet wird. Es wurde dabei ein Gas von folgender Zusammensetzung erhalten:

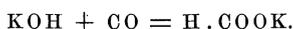
H <sub>2</sub> . . . . .	62,2	Vol.-Proz.
CO <sub>2</sub> . . . . .	27,1	"
N <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> . . . . .	3,8	"
CO . . . . .	6,9	"

Entfernt man dann aus diesem Gase die Kohlensäure z. B. durch Kalk, so resultiert ein Gas von folgender Zusammensetzung:

H <sub>2</sub> . . . . .	85,4	Proz.
CO . . . . .	9,4	"
N <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> . . . . .	5,2	"

Auch Nickel ist ein vorzüglicher Katalysator für diesen Zweck. M. Mayer und Henseling <sup>2)</sup> haben darauf hingewiesen, daß die Umsetzung bei Anwendung von Katalysatoren schon bei 230<sup>o</sup> vor sich geht. Es wird allerdings auch dabei etwas Methan gebildet. Bei höherer Temperatur wirkt das Nickel auf das Kohlenoxyd ein, indem es dasselbe in Kohlenstoff und Kohlensäure spaltet. Auf alle Fälle erscheint Nickel als ein zu teurer Stoff, um in der Praxis für diese Zwecke angewendet zu werden. Mond und Langer haben bereits im Jahre 1889 die Spaltung des Kohlenoxyds in Kohlenstoff und Kohlensäure vorgeschlagen, wonach dann der Kohlenstoff mit Wasserdampf unter Bildung von Kohlensäure und Wasserstoff zu reagieren vermag. Auch hierbei wird am besten Nickel als Katalysator verwendet, was eben wieder das ganze Verfahren zu teuer gestaltet.

Ein ähnliches Verfahren der Umsetzung von Kohlenoxyd in Wasserstoff, welches jedoch ebenfalls noch nicht in die Praxis eingeführt wurde, hat der Verfasser vorgeschlagen. Natronkalk vermag nach den Untersuchungen von Merz bei einer Temperatur von etwa 300<sup>o</sup> Kohlenoxyd aufzunehmen unter Bildung von ameisenurem Natron. Dieses zerlegt sich dann bei höherer Temperatur unter Abgabe von Wasserstoff. Nach den Untersuchungen des Verfassers geht die Reaktion viel glatter vor sich, wenn man an Stelle von Natronkalk Kalikalk verwendet. Die Aufnahme von Kohlenoxyd findet statt nach der Gleichung:



Es wird also ameisenures Kali gebildet. Beim Erhitzen des Produktes tritt schon bei einer Temperatur von etwa 300<sup>o</sup> eine Zersetzung in Wasserstoff ein, gemäß der Gleichung:



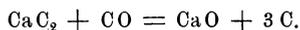
Während der aus Natronkalk gewonnene Wasserstoff stets Verunreinigungen von Phosphorwasserstoff und anderen Stoffen enthält, ist der aus Kalikalk gewonnene Wasserstoff vollständig rein und kann mit einem Reinheitsgrade von mehr als 99,5 Proz. gewonnen werden.

Eine andere Methode zur Entfernung des Kohlenoxyds aus dem Wassergas ist von Frank angegeben worden <sup>3)</sup>. Derselbe läßt erhitztes Calciumcarbid

---

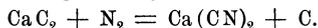
<sup>1)</sup> Journ. des usines à gaz 1910, p. 1; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 190. — <sup>2)</sup> Methanbildung; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 167. — <sup>3)</sup> D. R.-P. Nr. 174324 und 177704.

auf Wassergas einwirken; dasselbe nimmt dabei den Kohlenoxydgehalt des Wassergases auf unter Bildung von Calciumoxyd und Kohlenstoff nach der Gleichung:



Nach Rothmund<sup>1)</sup> entspricht hier jeder Temperatur ein bestimmter Partialdruck des Kohlenoxyds. Dieser beträgt bei 162° etwa 1 Atmosphäre.

Der Vorteil des Frank'schen Verfahrens liegt darin, daß außer dem Kohlenoxyd aus dem Wassergas auch Stickstoff durch Calciumcarbid aufgenommen wird unter Bildung von Cyanamid nach der Gleichung:



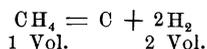
Die Wasserzersetzung unter Bildung von Kohlensäure findet bekanntlich nicht nur bei Anwendung von Kohlenoxyd statt, sondern auch Kohlenstoff wirkt in diesem Sinne bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen. Setzt man dem Kohlenstoff gelöschten Kalk zu, so liefert dieser beim Erwärmen den Wasserdampf und absorbiert gleichzeitig die entstehende Kohlensäure, so daß reiner Wasserstoff entweicht nach der Gleichung:



Wegen der Unverwertbarkeit des entstehenden kohlensauren Kalkes hat dieses Verfahren jedoch dieselben Schwierigkeiten wie das auf S. 940 genannte.

Frank empfiehlt, das Gas vor seiner Behandlung mit Carbid an Wasserstoff anzureichern, was allerdings das Verfahren wesentlich verteuern würde.

Eine andere Möglichkeit der Erzeugung von Wasserstoff in größerem Maßstabe liegt in der Zersetzung der Kohlenwasserstoffe. Das Steinkohlengas besteht ja zum großen Teile schon aus Wasserstoff und sein zweiter Hauptbestandteil ist das Methan. Die Möglichkeit, das Methan des Leuchtgases quantitativ zu zersetzen, wurde bereits von Mayer und Altmayer<sup>2)</sup> bewiesen. Die Zersetzung tritt erst oberhalb 850° ein, und H. Bunte hat ebenfalls auf diese Weise die Decarburierung des Leuchtgases<sup>3)</sup> durchgeführt. Sackur versuchte auch die Decarburierung des Leuchtgases gemeinsam mit Nauss in der Versuchsgasanstalt Dürrgoy bei Breslau. Er zersetzte das Gas durch glühenden Koks in Retorten und erhielt ein Gas von der Dichte 0,28, welches sich jedoch für Ballons als ungeeignet erwies, weil eine geringe Verunreinigung von aromatischen Kohlenwasserstoffen die Ballonhülle angriff. v. Oechelhäuser erzielte dagegen bei einer höheren Temperatur auf gleiche Weise ein brauchbares Gas<sup>4)</sup>. Die ersten diesbezüglichen Versuche wurden in Vertikalretorten ausgeführt. Die Fortsetzung der Arbeiten<sup>5)</sup> ergab jedoch, daß die Zersetzung des Steinkohlengases noch besser in horizontalen Retorten gelingt. In einem Horizontalofen können in 24 Stunden 1200 m<sup>3</sup> Ballongas erzeugt werden. In einem Vertikalofen mit 10 Retorten 3600 m<sup>3</sup>. Die Retorten müssen jedoch auf eine sehr hohe Temperatur von mindestens 1200°C erhitzt werden. Die Retorten müssen mit Koks oder Holzkohle gefüllt sein, um dem Gase eine große Oberfläche darzubieten. Das Gas muß mit 0 bis 5 mm Wassersäule abgesaugt werden, damit durch die Porosität der Retortenwandungen nicht zu viel Wasserstoffgas verloren geht. Die Volumenvermehrung, welche sich nach der Gleichung



<sup>1)</sup> Zeitschr. f. anorgan. Chem. 1902, S. 126. — <sup>2)</sup> Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1907, S. 134. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1894, S. 81. — <sup>4)</sup> Ebend. 1909, S. 984 u. 883. — <sup>5)</sup> Ebend. 1910, S. 693.

ergeben sollte, wird nicht ganz erreicht, weil die Retorten viel Wasserstoff hindurchlassen. Es sollen daher nur solche Retorten verwendet werden, welche schon genügend mit Graphit bedeckt sind. Der Kohlenstoff scheidet sich aus dem Methan in Form von Ruß aus, und dieser sowohl wie der Schwefelwasserstoff müssen durch eine kleine Reinigungsanlage, die aus einem Kühler, einem Staubfilter und einem Eisenreiniger von 0,3 m<sup>2</sup> Fläche für je 1000 m<sup>3</sup> Tagesleistung besteht, beseitigt werden.

Für die Neufüllung und Anheizung des in den Vertikalöfen kalt eingebrachten Kokes muß man täglich 6 Stunden rechnen, so daß nur 18 Stunden disponibel bleiben, welche 360 m<sup>3</sup> pro Retorte ergeben. Bei horizontalen Retorten kommen 20 Stunden Nutzleistung in Betracht. Die Kosten der Umsetzung des Steinkohlengases in Ballongas stellt sich auf 3,16 ₤ und die Anlagekosten einschließlich der Reinigung und Gebläseanlage auf 3000 bis 4000 *M.* Da die Verteilungskosten entfallen, kann das Ballongas wie das Gas für gewerbliche Zwecke mit 10 bis 13 ₤ pro Kubikmeter verkauft werden. Es kann ein Auftrieb von 0,95 kg pro Kubikmeter gerechnet werden.

Das Gas hat folgende Zusammensetzung :

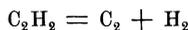
H <sub>2</sub> . . . . .	80,7	Proz.
CH <sub>4</sub> . . . . .	6,9	"
CO . . . . .	7,3	"
N <sub>2</sub> . . . . .	5,1	"
Spez. Gew. 0,225 bis 0,300.		

Bei der Erzeugung des Ballongases in der Vertikalretorte muß die Tauchung in der Vorlage niedrig oder ganz aufgehoben sein. Gas, Wasser und Teer müssen entfernt werden, damit nicht nachträglich Kohlenwasserstoffe in das Gas gelangen. Die Retorte wird unten mit Stückkoks, oben mit Feinkoks, welcher als Rußfilter dient, beschickt. Die Entfernung des feinverteilten Kohlenstoffs ist schwierig. Sie wird durch eine 4 m lange Schicht von Holzwolle erreicht.

Nicht nur die Kohlenwasserstoffe des Steinkohlengases, sondern auch jene des Ölgases werden durch hohe Temperaturen in Wasserstoff und Kohlenstoff zersetzt. Man kann daher auch ein brauchbares Ballongas durch Einspritzen von Öl in heißgeblasene Generatoren erzielen, indem das Öl zunächst verdampft und dann in dem glühenden Koks in Ölgas verwandelt wird, wonach sich schließlich an der heißesten Stelle des Generators das Ölgas in Wasserstoff und Kohlenstoff zerlegt. Dieses von Rincker und Wolter angegebene Verfahren gibt gemäß den Angaben von Neurdenburg<sup>1)</sup> ein Gas von 85 Proz. Wasserstoffgehalt.

Ein ähnliches Verfahren wurde auch von George Waring<sup>2)</sup> vorgeschlagen.

Auch das Acetylen ist gemäß der Gleichung



schon bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen in Kohlenstoff und Wasserstoff zerlegbar. Die Zerlegung findet beim Durchleiten durch ein glühendes Rohr momentan, beinahe explosionsartig statt. Der Kohlenstoff scheidet sich

<sup>1)</sup> Het Gas 1909, Nr. 7; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 789; Doesbourgh, Gas zum Füllen der Luftballons, Chem.-Ztg. **31**, 592; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 632, und 1910, S. 137. — <sup>2)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, S. 788; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 603.

dabei in so fein verteilter Form ab, daß er in vorzüglicher Weise als Ruß zur Verwendung gelangen kann. Dieses Verfahren hat die Carboniumgesellschaft aus Offenbach a. M. in einer Anlage in Friedrichshafen ausgeführt, wo ein eigener großer Gasbehälter errichtet wurde, um den als Nebenprodukt gewonnenen Wasserstoff zur Füllung der Zeppelin-Ballons aufzuspeichern. Da es sich hier um die Erzeugung von sehr reinem Wasserstoff handelt, sind zwei Zwischenbehälter von je 300 m<sup>3</sup> Inhalt eingeschaltet, welche abwechselnd mit Wasserstoff gefüllt werden und diesen erst nach Prüfung auf Reinheit an den Hauptbehälter abgeben.

Ein besonderes Verfahren zur Gewinnung von Wasserstoff liegt auch in der Abscheidung desselben aus anderen Gasen, insbesondere aus Wassergas. Frank<sup>1)</sup> bewirkt diese Trennung nach dem Lindeschen Verfahren durch Verflüssigung sämtlicher Gase, welche nicht Wasserstoff sind. Die Reste der Verunreinigung entfernt dann Frank durch Überleiten über erhitztes Calciumcarbid, wie wir bereits auf S. 941 besprochen haben.

Von Kamerlingh-Onnes ist der Vorschlag gemacht worden, auch den Wasserstoff zu verflüssigen, um ihn dann zur Luftschiffahrt zu verwenden. Der Wasserstoff kann jedoch bekanntlich nicht wie andere Gase durch Ausdehnung abgekühlt werden, weil er einen positiven Joule-Effekt besitzt. Erst bei — 70 bis — 110° C wird dieser negativ und daher ist vorerst die Abkühlung des Wasserstoffs bis auf diese Temperatur erforderlich. Zur Herstellung flüssigen Wasserstoffs wird dieser zuerst auf 150 bis 200 Atm. komprimiert und dann durch flüssige Luft, welche im Vakuum verdampft, auf — 220° abgekühlt. Dann wird derselbe expandiert, wodurch er sich auf — 257° abkühlt und flüssig wird<sup>2)</sup>.

1 Liter Wasserstoff benötigt nach Kamerlingh-Onnes 3 PS Kraftleistung und 2 Liter flüssige Luft zur Abkühlung. Danach würden sich also die Kosten von 1 m<sup>3</sup> auf diese Weise erzeugten Wasserstoffs auf etwa 350 K. stellen, so daß vorläufig an die Verwendung flüssigen Wasserstoffs für die Luftschiffahrt nicht zu denken ist<sup>3)</sup>.

Bei der Anlage von Ballonfüllstationen ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß die Füllung eines Ballons möglichst rasch erfolgen kann, d. h. es muß eine genügend weite Rohrleitung vorhanden sein. Riedl<sup>4)</sup> hat in Krefeld eine Ballonfüllstation eingerichtet, welche eine Ausgangsleitung von 500 mm lichter Weite hat, woran eine Anzahl von Abzweigungen mit Schiebern von 150 mm lichter Weite angeschlossen sind. Das Gas strömt in diese Leitungen mit 230 mm Behälterdruck. Ein 1500 m<sup>3</sup> fassender Ballon wird mit Hilfe dieser Leitungen in 35 bis 45 Minuten gefüllt. Später wurde auch dort das Gas durch ein 150 mm Rohr auf eine größere Entfernung mit Hilfe von Gebläse-Druck mit 1200 mm Wassersäule gepreßt. Mit Hilfe dieser Leitung wurden acht Ballons mit zusammen 11 000 m<sup>3</sup> in kurzer Zeit gefüllt. Die Austrittsöffnung der Rohrleitung wird nicht direkt mit dem Ballon verbunden, sondern es wird ein aus Ballonstoff bestehender Füllschlauch angelegt, welcher durch einfaches Abbinden genügend dicht an die Rohrleitung angeschlossen werden kann.

---

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 48. — <sup>2)</sup> Erdmann, IIa, Wochenrundschaу 1909, Nr. 9. — <sup>3)</sup> Über Ballongase, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, Heft 6 und 7. — <sup>4)</sup> Gasindustrie und Luftschiffahrt, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 321.

Den Druckverlust, welchen Riedl in der Krefelder Anlage erzielte, liegt zwischen den beiden Größen, welche sich aus der Polo-Monntierschen Formel und der Birckholzschens Formel (S. 571) ergeben.

Sollen Ballons auf freiem Felde mit Wasserstoff gefüllt werden, wie dies für militärische Zwecke sehr häufig erforderlich ist, so müssen entweder transportable Wasserstoffherzeugungsanlagen (vgl. S. 936) angewendet werden oder das Wasserstoffgas muß auf hohen Druck komprimiert in stählernen Flaschen (sog. Bomben) versendet werden. Die Kompression erfolgt gewöhnlich bis auf einen Druck von 175 bis 200 Atm. Die Kompression muß immer in mehreren Stufen durchgeführt werden, um eine günstige Kraftausnutzung zu erzielen, d. h. das Wasserstoffgas wird zunächst auf einen Druck von etwa 5 bis 6 Atm., dann auf 30 bis 35 und schließlich erst auf 175 bis 200 Atm. komprimiert.

Zum Transport der Wasserstoffflaschen verwendet die Firma Griesheim-Elektron Gastransportwagen, auf welchen 100 Flaschen, die zusammen 2750 m<sup>3</sup> Gas enthalten, angebracht sind. Die Flaschen sind auf 300 Atm. geprüft, jedoch nur mit 170 Atm. gefüllt. Sechs Gruppen derselben sind durch Bedienungsgänge und Blechwände getrennt. Jede Flasche ist mit einem federnden Rohr an die Sammelleitung angeschlossen. Die Leitungen sind autogen geschweißt, zum Schutze gegen die Sonne ist der Wagen mit Segeltuch bespannt.

Zum Zweck der Zuleitung des Gases von den Gastransportwagen zu den Ballons werden zweckmäßig innen gummierte Feuerwehrschräuche oder bewegliche Metallschräuche verwendet, welche eine Leistung von 150 m<sup>3</sup> in 15 Minuten besitzen <sup>1)</sup>.

In früheren Zeiten wurden zum Zweck der Aufspeicherung des erzeugten Wasserstoffgases in Luftschifferstationen häufig Ballons benutzt. Die Ballonstoffe sind jedoch stets gegen Wasserstoff etwas durchlässig und umgekehrt diffundiert auch Luft von außen durch den Stoff hindurch und verunreinigt das Gas. In neuerer Zeit verwendet man daher in jenen Fällen, wo es sich um reinen Wasserstoff handelt, was besonders bei Lenkballons unbedingt notwendig ist, stets gewöhnliche schmiedeeiserne Gasbehälter, die allerdings wesentlich teurer sind, als ein Ballon von gleichem Rauminhalt. Nur für den Druckausgleich werden häufig noch eigens zu diesem Zwecke angefertigte Ballons, die mit Gurten durch Gewichte belastet sind, angewendet. Ein solcher Ballon, eine sogenannte Amme, liefert das Gas unter gleichbleibendem Druck in dem Maße an einen in der Halle aufbewahrten Ballon, daß der Gasverlust desselben stets gedeckt wird.

Der Verlust an Gas, den Ballons während ihrer Reise durch die Luft erfahren, rührt bekanntlich teils vom Entweichen des Gases aus dem geöffneten Appendix, teils aber auch von der Durchlässigkeit der Ballonstoffe her. Die verschiedenen Stoffe besitzen natürlich eine um so größere Dichtigkeit, je stärker die Gummierung derselben ist. Ein Stoff, welcher 120 bis 150 g Gummi pro Quadratmeter enthält, hält zwei Jahre ohne daß er stark gasdurchlässig wird. Weil aber Paragummi ein teurerer Stoff ist, verwendet man gewöhnlich nur 90 oder 100 g pro Quadratmeter, und ein solcher Stoff hält natürlich nicht so lange.

---

<sup>1)</sup> Ha, Wochenrundschaue 1909, Nr. 13.

Der Stoff wird hauptsächlich durch die Einflüsse der Witterung und durch die Sonnenstrahlen angegriffen. Letztere wirken im wesentlichen zufolge des Gehaltes an ultravioletten Strahlen. Um diese abzuhalten, versieht man die Ballonhülle mit einem gelben Farbstoff (Chromgelb oder Anilingelb), welcher die ultravioletten Strahlen absorbiert und nicht bis zum Stoffe eindringen läßt. Chromgelb ist wetterbeständiger, Anilingelb hingegen leichter erhältlich.

Außer den gummierten Stoffen werden auch lackierte Stoffe angewendet. Dieselben halten jedoch weniger lange, wenn sie auch anfangs genügend gasdicht sind, da der Lack im Laufe der Zeit klebrig wird und beim Zusammenlegen des Ballons die Lackschicht durch Zusammenkleben beschädigt wird. Dagegen kosten die lackierten Stoffe nur den dritten Teil der gummierten Stoffe, so daß sie doch auch Anwendung finden.

Das Entweichen des Gases durch den Ballonstoff hindurch, das mit dem Ausdruck „Penetration“ bezeichnet wird, ist bei hohem Druck natürlich ein stärkeres als bei geringem Druck. Nun müssen bekanntlich die Hüllen der Motorballons steifgehalten werden, um gegen den Wind widerstandsfähig zu sein. Dies erfordert einen höheren Druck im Inneren und daher ist die Penetration des Motorballons eine größere als jene der Kugelballons.

An Stelle des entwichenen Wasserstoffs tritt bei Ballons, deren Gasinhalt keinen hohen Druck besitzt, Luft in das Innere ein, so daß sich der Wasserstoff im Inneren verunreinigt. Die Menge des Wasserstoffs, welche pro 24 Stunden und Quadratmeter Stofffläche entweicht, wird stark schwankend zwischen 8 und 20 Litern, bei Zeppelin-Ballons sogar bis zu 40 Liter angegeben. Exakte Angaben über die Verunreinigung des Wasserstoffs durch Luft liegen bisher noch nicht vor.

Nach einer Untersuchung von Caro und Schück<sup>1)</sup> sank der Wasserstoffgehalt innerhalb drei Wochen von 98 auf 93 Proz. und zeigte sich innerhalb des Ballons eine deutliche Schichtenbildung.

Nach dem vorher Gesagten hat die Gasindustrie allen Anlaß, die Luftschiffahrt mit regem Interesse zu verfolgen. Um das Zusammenwirken noch mehr zu fördern, schlägt v. Oechelhäuser vor<sup>2)</sup>, die Decken der Gasbehälter mit dem Ortsnamen zu versehen oder international vereinbarte Nummern darauf anzubringen, welche bei Nacht beleuchtet werden müßten, um den Luftschiffern zur Orientierung zu dienen.

## XIV. Gasglühlicht.

### 64. Geschichte und Theorie des Gasglühlichtes.

Bereits im Jahre 1826 trat als erster Vorläufer des Gasglühlichtes das Drummond'sche Kalklicht auf. Durch Erhitzen eines Kalkzylinders in der mit Wasserstoff und Sauerstoff betriebenen Knallgasflamme erhält man ein intensives Licht, welches früher viel zu Projektionsapparaten und physikalischen Zwecken benutzt wurde, heute jedoch nur wenig in Gebrauch ist, weil es durch zweckmäßigeren Lichtquellen ersetzt werden konnte. Im Jahre 1870

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 534. — <sup>2)</sup> Ebend. 1909, S. 984 u. 883.

verbesserte Tessié du Motay dieses Licht, indem er anstatt Kalk Zirkon verwendete. Auch dieses wurde in der Knallgasflamme erhitzt und unter anderem der Wiener Westbahnhof mit diesem Lichte beleuchtet. Die Komplikation, welche durch die Darstellung von Sauerstoff und Wasserstoff gegeben ist, die doppelte Rohrleitung und die geringe Haltbarkeit der Zirkonstifte hatten jedoch zur Folge, daß dieses Licht nicht weiter verwendet wurde.

Sehr bald hatte man gefunden, daß das Wassergas an Stelle von Wasserstoff vorzüglich zur Erhitzung von Glühkörpern verwendet werden kann, und hatte Gillard bereits im Jahre 1846 Körbchen aus Platindrahtnetz, wie sie bereits von Cruckshanks im Jahre 1839 vorgeschlagen worden waren, mittels Wassergas erhitzt. Dieses sogenannte Platinlicht diente vom Jahre 1856 bis 1865 der südfranzösischen Stadt Narbonne zur Beleuchtung der Straßen.

1881 wendete Clamond Körbchen aus Magnesiumoxyd als Glühkörper an und ebenso verwendete Fahnehjelm 1883 das Magnesiumoxyd zur Glühlichtbeleuchtung, indem er Stäbchen aus diesem formte, die an einem Kamm befestigt waren und in der Wassergasflamme erhitzt wurden. Später verbesserte Fahnehjelm das mondähnliche weiße Licht dieser Magnesiumkämme, indem er sie mittels Chromoxyd imprägnierte und das Licht derselben dadurch zu einem goldgelben machte unter wesentlicher Steigerung der Leuchtkraft. Mit diesen Magnesiakämmen waren unter anderen auch die Warsteiner Tropfsteinhöhlen mehrere Jahre mit Wassergas beleuchtet.

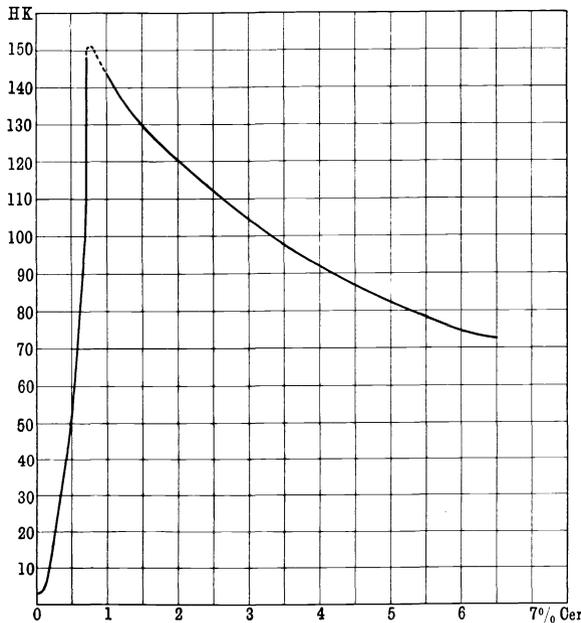
Die Glühlichtbeleuchtung nahm jedoch erst dann ihren Aufschwung, als Carl Auer v. Welsbach im Jahre 1886 seine ersten Glühkörper auf den Markt brachte. Sie waren allerdings nicht im entferntesten mit den heute verwendeten Glühkörpern zu vergleichen, denn sie brauchten pro HK-Stunde 6 Liter Gas, waren außerordentlich gebrechlich und gaben ein fahlgrünes Licht. Sie bestanden im wesentlichen aus den Oxyden des Lanthans und des Yttriums. Erst im Jahre 1892 wurde auf der deutschen Versammlung der Gas- und Wasserfachmänner in Kiel Auer'sche Glühkörper vorgeführt, welche im wesentlichen aus Thoriumoxyd mit einem geringen Zusatz von Ceroyd bestanden und unter Verbrauch von 2 Liter Gas pro HK-Stunde ein außerordentlich intensives Licht lieferten. Von diesem Momente an eroberte sich das Auer'sche Gasglühlicht im Sturme die ganze Welt, doch standen die Auer'schen Patente zufolge der vielen Vorläufer nicht auf sicherer Grundlage und wurden im Jahre 1896 in Deutschland derart eingeengt, daß auf dem Gebiete der Glühkörperfabrikation eine lebhaftige Konkurrenz entstand, welche schließlich das Gasglühlicht auf die heutige Höhe brachte. Es sei hier nur daran erinnert, wie das Gewebe immer mehr und mehr vervollkommnet wurde, indem von der ursprünglich verwendeten Baumwolle auf das Ramiegarn (Chinagrass) und später auf die Kunstseideglühkörper übergegangen wurde, ferner auf die Vervollkommnungen, die durch die Einführung des Hängegasglühlichtes, des Preßgases und der Niederdruckstarklichtlampen erzielt wurden.

Wenn jedoch auch die Form des Glühkörpers, dessen Gewebe und die Art, wie das Gas verbrannt wird, im Laufe der Zeit wesentliche Vervollkommnungen durchgemacht haben, so ist doch die Substanz des Glühkörpers selbst seit der genannten maßgeblichen Verbesserung Auer's kaum mehr verändert worden. Sie besteht heute nach wie vor im wesentlichen aus Thoriumoxyd, dem eine geringe Menge von Ceroyd beigemischt wird. Es zeigt sich dabei das merkwürdige Verhalten, daß reines Thoriumoxyd in der Flamme des

Bunsenbrenners nahezu gar nicht leuchtet und ebenso reines Ceroyd durch die Bunsenflamme kaum zum Leuchten gebracht werden kann. Setzt man dagegen dem Thoriumoxyd geringe Mengen von Ceroyd zu, so wächst die Leuchtkraft des aus diesen Oxyden erzeugten Glühkörpers zunächst außerordentlich rasch und erreicht bei einem Ceroydgehalt von etwa 0,9 Proz. ihr Maximum. Bei höherem Cergehalt fällt dann die Leuchtkraft wieder ab, wie sie die von Lux aufgenommene Kurve (Fig. 378) zeigt. Zur Erklärung dieses merkwürdigen Verhaltens werden natürlich mancherlei Theorien aufgestellt. Doch erst in der letzten Zeit ist es gelungen, befriedigende Erklärungen zu finden.

Zuerst stellte Nichols die Lumineszenztheorie auf, die dann auch Drossbach <sup>1)</sup> annahm und begründete. Nach dieser nahm man an, daß die

Fig. 378.



Moleküle des Thoriumoxyds eine andere Schwingungsdauer hätten, als die Moleküle der Verbrennungsprodukte des Gases, so daß die Schwingungen der letzteren nicht leicht auf die Moleküle des Thoriumoxyds übertragen werden könnten, und erst wenn dieselben mit einer geringen Menge Ceroyd belastet und dadurch zur gleichen Schwingungsdauer gebracht würden, könnten sie die Temperatur der Flamme vollständig annehmen, wobei die Moleküle jene Schwingungsdauer hätten, welche die Aussendung einer großen Menge von Lichtstrahlen ermöglichte.

Später wurde von Killing <sup>2)</sup> die auch von H. Bunte <sup>3)</sup> sehr unterstützte Theorie der Katalyse aufgestellt. Das Cer vermag mit dem Sauerstoff verschiedene Oxyde zu bilden und ist daher geeignet, während der Verbrennung Sauerstoff aus der Luft aufzunehmen und rasch wieder an das Gas zum Zwecke der Verbrennung abzugeben. Das Ceroyd vermag also als Sauer-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1897, S. 174; 1898, S. 352; 1901, S. 819. — <sup>2)</sup> Ebend. 1907, S. 90; 1903, S. 445. — <sup>3)</sup> Ebend. 1898, S. 17; 1901, S. 411; 1904, S. 1011.

stoffüberträger zu dienen; man nahm an, daß die Verbrennung des Gases mit der Luft durch die Gegenwart des Ceroxyds beschleunigt würde. Dieses Verhalten des Ceroxyds ist bei niedrigen Temperaturen tatsächlich nachgewiesen worden. Eine Stütze fand diese Theorie durch die Versuche Casaubons<sup>1)</sup>, wonach ein Strumpf aus reinem Ceroxyd rot leuchtet, solange man ihn mit einer reduzierenden Flamme heizt und sich ein Farbenschlag auf Weiß zeigt, sobald die Flamme in eine oxydierende übergeht. Auch Féry<sup>2)</sup> und Lewes<sup>3)</sup> schlossen sich dieser Theorie an. Jedoch zeigte bereits John<sup>4)</sup>, daß das Leuchten des Auerstrumpfes ein thermaktines sei, d. h. ausschließlich durch die Wärmewirkung hervorgerufen sei, und Nernst und Bose<sup>5)</sup>, wie auch Le Chatelier<sup>6)</sup> und Boudouard hatten schon erkannt, daß die geringe Strahlung im Ultrarot für die Leuchtkraft des Auerstrumpfes maßgeblich sei, weil er dadurch befähigt ist, die Temperatur der Flamme anzunehmen, ohne die großen Wärmemengen zu verlieren, die bei anderen Substanzen durch die ultraroten Strahlen verloren gehen. Tatsächlich ist die Strahlung des Auerschen Glühkörpers in allen Wellenlängen kleiner, als die Strahlung des absolut schwarzen Körpers gleicher Temperatur. Schon daraus geht hervor, daß keine besondere Lumineszenz oder sonstige Erscheinung vorliegt, und schließlich wurde auch nachgewiesen, daß der Glühkörper auch in heißen Rauchgasen ebenso seiner Temperatur entsprechend leuchtet, wie in der Gasflamme. Schließlich stellte Killing<sup>7)</sup> experimentell fest, daß ein Auerstrumpf in einer Wasserstoffflamme, die in Chlorgas brennt, mit außerordentlich intensivem hellgrünen Licht leuchtet, ohne daß sich Chloride der seltenen Erden bilden; daraus ist zu schließen, daß das Cer nicht als Sauerstoffüberträger die Ursache der hohen Leuchtkraft sein kann.

Schließlich hatte Rubens durch eine genaue und sehr schöne Untersuchung<sup>8)</sup> über die Strahlungen von Strümpfen aus reinem Thoriumoxyd, Ceroxyd, ferner des Auerstrumpfes und eines durch Eisenoxyd entleuchteten Auerstrumpfes die Wirkung der Auermischung klar dargestellt. Er zeigte zunächst in Übereinstimmung mit Nernst und Bose, daß ein Auerstrumpf bei gleicher Temperatur nur  $\frac{1}{33}$  der Gesamtstrahlung aussendet von jener eines absolut schwarzen Körpers von gleicher Oberfläche und gleicher Temperatur. Dabei zeigt aber der Auerstrumpf die Eigentümlichkeit, daß seine Strahlung im sichtbaren Teile des Spektrums, also seine eigentliche Lichtstrahlung, nahezu ebenso groß ist wie beim absolut schwarzen Körper, und daß in dem großen Gebiete der ultraroten Strahlung zwischen der Wellenlänge  $1\mu$  und  $5\mu$ , in welchem die Strahlung der meisten Lichtquellen die stärkste ist, das Emissionsvermögen des Auerstrumpfes äußerst klein ist. Erst bei den ganz langwelligen Strahlen zwischen  $10\mu$  und  $15\mu$  nähert sich die Emission wieder jener des schwarzen Körpers. Das Studium der Emissionsspektren des reinen Thoriumoxyds und des reinen Ceroxyds zeigte die Ursache dieses günstigen Verhaltens der Auermischung. Das Thoriumoxyd besitzt nämlich im leuchtenden Teile des Spektrums ebenso wie im ultraroten ein außerordentlich geringes Strahlungsvermögen. Das Thoriumoxyd bildet also als Grundlage den Stoff, welcher in der Lage ist, die Temperatur der Flamme anzunehmen, ohne wie die anderen Stoffe verschwenderisch Wärme auszusenden. Das Ceroxyd dagegen zeigt

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1906, S. 1057. — <sup>2)</sup> Ebend. 1903, S. 336. — <sup>3)</sup> Ebend. 1905, S. 372. — <sup>4)</sup> Ebend. 1896, S. 160 u. 425. — <sup>5)</sup> Ebend. 1901, S. 412. — <sup>6)</sup> Ebend. 1898, S. 733. — <sup>7)</sup> Ebend. 1907, S. 90. — <sup>8)</sup> Ebend. 1906, S. 25.

hohe Emission im leuchtenden Teile des Spektrums und vermittelt daher die Aussendung von Lichtstrahlen in dem Maße, wie dies der hohen Temperatur des Thorstrumpfes entspricht. Ein zu großer Zusatz von Ceroyd würde dagegen schädlich wirken, weil dann dessen verhältnismäßig hohe Emission zwischen 1 bis  $8\mu$  wieder zu viel Wärmeverlust bedingen würde.

Die Temperatur des Auerglühkörpers schätzt Rubens auf etwa 1800°. Vergleicht man die Strahlung des absolut schwarzen Körpers (S. 31) mit dem Strahlungsvermögen des Auerkörpers, so ergibt sich die nachstehende Tabelle.

Lichtfarbe	Wellenlänge in Mikromillimetern	Strahlung des absolut schwarzen Körpers bei 1800° ab- soluter Tem- peratur	Strahlung des Auerkörpers	Strahlungs- vermögen des Auerkörpers in bezug auf den absolut schwarzen Körper
Violett . . . . .	0,45	4,4	3,8	0,86
Blaugrün . . . . .	0,50	16,1	11,5	0,72
Gelbgrün . . . . .	0,55	45,0	22,0	0,49
Orange . . . . .	0,60	100,0	24,0	0,24
Dunkelrot . . . . .	0,7	390	25,8	0,062
Ultrarot . . . . .	1,0	1830	34,3	0,0187
	1,5	3740	34,0	0,0091
	5,0	511	7,0	0,0137
	9,0	75,6	29,9	0,395
	18,0	6,2	5,0	0,81

Aus dieser Tabelle geht also deutlich hervor, daß durch den geringen Cerzusatz das Strahlungsvermögen des Auerkörpers im leuchtenden Teile des Spektrums zwischen 0,45 und  $0,60\mu$  ein sehr günstiges ist, wogegen es in dem dunklen Teile des Spektrums im Ultrarot zwischen 1 und  $8\mu$  außerordentlich gering ist. Der Cerzusatz erhöht also die Lichtstrahlung, ohne die Wärmestrahlung des Thoroxydes zu erhöhen.

Auch Féry<sup>1)</sup> hat diese von Rubens erhaltenen Resultate bestätigt. Ein aus reinem Thoriumoxyd bestehender Glühkörper besitzt nur eine Leuchtkraft von 1 HK. Ein solcher aus reinem Ceroyd liefert 7 HK, die Mischung des Thoriumoxydes mit geringen Mengen von Ceroyd hingegen eine Leuchtkraft von 70 HK. In der reduzierenden Flamme leuchtet das Thoriumoxyd schwach grünlich, in der oxydierenden dagegen stark rötlichweiß. Das Ceroyd leuchtet umgekehrt in der reduzierenden Flamme stark grünblau, in der oxydierenden hingegen schwach ziegelrot. Das Ceroyd besitzt das größte Strahlungsvermögen aller Oxyde, es strahlt nahezu so wie der absolut schwarze Körper. Beim Auerschen Glühkörper sind 2 Proz. der Gesamtstrahlung sichtbar, während beim absolut schwarzen Körper von gleicher Temperatur so viel Wärmestrahlen ausgesendet werden, daß nur 0,1 Proz. als sichtbare Strahlung auftreten.

Nach Rubens spielt das Ceroyd im Auerbrenner eine ähnliche Rolle, wie ein Sensibilisator in einer photographischen Platte, indem es an einer gewünschten Stelle des Spektrums einen Absorptionsstreifen hervorbringt,

<sup>1)</sup> Le Gaz, Juni 1911; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1017.

ohne die übrigen Spektralgebiete zu beeinflussen. Allerdings erfüllt es diese Bedingung nur mangelhaft. Wenn es gelänge, eine andere Substanz als Färbungsmittel zu verwenden, welche dem Thoriumoxydstrumpf nicht nur im kurzwelligen Teile des sichtbaren Spektrums, sondern auch im gelben und roten vollkommen schwärzt, ohne auf das ultrarote Spektralgebiet einzuwirken, so würde sich hierdurch der Lichteffect des Gasglühlichtes ungefähr verdreifachen lassen.

In der Frage der Theorie der Glühkörper ist nur eine noch nicht gelöst: warum gerade eine so geringe Menge von Cer die Strahlung im sichtbaren Teile des Spektrums so außerordentlich stark begünstigt. White & Traver und Rusell<sup>1)</sup> glauben die Erklärung hierzu darin zu finden, daß diese geringe Menge von Ceroyd eine feste Lösung in dem Thoriumoxyd bildet und dadurch gewissermaßen dem Thoriumoxyd eine Färbung erteilt, wie sich etwa irgend eine andere feste Substanz in einer Flüssigkeit unter Färbung der letzteren löst. Auch die Farbe anderer Lösungen rührt ja daher, daß bestimmte Strahlengattungen absorbiert werden, daß also gemäß des Kirchhoffschen Gesetzes (S. 27) auch bestimmte Strahlengattungen bevorzugt ausgesendet werden.

Von größtem Einfluß auf die Leuchtkraft des Gasglühlichtes ist natürlich die Flammentemperatur, um so mehr als wir ja im vorstehenden gesehen haben, daß die Leuchtkraft des Glühkörpers nur eine Folge der hohen Temperatur desselben ist. Man muß also zur Erzielung eines guten Lichteffectes im Gasglühlicht Flammen von hoher Temperatur verwenden. Es ist aber hier neuerdings hervorzuheben, daß Flammentemperatur und Heizwert des Gases durchaus nicht identisch sind, daß also ein Gas von hohem Heizwert eine geringe Flammentemperatur besitzen kann und umgekehrt. Bei der Verbrennung eines Gases wird der größte Teil der Verbrennungswärme auf die Verbrennungsprodukte übertragen, und ein kleinerer Teil wird ausgestrahlt. Ist die Wärmekapazität der Verbrennungsprodukte eine hohe, so ist die Temperatur derselben gering; in diesem Falle wird auch die Flammentemperatur gering sein. Die Flammentemperatur eines Gases ist daher um so größer, je geringer die Wärmekapazität der Verbrennungsprodukte ist. Ein hoher Heizwert hat also durchaus nicht immer eine hohe Verbrennungstemperatur zur Folge. Ferner wird die Flammentemperatur auch stark durch die Ausstrahlung der Flamme beeinflusst. Diese wieder ist abhängig vom Volumen der Flamme. Ist das Volumen derselben, also auch deren Oberfläche groß, so findet eine große Ausstrahlung statt, während das Gas verbrennt, und dementsprechend wird die Flammentemperatur gering. Gase von geringem Flammenvolumen haben daher eine höhere Flammentemperatur.

Als Flammenvolumen (vgl. S. 75) haben Bunte, Mayer und Teichel<sup>2)</sup> den Raum bezeichnet, welchen die Verbrennungsprodukte eines bestimmten Gasvolumens einnehmen. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß das wirkliche Flammenvolumen auch sehr stark beeinflusst ist durch die Verbrennungsgeschwindigkeit des Gases, und diese ist um so größer, je größer die Luftmenge ist, welche dem Gase unmittelbar beigemischt ist. Das Flammenvolumen wird also um so kleiner, je größer die Menge von Primärluft wird, welche man dem Gase beimischt. Ebenso wird das Flammenvolumen um so

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1903, S. 787. — <sup>2)</sup> Ebend. 1908, S. 265.

kleiner, je größer der Wasserstoff- und Kohlenoxydgehalt des Gases ist, während die Kohlenwasserstoffe ein großes Flammenvolumen bedingen, weil sie eine geringe Verbrennungsgeschwindigkeit besitzen. Das wirkliche Flammenvolumen kann also nicht durch Rechnung, sondern es muß durch Messung festgesetzt werden, und dies ist bisher für die verschiedenen Gase noch nicht geschehen.

Schon Denayrouze<sup>1)</sup> verwies auf die Abhängigkeit der Leuchtkraft von der zugeführten Primärluft und auf den hohen Lichteffect, der beim Ansaugen von 4 bis 5 Tln. Luft auf 1 Tl. Gas erreicht wird. Auch er bezeichnet als wesentlich die Zeit, welche zur Verbrennung eines bestimmten Volumens des Gemisches erforderlich ist, bzw. die Größe der Fläche, auf welcher diese Verbrennung stattfindet. Das Maximum der Leuchtkraft ergibt sich für jeden Brenner bei Zuführung der theoretisch erforderlichen Primärluftmenge. Dadurch verringert sich das Flammenvolumen, und es ist dann auch der kleinste Glühkörper erforderlich. Bei derartigen kleinen Glühkörpern ist außerdem die Geschwindigkeit, mit welcher die Gase den Glühkörper passieren, eine größere, und daher findet auch noch eine intensivere Wärmeübertragung statt.

Die Temperatur des Glühkörpers ist natürlich stets niedriger als die Flammentemperatur. Sie wird von White & Traver zu 1780 bis 1800° geschätzt. Bunte und Eitner geben an, daß die Temperaturdifferenz zwischen Flamme und Glühkörper etwa 130° C beträgt.

Führt man einem Strumpfe eine große Gasmenge zu, so wird durch die größere Strömungsgeschwindigkeit (vgl. S. 192) die Temperatur des Glühkörpers der Flammentemperatur mehr genähert; um so geringer wird aber die Temperaturdifferenz zwischen den Heizgasen und dem Glühkörper, und man erreicht daher eine Grenze, bei welcher die Ausnutzung der Wärme nicht mehr wächst, d. i. den maximal erreichbaren Nutzeffect. Die Höhe dieses Nutzeffektes kann jedoch bei verschiedenen Gasen sehr verschieden sein, weil eben namentlich zufolge der verschiedenen Verbrennungsgeschwindigkeit die Flammentemperatur der einzelnen Gase sehr verschieden ist. Bei ausreichendem Gasverbrauch müßte die Temperatur des Glühkörpers äußerst nahe der Verbrennungstemperatur gebracht werden, vorausgesetzt, daß diese große Gasmenge innerhalb des Glühkörpers verbrannt werden könnte, was aber nur bei hoher Entzündungsgeschwindigkeit möglich ist. Je mehr man sich jedoch der Verbrennungstemperatur nähert, um so geringer wird die Temperaturerhöhung für gleichen Wärmearaufwand, und es liegt daher das Maximum des Nutzeffektes unterhalb der theoretischen Flammentemperatur. Bei niedrigem Gasverbrauch liegt das Maximum weit unterhalb der theoretischen Luftmischung, weil sonst die Flamme zu klein würde, um den Glühkörper zu erhitzen. Wenn aber der Glühkörper ganz erhitzt ist, tritt bei theoretischer Primärluftmischung mit wachsendem Gasverbrauch nahezu proportionales Steigen der Lichtstärke ein. Diese Proportionalität ist jedoch nur eine zufällige, da sie nur dadurch bedingt ist, daß der Lichteffect des Glühkörpers mit der 12. bis 14. Potenz der Temperatur, also mit der Temperatur sehr rasch steigt, während die Temperatur des Glühkörpers aus obengenannten Gründen oberhalb einer gewissen Grenze bei wachsendem Gasverbrauch nur

---

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1904, S. 771.

gering zunimmt. Denayrouze kommt aber zu dem Schluß, daß für einen bestimmten Gasverbrauch beim kleinsten Flammenvolumen, d. h. bei theoretischer Primärluftzufuhr der höchste Lichteffect erzielt wird. Dem wäre also hinzuzufügen, daß dies nur der Fall ist, wenn der Glühkörper die diesem Gasverbrauch angepaßte Größe besitzt.

Auch Mayer und Schmiedt<sup>1)</sup> kommen zu dem Resultat, daß der Glühkörper dem kleinsten Flammenvolumen ausgesetzt werden muß und daher die theoretische Luftmenge als Primärluft zugeführt werden muß, um den größten Effect zu erreichen. Mayer und Schmiedt bezeichnen das Volumen der Verbrennungsgase für je 100 Kal. Heizeffect und die theoretische Grenztemperatur der Verbrennung als maßgeblich für die Leuchtkraft eines Gases im Gasglühlicht. Hierzu ist aber zu bemerken, daß das Volumen der Verbrennungsgase für 100 Kal. nicht dem Flammenvolumen entspricht, weil letzteres eben noch durch die Entzündungsgeschwindigkeit des Gasgemisches bedingt ist. So z. B. haben reiche und arme Gase pro 100 Kal. annähernd das gleiche Volumen an Verbrennungsgasen, jedoch durchaus nicht das gleiche Flammenvolumen, da die Verbrennungsgeschwindigkeit der armen Gase eine größere ist als jene der reichen. Mayer und Schmiedt fanden auch, daß bei hohem Kohlenoxydzusatz die Ausnutzung des Heizwertes zur Lichterzeugung eine geringere wird. Zur Erklärung dieser Erscheinung braucht man nicht die Dissoziation der Kohlensäure heranzuziehen, sondern sie ergibt sich von selbst dadurch, daß das Kohlenoxyd eine geringe Entzündungsgeschwindigkeit besitzt und daher ein großes Flammenvolumen ergibt.

Von St. Claire Deville<sup>2)</sup> und anderen wurde befürwortet, die Leuchtkraft eines Gases im Gasglühlicht als proportional mit dem Heizwert des Gases zu betrachten. Die obigen Erörterungen zeigen jedoch, daß dies nicht zulässig ist. Auch Mayer und Schmiedt kommen zu dem Schluß, daß die theoretischen Bedingungen für die Proportionalität zwischen Heizkraft und Heizwert nicht streng erfüllt sind, daß aber bei einem gewissen Wärmearaufwand, der von der Art des Brenners und des Glühkörpers abhängt, brauchbare Übereinstimmung gefunden wird, wenn mit Glühkörpern von bestimmten Dimensionen, Brennern genau festgelegter Art und mit der Zupressung der theoretischen Luftmenge gearbeitet wird. Die gewöhnlichen Bunsenbrenner nutzen jedoch die armen Gase besser aus als die reichen.

Auch Forshaw<sup>3)</sup> hat gezeigt, daß verschiedene Gase von gleichem Heizwert, so z. B. Kohlenoxyd und Wasserstoff, jedes in dem günstigsten Glühlichtbrenner verbrannt, durchaus verschiedene Lichtwerte geben. Ebenso verwies Bone darauf, daß die Lichtausbeute im Gasglühlichtbrenner von vielen Faktoren abhängig und es nicht angängig sei, den Heizwert des Gases als Maß für die Leuchtkraft im Gasglühlicht zu verwenden. Schließlich gab auch St. Claire Deville zu, daß seine Arbeit<sup>4)</sup> nur zeige, daß bei seinen Versuchen die Lichtmenge für 1000 Kal. bei allen Steinkohlengassorten ungefähr gleich war und daß diese Gassorten alle eine Verbrennungstemperatur von etwa 1950° hatten. Er gab auch zu, daß das Wassergas mehr Licht pro 1000 Kal. gebe. Dies sei jedoch bei der Zumischung von geringem Einfluß<sup>5)</sup>.

---

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 1137. — <sup>2)</sup> Ebend. 1908, S. 1128. — <sup>3)</sup> Ebend. 1909, S. 940. — <sup>4)</sup> Ebend. 1904, S. 21. — <sup>5)</sup> Ebend. 1908, S. 1097.

Schließlich haben Strache und Kropf<sup>1)</sup> gezeigt, daß durch Herabsetzung der Flammentemperatur eines Gases, indem man demselben Kohlensäure beimischt, der Nutzeffekt im Gasglühlicht wesentlich herabgesetzt werden kann und daß selbst Gase von gleichem Heizwert eine ganz verschiedene Leuchtkraft im Gasglühlicht geben können, je nach der Flammentemperatur, welche sie besitzen. Verringert man z. B. den Heizwert des Gases durch Zusatz von Wasserstoff einerseits und Kohlensäure andererseits, so wird die Flammentemperatur im ersteren Falle erhöht, im zweiten Falle hingegen herabgesetzt. Das Resultat ist, daß das mit Wasserstoff versetzte Gas trotz des gleichen Heizwertes einen wesentlich höheren Leuchteffekt im Gasglühlicht erzeugt als das letztere.

Für die Lichtausbeute ist ferner auch noch, wie bereits angedeutet, die Wärmeübertragung auf den Glühkörper maßgebend. Wir haben bereits bei Besprechung des Verbrennungsprozesses (S. 87) erwähnt, daß dünne Drähte die Temperatur der Flamme vollkommener anzunehmen vermögen als dicke, deshalb zeigt sich auch bei der Glühlichtbeleuchtung eine Abhängigkeit von den Dimensionen der Fäden des Gewebes und leuchten dieselben um so stärker, je dünner die Fäden sind, worauf neuerdings Féry<sup>2)</sup> hinweist.

Es ist dabei zu berücksichtigen, daß die Verbrennungsgase im wesentlichen nicht durch die Maschen des Glühkörpers hindurchgehen, sondern längs des Gewebes hinstreichen und oben aus der Öffnung des Glühkörpers austreten. Auch bei einer größeren Geschwindigkeit des Gasstromes kann eine günstigere Übertragung der Wärme stattfinden, so daß die Anwendung von Preßgas teils zufolge des geringeren Flammenvolumens, teils durch die höhere Geschwindigkeit dem Glühkörper eine wesentlich höhere Temperatur mitteilt.

### 65. Brenner für Gasglühlicht.

Bei der Konstruktion der Brenner für Gasglühlicht kommt es also in erster Linie darauf an, eine möglichst heiße Flamme des Gases zu erhalten. Wir haben bereits bei Besprechung des Bunsenbrenners ausführlich alle Umstände besprochen (S. 78 bis 88), welche dabei in Betracht kommen. Das wichtigste ist, daß die Brenner mittels der Düse möglichst viel Luft ansaugen müssen, ohne jedoch dabei zurückzuschlagen. Das letztere kann nur vermieden werden, wenn die Ausströmungsgeschwindigkeit größer als die Entzündungsgeschwindigkeit des Gasgemisches ist. Man muß also auf alle Fälle für eine genügend große Ausströmungsgeschwindigkeit sorgen. Diese wird dann hervorgerufen, wenn die als Injektor wirkende Düse das Gasluftgemisch unter genügenden Druck setzt und die Ausströmungsöffnung für das Gasluftgemisch beim Brennerkopf nicht zu weit gewählt ist.

Verschiedene Gase haben sehr verschiedenen Luftbedarf, und je näher die Luftzumischung dem theoretischen Luftbedarf des Gases kommt, desto größer wird die Entzündungsgeschwindigkeit. Betreibt man einen Bunsenbrenner mit Gas von geringem Heizwert, so ist damit auch gewöhnlich ein geringer Luftbedarf verbunden. Man kann den theoretischen Luftbedarf durch ein Gas von geringerem Heizwert leichter ansaugen, als mit einem solchen von höherem Heizwert. Daher kommt es, daß Gase von geringerem

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 468. — <sup>2)</sup> Wie oben bei Féry.

Heizwert im gleichen Bunsenbrenner eine höhere Flammentemperatur entwickeln als Gase von höherem Heizwert. Zuzufolge der größeren Verbrennungsgeschwindigkeit wird jedoch die Flamme eine kürzere und sind dementsprechend für Gase von geringerem Heizwert kleinere Glühkörper zu verwenden. Wir haben bereits auf S. 81 die von H. Bunte<sup>1)</sup> für Steinkohlengas ermittelten Gasluftmischungen, welche in Bunsenbrennern verschiedener Art erzeugt werden, auf uncarburiertes Wassergas umgerechnet, um zu zeigen, daß bei einem Gase von geringerem Heizwert leicht auch die theoretische Luftmenge angesogen werden kann. Es müssen dann eben nur Vorkehrungen getroffen werden, daß die Flamme nicht zurückschlägt.

Wenn also Gase von verhältnismäßig geringem Heizwert und hoher Flammentemperatur durchaus nicht ungünstig für den Gasglühlichtbrenner wirken, so muß doch hervorgehoben werden, daß Schwankungen in der Zusammensetzung des Gases sehr nachteilig auf den Betrieb der Gasglühlichtbrenner wirken. Hat nämlich das Gas einen wechselnden Heizwert und dementsprechend auch einen wechselnden Luftbedarf, so kann in einem Falle bei geringem Luftbedarf ein schlechtes Licht erzeugt werden, da das Flammenvolumen größer ist, als für den betreffenden Glühkörper vorgesehen, und im anderen Falle, bei plötzlich abnehmendem Luftbedarf, die Flamme den Glühkörper nicht ausfüllt oder gar zurückschlägt. Es ist also von der größten Bedeutung, daß das Gas stets in der gleichbleibenden Qualität geliefert wird (vgl. S. 649), und die Gleichmäßigkeit ist viel wichtiger als der Heizwert des Gases an sich, denn, wie bereits wiederholt erwähnt, kann man mit verhältnismäßig heizarmen Gasen, bei passender Konstruktion des Brenners und bei passender Größe und Form des Glühkörpers, bessere Effekte erzielen, als mit einem heizkräftigen Gase von hohem Kohlenwasserstoffgehalt.

Der gewöhnliche Bunsenbrenner, wie er in den Laboratorien verwendet wird, eignet sich nicht ohne weiteres zum Betriebe des Gasglühlichtes und mußte mannigfache Umgestaltungen erfahren, bis der heute verwendete Gasglühlichtbrenner entstand. Zunächst würde das lange Mischrohr des Laboratoriumsbrenners für Beleuchtungskörper recht unbequem sein. Ein kurzes Mischrohr jedoch verursacht leicht das Zurückschlagen der Flamme, weil sich in dem kurzen Rohre Gas und Luft nicht genügend mischen können (vgl. S. 87). Man mußte daher den Kopf des Brenners derart ausbilden, daß er trotz eines verhältnismäßig kurzen Mischrohres eine gründliche Mischung des Gases mit der Luft sichert. Außerdem war eine wesentliche Verbreiterung des Brennerkopfes erforderlich, um einen möglichst breiten Glühkörper mit großer Oberfläche erhitzen zu können. Dadurch würde sich aber die Auströmungsgeschwindigkeit an der Brennerkopfmündung verringern und mußte daher in der Mitte ein Kegelaufsatz angebracht werden, welcher einen Teil des freien Querschnittes des Brennerkopfes abdeckt, so daß nur ein kleinerer ringförmiger Querschnitt für den Austritt des Gasluftgemisches frei bleibt. Zur Verhinderung des Zurückschlagens wurde dieser dann außerdem noch mit einem Drahtsieb bedeckt. Unter den Firmen, welche an der Vervollkommnung des Gasglühlichtes gearbeitet haben, gebührt insbesondere der Firma Julius Pintsch das Verdienst, den Brenner für das Gasglühlicht auf die Weise durchgebildet zu haben, wie er dann durch viele Jahre für die

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 265.

Gasglühlichtbeleuchtung beinahe ausschließlich verwendet wurde. Allerdings trugen auch die späteren Verbesserungen des Brenners wesentlich zur Vervollkommnung der Gasglühlichtbeleuchtung bei.

Während 1892 der Gasverbrauch der mittleren horizontalen Kerzenstärke pro Stunde bei neuen Glühkörpern 2 Liter und mehr betrug, war er nach Böhm<sup>1)</sup> 1895 bereits auf 1,38 Liter gesunken; aber nach einer Brenndauer von etwa 600 Stunden stieg der Wert wieder auf 3,58 Liter, was allerdings nicht dem Brenner, sondern den Veränderungen des Glühkörpers zuzuschreiben war. 1899 waren die Verbesserungen so weit gediehen, daß nach 400 Stunden ein Verbrauch von 1,6 bis 1,9 Liter pro HK-Stunde gemessen werden konnte, während er 1903 bei den gewöhnlichen Auerglühkörpern im Laufe von etwa 400 Stunden von 0,89 auf 1,48 Liter stieg, bei den „Degea“-Glühkörpern sogar von 1,36 auf 1,04 Liter fiel<sup>2)</sup>.

Am Gasglühlichtbrenner haben wir nachstehende Bestandteile zu unterscheiden: Einer der wichtigsten Bestandteile ist die Ausströmungsdüse, welche berufen ist, eine möglichst große Luftmenge in den Brenner einzusaugen. Die Luftansaugung ist um so stärker, je höher der Druck vor der Düse ist. Die Regulierung der ausströmenden Gasmenge soll daher nicht durch Verringerung des Druckes erfolgen, sondern durch Verringerung des Düsenquerschnittes. Würde man als Düse ein langes Röhrchen verwenden, so würde der Druck in diesem allmählich abnehmen und bei der Ausströmungsöffnung selbst nur sehr gering sein. Daher ist es vorteilhafter, ein dünnes Blech mit einem oder mehreren Löchern zu versehen, so daß an der Ausströmungsöffnung selbst noch der volle Druck herrscht. Mit Rücksicht auf die geringe Höhe des Mischrohres, wie sie bei den Gasglühlichtbrennern notwendig ist, kann man, um doch eine gute Mischung von Luft und Gas zu erzielen, anstatt eines Loches auch mehrere, meist fünf Löcher im Kreise, anwenden. Eine größere Anzahl kleiner Bohrungen bedingt jedoch größere Reibungsverluste, wodurch ein Teil der kinetischen Energie des Gasstrahles vernichtet wird. Es muß genau darauf geachtet werden, daß sowohl bei einem als auch bei fünf Löchern die Anordnung derselben genau zentral erfolgt, damit nicht an einer Seite des Brenners ein anderes Gasluftgemisch vorhanden ist, als an der anderen. Ferner müssen die Bohrungen genau parallel der Achse sein, da jede schiefe Bohrung den Gasstrahl nach einer Seite des Brenners treibt und daher ebenfalls ungleichmäßiges Gasluftgemisch zur Folge hat. Die Größe des Düsenquerschnittes muß dem jeweiligen Gasdrucke und der Gasqualität angepaßt sein. Die Regelung muß daher an Ort und Stelle erfolgen. Es geschieht dies bei den gewöhnlichen Düsen dadurch, daß man sie zum Zwecke der Erweiterung mit einer Düsennadel aufbohrt, oder zum Zwecke der Verengung nach Hineinschieben einer harten Unterlage mittels eines Hammers zuschlägt. Hierbei muß jedoch berücksichtigt werden, daß die Bohrungen keine schräge Stellung einnehmen dürfen. Viel bequemer ist es, Düsen zu verwenden, deren Querschnitt von außen einstellbar eingerichtet ist, dies sind die sogenannten „Regulierdüsen“. Man hat solche konstruiert, bei denen sich die Nadeln in die Düsenöffnungen einschieben, so daß durch diese der Querschnitt verringert wird. Dabei muß aber vermieden werden, daß die verbleibende Öffnung exzentrisch wird, wenn sich z. B. die Nadel an einem

<sup>1)</sup> Böhm, Journ. f. Gasbel. 1906, S. 983. — <sup>2)</sup> So hohe Lichtstärken können bei normalem Gase nur mit sehr dünnem Garn erreicht werden, das wenig haltbar ist.

Rande anlegt; es hätte dies denselben Erfolg wie eine schief gebohrte Öffnung, und es entstünde ein ungleichmäßiges Gemisch von Gas und Luft. Die Delkadüse von Lange<sup>1)</sup> vermeidet dies, indem die Nadel durch ein dünnes Blättchen ersetzt ist, welches an drei Stellen geführt ist und durch einen seitlichen Druck nicht zur Seite gedrückt werden kann. Das Blättchen erweitert sich nach unten keilförmig und geht schließlich in einen kreisrunden Querschnitt über, so daß beim Hinaufschieben eine allmähliche Verringerung des Querschnittes eintritt. Eine sehr vollkommene Regulierdüse ist die Kreuzschlitzdüse, welche in Fig. 379 dargestellt ist. Bei dieser ist die Düsenöffnung durch ein kleines Röhrchen verschlossen, welches das Gas durch kreuzförmig geschnittene Schlitzte ausströmen läßt. Wird dieses Röhrchen in die Düsenöffnung hineingepreßt, so schließen sich die Schlitzte, indem sich die zwischen diesen frei bleibenden federnden Zungen einander nähern müssen. Dieses Hineinpressen erfolgt durch eine unten konisch ausgebildete Schraube, welche das Röhrchen beim Hineindreuen nach vorwärts schiebt, beim Zurückdrehen der Schraube wirkt die Federkraft der Zungen auf das Röhrchen, derart, daß sich dasselbe wieder nach rückwärts schiebt, wodurch die Spalten erweitert werden. Diese Regulierdüsen vermindern jedoch ebenso wie die Düsen mit mehreren Löchern zufolge der erhöhten Reibung des Gases in den Ausströmungsöffnungen einen Teil der Energie des Gases.

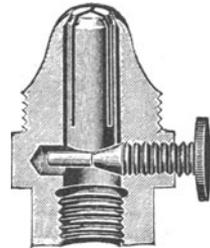
Die beste Düse ist eine solche, die eine von außen regulierbare Öffnung von kreisförmigem Querschnitt hat, etwa in der Art der bei photographischen Apparaten verwendeten Irisblenden. So z. B. hat die Regulierdüse der Zentralwerkstatt Dessau eine aus sechs dreieckigen, gegeneinander verschiebbaren Teilen zusammengesetzte Platte, welche ein regulierbares sechseckiges, also nahezu kreisförmiges Loch bilden. Die Regulierung erfolgt durch Eindrücken dieser an Federn befestigten Dreiecke in einen Konus.

Das aus der Düse strömende Gas gelangt in die Ansaugkammer; hier tritt durch die Injektorwirkung eine Luftverdünnung ein, so daß durch die im unteren Teile der Ansaugkammer angebrachten Öffnungen Luft von außen hinzutritt und sich mit dem Gase mischt. Es ist natürlich notwendig, den Widerstand in den Eintrittsöffnungen möglichst gering zu gestalten und diese Öffnungen möglichst groß zu machen. Ferner müssen dieselben möglichst tief unterhalb der Düse angebracht sein, anderenfalls der eintretende Luftstrom direkt auf die Düse wirkt und dort Wirbel mit dem ausströmenden Gas bildet, die wieder einen Teil der Energie des Gasstrahles vernichten.

Der Gasstrahl gelangt dann weiter in das Mischrohr. Dieses hat die Aufgabe, eine gründliche Durchmischung von Luft und Gas zu bewirken, gleichzeitig aber die Injektorwirkung des Gasstrahles möglichst zu unterstützen. Dies ist dann der Fall, wenn in dem Mischrohre eine Verengung eingesetzt ist, wie wir dies auf S. 79 besprochen haben. Tatsächlich wird bei den neueren Gasglühlichtbrennern diese Verengung auch meistens angewendet.

Schließlich gelangt das Gasluftgemisch in den Brennerkopf, in welchem die Mischung weiter vervollkommenet wird und aus welchem das entzündete

Fig. 379.



<sup>1)</sup> Journ. für Gasbel. 1910, S. 1199.

Gemisch als Flamme austritt und den Glühkörper beheizt. Der Brennerkopf ist gewöhnlich mit einem Drahtnetz bedeckt, welches manchmal nach aufwärts gewölbt ist, um die Flamme etwas nach auswärts zu drücken.

Der über den Brennerkopf gestülpte Glühkörper, dessen Eigenschaften und Herstellung wir auf S. 987 besprechen werden, wird an einem Träger befestigt, der entweder zentral angeordnet ist, wie dies gewöhnlich bei den in Deutschland üblichen Glühkörpern der Fall ist, oder aber seitlich an einem Draht aufgehängt wird, der in der Brennergalerie befestigt ist. Die zentrale Aufhängung erfolgt an einem Stifte aus gebrannter Magnesia, welcher in der Mitte des Brennerkopfes angebracht ist und oben eine kleine Gabel trägt, in welche der Asbest- oder Platinbügel des Glühkörpers eingehängt wird. Bei der seitlichen Aufhängung wird ein aus einer Nickellegierung bestehender Draht in die Brennergalerie mittels eines Schraubchens eingeklemmt, wie dies bei Besprechung des Gobobrenners (S. 960) erläutert ist. Die zentrale Aufhängung hat den Vorteil der Einfachheit, und es werden auch die Zylinder gleichmäßiger erwärmt, so daß sie nicht so leicht zerspringen. Die seitliche Aufhängung hingegen, welche hauptsächlich in Österreich-Ungarn eingeführt ist, hat den Vorteil, daß der Glühkörper durch Verschieben des Drahtes in seiner Befestigung beliebig hoch eingestellt werden kann, was mit Rücksicht auf die etwas konische Form des Glühkörpers dazu führt, daß er an jene Stelle gebracht werden kann, wo der Glühkörper an dem Brennerkopf anliegt.

Der Brennerkopf trägt gewöhnlich unten einen Rohransatz, welcher über das Mischrohr geschoben werden kann und auch gleichzeitig die Galerie trägt. Dadurch ist es ermöglicht, den Brennerkopf mit Galerie und Zylinder von dem übrigen Teil des Gasglühlichtbrenners, nämlich der Düse und dem Mischrohr, abzuheben, so daß eine Auswechslung des Glühkörpers leicht vorgenommen werden kann. Die Galerie trägt schließlich noch den gläsernen Zugzylinder, worüber wir noch näher sprechen werden.

Der Glaszylinder war lange Zeit das Schmerzenskind der Gasglühlichtindustrie. Durch die Änderungen der Temperaturen beim Entzünden und beim Löschen der Flamme trat häufig ein Springen desselben ein. Namentlich wenn der Glühkörper zum Teil beschädigt ist, bilden sich durch Austreten der heißen Flammengase an dieser Stelle Stichflammen, welche den Zylinder an einer Stelle stark erhitzen, derart, daß manchmal das Glas bis zum Erweichen kommt. Beim Abkühlen erfolgt dann das Zerspringen des Zylinders. Man hat diesem Übelstande durch Anwendung von Zylindern aus Glimmer abzuwehren versucht (die sogenannten Mikazylinder), doch besitzen diese wieder den Übelstand, daß sie an jenen Stellen, wo sie überhitzt werden, matt werden und einen gelblichen Farbenton bekommen, so daß sie ein äußerst unschönes Aussehen erhalten, wenn sie längere Zeit im Betriebe waren. Eine Lösung der Zylinderfrage ist erst durch Schott und Gen in Jena erzielt worden, indem dieselben Zylinder aus einem besonderen Glase herstellten, welche gegen Temperaturveränderungen derart widerstandsfähig sind, daß man sie in heißem Zustande mit Wasser besprengen kann, ohne daß sie zerspringen.

Der Glaszylinder bewirkt eine sehr lebhaft wirkende Zugwirkung und werden dadurch so große Mengen von Luft von unten eingesogen, daß dadurch eine Kühlung des Glühkörpers, also eine Verminderung des Lichteffektes eintritt. Man kann daher durch teilweise Abdeckung der unteren Öffnung der Brenner-

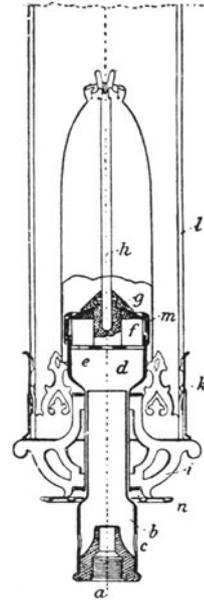
galerie durch Einlegen einer Messingplatte die Wirkung des stehenden Gasglühlichtes erhöhen. Eine weitere Erhöhung tritt dadurch ein, daß man in der Höhe des Brennerkopfes in dem Zylinder am Umfange eine Anzahl — meist sechs — kreisrunde Löcher anbringt, welche die von außen eintretende Luft direkt an die Flammenbasis bringen. In diesem Falle muß die untere Öffnung der Galerie vollständig abgeschlossen sein. Auch diese Lochzylinder wurden zuerst von Schott und Gen in Jena eingeführt und längere Zeit angewendet. Heute ist man jedoch von der Verwendung derselben wieder abgekommen, weil die Vermehrung der Lichtwirkung keine bedeutende ist.

Auch die Vorwärmung der sekundär zur Flamme strömenden Verbrennungsluft hat man versucht. Man hat auf den Brenner einen aus zwei konzentrischen Teilen bestehenden Glaszylinder aufgesetzt, so daß die sekundäre Verbrennungsluft gezwungen war, in dem Zwischenraum zwischen diesen beiden konzentrischen Zylindern von oben nach abwärts zu strömen und sich dabei vorzuwärmen, und erst unten im heißen Zustande zu der Flamme trat. In diesem Falle muß aber das vom Glühkörper ausgesendete Licht zwei Glaszylinder passieren, und dementsprechend verringert sich dasselbe, namentlich dann, wenn die Zylinder nicht vollständig rein sind, so daß man auch von der Verwendung dieser Verbesserung wieder abgekommen ist.

Der stehende Gasglühlichtbrenner, wie er sich am meisten in die Praxis eingeführt hat, ist der sogenannte Auer-C-Brenner, welcher in Fig. 380<sup>1)</sup> dargestellt ist. Er besteht aus der Düse *a*, auf welche die Ansaugkammer *b* mit den Luftöffnungen *c* direkt aufgeschraubt ist. Es sind vier Luftöffnungen am Umfange der Ansaugkammer angeordnet. Mittels einer geringen Verjüngung geht die Ansaugkammer in das Mischrohr über. Über dieses wird der Brennerkopf gestülpt, der in seinem Unterteil ein Rohr besitzt, welches das Mischrohr umschließt. Der eigentliche Brennerkopf *d* hat im Inneren ein Kreuz *e*, in dessen Mitte ein Messingstück angebracht ist, welches ein zentrales Loch zur Aufnahme des Glühkörperträgers *h* besitzt. Den Abschluß der Gasausströmungsöffnung bildet das Drahtsieb *f*, welches mittels des mit Specksteineinlage versehenen Ringes *m* festgehalten wird. Über demselben befindet sich noch der Messingkegel *g*. Die Galerie *k* wird durch drei Pratten *i* getragen, die sich auf die sogenannte Durchschlagescheibe *n* aufsetzen. Letztere dient dazu, die beim Anzünden etwa herausschlagende Gasflamme nicht bis zu den Öffnungen *c* gelangen zu lassen und somit ein Durchschlagen der Flamme beim Anzünden zu vermeiden. In die Galerie *k* ist dann der 250 mm lange Glaszylinder *l* eingesetzt, welcher zur Erhöhung des Zuges und zum Schutze des Glühkörpers dient.

Betreffs der Konstruktion des Brenners ist noch von Wichtigkeit, daß das Drahtsieb nicht zu eng sein soll, weil es sonst dem Gasstrom einen zu

Fig. 380.



<sup>1)</sup> Aus Bertelsmann: Lehrbuch der Leuchtgasindustrie.

großen Widerstand entgegengesetzt; es darf aber auch wieder nicht zu weitmaschig sein, weil dadurch das Zurückschlagen der Flamme begünstigt würde. Man wählt daher am besten Drahtsiebe, welche 100 bis 110 Maschen pro Quadratcentimeter Fläche enthalten. Die Höhe des Glühkörpers von der Brennerkopfoberkante bis zum obersten Punkt des Glühkörperkopfes beträgt beim Auer-C-Brenner gewöhnlich 70 mm.

Der Gaskonsum des Auer-C-Brenners beträgt 120 bis 140 Liter Steinkohlengas, je nach der Qualität des angewendeten Gases. Die mittlere horizontale Lichtstärke beträgt bei neuen Glühkörpern mit normaler Garnstärke 90 bis 110 HK. Über die Abnahme der Leuchtkraft bei längerer Brenndauer werden wir unter dem Kapitel „Glühkörper“ sprechen.

Fig. 381.

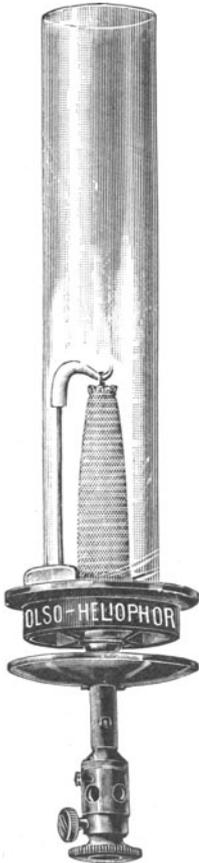


Fig. 381. Die horizontale Lichtstärke beträgt bei neuen Glühkörpern mit normaler Garnstärke 90 bis 110 HK. Über die Abnahme der Leuchtkraft bei längerer Brenndauer werden wir unter dem Kapitel „Glühkörper“ sprechen.

Eine nicht unwesentliche Verbesserung des Lichteffektes im stehenden Glühlicht und des relativen Verbrauches an Gas pro HK-Stunde ist durch den „Olso-brenner“ bewirkt worden. Der günstigere Nutzeffekt desselben wird vornehmlich durch eine richtigere Dimensionierung der Abmessungen des Glühlichtbrenners und durch den Einbau eines Einsatzes am Brennerkopf erzielt, welcher dem Gasluftgemisch den Weg durch eine große Anzahl von Kanälen weist, die einerseits eine Vorwärmung und eine gründliche Durchmischung desselben hervorrufen, andererseits das Zurückschlagen der Flamme verhindern<sup>1)</sup>.

In letzter Zeit ist derselbe noch mit einer Galerie aus Glas versehen worden, so daß die Schattenbildung in der unteren Hemisphäre entfällt. Er kommt in dieser Form unter dem Namen „Olso-Heliophorbrenner“ in den Handel. Er besitzt eine mittlere horizontale Leuchtstärke von 80 bis 90 HK bei einem stündlichen Gaskonsum von 90 bis 100 Litern. Auch unterhalb des Brenners, nahe der Achse, wurde noch eine Lichtstärke von 30 HK gemessen, während der Auer-C-Brenner an dieser Stelle nur mehr etwa 5 HK zeigt. Der Olso-Heliophorbrenner ist also in der Lage, auch die vertikal unter ihm gelegenen Teile des Raumes genügend zu erhellen. Er ist in Fig. 381 dargestellt.

In ähnlicher Weise wie durch den Olso-brenner ist bei dem Gobobrenner durch richtigere Wahl der Dimensionen eine Verbesserung des Lichteffektes erzielt worden. Er ist in Fig. 382 dargestellt. Die wesentliche Verbesserung liegt in einer Einschnürung oberhalb der Düse, welche den gleichen Effekt hat, wie wir dies bei den Bunsenbrennern (S. 79) bereits besprochen haben. Außerdem wird durch diese Einschnürung ein Luftraum zwischen dem inneren eigentlichen Mischrohr, welches hier mit dem Brennerkopf fest verbunden ist, und den Teilen geschaffen, welche die Brennergalerie tragen, wodurch eine Isolierung zustande kommt,

<sup>1)</sup> Über die Verwendung dieses Brenners siehe Pfeiffer, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 44.

so daß die Wärme des Brennerkopfes nicht in so hohem Maße nach außen übertragen wird. Die Vorwärmung des Gasluftgemisches im Brennerkopf ist daher eine höhere<sup>1)</sup>, so daß auch dieser Brenner beiläufig den gleichen Konsum pro HK-Stunde erreicht wie der Olsobrenner. Derselbe besitzt ebenso wie der Olsobrenner keine Siebe, durch welche die Energie des Gasstromes geschwächt wird. Die Ausströmungsöffnungen für das Gasluftgemisch sind im Kreise angeordnet, und in der Mitte bleibt ein Raum frei, wie dies Fig. 383 zeigt. Auch der zentrale Aufhängestift ist beim Gobobrenner dünner ausgebildet worden, so daß er der Flamme weniger Wärme entzieht<sup>2)</sup>. Der Gobobrenner wird in zwei Typen von 125 Liter und 90 Liter Gasverbrauch hergestellt.

Bald nach der allgemeinen Einführung des Gasglühlichtes machte sich das Bedürfnis nach kleineren Brennern geltend. Es traten dann eine Reihe von Konstruktionen auf, welche diesem Bedürfnis abhalfen. So z. B. der Sparbrenner der Auergesellschaft, welcher ebenfalls in der Dimensionierung verbessert wurde, so daß mit 80 bis 85 Liter Gasverbrauch stündlich ein Lichteffect von 70 bis 75 HK mittlerer horizontaler Lichtstärke erzielt wurde. Ferner ist der schon früher eingeführte Juwelbrenner, der auch unter der

Bezeichnung Auer-N-Brenner in den Handel kam, eingeführt worden, welcher bei 65 Liter Konsum 40 HK horizontal lieferte. Der Brennerkopfdurchmesser desselben beträgt 20 mm und die Höhe des Glühkörpers 65 mm.

Ebenso wurde der Olsobrenner mit sehr gutem Erfolg auch in kleineren Typen ausgeführt und ergaben diese bei 40 bzw. 64 Liter stündlichem Verbrauch 34 bzw. 61 HK Lichtstärke<sup>3)</sup>.

Ein noch kleinerer Brenner, welcher zur Beleuchtung untergeordneter Räumlichkeiten vorzüglich verwendet werden kann, ist der sogenannte „Mikrobrenner“<sup>4)</sup>, welcher bei etwa 18 bis 20 Liter Stundenkonsum 13 bis 15 HK ergibt.

Ein wichtiger Teil für das gute Arbeiten eines Hängelichtbrenners ist auch die Regulierdüse. Diese darf nur leicht bewegliche und zwangsläufig geführte Teile enthalten, weil durch die Erwärmung sehr leicht ein Festbrennen der beweglichen Teile stattfindet. Eine zwangsläufig geführte Kreuz-

Fig. 382.

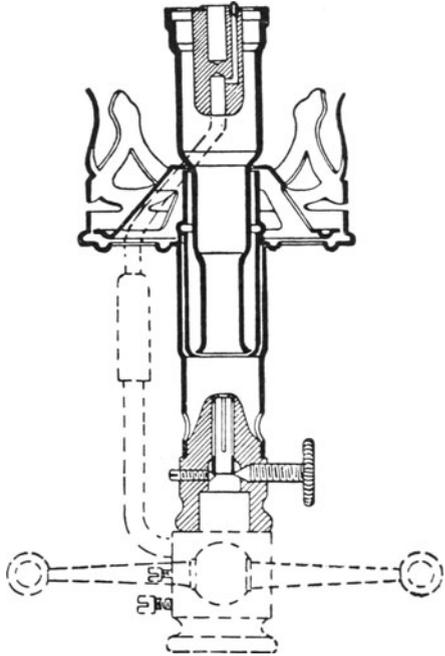


Fig. 383.

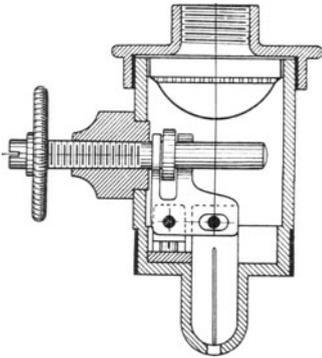


<sup>1)</sup> Vgl. Lebeis, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 462. — <sup>2)</sup> Jonas, „Über Gasglühlichtbeleuchtung“; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 441. — <sup>3)</sup> Nach Messungen des K. K. technologischen Gewerbemuseums in Wien vom Jahre 1906. — <sup>4)</sup> Geliefert von Thiem u. Töwe, Halle a. S.; Zeitschr. f. Beleuchtungswesen 1910, S. 2.

schlitzdrüse zeigt Fig. 384. Auch die auf S. 957 genannte Regulierdüse der Zentralwerkstatt Dessau ist für Hängelicht ausgebildet worden und dürfte hier ebensogut verwendbar sein wie für stehendes Glühlicht. Ferner haben Ehrich und Graetz die Regulierdüse mit einem kleinen Flammendruckregler verbunden, um den Druck vor der Düse gleichmäßig zu halten.

Zum Zwecke der bequemen Entzündung der Gasglühlichtbrenner wurden Brenner mit Zündflammen konstruiert, wie dies z. B. bei Fig. 383 für den Gobobrenner angegeben ist. Zu diesem Zwecke besitzt der Absperrhahn eine Ausnehmung, welche das Gas bei geschlossener Stellung des Gaszufuhrhahnes zu einer eigenen Zündflammenleitung gelangen läßt. Ein seitlich an dem Hahn angebrachtes kleines Stellschraubchen drosselt den Eingang zu dieser Zündflammenleitung, so daß durch Einstellung dieses Schraubchens die Größe der Zündflamme reguliert werden kann. Im übrigen führt das Zündflammenröhrchen entweder außerhalb des Brenners oder wie dies in Fig. 383 angedeutet ist, zentral nach dem Brennerkopf und trägt dort ein kleines Specksteinköpfchen, aus welchem die Zündflamme bei geschlossenem Hahn heraus-

Fig. 384.



brennt. Öffnet man den Haupthahn, so wird dadurch die Zündflamme ausgelöscht. Bei der Straßenbeleuchtung bringt man die Zündflamme gewöhnlich außerhalb des Glühkörpers an. Um das Eindringen von Rauchgasen in das Zündflammenköpfchen zu vermeiden, kann man eine sehr kleine Gasmenge auch während des Brennens der Hauptflamme zur Zündflamme treten lassen. Dieser Gaszufuß muß durch ein Stellschraubchen regulierbar sein und wird auf etwa 0,5 Liter pro Stunde eingestellt. Vielfach hat man auch entleuchtete Zündflämmchen verwendet, welche den Vorzug haben, daß auch bei großer brennender

Zündflamme der Glühkörper nicht verrußt werden kann und daß selbst bei geringem Konsum nicht so leicht ein Verlöschen derselben durch Windstöße eintreten kann. Dagegen liegt bei ihnen wieder die Gefahr des Zurückschlagens vor, die allerdings gering ist, weil die Ausströmungsöffnung für das Gasluftgemisch sehr eng ist.

In den ersten Jahren dieses Jahrhunderts machte man die ersten Versuche, Brenner zu konstruieren, bei denen die Flamme des Gases und der Glühkörper nicht nach aufwärts gerichtet sind, sondern nach abwärts, in ähnlicher Weise, wie man dies früher schon bei der frei brennenden Flamme in den Wenham-Lampen mit Luftvorwärmung kennen gelernt hatte. Es dauerte jedoch viele Jahre lang, ehe die Brenner so weit vervollkommen waren, bis die Vorurteile der Fachwelt überwunden waren und sich das Hängelicht (auch Invertlicht genannt) praktisch einführen konnte. Jetzt aber haben sich Vorzüge der Anordnung ergeben, die wohl darauf schließen lassen, daß das stehende Glühlicht von dem hängenden Glühlicht in den Hintergrund gedrängt wird. Die Fachmänner betonten zunächst den Widersinn, der darin liegt, eine Flamme nach abwärts brennen zu lassen, während doch die heißen Gase das Bestreben haben, nach aufwärts zu steigen. Demgegenüber rang sich jedoch die Überzeugung durch, daß man das Licht meistens nicht oberhalb

der Lampen, sondern unter denselben benötige und daß es daher wichtig sei, das Licht hauptsächlich nach abwärts zu werfen anstatt nach aufwärts, und dies ist mit Hilfe des hängenden Gasglühlichtes in vorzüglicher Weise erreicht. Die technischen Schwierigkeiten, welche sich ergaben, waren folgende.

Richtet man das Mischrohr eines Bunsenbrenners nach abwärts, so wird die von der Düse angesaugte Luftmenge eine geringere, und zwar aus zweierlei Gründen: Das Gas hat zufolge seines geringen spezifischen Gewichtes einen Auftrieb nach oben, daher wirkt dieser Auftrieb der Strömungsrichtung entgegen, wenn das Mischrohr nach abwärts gerichtet ist. Dieser Umstand spielt jedoch nicht die große Rolle, die man ihm gewöhnlich beimißt, wie folgende Überlegung zeigt.

Nimmt man an, daß das Gasluftgemisch 20 Proz. Gas vom spez. Gew. 0,4 enthalte, so resultiert ein spez. Gew. von 0,88 für dieses Gemisch. Der Auftrieb von 1 Liter dieses Gasgemisches in der Luft beträgt 0,15 g, was einem Druck von 0,15 g auf das Quadratdezimeter entspricht, wenn man eine Höhe des Brenners von 1 dm annimmt. Es entspricht dies also einem gesamten Auftrieb von 0,015 mm Wassersäule bei einem Mischrohr von der Länge 1 dm. Da nun der Druck, welcher durch die Injektorwirkung der Düse hervorgerufen wird, einige Zehntelmillimeter beträgt, so kann dieser geringe Auftrieb vernachlässigt werden.

Der zweite Umstand jedoch, welcher die kinetische Energie des Gasluftgemisches beim Abwärtsströmen verringert, ist viel wichtiger. Entzündet man nämlich die Flamme, so erwärmen die nach aufwärts steigenden Verbrennungsgase das Mischrohr, so daß sich auch das Gasluftgemisch anwärmt. Demzufolge tritt wieder eine Verringerung des spezifischen Gewichtes ein, welche bei 273°C einen Auftrieb von 0,72 g pro Liter, also etwa fünfmal so viel ergibt, wie der Auftrieb zufolge des spezifischen Gewichtes des Gases. Außerdem aber kommt als noch viel wichtigerer Umstand hinzu, daß sich das Gasluftgemisch bei dieser Erwärmung ausdehnt und daher ein wesentlich größeres Volumen einnimmt. Zufolge dieser Volumenvergrößerung wird der Widerstand, welchen das Rohr dem strömenden Gasluftgemisch entgegensetzt, ein viel größerer. Man erinnere sich nur daran, daß ein viermal so hoher Druck erforderlich ist, um nur die doppelte Menge eines Gases durch eine Ausströmungsöffnung von gegebener Größe zu pressen. Dieser höhere Widerstand eines erwärmten Mischrohres ist es hauptsächlich, welcher bewirkt, daß der nach abwärts gerichtete brennende Bunsenbrenner weniger Luft ansaugt als der aufrecht stehende. Es ist also notwendig, besonders intensiv wirkende Injektordüsen zu verwenden, um diesem Übelstande entgegenzuarbeiten. Aus diesem Grunde ist es auch notwendig, daß jetzt, wo das hängende Glühlicht schon eine große Verbreitung gefunden hat, der Gasdruck in den Leitungen stets eine gewisse Höhe behält und niemals unter 30 mm sinkt, denn nur unter diesen Umständen wird eine genügende Luftansaugung hervorgerufen.

Nun muß noch berücksichtigt werden, daß das nach abwärts gerichtete Mischrohr im Moment des Anzündens des Brenners noch kalt ist, also der Strömung des Gasluftgemisches nicht den Widerstand entgegensetzt wie dann, wenn es erwärmt wird. Daher saugen die hängenden Gasglühlichtbrenner im Moment des Anzündens viel mehr Luft an als dann, wenn sie bereits brennend erwärmt worden sind, und daher kann es kommen, daß ein hängender

Glühlichtbrenner im Moment des Anzündens leicht zurückschlägt, während er nach längerer Brenndauer durch ungenügende Luftbeimischung zu rußen beginnt. Diesem Übelstande wirkt man dadurch entgegen, daß man das Mischrohr möglichst vor Erwärmung schützt, und daß man in das Mischrohr knapp unterhalb der Düse ein kleines Röhrchen einbaut, welches die Rolle der Verengung des Mischrohres übernimmt, wie wir sie bei der Besprechung des Bunsenbrenners auf S. 79 als zweckmäßig erläutert haben. Dadurch wird die Injektorwirkung verstärkt und die wechselnden Widerstände spielen dann keine so große Rolle mehr. Es muß übrigens hervorgehoben werden, daß man bei den Hängelichtbrennern meist keine Verengung an dem Brennerkopf vornimmt und daß daher im Mischrohr kein Druck herrscht, sondern daß die Ausströmung des Gasluftgemisches nach abwärts nur zufolge der durch die Injektorwirkung erhaltenen Bewegung (kinetischen Energie) erfolgt. Weiter ist zu beachten, daß die Verbrennungsprodukte des Gases nach aufwärts steigen und daher zur Luftansaugöffnung der Ansaugkammer gelangen können, wenn dort kein geeigneter Schutz dagegen angebracht ist. Das Ansaugen von Verbrennungsgasen mit der Luft würde eine richtige Funktion des Bunsenbrenners ausschließen, weshalb man Vorsorge treffen muß, daß die Verbrennungsgase nicht in die Mischkammer gelangen können. Zu diesem Zwecke kann man entweder Schornsteine anbringen, welche die Verbrennungsgase erst oberhalb der Düse in die Luft entweichen lassen, oder nur durch geneigte oder gekrümmte Bleche die Verbrennungsgase nach seitwärts ableiten, oder man kann die Düse überhaupt nach seitwärts verlegen, so daß sie von den nach oben streichenden Verbrennungsgasen nicht getroffen wird.

Die ersten hängenden Gasglühlichtbrenner zeigten auch den Übelstand, daß sie nach kurzer Brenndauer bereits einen starken Geruch verbreiteten. Ein solcher rührt von den Produkten unvollkommener Verbrennung des Gases her, die dann eintritt, wenn die Flamme durch metallene Bestandteile des Brenners abgekühlt wird, so daß noch vor der Beendigung der Verbrennung eine Abkühlung des Gases eintritt, wodurch dann unvollkommene Verbrennungsprodukte — hauptsächlich ungesättigte Kohlenwasserstoffe — neben Kohlenoxyd in die Luft gelangen, wobei erstere den üblen Geruch hervorrufen und das Kohlenoxyd zufolge seiner giftigen Wirkung Kopfschmerzen verursacht. Um diesen Übelstand zu vermeiden, muß dafür gesorgt werden, daß alle Metallteile des Brenners, welche die Wärme rasch ableiten, so weit von der Flamme entfernt sind, daß eine Berührung derselben von der Flamme ausgeschlossen ist. Die aus schlecht leitendem Material, vornehmlich aus Magnesia, gefertigten Brennerköpfe der hängenden Glühlichtbrenner üben diese nachteilige Wirkung auf die Flammen nicht aus, weil sie zufolge ihres geringen Wärmeleitungsvermögens nicht stark abkühlend auf die Flammengase wirken und sich selbst rasch bis zum Glühen erhitzen, so daß sie dann die vollkommene Verbrennung nicht verhindern, sondern im Gegenteil noch fördern.

Schließlich ist noch zu berücksichtigen, daß beim hängenden Gasglühlicht die Düse den tiefsten Punkt der ganzen Gaszuleitung darstellt. Kleine Unreinheiten, die aus dem Zuleitungsrohr herabfallen, gelangen daher bis zur Düse und tragen häufig zur Verlegung derselben bei. Es ist also notwendig, geeignete Siebe anzubringen, um ein Verlegen der Düse zu vermeiden. Man legt deshalb oberhalb der Düse engmaschige Drahtnetze ein, die jedoch weit

genug sein müssen, um den Druck des durchgehenden Gases nicht merklich zu verringern.

Der erste hängende Glühlichtbrenner wurde von Berndt und Cervenka im Jahre 1901 konstruiert. Er vermochte sich jedoch ebensowenig wie die ungefähr zu gleicher Zeit von Farkas in Paris und London zuerst angewendeten Hängelichtbrenner durchzusetzen, da die oben auseinandergesetzten Übelstände bei diesen Brennern noch voll zur Wirkung gelangten und man deren Beseitigung erst später verstehen lernte.

Für das hängende Gasglühlicht ist das Mannesmann-Patent (D. R.-P. Nr. 126 135) von größter Bedeutung geworden. Nach diesem wird das Gasluftgemisch im Glühstrumpf in einer nicht den ganzen Querschnitt des Strumpfes ausfüllenden Säule eingeführt, und die der Flamme zugeführte Verbrennungsluft wird in dem den Glühstrumpf umschließenden Lampenzylinder dem Gasstrom entgegengeführt. Das deutsche Patentamt hatte die Vernichtung dieses Patentbesitzes ausgesprochen, das Reichsgericht hat es jedoch in seinem vollen Umfange aufrechterhalten<sup>1)</sup>.

Die neueren Untersuchungen, z. B. jene von Schuchardt<sup>2)</sup>, zeigten, daß alle hängenden Glühlichtbrenner, welche einen Zylinder besitzen, unter das Mannesmann-Patent fallen, indem sich die Flamme innerhalb des Glühkörpers nach aufwärts wendet, so daß sowohl innerhalb wie außerhalb des Glühkörpers derselbe nur von einem aufwärts gerichteten Luftstrom getroffen wird. Glaser<sup>3)</sup> hat dagegen Versuche ausgeführt, welche beweisen sollten, daß das Gegenstromprinzip für die Leuchtkraft des Hängelichtes belanglos ist und daß nur der Umstand wesentlich ist, daß innerhalb des Strumpfes ein dem aufsteigenden Luftstrom gleichgerichteter Strom zustande kommt. Kramer<sup>4)</sup> hebt hervor, daß trotz der Experimente von Schuchardt die heute im Verkehr befindlichen Hängelichtbrenner mit Zylinder doch noch unter das Mannesmann-Patent fallen. Wolf<sup>5)</sup> verwies übrigens darauf, daß die gleichen Beobachtungen, wie sie von Glaser angestellt wurden, auch bereits von Drehschmidt<sup>6)</sup> gemacht worden sind. Deckt man nämlich den Zwischenraum zwischen dem Brenner und dem Glühkörper ab, so vermindert sich die Leuchtkraft des Glühkörpers, ein Beweis, daß es notwendig ist, den Verbrennungsgasen den Abzug noch innerhalb des Glühkörpers zu ermöglichen.

Trotzdem das von Mannesmann in seinem Patent angegebene Prinzip teils mit, teils ohne Wissen der betreffenden Konstrukteure von Hängelichtlampen eine so umfangreiche Anwendung in der Praxis fand, gelang es doch erst Ehrich und Graetz, den Brenner derart zu vervollkommen, daß er bei einem Gasverbrauch von 100 Litern pro Stunde eine mittlere hemisphärische Lichtstärke von annähernd 110 HK lieferte und gleichzeitig die praktische Einführung dieses neuen Lichtes in umfangreicher Weise durchzuführen. Wir werden bei Besprechung der Brennerkonstruktionen auf die Beschreibung dieses Brenners noch zurückkommen.

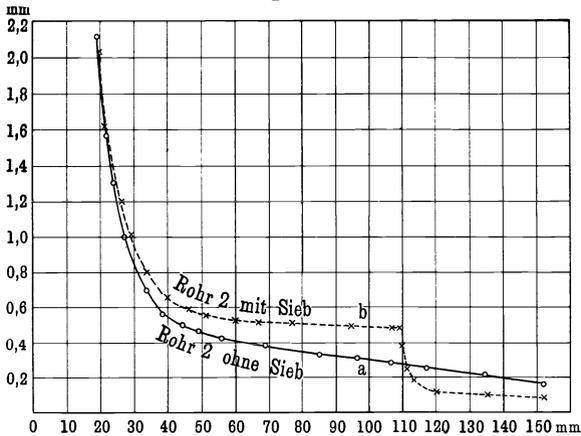
---

<sup>1)</sup> In allerletzter Zeit ist dasselbe in einer unteren Instanz wieder annulliert worden. — <sup>2)</sup> Zeitschr. f. Beleuchtungswesen 1910, S. 401; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 22. — <sup>3)</sup> Zeitschr. f. Beleuchtungswesen 1911, S. 16; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 96. — <sup>4)</sup> Zeitschr. f. Beleuchtungswesen 1910, S. 442; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 98. — <sup>5)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 163. — <sup>6)</sup> Ebend. 1905, S. 813 u. Ahrens, „Das hängende Glühlicht“, S. 46.

Hier sei jedoch noch eine wichtige Arbeit Weddings erwähnt<sup>1)</sup>, welcher die Druckverhältnisse im Bunsenbrenner mit Hilfe einer sehr empfindlichen Druckkugel untersuchte, die eine 25fache Vergrößerung des Ausschlages ergab.

Beim Invertbrenner gibt ein sich in der Richtung des Gasstromes erweiterndes Rohr weniger Druckverlust als ein sich verengendes Mischrohr. Der Druckabfall nach der Düse ist ein außerordentlich rascher. 14 mm hinter der Düse sind nur mehr 2 mm Druck vorhanden und an der Brennermündung nur mehr 0,1 bis 0,2 mm. Im Horizontalschnitt wächst der Druck vom Rande gegen die Mitte bei Anwendung einer 5-Lochdüse von 0,05 bis 0,25 mm, bei Anwendung einer 1-Lochdüse von 0 bis 0,45 mm. Letztere gibt daher in der Mitte des Mischrohres einen höheren Druck, was vorzuziehen ist. Wedding gibt ferner ein sehr anschauliches Diagramm (Fig. 385) über den Druckabfall im Mischrohr eines Invertbrenners mit eingelegtem Sieb. Der Druck sinkt von einem Punkte, welcher 20 mm hinter der Düse gelegen ist, bis zur

Fig. 385.



Entfernung von 40 mm hinter der Düse von 1,8 auf 0,65 mm und dann bis zum Sieb, welches 100 mm hinter der Düse angebracht war, bis auf 0,45 mm Wassersäule. Das Sieb verursacht dann einen plötzlichen Druckabfall bis auf 0,1 mm, der bis zur Brennermündung nur mehr wenig abnimmt. Bei brennender Flamme wird der Einfluß des Siebes geringer, weil der Druck hinter dem Sieb zufolge des Widerstandes, den die Flamme durch die plötzliche Wärmeausdehnung der Gase dem Gasstrom bietet, ein höherer wird. Wegen des Zurückschlagens der Flamme ist es beim Bunsenbrenner erforderlich, den Druck möglichst nach der Brennermündung zu verlegen, da hierbei die Ausströmungsgeschwindigkeit der Gase an der Brennermündung vergrößert, also die Möglichkeit des Zurückschlagens verringert wird. Durch Erwärmung des Mischrohres verändern sich die Druckverhältnisse, was, wie erwähnt, möglichst vermieden werden muß. Eine Erwärmung des Gases vor der Düse jedoch kann nicht schaden, da das Gas im erwärmten, d. h. im verdünnten Zustande, ebenso saugefähig ist und ein verhältnismäßig luftreicheres Gemisch ergibt.

<sup>1)</sup> „Über hängendes Glühlicht“, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 193.

Wir haben auf S. 81 gesehen, daß beim Hängelicht trotz der vollkommener konstruierten Injektoren und Düsen weniger Primärluft angesogen wird als bei den stehenden Bunsenbrennern. Trotzdem gibt das Hängelicht eine bessere Ausbeute als das stehende Gasglühlicht<sup>1)</sup>, was darin seinen Grund hat, daß, wenn man auch eine Erwärmung des Mischrohres zu vermeiden sucht, doch die Erwärmung des Brennerkopfes eine Überhitzung des Gasluftgemisches vor dem Zutritt zur Flamme mit sich bringt, so daß eine höhere Flammentemperatur erzielt wird. Wir werden später (S. 985) sehen, daß man bei den neuesten Konstruktionen von Niederdruck-Starklichtlampen von dem Prinzip, das Gasluftgemisch nicht vorzuwärmen, abgekommen ist, da es gelungen ist, auch mit Vorwärmung betriebssichere Konstruktionen zu finden, und man hat dadurch noch weit bessere Lichtausbeuten erzielt.

Wir wollen nun einige Brennerkonstruktionen besprechen, durch welche gegenwärtig das hängende Glühlicht repräsentiert ist, ohne auf die vielen Abarten eingehen zu können, welche heute bereits im Handel existieren, und ohne die vielen Konstruktionseinzelheiten und Patente auch nur erwähnen zu können, welche zur Vervollkommnung der Hängelichtbrenner vorgeschlagen worden sind. Wir verweisen diesbezüglich auf das vorzügliche Buch von Ahrens<sup>2)</sup>.

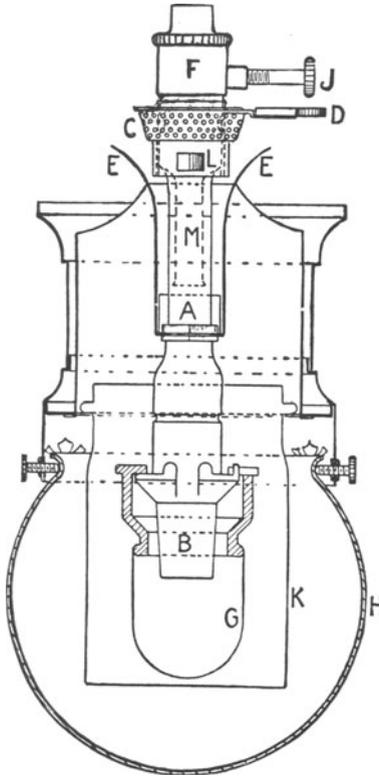
Bei der Konstruktion der Hängelichtbrenner muß also zunächst berücksichtigt werden, daß der ganze Brenner durch die Flamme heiß wird. Dies muß schon bei der Düse berücksichtigt werden. Regulierdüsen, deren bewegliche Teile nur durch Federkraft oder durch die Schwerkraft betätigt werden, sind nicht zweckmäßig, da sie durch die Hitze leicht festbrennen. Es ist vielmehr eine zwangsläufige Steuerung der betreffenden beweglichen Teile erforderlich und müssen deshalb Düsen verwendet werden, wie wir sie auf S. 957 besprochen haben. Die sonstigen Grundsätze, die bei der Konstruktion von Hängelichtbrennern zu beachten sind, lassen sich wie folgt zusammenfassen. Der Eintritt der Abgase in die Luftöffnungen der Ansaugkammer muß vermieden werden; das Mischrohr soll möglichst lang sein, um eine gute Durchmischung von Luft und Gas zu erzielen; die Konstruktion des Injektors erfordert besondere Aufmerksamkeit, um eine lebhafte Strömung des Gasluftgemisches bzw. eine möglichst hohe Druckwirkung zu erzielen, und der herabfallende Schmutz aus den Leitungen muß an geeigneter Stelle aufgefangen werden, um nicht in den Brenner zu gelangen.

Man hat zwei grundsätzlich voneinander verschiedene Arten der Hängelichtbrenner zu unterscheiden und zwar solche mit Zugzylinder und solche ohne Zugzylinder. Nur die ersteren fallen unter das Mannesmann-Patent (S. 965). Als Repräsentanten der Brenner der ersten Art wollen wir den Graetzinbrenner, welcher in Fig. 386 dargestellt ist, besprechen. *F* ist die Regulierdüse für das Gas, *C* die Luftansaugkammer, deren Luftzufuhr durch die Drehung einer gelochten Hülse eingestellt werden kann, *A* ist das Mischrohr. Bevor jedoch das Gas in das Mischrohr eintritt, passiert es ein enges Strahlröhrchen *M*, welches die gute Injektorwirkung hervorruft. Das Gasluftgemisch gelangt dann in den Brennerkopf *B*, der im Querschnitt etwas verjüngt ist, damit die Ausströmungsgeschwindigkeit erhöht wird. Dieses

<sup>1)</sup> Bunte, Mayer und Teichel, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 265. — <sup>2)</sup> Ebend. 1907, S. 154.

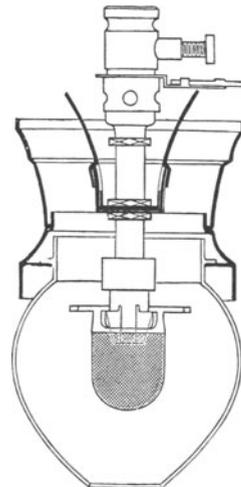
Brennermundstück ist aus Magnesia gefertigt und ragt in den Glühkörper *G*, der an dem Aufhängerling hängt, hinein, läßt jedoch zwischen Glühkörper und Mundstück noch so viel Platz frei, daß die Flammengase innerhalb des Glühkörpers umkehren und, nach aufwärts strömend, noch durch diesen Zwischenraum entweichen können. Der Glühkörper ist vom Glaszylinder *K* umgeben, der in der Glasglocke *H* hängt. Die Sekundärluft dringt durch den Spalt, der zwischen diesen beiden Glasgarnituren bleibt, ein und gelangt dann von unten zum Glühkörper. Die Abgase entweichen durch den Schornstein und die Ablenkflächen *E* treiben sie seitlich, so daß sie nicht in die Luftansaugeöffnungen einströmen können. Der Schornstein ist dann noch von einem Ziermantel umgeben. In ähnlicher Weise ist auch der von der Deutschen Gasglühlichtgesellschaft vertriebene Brenner gefertigt.

Fig. 386.



Der Schornstein ist dann noch von einem Ziermantel umgeben. In ähnlicher Weise ist auch der von der Deutschen Gasglühlichtgesellschaft vertriebene Brenner gefertigt.

Fig. 387.



Es werden Brenner dieser Art von 100, 50 und 25 HK Leuchtkraft hergestellt. Man kann dabei für die 100kerzigen einen Konsum von 100 bis 110 Litern, für die 50kerzigen einen Konsum von 60 Litern<sup>1)</sup> und für die 25kerzigen Brenner einen Konsum von 30 bis 35 Litern pro Stunde annehmen. Ein Brenner dieser letzteren Art ist in Fig. 387 dargestellt. Diese Angaben von Konsum und Leuchtkraft sind Durchschnittswerte. Es liegen einzelne Meßresultate vor, die weit günstiger sind. So z. B. gibt Über<sup>2)</sup> eine untere hemisphärische Lichtstärke von 116 HK bei einem Gaskonsum von 90 Litern pro Stunde an, was einem relativen Verbrauch von 0,78 Liter für die untere

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1907, S. 653. — <sup>2)</sup> Zentralbl. d. Bauverw. 1909, S. 233; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 677.

hemisphärische Hefnerkerze entspricht. Drehschmidt<sup>1)</sup> hat 128 HK unterer hemisphärischer Lichtstärke bei 100 Liter Konsum gemessen. Natürlich ist auch die Qualität des Gases hierbei von wesentlichem Einfluß.

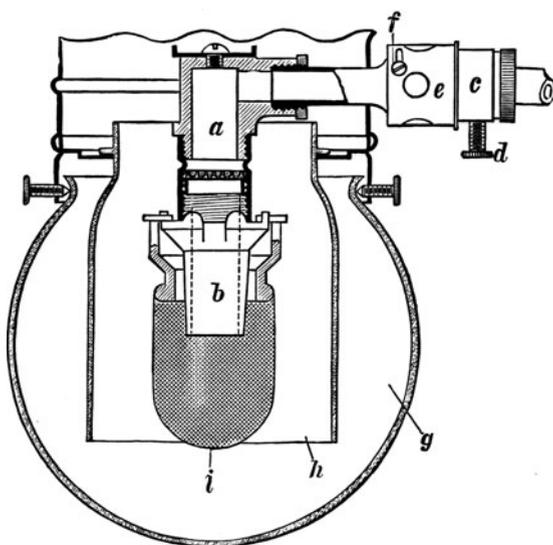
In ganz ähnlicher Weise, jedoch ohne Zylinder, hat die Bamag Hängelichtbrenner konstruiert. Das Weglassen des Zylinders ist natürlich ein praktischer Vorteil, dagegen leidet darunter einigermaßen die Lichtstärke.

Vorteilhaft läßt sich auch, wie schon auf S. 964 mitgeteilt, die Düse seitlich von dem Brenner anordnen, wie dies z. B. Steinicke<sup>2)</sup> angegeben hat. Das Mischrohr tritt dann horizontal in den Brenner ein, ist innerhalb der Glaskugel nach aufwärts gebogen, der Brennerkopf dagegen ist nach unten gerichtet, und oberhalb desselben befindet sich die Abzugsöffnung in der Glaskugel. Die Schornsteine entfallen bei einem solchen Brenner gänzlich. Ein ähnlicher Brenner von Ehrich und Graetz ist in Fig. 388 dargestellt. Diese Anordnung bietet auch den Vorteil, daß sowohl die Luftregulierung wie die Gasregulierschraube kalt bleiben und dadurch bequemer bedient werden können.

Da die Metallteile des Brenners beim Hängelicht leicht durch die Erwärmung leiden und ein unschönes Aussehen bekommen, hat man die Mäntel auch aus Hartporzellan gemacht, wie z. B. bei dem sogenannten „Geppinlicht“<sup>3)</sup>.

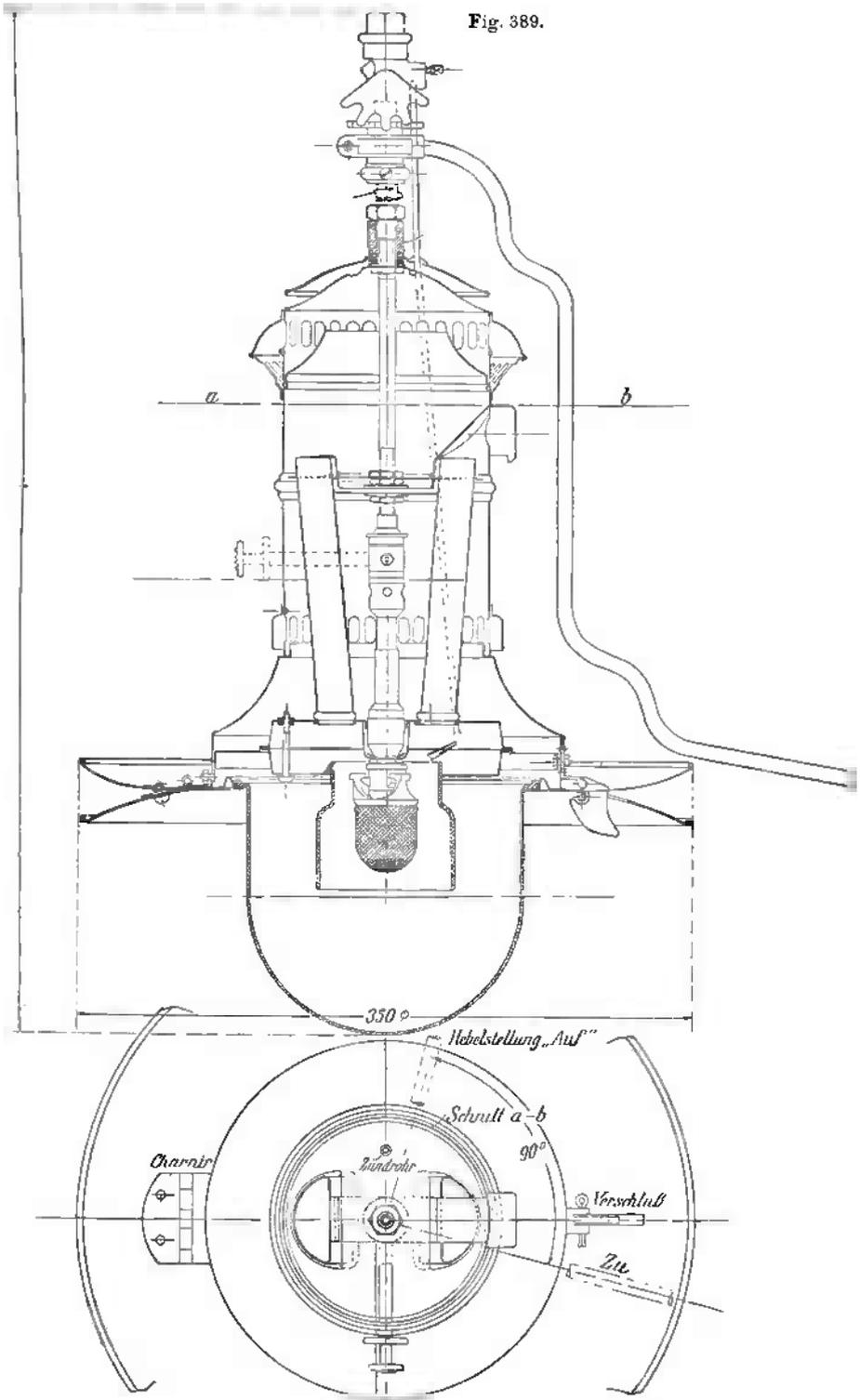
Um den schon auf S. 963 erwähnten Übelstand zu vermeiden, der durch die allmählich zunehmende Erwärmung des Mischrohres und durch eine verschiedene Zusammensetzung des Gasluftgemisches zu Beginn und während der späteren Dauer des Brennens hervorgerufen ist, hat die Deutsche Gasglühlicht-Aktiengesellschaft einen „Aerostat“ konstruiert, welcher beim Entzünden die Luftlöcher der Mischkammer geschlossen hält und erst bei zunehmender Erwärmung dieselben öffnet. Bei Anwendung einer solchen Vorrichtung kann man eine größere Menge von Primärluft geben, ohne daß beim Anzünden ein Zurückschlagen eintreten würde, was namentlich bei kleinen Invertbrennern wichtig ist. Es können dann auch alle Widerstände, wie Siebe usw., entfernt werden, wodurch ebenfalls eine größere Luftzufuhr erzielt wird. So wurde z. B. ein Zwergbrenner konstruiert, welcher nach Angabe von Lebeis<sup>4)</sup> bei 30 Liter Gaskonsum 33 HK<sub>U</sub> gibt.

Fig. 388.



<sup>1)</sup> Scholz, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1145; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 537; Journ. f. Gasbel. 1906, S. 765. — <sup>2)</sup> D. R.-P. Nr. 187 941; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 376. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 183. — <sup>4)</sup> Ebend. 1909, S. 712.

Fig. 389.



Zum Zweck des bequemen Zündens der Hängelichtbrenner werden ebenso wie beim Stehlicht Zündflammen verwendet, die jedoch beim Hängelicht niemals innerhalb des Glühkörpers, sondern außen angebracht sind, wobei die Zündleitung, vom Hahn abzweigend, durch die Brennerteile oder durch den Schornstein hinunter bis zum Glühkörper reicht.

Da das Hängelicht durch den Luftzug stark beeinflußt ist, sind zum Zweck der Anwendung des Hängelichtes für Außenbeleuchtung besondere Vorkehrungen erforderlich, und verwendet man zu diesem Zweck eigens konstruierte Lampen, die mit dem Brenner ein organisches Ganzes bilden, so daß also der Brenner nicht in der Weise in Lampen eingesetzt werden kann, wie dies z. B. beim stehenden Lichte der Fall ist. Als Beispiel geben wir in Fig. 389 eine Konstruktion, wie sie häufig zur Anwendung gelangt<sup>1)</sup>. Die Schornsteine sind hier hoch nach oben geführt und dürfen nicht direkt ins Freie münden, da sonst die Luftzugsverhältnisse durch Windstöße stark beeinträchtigt würden. Man läßt vielmehr die Abgase einen gewundenen Weg machen, wodurch die Einwirkung der Windstöße vermindert wird. Die Düse des Brenners wird an eine Stelle innerhalb des Gehäuses verlegt, an welche die Abgase nicht gelangen können, da sich durch die Erwärmung innerhalb des Gehäuses ein Luftstrom von unten nach aufwärts bewegt. Durch diesen Luftstrom wird, wie in dem Reisssschen Patent<sup>2)</sup> festgelegt wurde, auch eine Kühlung der Düse erzielt, wodurch die mit der Erwärmung der Düse verbundenen Übelstände vermieden werden. Die Reguliervorrichtungen für die Gasdüse und die Luftöffnungen müssen nach außen geführt werden, so daß eine Regulierung möglich ist, ohne das Gehäuse öffnen zu müssen. Bei der in der Zeichnung angegebenen Konstruktion erfolgt die Zündung des Brenners mit Hilfe einer Zündflamme, die unter einem der Schornsteine angebracht ist. Wird die Gasausfuhr zur Zündflamme geöffnet, so strömt zunächst das unverbrannte Gas durch den Schornstein nach aufwärts und gelangt an eine Stelle im Gehäusemantel, die von außen zugänglich ist, so daß man nach Daranhalten einer Flamme ein Durchschlagen des Gases bis zur Zündflamme erzielt, wonach sich durch entsprechend weiteres Drehen des Hebels, welcher den Gashahn betätigt, die Hauptflamme entzündet und die Zündflamme erlischt.

In ähnlicher Weise kann natürlich auch eine größere Anzahl von Glühkörpern, meistens zwei oder drei, in einer Laterne angebracht sein, und können an Stelle der obengenannten Durchschlagzündung auch andere Zündungen, so z. B. Kletterflammenzündung, wie wir sie auf S. 999 unter dem Kapitel „Straßenbeleuchtung“ kennen lernen werden, angewendet werden.

Messungen derartiger Lampen, welche gelegentlich der Ausstellung von Edinburgh gemacht wurden<sup>3)</sup>, ergaben nachstehende Resultate:

Vesta-Graetzin-Invertlampe bei 300 Liter Konsum und 76 mm Druck . . .	396 HK
d. i. 1,32 HK pro Liter.	
Nero-Graetzinlampe bei 400 Liter und 76 mm Druck . . . . .	590 HK
d. i. 1,48 HK pro Liter.	
Stanley-Invertlampe bei 235 Liter und 64 mm Druck . . . . .	338 HK
d. i. 1,44 HK pro Liter.	

<sup>1)</sup> Bertelsmann, Lehrbuch der Leuchtgasindustrie, S. 142, Stuttgart 1911. —

<sup>2)</sup> D. R.-P. Nr. 160 781; Österr. Pat. Nr. 22 298. — <sup>3)</sup> Il Gaz 7, 674; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 482.

Alle diese, sowie die früher angegebenen Meßresultate zeigen, daß mit Hilfe des Invertlichtes eine weit bessere Lichtausbeute aus dem Gase erzielt wird, als bei Anwendung des stehenden Gasglühlichtes. Dazu kommt aber noch, daß die Verteilung des Lichtes beim Hängelicht eine für die meisten Zwecke günstigere ist, da das Licht im wesentlichen nach unten geworfen wird. Wir werden hierüber später noch bei Besprechung der Lichtverteilung darauf zurückkommen.

Häufig wird beim Hängelicht an Stelle eines Zylinders eine Glasbirne angewendet. Es ergeben sich dabei oft blutrote Flecke im Glase derselben. Killing<sup>1)</sup> verwies darauf, daß diese Flecken von schwefligsaurem Kupferoxyd herrühren, welches sich aus den kupfernen Bestandteilen des Brenners durch die Einwirkung des geringen Schwefelgehaltes des Gases bildet und nach abwärts fällt. Durch die Gasflamme wird dann dieses schwefligsaure Kupferoxyd zu Kupferoxydul reduziert, welches sich in dem Glase zu der bekannten roten Verbindung auflöst. Bei unten offenen Glaszylindern kann dieser Übelstand natürlich nicht auftreten.

Über die Verwendung des Hängelichtes zur Straßenbeleuchtung werden wir im Kapitel 68 „Laternen und Kandelaber“ noch Näheres hören.

Eine ganz besondere Brennerkonstruktion ist zur Verwendung des uncarburierten Wassergases für die Glühlichtbeleuchtung erforderlich. Das Wassergas brennt mit blauer, auch ohne Luftzumischung nicht rußender Flamme und benötigt daher keinen Bunsenbrenner. Im Bunsenbrenner ist es sogar schlecht zu verwenden, weil es infolge seiner hohen Verbrennungsgeschwindigkeit leicht zurückschlägt. Man verwendet daher für die Wassergas-Glühlichtbeleuchtung eine Art Argandbrenner, über welchen der Glühkörper gestülpt wird. Die einzelnen Löcher des Argandbrenners sind so weit voneinander entfernt, daß nicht eine geschlossene ringförmige Flamme, sondern einzelne Flämmchen entstehen, welche allseits von Luft umspült sind.

Der Druck, welcher nötig ist, um das Gas aus diesen Öffnungen austreten zu lassen, ist viel geringer als der Druck, welchen eine Bunsendüse benötigt. Man setzt daher in den Unterteil des Brenners noch eine Düse ein, welche aber nur den Zweck verfolgt, den Druck vor den Brenneröffnungen herabzusetzen, respektive den Gasverbrauch des Brenners zu regeln. Der mindeste Druck, welcher erforderlich ist, beträgt 15 mm Wassersäule.

Ein Glühkörper von den Dimensionen, wie er für den Auer-C-Brenner verwendet wird, liefert mit uncarburiertem Wassergas bei geringem Druck bis zu 200 HK. Daraus geht hervor, daß die Temperatur des Glühkörpers höher, also die Umsetzung von Wärme in Licht günstiger sein muß als beim Steinkohlengasglühlicht.

Wir werden aus der weiter unten folgenden Tabelle ersehen, daß dies tatsächlich der Fall ist, denn das Wassergasglühlicht benötigt nicht mehr Gas pro HK-Stunde, als dies beim Steinkohlengasglühlicht der Fall ist, trotzdem sein Heizwert nur  $\frac{3}{5}$  von dem des Steinkohlengases beträgt. Dies ist eben an der höheren Flammentemperatur des Wassergases gelegen.

Wenn auch ein Glühkörper von normaler Größe bis zu 200 HK Lichtstärke zu geben vermag, so ist es doch nicht vorteilhaft, denselben mit

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 160.

mehr als 120 HK zu betreiben, weil sonst das Gas nicht auf das beste ausgenutzt wird.

Zufolge der hohen Lichtintensität der mit Wassergas betriebenen Glühkörper sind vornehmlich kleinere Brenner zur Anwendung gelangt, welche mit entsprechend kleineren Glühkörpern 50 bzw. 25 HK liefern; auch diese können im Bedarfsfalle bis auf 90 bzw. 40 HK horizontale Lichtstärke gebracht werden. Diese letzteren Brenner, namentlich die kleinsten, gestatten, wenn sie als Argandbrenner mit Specksteinringen ausgeführt sind, der Luft nicht den genügenden Zutritt in das Innere der Flamme. Es mußten daher für so kleine Brenner an Stelle eines geschlossenen Ringes einzelne Röhrchen angebracht werden, welche je ein Specksteinköpfchen tragen und der Luft den Zutritt in das Innere des Brenners und zu jedem Flämmchen gestatten.

Die Flamme der Wassergasglühlichtbrenner ist eine viel steifere als die Flamme der Steinkohlengasglühlichtbrenner, weil die Ausströmungsgeschwindigkeit des Gases aus den kleinen Öffnungen des Brennerkopfes eine hohe ist, während diese bei den Bunsenbrennern des gewöhnlichen Gasglühlichtes zufolge des im Brennerkopf herrschenden Druckes von nur wenigen Zehntelmillimetern sehr gering ist. Die Wassergasbrenner benötigen zufolge dieser Steifheit der Flamme keine Zugzylinder, und wendet man letztere höchstens zum Schutze der Glühkörper an. In Straßenlaternen können sie jedenfalls vollständig entfallen.

Gasverbrauch und Lichtstärke der vom Verfasser konstruierten Wassergasglühlichtbrenner geht aus umstehender Tabelle<sup>1)</sup> hervor. Dieselbe sei hier ausführlich wiedergegeben, weil von mancher Seite bezweifelt wurde, daß für gleiche Lichteffekte nicht mehr uncarburiertes Wassergas verbraucht wird, als Steinkohlengas im normalen, stehenden Glühlichtbrenner. Die Zahlen stammen aus einer Zeit, wo man das Wassergas gewöhnlich mit 5 bis 6 Proz. erzeugte und noch keine so vollkommenen Glühkörper hatte wie heute. Unter den heutigen Verhältnissen lassen sich noch wesentlich bessere Resultate erzielen.

## 66. Preßgas- und andere Starklichtlampen.

Wir haben bereits an verschiedenen Stellen schon davon gesprochen, daß durch verstärkte Luftzufuhr zu einem Bunsenbrenner zufolge der erhöhten Entzündungsgeschwindigkeit des Gasluftgemisches das Flammenvolumen ein kleineres wird und daß dadurch eine geringere Wärmeausstrahlung und eine größere Wärmekonzentration in der Flamme stattfindet, so daß dann die Flamme des Gases wesentlich heißer wird. Bei dem unter gewöhnlichem Druck brennenden Bunsenbrenner hat das Gas nicht die nötige Energie, um jene Luftmenge mit anzusaugen, welche es zur Verbrennung benötigt. Besonders ist dies der Fall bei Gasen mit hohem Luftbedarf. So saugt z. B. das Steinkohlengas bei gewöhnlichem Druck nur 30 bis 50 Proz. seines Luftbedarfes an (vgl. S. 81). Man kann jedoch mit Hilfe des Gasstrahles bei verstärktem Druck auch die ganze theoretisch erforderliche Luftmenge ansaugen. In diesem Falle erhält man viel heißere Flammen, also auch eine viel höhere Temperatur des Glühkörpers und dadurch nicht nur einen wesentlich stärkeren

<sup>1)</sup> Strache und Jahoda, Journ. f. Gasbel. 1901, S. 448.

Type	Druck mm	Konsum Lit. pro Stde.	Hefner- kerzen Horizontal	pro Hefner- kerze und Stunde	Mittel aus den Messungen von		Gaswerk
Type IV für 100 Kerzen	—	177,4	86	2,00	Dr. Pfeiffer, Ingenieure Glass, Westhofen	Ibbenbüren	
	—	198,7	105	1,89	Kommissionelle Messung	"	
	—	162,0	100	1,62	Gasdirektor Tormin, Ingenieur Asbeck	"	
	18	192	135	1,44	Prof. Ulzer, Technologisches Gewerbemuseum in Wien	Mödling	
	45	299	158,4	1,89	Direktion des Allgemeinen Krankenhauses in Wien	Wien	
	—	172,7	100	1,72	Kommissionelle Messung der Gemeinde	Rzeszow	
Type VI für 100 Kerzen	—	199,4	111	1,75	Dr. Jahoda	Wien	
	—	103	65	1,62	Direktor Croissant	Ibbenbüren	
	—	121,5	78,3	1,55	Dr. Pfeiffer, Ingenieure Glass, Westhofen	"	
	—	98,8	50	1,97	Kommissionelle Messung	"	
	—	92,9	57,4	1,64	Gasdirektor Tormin, Ingenieur Asbeck	"	
	19	107	76	1,44	Prof. Ulzer	Mödling	
Type VII für 25 Kerzen	—	90,3	50	1,80	Kommissionelle Messungen	Rzeszow	
	9	977	52	1,69	Dr. Jahoda, Allgemeines Krankenhaus	Wien	
	—	49,5	25	1,98	Gasdirektor Tormin, Ingenieur Asbeck	Ibbenbüren	
	—	49,4	29	1,70	Ingenieur Westhofen, Asbeck	"	
	—	57	24	2,37	Ingenieur Asbeck	"	
	20	69	29	2,38	Prof. Ulzer	Mödling	
Type X für 150 Kerzen (Modifikation von Nuschei)	—	53,7	25	2,15	Kommissionelle Messungen	Rzeszow	
	14	59,8	31,8	1,93	Dr. Jahoda, Allgemeines Krankenhaus	Wien	
	45	225,3	150	1,51	Dr. Jahoda, Allgemeines Krankenhaus	Wien	

Lichteffect eines Glühkörpers von gegebener Größe, sondern zufolge der besseren Umsetzung der Wärme in Licht auch eine wesentlich günstigere Ökonomie. Für die gleichen Lichtstärken werden dann die Glühkörper wesentlich kleiner<sup>1)</sup>. Hand in Hand mit dem günstigeren Gasluftgemisch muß allerdings auch eine höhere Ausströmungsgeschwindigkeit gehen, damit die Flamme nicht zurückschlägt. Im Preßgas aber ist genügend Energie vorhanden, so daß auch ein entsprechend hoher Druck im Brennerkopf erzielt werden kann, um die hohe Ausströmungsgeschwindigkeit zu gewährleisten. Es tritt dann das Zurückschlagen nicht so leicht ein und dies gestattet auch eine Vorwärmung des Gasluftgemisches. Bei Niederdruck kann man ja bei Bunsenbrennern keine Vorwärmung des Gasluftgemisches zulassen, weil dadurch die Entzündungsgeschwindigkeit erhöht wird und die Flamme zurückschlägt. Aber auch bei der Anwendung von Preßgas ist man diesbezüglich an Grenzen gebunden. Das Gemisch darf keinesfalls bis zur Entzündungstemperatur erhitzt werden, da sonst naturgemäß ein Zurückschlagen unvermeidlich ist. Hier liegt also eine Grenze, so daß man auch bei Anwendung des Preßgases über eine gewisse Grenze der Wirtschaftlichkeit nicht mehr hinauskommen dürfte. Es scheint, daß diese günstigste Ökonomie in der letzten Zeit nahezu erreicht worden ist.

Schon bei der Einführung des stehenden Gasglühlichtes lernte man gelegentlich des Abbrennens der Glühkörper, welches zum Zwecke der Erzielung einer größeren Festigkeit mit Hilfe von Preßgasgebläsen vorgenommen wurde, die hohen Lichtstärken kennen, die man auf diese Weise erreichen konnte. Trotzdem dauerte es ein Jahrzehnt, bis diese günstigste Art der Lichterzeugung sich durchzusetzen vermochte. Die ersten, welche die Preßgasbeleuchtung praktisch ausführten, waren Rothgießer, der mit Hilfe einer Wasserfallrohrpumpe das Gas unter Druck setzte, und Salzenberg, welcher das Gas mit Hilfe von gewöhnlichen Pumpen auf mehr als 1 Atm. komprimierte und mit seinem „Kugellicht“ die Aufmerksamkeit erweckte.

In ausgedehntem Maße konnte sich jedoch die Preßgasbeleuchtung erst einführen, nachdem alle dazugehörigen Apparate sorgfältig durchkonstruiert waren, und erst das Milleniumlicht von Knapp u. Steilberg hatte die ersten dauernden Erfolge aufzuweisen. Jetzt sind es bereits eine Reihe von Systemen, welche dem Preßgas und der später zu besprechenden Preßluftbeleuchtung eine sehr ausgedehnte Verwendung verschafft haben. Es sind dies außer dem Milleniumlicht die Systeme der Graetzin-Gesellschaft, das Pharoslicht, die Preßgassysteme von Keith, Blackmann, Onslow usw.

Berlin besaß bereits im Jahre 1910 1800 Graetzin-Preßgaslampen mit einer Gesamtlichtstärke von 4 Mill. Kerzen<sup>2)</sup>. Im Jahre 1911 waren bereits 53 km Straßlänge mit Preßgasbeleuchtung versehen und eine weitere Ausdehnung von 70 km ist für die nächste Zukunft bereits projektiert<sup>3)</sup>. Aber nicht nur in Deutschland, sondern auch in England hat die Hochdruckbeleuchtung bereits festen Fuß gefaßt<sup>4)</sup>. Nicht nur für große Anlagen mit ausgedehntem Rohrnetz ist die Preßgasbeleuchtung geeignet, in neuerer Zeit werden auch ganz kleine Anlagen mit nur vier bis sechs Lampen eingerichtet, deren

<sup>1)</sup> Karger, Journ. f. Gasbel. 1906, S. 1028. — <sup>2)</sup> Lückerrath, ebend. 1910, S. 488. — <sup>3)</sup> Gasstarklichtlampen zur Straßenbeleuchtung in Berlin, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 697. — <sup>4)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, S. 830; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 186.

Gesamtkosten etwa 300  $\mathcal{M}$  betragen <sup>1)</sup>. Auch zur Beleuchtung von Werkstätten leistet das Preßgas vorzügliche Dienste, da es nicht nur bei der Beleuchtung, sondern auch bei sonstigen Verwendungsarten des Gases, wie wir sie auf S. 1658 kennen lernen werden, Vorzüge gegenüber dem Niederdruckgas besitzen.

Die Anwendung eines hohen Gasdruckes ist allerdings nicht das einzige Mittel, um im Bunsenbrenner ein luftreicheres Gemisch zu erzielen. Man kann anstatt des Gases auch Luft in das Mischrohr des Bunsenbrenners einblasen, oder man kann die Saugwirkung, welche die heißen Verbrennungsgase besitzen, wenn sie einen hohen Zylinder passieren, benutzen, um eine größere Menge von Luft von außen in den Bunsenbrenner anzusaugen. Das letztere hat Lukas in seiner Lampe ausgenutzt und damit die ersten Starklichtlampen konstruiert. Diese konnten jedoch mit den weit günstigeren Effekten der Preßgasbeleuchtung nicht konkurrieren; zwar ist eine neue Lukas-Starklichtlampe von der Bamag auf den Markt gebracht worden <sup>2)</sup>, welche bei 30 bis 50 mm Druck 1000 bis 1200 HK in einer Flamme bei einem spezifischen Verbrauch von 0,76 Liter pro Hefnerkerze erzielen soll. Bei dieser strömt allerdings die größte Menge der Luft nicht als Mischluft zu, sondern als Verbrennungsluft, jedoch innerhalb des Glühkörpers zu den einzelnen Flämmchen, die aus vielen einzelnen Brennröhrchen austreten. Die Lukaslampe ist auch von Bunte, Mayer u. Teichel <sup>3)</sup> ausführlich untersucht worden, konnte sich aber, wie erwähnt, gegenüber den anderen Starklichtlampen nicht halten.

Die Erfolge, welche die Verwendung des Gases unter hohem Druck und die Hochdruckfernleitungen errungen haben, lassen erkennen, daß die Verteilung und Verwendung des Gases unter hohem Druck in der Zukunft noch eine bedeutende Rolle spielen werden. Schon heute ist man ja gezwungen worden, zuerst durch die Einführung des Gasglühlichtes überhaupt, dann durch die Einführung des hängenden Gasglühlichtes einen höheren Druck in den Rohrnetzen zu erhalten. Es kommt noch hinzu, daß das allgemeine Bestreben dahin geht, ein Gas von geringerem Gehalt an Kohlenwasserstoffen zu erzeugen, also ein Gas von geringerem Luftbedarf. Je geringer nun der Luftbedarf des Gases wird und je höher der Verteilungsdruck, um so leichter wird es möglich, ohne besondere Anordnungen im Bunsenbrenner die theoretische oder wenigstens nahezu die theoretische Luftmenge durch die Energie des Gasstrahles anzusaugen. Setzt man den Heizwert des Gases im Laufe der Zeit auf etwa 3500 bis 4000 Kal. herab und erhöht gleichzeitig den Druck bis auf 200 mm Wassersäule, so gelingt es, in jedem Brenner die theoretisch erforderliche Luftmenge anzusaugen, und man kann dann in jedem Brenner und bei jedem Konsumenten ohne besondere Vorkehrungen den besten Nutzeffekt in der Erzeugung des Lichtes erzielen. Es scheint also, daß in dieser Richtung die Entwicklung einer Hochdruckbeleuchtung unter gleichzeitiger Hochdruckverteilung noch Erfolge erringen wird.

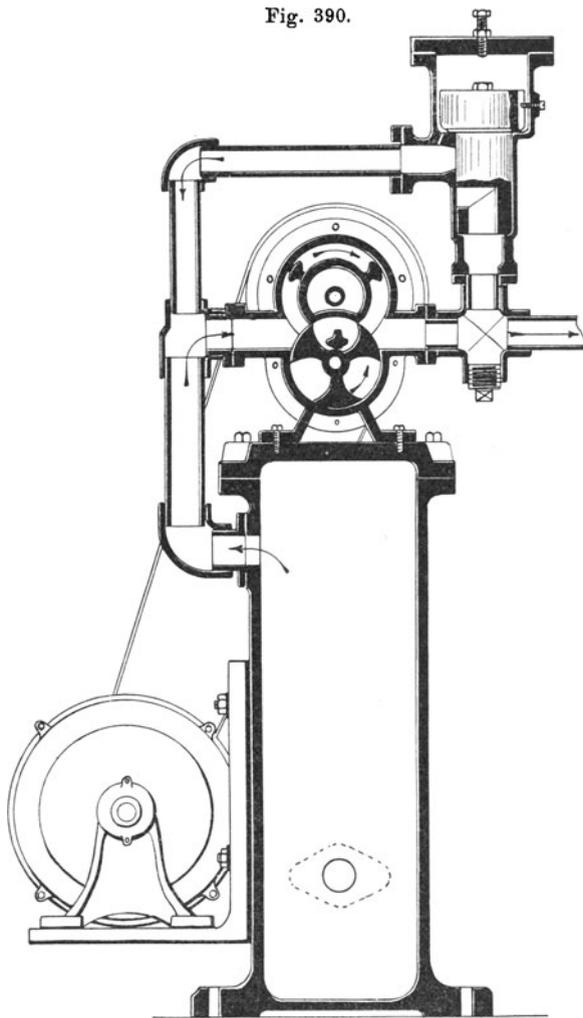
Wir wollen nun zunächst die Erzeugung des Preßgases besprechen. Gewöhnlich wird das Gas auf einen Druck von 1000 bis 2000 mm Wassersäule komprimiert. Als Antriebskraft zur Kompression dienen meistens entweder Elektromotoren oder kleine Gasmotoren. Im letzteren Falle erfordert der Kraftverbrauch pro Kubikmeter komprimiertes Gas 21,5 Liter Gas. Daraus

---

<sup>1)</sup> Witt, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 112. — <sup>2)</sup> Ebend. 1909, S. 985. — <sup>3)</sup> Ebend. 1908, S. 265.

ist ersichtlich, daß der Gasmotorenbetrieb unter normalen Umständen viel billiger ist als der Elektromotorenbetrieb. Er eignet sich jedoch wegen der umständlicheren Wirkung nur für größere Anlagen. In neuester Zeit sind auch kleine Dampfturbinen, (genannt Jona<sup>1)</sup>), zum Antriebe der Kompressionsvorrichtungen verwendet worden.

Fig. 390.



Als Kompressionsvorrichtungen dienen entweder Kolbenpumpen, Kapselgebläse oder Ventilatoren. Die rotierenden Kapselgebläse werden den Kolbenpumpen vorgezogen, weil sie einen gleichmäßigeren Druck liefern. Fig. 390 zeigt ein von der Akt.-Ges. für Gas und Elektrizität in Cöln hergestelltes rotierendes Gebläse, das in der Art der Enkeschen Gebläse (S. 592, Fig. 266) ausgeführt ist und dessen Funktion aus der Zeichnung ohne weiteres er-

<sup>1)</sup> Geliefert von Johannes Nadrowski, Dresden-Altstadt, s. Maul, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 227.

sichtlich ist. Derartige rotierende Gebläse geben auch ein geringeres Geräusch als andere Kompressionsvorrichtungen. Von der Akt.-Ges. für Selas-Beleuchtung wird eine Kompressionsvorrichtung verwendet, welche dem Bealeschen Gassauger ähnlich ist (vgl. S. 532). Es sind jedoch an Stelle von 3 Flügeln 12 Flügel angewendet und werden dieselben nicht durch Federdruck, sondern durch die Fliehkraft an die Wandungen des Gehäuses gepreßt. Zentrifugalventilatoren sind mit Rücksicht auf die hohe Tourenzahl, welche diese haben müßten, um einen so hohen Druck zu erzielen, weniger in Anwendung.

Besondere Aufmerksamkeit muß der Druckregelung des Preßgases geschenkt werden. Die Druckregler sind stets derart konstruiert, daß bei einem zu starken Anwachsen des Druckes in der Betriebsrohrleitung ein Teil des Gases in die Ansaugleitung des Kompressors zurückfließt. Derartige Druckregler sind also mit den Umlaufregulatoren (S. 535), welche bei Gassaugern angewendet werden, zu vergleichen. Bei dem genannten Preßgasapparat der Akt.-Ges. für Gas und Elektrizität in Cöln besteht der Regler einfach aus einem Kolben, der von dem Gasdruck gehoben wird, so daß das Preßgas zur Saugseite zurücktreten kann<sup>1)</sup>, wenn der Druck zu hoch steigt.

Den Regler des Milleniumpreßgaslichtes von Knapp u. Steilberg zeigt Fig. 391. Von der Gasuhr tritt das Gas durch einen Absperrhahn und durch ein Ausgleichsorgan für die Stöße, welche durch den Gang des Gebläses bedingt sind, zum Gebläse und von diesem gelangt das Gas in den eigentlichen Regler, welcher aus zwei konzentrischen Zylindern besteht. In dem zwischen diesen beiden Zylindern frei bleibenden Hohlraum  $d$  wird das Wasser durch den Gasdruck nach abwärts gedrückt und steigt im inneren Hohlraum  $f$  in die Höhe, so daß es das obere Gefäß  $b$  füllt. Ist es bis zu einer gewissen Höhe gestiegen, so hebt es den Schwimmer  $e$ , wodurch der Hebel  $K$  mit der Zugstange  $m$  gehoben wird; dadurch wird der Umschalter  $u$  betätigt. Dieser läßt dann einen Teil des Gases aus dem Hohlraum  $d$  durch eine Umgangsleitung zur Saugleitung zurücktreten, so daß also der in  $d$  herrschende Druck nicht höher sein kann, als die Differenz der beiden Wasserspiegel. Das Preßgas tritt dann aus dem Hohlraum  $d$  durch einen Absperrhahn in die Leitung zu den Verbrauchsstellen. Zwischen der Leitung von der Gasuhr und nach den Verbrauchsstellen ist noch ein Stoßfänger eingeschaltet. Bei einem Gasverdichter der Akt.-Ges. für Selas-Beleuchtung erfolgt die Regelung durch eine im Oberteile des Reglers angebrachte Membrane, welche durch den Druck des austretenden Gases betätigt wird. In der Saugleitung ist hier noch ein Rückschlagventil angeordnet, welches verhindert, daß etwa Preßgas in die Saugleitung gelangt.

Bei Einführung der Preßgasbeleuchtung verwendete man zunächst nur stehende Brenner; dieselben sind jetzt beinahe vollständig durch die hängenden Brenner verdrängt worden. Die Brenner sind verhältnismäßig einfach konstruiert. Als Düsen verwendet man mit Rücksicht auf die ziemlich große Gasmenge, welche in den Starklichtquellen verwendet wird, Düsen mit fünf Löchern, wie sie beim Auer-C-Brenner üblich sind. Die Brenner sind durch Drahtsiebe gegen das Zurückschlagen gesichert, doch ist es erforderlich, eine größere Anzahl von Sieben aufeinander zu legen, damit die Wärmeableitung

<sup>1)</sup> Lebeis, „Über moderne Preßgasbeleuchtung“, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 120.

derart groß ist, daß die Siebe nicht glühend werden können. Die Gasbrenner werden gewöhnlich ohne Zylinder verwendet, weil solche durch die hohe Temperatur zu sehr leiden würden.

Den Steilbergschen Millenniumbrenner zeigt Fig. 392. Der Durchmesser des zylindrischen Teiles *a* beträgt 28 bis 32 mm; die Glühkörper werden mit

Fig. 391.

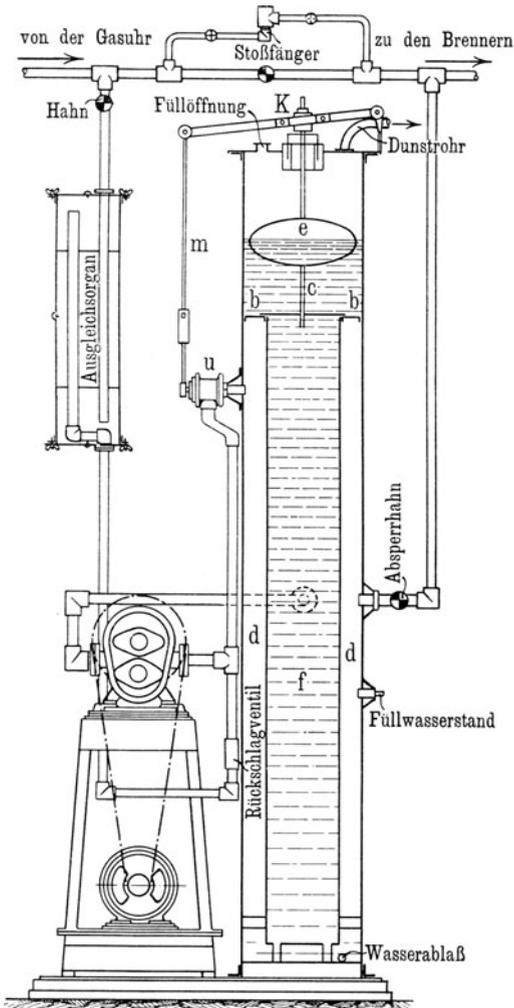
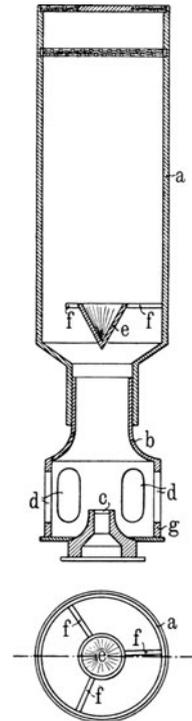


Fig. 392.



seitlicher Aufhängung aufgesetzt und sind für Preßgas stets doppelwandig, da nur solche die erforderliche Haltbarkeit besitzen, jedoch auch bei diesen kann man nur auf eine Brenndauer von 70 bis 80 Stunden rechnen<sup>1)</sup>.

Die Brenner werden gewöhnlich mit einer Lichtstärke von 500 bis 700 HK erzeugt und haben einen Gaskonsum von 0,8 bis 1,2 Liter pro HK-Stunde.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 529; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 381.

Bei den hängenden Preßgasbrennern ist die Erhitzung eine noch wesentlich stärkere als bei den stehenden Brennern und wird daher der Kopf des Brenners gewöhnlich aus Speckstein mit Nickelfassung erzeugt. An Stelle der Drahtnetze, welche durchschmelzen würden, werden gebohrte Platten verwendet. Die Brenner sind meistens massiv in Gußeisen ausgeführt und bewirkt das massive Metall eine starke Ableitung der Wärme. Mit Rücksicht auf die hohen Temperaturen ist es zweckmäßig, die Mäntel der Brenner mit einem hitzebeständigen Überzug zu versehen<sup>1)</sup>.

Ehrich u. Graetz haben durch Einführung der Vorwärmung des Gasluftgemisches eine Verbesserung des Nutzeffektes beim hängenden Gasglühlicht erzielt. Man ist jedoch später daran gegangen, nur die Luft vorzuwärmen, wie z. B. bei der Preßgaslampe der Deutschen Gasglühlichtgesellschaft, welche in Fig. 393 dargestellt ist. Die Ökonomie ist dabei, wie Jonas<sup>2)</sup> angibt, bis auf 0,37 Liter Gasverbrauch pro HK-Stunde gesteigert worden. Da bei diesen Preßgaslampen nahezu die gesamte Luft, welche zur Verbrennung des Gases erforderlich ist, durch die Mischdüse angesogen wird, so ist nur eine sehr kleine Menge von Sekundärluft erforderlich, welche durch die kleine Öffnung in der Glasglocke an der Spitze derselben eintritt.

Indessen sind auch bei der Vorwärmung des Gasluftgemisches sehr günstige Resultate erzielt worden, wie z. B. bei der Invertpreßgaslampe der James Keith u. Blackmann Co. in London<sup>3)</sup>. Bei dieser wurden 0,49 Liter pro mittlere horizontale Hefnerkerze und 0,531 Liter pro untere hemisphärische HK-Stunde gebraucht<sup>4)</sup>.

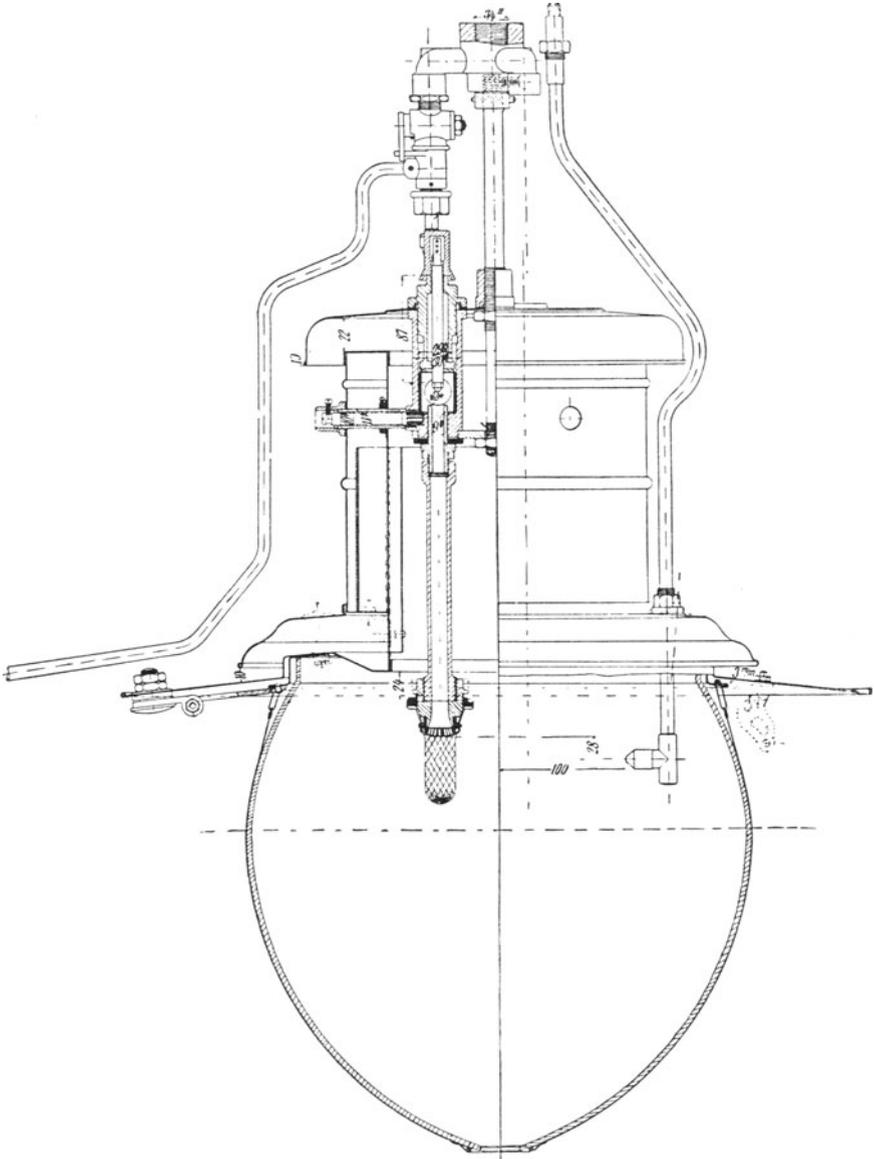
Wenn man auch einen Teil der Wärme der Abgase zur Vorwärmung der Luft oder des Gasgemisches benutzen kann, so geht doch der größte Teil der Wärme der Abgase nutzlos verloren. In dieser Wärme liegt genügende Energie, um den Energieaufwand decken zu können, welcher zur Kompression des Gases für die Preßgasbeleuchtung notwendig ist. Es ergibt sich somit das Problem unter Ausnutzung der Wärme der Abgase, entweder das Gas, welches eine Preßgaslampe benötigt, zu komprimieren, oder die Wärme dazu zu benutzen, Primärluft in den Bunsenbrenner einzusaugen oder einzublasen.

Der erste, welcher den Weg wählte, die Wärme der Abgase zum Einsaugen von Luft in die Bunsendüsen zu benutzen, war Lukas, auf dessen Lampe wir bereits auf S. 976 verwiesen haben. Später hat Lukas den anderen Weg eingeschlagen, die Wärme der Abgase in elektrische Energie zu verwandeln, indem er eine Thermosäule oberhalb der Flamme anbrachte und den elektrischen Strom zum Antriebe eines Ventilators benutzte, welcher das Gas komprimierte. Über diese Lampe hat Wedding<sup>5)</sup> eine ausführliche Untersuchung veröffentlicht; die Lampe konnte sich aber naturgemäß zufolge ihrer Komplikation nicht in die große Praxis einführen. Dann hat Clipperfield<sup>6)</sup> einen kleinen Heißluftmotor über dem Brenner angebracht, welcher zur Gaskompression benutzt wurde. Auch dies erscheint als ein viel zu kompliziertes Verfahren, um für die große Praxis verwendbar zu sein. Eine

<sup>1)</sup> Scholz, „Neuerungen der Invertbeleuchtung u. Preßgashängelicht“, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 356. — <sup>2)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 441. — <sup>3)</sup> Trautmann, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 766. — <sup>4)</sup> Siehe auch Journ. f. Gasbel. 1909, S. 529; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 381. — <sup>5)</sup> Journ. f. Gasbel. 1906, S. 682. — <sup>6)</sup> Bencke, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 10.

Lösung der Frage der tragbaren Preßgaslampe scheint erst durch die sogenannte Autopreßgaslampe von Liedke gegeben zu sein, welche Löwenstein<sup>1)</sup> im Jahre 1911 auf der Niederländischen Gasfachmänner-Versamm-

Fig. 393.

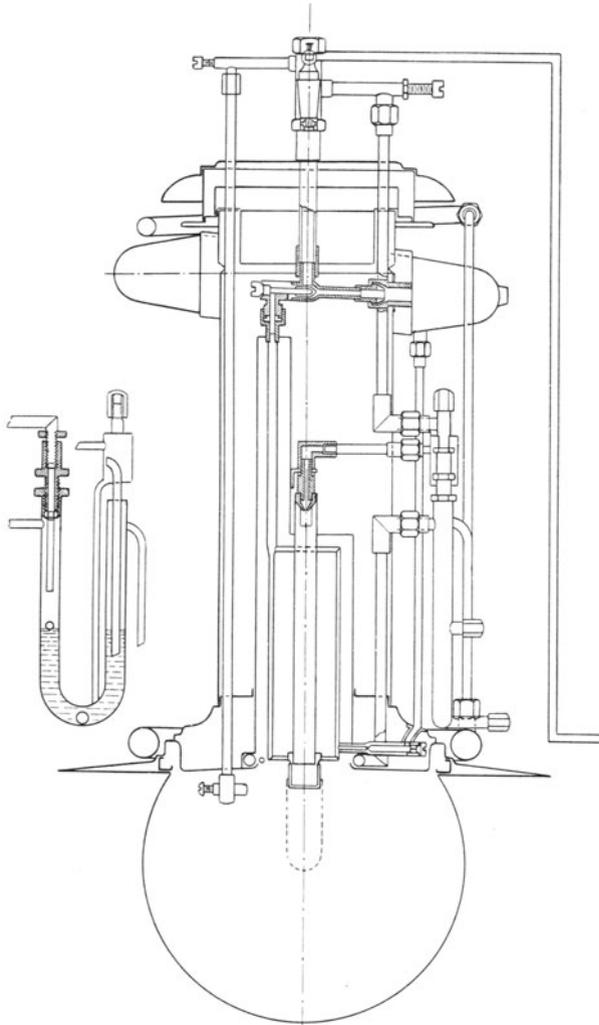


lung in Leeuwarden demonstrierte. Bereits früher waren Vorschläge gemacht worden, die Abhitze zur Verdampfung von Wasser zu benutzen und mit Hilfe des Wasserdampfes das Gas durch einen Injektor unter Druck zu setzen.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 914.

Der Wasserdampf müßte jedoch nachher immer wieder kondensiert und zum Verdampfer zurückgeleitet werden, was einen sehr großen Kondensator bedingen würde, und außerdem würde nie alles Wasser wiedergewonnen, so daß schon nach kurzer Zeit ein Nachfüllen von Wasser erforderlich wäre; außerdem würde der Wasserdampf den Lichteffect des Glühkörpers stark ver-

Fig. 394.



ringern. Dieser Übelstand ist in der Lampe von Liedke durch Anwendung von Quecksilber an Stelle von Wasser behoben. Diese Lampe ist in Fig. 394 dargestellt. Oberhalb der Flamme befindet sich ein ringzylindrischer Verdampfer, welcher zum Teil mit Quecksilber gefüllt ist. Die Anwärmung erfolgt mit einer ringförmigen Hilfsflamme, die durch ein besonderes Ventil gespeist ist. Der Quecksilberdampf strömt durch eine Düse und reißt hier das Gas mit, indem er es unter Druck setzt. Das Gemisch von Gas und

Quecksilberdampf gelangt dann in einen ringförmigen Kondensator, welcher sich außerhalb der Lampe befindet und eine schwache Neigung besitzt, so daß sich das kondensierte Quecksilber an einer Stelle ansammelt. Von hier fließt das Quecksilber durch ein hohes Rohr wieder zum Verdampfer zurück, indem es vorher eine Bremsvorrichtung passiert hat, welche das Hin- und Herschwanke des Quecksilberspiegels verhindert. Zuzufolge der Höhe der Quecksilbersäule in diesem Rohre kann das Quecksilber ständig dem Verdampfer zuzufießen, trotz des Druckes, welcher in diesem herrscht. Das Gas wird durch den Quecksilberdampf unter einen Druck von 80 mm Quecksilbersäule versetzt, was einem Druck von rund 1100 mm Wassersäule entspricht. Naturgemäß ist die Lichtausbeute bei dieser Lampe die gleiche wie bei den anderen Preßgaslampen. Es werden nämlich 0,5 Liter Gas auf die untere hemisphärische Hefnerkerze pro Stunde verbraucht. Der Vorteil dieser Lampe vor anderen Preßgaslampen ist der, daß kein Motor und keine besondere Bedienung erforderlich sind und ebenso kein Kraftaufwand zur Erzeugung des Preßgases erforderlich ist, also keine Kosten für die Kraft aufgewendet werden müssen<sup>1)</sup>. Zu erwähnen ist noch, daß die Hilfsflamme, welche zur Anwärmung des Quecksilberverdampfers dient, in dem Moment erlischt, wenn das Gas die genügende Spannung erhalten hat. Es geschieht dies automatisch durch einen Umschalter, welcher von dem Gasdruck betätigt wird. Dieser öffnet, sobald der Gasdruck die nötige Höhe erreicht hat, das Ventil der Hauptflamme und schließt gleichzeitig das Ventil der Vorwärmefflamme.

Neben dem Preßgas ist es die Preßluft, welche für die Starklichtbeleuchtung Einführung in die Praxis fand. Auch hier gibt das Invertlicht die besten Effekte. In dem Pharoslicht<sup>2)</sup> wird ein Druck der Preßluft von 1500 mm Wassersäule angewendet; die Energie der Luft wird dazu verwendet, im Bunsenbrenner noch weitere Luft von außen anzusaugen, so daß es nicht notwendig ist, die ganze Luftmenge, welche eine Flamme zur Verbrennung braucht, zu komprimieren, da in diesem Falle die Luftleitungen zu große Dimensionen annehmen müßten. Diese Preßluftlampe ist in Stuttgart<sup>3)</sup> in umfangreicher Weise eingeführt. Der Konsum soll dort nur 0,37 Liter pro HK-Stunde betragen. Unangenehm wirkt bei der Preßluftbeleuchtung das sausende Geräusch, das bisher nicht vermieden werden konnte.

Ein Mittelding zwischen der Preßgas- und Preßluftbeleuchtung stellt die sogenannte „Selas“-Beleuchtung dar. Bei dieser wird ein Gemisch von Gas und Luft schon durch den Kompressor erzeugt und dieses Gemisch wird durch die Leitungen den Brennern zuzuführt. Mit Rücksicht auf die Explosionsgefahr und mit Rücksicht auf die Dimensionen der Kompressoren wird jedoch nicht die ganze zur Verbrennung nötige Luft dem Steinkohlengas beigemischt, sondern es wird nur das einfache bis doppelte Luftvolumen zugemischt. Die Kompression erfolgt auf 250 bis 800 mm Wassersäule. Das Mischungsverhältnis läßt sich durch ein besonderes Mischventil einstellen und ist vor demselben ein Druckregler angebracht, welcher den Druck des zuzuströmenden Gases auf 0 herabreduziert, so daß die Außenluft und das Gas unter gleichem Druck angesogen werden. In den Brennern wird dann durch das ausströmende

---

<sup>1)</sup> Die Lampe wird von der Firma Halbmayr u. Co. in Wien geliefert; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 369. — <sup>2)</sup> Klatte, Journ. f. Gasbel. 1906, S. 1032. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 276.

Gasluftgemisch noch Mischluft angesogen, so daß dem Brennerkopf ein nahezu theoretisch richtiges Gasluftgemisch entströmt. Die Selasbeleuchtung hat vor der Preßgas- und Preßluftbeleuchtung den Vorteil, daß auch ganz kleine Brenner verwendet werden können. Die Glühkörper für 100 HK sind so groß wie ein Fingerhut. Die Selasbeleuchtung hat z. B. in Innsbruck<sup>1)</sup> ausgebreitete Anwendung gefunden. Die Brenner arbeiten fast geräuschlos und sind in allen Größen von 25 bis zu 5000 HK vorhanden. Die Ökonomie beträgt 0,7 Liter Gas pro HK-Stunde. Alle Lampen für die Außenbeleuchtung sowohl bei Preßgas- als bei Preßluft- oder Selaslicht müssen windsicher konstruiert sein und auch der Zutritt der Luft in die Glocke muß eine bestimmte Richtung haben, um das Heulen der Flamme zu vermeiden.

Bei allen Preßgas- und Preßluft-Lampen werden die Glühkörper in der Straßenlampe selbst abgebrannt. Die außerordentlich heiße Preßgas- oder Preßluftflamme formt dann die Glühkörper der Flamme entsprechend, man nennt daher die betreffenden Glühkörper auch „autoforme“ Glühkörper.

Die Zündung erfolgt bei allen diesen Starklichtlampen gewöhnlich durch eine Zündflamme. Da jedoch diese Starklichtlampen meist an besonderen Leitungen angebracht sind, so ist es möglich, mit Hilfe der Änderung des Druckes in den Leitungen auch gleichzeitig das Öffnen des Hauptventiles der Lampe zu besorgen. Die Zündflammen brennen dann untermittags mit Niederdruck, und sobald höherer Druck gegeben wird, verlängert sich zunächst die Zündflamme und dann öffnet sich das Ventil zur Hauptflamme. Bei neueren Ausführungen<sup>2)</sup> erfolgt die Zündung der Hauptflamme etwa bei 700 mm Druck und bei weiterer Steigerung des Druckes auf 1000 mm erlischt dann die Zündflamme. Außerdem ermöglicht eine Notzündflamme das Entzünden beim Versagen der Ferndruckzündung. Zur Sicherheit trägt jede Lampe einen eigenen Einzellöschhahn.

Um die Bunsendüsen bei den Preßgaslampen gut reinigen zu können, vereinigt man sie zweckmäßig mit einem Hahnkegel<sup>3)</sup>, der von außen herausnehmbar ist und gleichzeitig zum Absperren einzelner Flammen in Lampen mit mehreren Brennern dient.

Als Leitungen für Preßgas und Preßluft werden gewöhnliche schmiedeeiserne Rohre verwendet. Nur bei ganz großen Leitungen verwendet man Mannesmannrohre<sup>4)</sup>.

An die Preßgasleitung können natürlich auch Privatkonsumenten angeschlossen werden, was speziell bei der Beleuchtung von Auslagen oder größeren Geschäftslokalitäten vom Vorteil ist. Es muß jedoch berücksichtigt werden<sup>5)</sup>, daß zur Abgabe des Gases unter Hochdruck besondere Gasmesser erforderlich sind und daß das Gas teurer verkauft werden muß, weil durch die Kompression das Volumen des Gases verringert wird.

Wenn wir die Vorteile des Preßgases und des Preßluftsystems gegeneinander abwägen wollen, so kommen wir zu folgendem Resultat: Bei beiden Systemen ist es notwendig, eine eigene Leitung zu legen, beim Preßgassystem ist es die Preßgasleitung, beim Preßluftsystem hingegen die Luftleitung. Die

<sup>1)</sup> Peischer, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1906, S. 28. — <sup>2)</sup> Scholz, „Neuerungen der Invertbeleuchtung und Preßgashängelicht“, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 356. — <sup>3)</sup> Lebeis, „Über moderne Preßgasbeleuchtung“, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 120. — <sup>4)</sup> Vgl. Mitchell, Journ. of Gaslighting 1911, S. 104; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 601. — <sup>5)</sup> Lebeis, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 120 und 712.

Niederdruckgasleitung ist ja in beiden Fällen als vorhanden anzunehmen. Zugunsten des Preßgases spricht, daß die Dimensionen der Preßgasleitung kleinere sein können als jene der Preßluftleitungen und daß ebenso die Kompressoren beim Preßgas kleiner sind<sup>1)</sup>. Auch die Anbringung der Straßenlampen an den Straßenüberspannungen ist beim Preßgas einfacher als bei der Preßluft<sup>2)</sup>, doch ist dieses Problem auch bei der Preßluftbeleuchtung in befriedigender Weise gelöst. Auch der Anschluß der Konsumenten ist beim Preßgas verhältnismäßig leicht durchzuführen<sup>3)</sup>. Zugunsten der Preßluft hingegen spricht, daß überhaupt keine besonderen Gasmesser aufgestellt werden müssen, was beim Preßgas immerhin eine Komplikation bedeutet. Die Preßluft braucht nicht pro Kubikmeter verkauft zu werden, sondern sie kann, wenn sie überhaupt berechnet wird, als Pauschale pro Flamme berechnet werden. Außerdem können alle vorhandenen Gasinstallationen verwendet werden und muß nur die Preßluftleitung zu jeder Flamme gelegt werden<sup>4)</sup>. Der Anschluß der Konsumenten bietet daher in vieler Hinsicht auch bei der Preßluft einen Vorteil; besonders für kleinere Orte erscheint dieses System geeignet<sup>5)</sup>. Ferner erscheint manchen der hohe Druck des Preßgases bei Installationen im Inneren bedenklich<sup>6)</sup>. Über den ökonomischen Effekt des Preßgas- und des Preßluftsystems gehen die Meinungen noch auseinander. Göhrum<sup>7)</sup> spricht der Preßluft den günstigeren Effekt zu, während Lebeis<sup>8)</sup> und Scholz<sup>9)</sup> diese bessere Ökonomie bezweifeln. Die letzten Angaben der Auergesellschaft über die Preßluftbeleuchtung in Stuttgart lauten auf 0,37 Liter Gasverbrauch pro Kerzenstunde<sup>10)</sup>, während die letzten Angaben für Preßgas bei den Lampen von Ehrich u. Graetz<sup>11)</sup> auf 0,45 Liter pro HK-Stunde lauten.

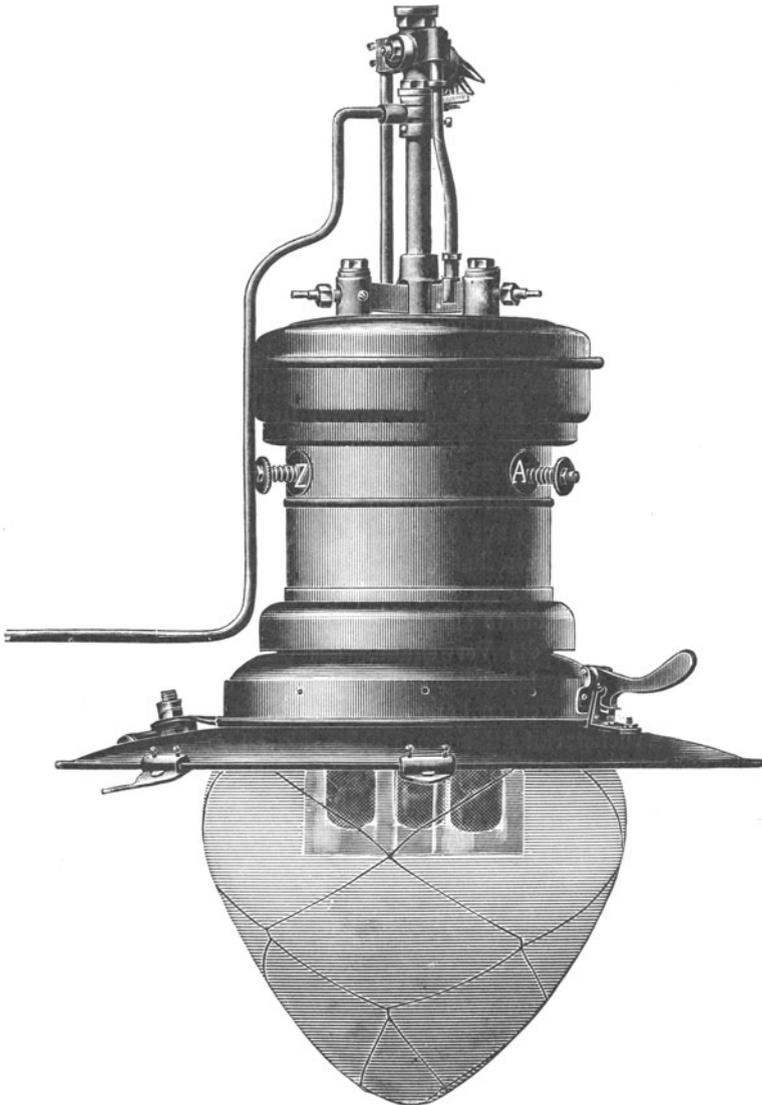
Im großen und ganzen hat also die Preßluft nicht zu unterschätzende Vorteile, und es ist daher zu wundern, daß sich die Preßluft bisher kein größeres Feld erobern konnte als die Preßgasbeleuchtung.

Die Bemühungen, die Verwendung des Gases zur Straßenbeleuchtung möglichst günstig zu gestalten auch dort, wo keine eigentliche Preßgas- oder Preßluftanlage gebaut werden kann, haben dazu geführt, daß man nunmehr in den Niederdruckstarklichtlampen Effekte bis zu 1000 HK erzielt, wobei man den Gaskonsum schon auf 0,70 Liter pro Hefnerkerze zu reduzieren vermochte. Eine solche Lampe der Firma Ehrich u. Graetz<sup>12)</sup> ist in Fig. 395 dargestellt. Nach einigen Angaben soll die Ökonomie bei diesen Lampen sogar 0,61 bis 0,64 Liter pro HK-Stunde betragen<sup>13)</sup>. Diese günstigen Effekte wurden dadurch erreicht, daß es gelungen ist, auch beim Niederdruckgas eine Vorwärmung der Luft durchzuführen, ohne dadurch den Betrieb der Lampe zu beeinträchtigen. Nachdem es gelungen war, bei der dreiflammigen 1000kerzigen Lampe das Prinzip der Luftvorwärmung zu lösen, wurden nach dem gleichen Prinzip auch ein- und zweiflammige Lampen von 350 und

<sup>1)</sup> Drehschmidt, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 761. — <sup>2)</sup> Göhrum, ebend. 1911, S. 493. — <sup>3)</sup> Lebeis, ebend. 1909, S. 120. — <sup>4)</sup> Klatte, ebend. 1908, S. 527 u. 1199. — <sup>5)</sup> Winter, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 528. — <sup>6)</sup> Körtling, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 837. — <sup>7)</sup> Ebend. 1908, S. 761. — <sup>8)</sup> Ebend. 1909, S. 120. — <sup>9)</sup> Ebend. 1909, S. 1145; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 537. — <sup>10)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 276; ferner Lebeis, ebend. 1910, S. 461. — <sup>11)</sup> O. Anzböck, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 332. — <sup>12)</sup> Ebend. 1910, S. 332. — <sup>13)</sup> Scholz, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 465; Betttega, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 571.

700 HK Leuchtkraft konstruiert. Auch hierbei soll der gleich günstige Effekt erzielt worden sein. Nach Angaben von Scholz<sup>1)</sup> soll es auch gelungen sein, eine Niederdrucklampe mit 1650 HK Leuchtkraft bei 975 Liter Stundenkonsum, d. i. mit einer Ökonomie von 0,59 Liter pro HK-Stunde zu erzeugen.

Fig. 395.



Eine noch heißere Flamme als man mit Preßgas oder mit Preßluft erzielen kann, erhält man, wenn man an Stelle von Luft Sauerstoff in die Brenner einleitet. Es sind daher mannigfache Bestrebungen aufgetreten, die noch günstigere Ökonomie, die man dabei erreicht, praktisch zu verwerten.

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 465.

Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß der Sauerstoff auch heute im großen noch nicht billiger hergestellt werden kann als das Steinkohlengas und daß daher zum Gaskonsum auch noch der Konsum an Sauerstoff zu rechnen ist. Außerdem wird es aber dann notwendig sein, ein zweites Rohrnetz zur Verteilung von Sauerstoff zu legen und dies allein schon läßt die Anwendung des Sauerstoffglühlichtes als zu kompliziert erscheinen. Schließlich aber halten die Glühkörper die außerordentlich hohe Temperatur der mit Sauerstoff gespeisten Flamme nur ganz kurze Zeit aus, so daß dies ein weiterer Grund ist, weshalb sich diese Beleuchtungsart bisher nicht einzubürgern vermochte. Es konnte sich daher weder das „Nürnberglicht“, noch das Sauerstofflicht von Pictet, der einen haltbareren Glühkörper hergestellt haben soll<sup>1)</sup>, durchsetzen.

### 67. Glühkörper.

Wir haben bereits bei Besprechung der Geschichte des Gasglühlichtes (S. 946) die Entwicklung kennen gelernt, welche der Glühkörper von den Anfangsstadien an durchgemacht hat. Seit dem enormen Aufschwung, welchen der Glühkörper gegen Ende des vorigen Jahrhunderts genommen hat, ist allerdings seine Zusammensetzung kaum mehr verändert worden. Er besteht nach wie vor im wesentlichen aus Thoriumoxyd mit einem geringen Zusatz von Ceroyd. Wichtige Veränderungen wurden jedoch betreffs der Faserstoffe getroffen, welche mit den Lösungen dieser Oxyde getränkt werden, um nach dem Abbrennen das Aschenskelett zu hinterlassen. Von der Baumwolle kam man zum Ramiegarn und schließlich zur Kunstseide. Auch das Gewebe ist einigen Variationen unterworfen worden, jedoch ist man bisher immer wieder zu dem zuerst angewendeten Gewebe zurückgekommen. Eine wesentliche Veränderung in der Erzeugung des Glühkörpers mußte allerdings zufolge der Einführung des Hängelichtes durchgeführt werden.

Als Rohmaterial zur Fabrikation der Glühkörper<sup>2)</sup> dienen die sogenannten seltenen Erden, welche aus gewissen, früher für sehr selten gehaltenen Mineralien gewonnen werden; gleich nach dem ersten Aufschwung der Gasglühlichtindustrie fanden sich jedoch große Lager von Monazitsand in Brasilien. Seither ist dies das bis heute ausschließlich verwendete Ausgangsmaterial zur Darstellung der Thorium- und Cersalze. Die Ausbeutung dieser Monazitsandlager befindet sich in den Händen weniger Lieferanten (Gordon & de Freytas). Der Monazitsand besteht zu etwa einem Viertel aus Phosphorsäure und zu einem Drittel aus Ceroyd. Das wertvollste Produkt, nämlich das Thoriumoxyd, befindet sich nur in Mengen zwischen 1 und 10 Proz. in demselben. Der Rest ist Neodymoxyd und in geringen Mengen auftretende Verunreinigungen. Während also das Hauptprodukt, welches benötigt wird, das Thoriumoxyd, nur in geringen Mengen vorkommt, ist Ceroyd im Überfluß vorhanden, während es zur Glühkörperfabrikation nur in geringen Mengen angewendet wird. Das Cer tritt somit als wertloses Abfallprodukt bei der Fabrikation von Thoriumnitrat auf.

---

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1906, S. 960. — <sup>2)</sup> Böhm, „Die Fabrikation der Glühkörper für Gasglühlicht“, Verlag Knapp, Halle a. S. 1910, S. 17; ferner „Darstellung der seltenen Erden“, Verlag Veit u. Co., Leipzig; ferner „Die Thoriumindustrie“, Verlag Weidmann, Berlin 1906; Stern, „Fortschritte der Chemie“ 1910, S. 139; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 560.

Die Reindarstellung des Thoriumsalzes aus dem Monazitsande erfolgt in nachstehender Weise. Der Sand wird zunächst mit konzentrierter Schwefelsäure aufgeschlossen; durch Zusatz von Magnesiumoxyd zur Lösung fällt das Rohthorium als Phosphat aus. Die Reinigung erfolgt durch Überführung in das Oxalat. Dieses wird mehrmals gereinigt, indem es in Sodalösung gelöst und mit Salzsäure wieder gefällt wird. Das letzte Mal erfolgt die Fällung mit Ammoniak, wobei das Thorium als Hydroxyd ausfällt. Die weitere Reinigung erfolgt durch Umkristallisieren des Sulfates. Schließlich wird es wieder als Hydroxyd gefällt und dann zum Zwecke der Darstellung des Nitrates in Salpetersäure gelöst.

Das Cer tritt, wie erwähnt, als wertloses Abfallprodukt auf und wird zunächst im rohen Zustande als Carbonat erhalten. Dieses löst man in Salzsäure, fällt es mit Oxalsäure, glüht das Oxalat und löst dann das entstandene Oxyd in Salpetersäure. Aus dieser Lösung fällt Wasser ein gelbes basisches Cerinitrat. (Die Cersalze existieren in zweierlei Oxydationsstufen, als Cersalze und als Cerosalze.) Das Cerinitrat wird mit Alkohol oder mit Oxalsäure zu Ceronitrat reduziert, dann nach dem Eindampfen durch Auskristallisieren im festen Zustande erhalten.

Betreffs des zur Glühkörperfabrikation dienenden Garnes ist zunächst zu erwähnen, daß von einer geringeren Anzahl dicker Fasern mehr Lösung aufgenommen wird, als von vielen dünnen Fasern, daher in ersterem Falle ein leichteres Garn mit geringerer Faserzahl verwendet werden kann. Außerdem ist der Glühkörper, dessen Garn dicke Fasern enthält, fester. Man zieht daher heute ersteres vor, wogegen man früher mit Vorliebe dünneres Garn mit konzentrierteren Lösungen imprägnierte.

Früher diente ausschließlich Baumwollgarn zur Herstellung der Glühstrümpfe, gewöhnlich verwendete man Garn Nr. 100/6fach, da die Leuchtkraft bei so dünnem Garn höher und die Festigkeit doch genügend war. Später wurde wegen seiner Billigkeit hauptsächlich Garn Nr. 70/6fach verwendet. Jeder Faden eines solchen Garnes enthält etwa 240 bis 300 Fasern. Das Gewicht eines Rohstrumpfes aus diesem Garn beträgt etwa 3 bis 3,5 g.

Die aus Baumwolle erzeugten Glühkörper haben die Eigenschaft, bei längerer Brenndauer zusammenzuschumpfen, zu sintern; deshalb verwendet man in neuerer Zeit mit Vorliebe das Ramiegarn. Die aus diesem erzeugten Glühkörper geben anfangs allerdings weniger Licht, schrumpfen jedoch weniger zusammen, so daß sich die Lichtstärke nicht derart verringert wie beim Baumwollgarn. Außerdem ist das Ramiegarn fester und es können daher feinere Fäden angewendet werden, welche in der Flamme eine höhere Temperatur annehmen. Dagegen werden die Fäden bald spröde. Zufolge der höheren Festigkeit können die Fäden auch in einfacher Lage verwendet werden, d. h. es werden nicht wie beim Baumwollgarn mehrere Fäden zusammengedreht. Gewöhnlich wird jedoch das Ramiegarn Nr. 32/2fach, für billigere Ware Nr. 18/1fach angewendet. Die Fäden haben 90 bis 120 Fasern, also wesentlich weniger als die Baumwollfäden. Die rohen Glühstrümpfe aus Ramiegarn besitzen ein Gewicht von 4 g bei Garn Nr. 32/2fach und von 3,6 g bei Garn Nr. 18/1fach. Der Unterschied zwischen der Baumwoll- und der Ramiefaser zeigt sich mikroskopisch nach längerer Brenndauer, wie die beiden Fig. 396 u. 397 zeigen<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Müller, „Degea“-Glühkörper, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 434.

Noch größer zeigt sich der Unterschied in der Faser des Glühkörpers aus Kunstseide, wie dies in der mikroskopischen Vergrößerung in Fig. 398 dargestellt ist<sup>1)</sup>. Charakteristisch bei der Kunstseide sind die durchgehenden gleichmäßigen einzelnen Fasern, welche durch keine Zwischenräume voneinander getrennt sind. Wie bereits erwähnt, ist der Glühkörper um so haltbarer, je geringer die Anzahl der Fasern ist, welche einen Faden ausmachen. Bei der Kunstseide sind nur 20 bis 30 Fasern pro Faden vorhanden. Dementsprechend ist auch das Gewicht des Rohstrumpfes aus Kunstseide ein viel geringeres. Es beträgt nur 1,5 g.

Den ersten praktisch herstellbaren brauchbaren Glühkörper aus Kunstseide verfertigte Plaissetty<sup>2)</sup>. Das Wesen der Plaissettschen Erfindung geht dahin, den Strumpf aus gewöhnlicher, nicht imprägnierter Kunstseide zu stricken und erst nachträglich, wie die Baumwollstrümpfe, zu imprägnieren, dann aber aus den aufgenommenen Nitraten die Hydroxyde durch ein Ammoniakbad zu fällen. Würde man nämlich die mit Nitraten getränkten Fasern direkt veraschen, so würde der Glühkörper gänzlich auseinander fallen. Die Fällung der Hydroxyde kann jedoch auch auf andere Weise erfolgen. So z. B. verwendet die Cerofirm-Gesellschaft die Ausfällung mit Wasserstoffsperoxyd unter gleichzeitiger Anwendung von Basen; dabei wird das Thorium durch das Wasserstoffsperoxyd und das Cer durch die Basen gefällt. Es entsteht ein feines weiches Oxyd, was wahrscheinlich dadurch bedingt ist, daß es als Superhydroxyd gefällt wird. Diese Art der Fällung ist jedoch kostspielig.

Die Herstellung der Kunstseidefaser erfolgte ursprünglich nach dem Chardonnet-Verfahren, wonach Baumwolle in einem Gemisch von Schwefel-

Fig. 396 (Baumwollgarn).



Fig. 397 (Ramiegarn).



<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 434. — <sup>2)</sup> D. R.-P. Nr. 141 244.

und Salpetersäure als Nitrocellulose gelöst wird; die daraus abgeschiedene Nitrocellulose wird dann in Alkoholäther gelöst und unter einem Drucke von 50 Atm. durch ein Glasröhrchen gepreßt, welches einen lichten Durchmesser von 0,08 mm besitzt. Das Lösungsmittel verdampft sofort nach dem Austritt des Strahles aus der Öffnung, so daß man ohne weiteres einen festen Faden erhält. Dieser wird versponnen, dann mit Schwefelammonium denitriert. Ein anderes Verfahren verwendet die Elberfelder Kunstseidefabrik. Sie löst die Cellulose in Kupferoxydammoniak; durch Einspritzen dieser Lösung in verdünnte Essigsäure wird die Cellulose als Faden gefällt. Wieder ein anderes Verfahren verwenden Cross Bevan & Beadle, gemäß D. R.-P. Nr. 70 999. Sie behandeln die Cellulose zunächst mit kaustischen Alkalien und dann mit Schwefelkohlenstoff, wobei eine in Wasser lösliche Verbindung, die Viskose, gebildet wird. Die daraus abgeschiedene Cellulose heißt „Viskoid“.

Fig. 398 (Kunstseide).



Der Unterschied zwischen Baumwoll- oder Ramiefaser und der Kunstseidefaser besteht hauptsächlich darin, daß die Faser nicht röhrenförmig, sondern dicht ist. Daher rührt ihre Festigkeit und aus diesem Grunde kann man dünne Fasern verwenden, welche die Wärme rascher aufnehmen.

Zur Herstellung des Glühkörpers aus dem Garn dienen Rundstrickmaschinen. Gewöhnlich wird auch heute noch so, wie in der ersten Zeit des Gasglühlichtes, das Trikotgewebe verwendet. Es hat den Vorzug, daß es elastisch ist und daher elastische Glühkörper

liefert. Dieses Gewebe besitzt jedoch die Eigentümlichkeit, daß die Krümmungen der einzelnen Fäden bei längerer Brenndauer zunehmen und ein Schrumpfen des Strumpfes eintritt. Man hat daher versucht, an Stelle der gestrickten Strümpfe gewebte anzuwenden, doch haben sich hierbei keine wesentlichen Vorteile ergeben.

Der fertig gestrickte Schlauch muß zunächst einer gründlichen Reinigung unterzogen werden, damit er weder Fett, noch wesentliche als Asche hinterbleibende anorganische Substanzen enthält. Bei Kunstseide hingegen kann die Wäsche entfallen. Baumwolle und Ramieglühkörper müssen zunächst mit heißen Alkalien (Soda, Ammoniak oder Seife) gewaschen und auf diese Weise von Fetten befreit werden, darauf werden sie mit Wasser gespült, dann zur Entfernung der Aschenteile mit 1- bis 3proz. Salzsäure oder Salpetersäure behandelt. Die früher verwendete Flußsäure wird heute nicht mehr angewendet, da sich dies als überflüssig erwiesen hat, indem man bemerkt hat, daß geringe Mengen von Kieselsäure, welche durch die Flußsäure entfernt werden sollten, dem Glühkörper nicht schaden. Wesentlich ist es aber, alle Calciumsalze und Alkalien mit Hilfe der Säurewäsche zu entfernen. Die

Schläuche werden dann abermals mit Wasser, schließlich in destilliertem Wasser gespült und durch Zentrifugieren von dem Waschwasser möglichst befreit. Das Trocknen erfolgt dann in eigenen Trockenschränken unter Anwendung von Wärme. Sodann werden die gereinigten Schläuche auf die entsprechenden Längen geschnitten und genäht (s. unten). Ein solcher Körper wird als „Rohstrumpf“ bezeichnet.

Das Imprägnieren des Strumpfes erfolgt durch Eintauchen in das sogenannte „Fluid“. Es ist dies eine Lösung der Nitrats des Thoriumoxyds und des Ceroxyds, wobei auf 99,1 Proz. Thoriumoxyd gewöhnlich 0,9 Proz. Ceroxyd verwendet werden. Je mehr Ceroxyd angewendet wird, desto gelber wird das Licht des Glühkörpers. Bei höheren Zusätzen nimmt jedoch die Lichtstärke des Glühkörpers ab. Nur bei Glühkörpern für Preßgas verwendet man  $2\frac{1}{2}$  bis 3 Proz. Cernitratzusatz. Bei der höheren Temperatur der Preßgasflamme scheint sich das günstigste Verhältnis mehr gegen die höheren Cerzusätze zu bewegen. Man macht dem Fluid ferner noch Zusätze von Beryllium, Zirkon, Magnesium oder Aluminium, um eine größere Festigkeit des Aschenskelettes zu erzielen. Das Aufsaugen des Fluides in dem Strumpf erfordert etwa 3 bis 5 Minuten. Dann läßt man die geschnittenen Strümpfe eine Wringmaschine passieren, welche auf einen ganz bestimmten Walzendruck eingestellt ist. Dadurch wird der Überschuß an Fluid herausgepreßt, und es muß durch wiederholte Wägung bestimmt werden, ob die Fluidaufnahme des Strumpfes eine richtige ist. Je nach der Art des herzustellenden Glühkörpers richtet man dieselbe so ein, daß derselbe 0,35 bis 0,6 g Oxyd enthält. Schwächer imprägnierte Glühkörper geben eine höhere Lichtstärke, sind aber weniger haltbar.

Die zum Schluß auf Glasformen aufgezogenen und getrockneten Glühstrümpfe werden am oberen Ende, dem „Kopfe“, nochmals mit einer im wesentlichen aus Al- und Mg-Nitrat bestehenden Lösung nachimprägniert, „fixiert“. Darauf wird die zum Aufhängen des Glühkörpers dienende Asbestschlinge durch den Kopf gezogen. Dann sind die Glühkörper zum Versand als sogenannte Flachware bereit.

Bei der Herstellung der Glühkörper aus Kunstseide ist der Vorgang ein anderer, da man dort den ganzen Schlauch imprägnieren kann und erst nachträglich das Schneiden der Glühkörper vornimmt. Bei leichten billigen Glühkörpern enthält der fertige Strumpf 8 bis 9 Proz. seines Gesamtgewichtes an Oxyden. Schwere gute Glühkörper, welche haltbarer sind, aber weniger Licht geben als leichte Glühkörper, enthalten 9 bis  $10\frac{1}{2}$  Proz. Oxyde.

Zur Erzeugung der sogenannten „autoformen“ Glühkörper (s. S. 994), die hauptsächlich zur Außenbeleuchtung benutzt werden, verwendet man ein besonders dünnes Ramiegarn, welches lose gestrickt ist, so daß der Glühkörper während des Abbrennens bequem seine richtige Form annehmen kann.

Besondere Vorsicht erfordert das Nähen des Kopfes des Glühkörpers, welches nach dem Imprägnieren vorgenommen wird. In den Kopf muß der Asbesthenkel eingnäht werden, was früher durch Umlegen des oberen Randes des Strumpfes und Einnähen erfolgte. Jetzt verwendet man jedoch vielfach nicht appetrierte Tüllstreifen, welche am Kopfende des Glühkörpers vor dem Imprägnieren aufgenäht werden, um dort die erforderliche Verstärkung des Gewebes hervorzurufen. Weit verbreiteten Eingang haben auch Gewebe ge-

funden, die am Kopfe durch verengte Maschen verstärkt sind (sogenannte Patentgewebe).

Der Kopf ist derart zu nähen, daß oben eine Öffnung frei bleibt, welche zum Zwecke des Abziehens der Flammengase dient. Diese Öffnung soll bei dem normalen C-Glühkörper 10 mm lichten Durchmesser besitzen. Bekanntlich treten ja die Flammengase nicht durch die Maschen des Glühkörpers aus, sondern sie müssen oben ihren Abzug finden, damit der Glühkörper richtig leuchtet. Ferner ist beim Nähen darauf zu achten, daß die Maschenreihen senkrecht zur Längsachse des Glühkörpers stehen, da sich anderenfalls der Glühkörper beim Abbrennen verzieht.

Besonders schwierig gestaltet sich das Nähen beim Hängelichtglühkörper. Hier muß der untere Teil vorsichtig zusammengezogen werden, ohne daß große Falten entstehen dürfen, und man verschließt dann die noch frei bleibende Öffnung durch die sogenannte „Spinne“, in welcher sich der Faden vom Mittelpunkt aus nach allen Seiten wie das Netz einer Spinne verteilt. Der mit der Spinne versehene Körper wird imprägniert, auf Glasmodelle mit halbrunden Köpfen gezogen und dann getrocknet. Zum Zwecke der billigeren Herstellung der Hängelichtglühkörper hat man allerdings in neuerer Zeit auch versucht, den Glühkörper in Form eines Wulstes zusammenzuziehen und dann durch Umstülpen des Wulstes nach innen zu bringen. Zufolge der dort eintretenden Verstärkung leuchtet dann der Glühkörper aber an dieser Stelle schwächer.

Für die Preßgasbeleuchtung verwendet man doppelte Glühkörper. Man erhält sie durch Ineinanderstecken und Vernähen zweier einfacher Glühkörper. In letzter Zeit werden jedoch auch einfache Körper aus Kunstseide mit großem Erfolge verwendet.

Wie schon wiederholt erwähnt, muß der Kopf des stehenden Glühkörpers besonders haltbar sein, da er die Last des ganzen Glühkörpers zu tragen hat. Man verstärkt ihn daher nicht nur durch das obengenannte Annähen eines Tüllstreifens, sondern man bestreicht den Kopf noch mit einer besonderen Lösung, dem sogenannten „Fixatif“. Es sind dies Lösungen von Salzen, welche dem Glühkörper zwar eine geringere Lichtstärke, aber dafür eine höhere Haltbarkeit verleihen. Hauptsächlich kommen hierbei in Betracht das Aluminium- und Magnesiumnitrat. Das Aufbringen des Fixatifs erfolgt entweder durch Bestreichen oder dadurch, daß man die Lösung auf Filzplatten bringt, den Glühkörperkopf dazwischen legt und die Filzplatten dann zusammenpreßt. Auf alle Fälle gibt man dem Fixatif einen organischen Farbstoff bei, damit man beobachten kann, wie weit der Kopf mit dieser Lösung getränkt ist.

Nach dem Aufbringen des Fixatifs muß der Glühkörper neuerdings getrocknet werden, was in Trockenschränken erfolgt.

In neuester Zeit hat man auch versucht, Glühkörper mit einem Metallkopf<sup>1)</sup> herzustellen, so daß die Befestigung des Strumpfes an dem Kopf auf maschinellern Wege erfolgen kann. Es ist jedoch noch nicht vorauszusehen, ob sich derselbe dauernd bewähren wird.

Die Befestigung des hängenden Glühstrumpfes an den dazugehörigen Magnesiaringen muß natürlich ebenfalls mit besonderer Sorgfalt vorgenommen werden. Zur Verstärkung legt man den Glühstrumpf an dieser Stelle doppelt um und zieht den Asbestfaden, welcher den Strumpf an den Ring befestigt,

<sup>1)</sup> Hella-Metallkopf, D. R.-P. Nr. 154107.

durch die Maschen hindurch. Das Anbinden erfolgt gewöhnlich an der Außenseite des Ringes.

Der Herstellung der Magnesiaringe für die Hängelichtglühkörper hat sich heute bereits eine besondere Industrie gewidmet. Früher verwendete man als Rohmaterial für diese Ringe ausschließlich Magnesiumoxyd (gebrannte Magnesia), jetzt verwendet aber die Hildebrandt- und die Magnesia-Company vornehmlich Ton oder Porzellanerde, die mit magnesiumhaltigem Calcit gemengt ist. Von den genannten beiden Firmen werden täglich 70 000 bis 80 000 Stück derartiger Ringe hergestellt. Es bestehen derzeit bereits 300 verschiedene Formen dieser Ringe. Es herrscht aber das Bestreben, diese Formen zu vereinheitlichen und namentlich sie so auszugestalten, daß die von den verschiedenen Glühkörperfabrikanten verwendeten Ringe auch wechselweise auf verschiedene Brenner passen. Beim Ring der Firma Ehrich u. Graetz sind die Füßchen mit Aussparungen versehen, um den Abzug der Verbrennungsgase zu erleichtern. Dieser Ring hat große Verbreitung gefunden. Derselbe wurde dann so verändert, daß er für Graetzlicht, sowie für ältere und neuere Auerhängelichtbrenner passend ist.

Zur Prüfung der Ringe auf ihre Widerstandsfähigkeit soll man dieselben bis zur Weißglut erhitzen und dann schnell erkalten lassen, nicht aber in Wasser eintauchen, da sie hierdurch mürbe werden.

Die Firmen, welche die Glühkörper herstellen, legen natürlich Wert darauf, auf dem Glühkörper selbst ihre Firma erkenntlich zu machen, und zwar sowohl auf dem nicht abgebrannten, als auch auf dem abgebrannten Glühkörper. Die Glühkörper müssen zu diesem Zwecke mit einer Farbe gestempelt werden, welche einen organischen Farbstoff enthält, der die betreffenden Zeichen auf dem unabgebrannten Stoff erkennen läßt; man wählt hierzu gewöhnlich Methylenblau. Da der organische Farbstoff jedoch in der Hitze verbrennt, so muß derselbe außerdem ein Salz enthalten, das nach dem Verbrennen ein gefärbtes Oxyd hinterläßt. Man verwendet hierzu das Didymnitrat. Die Farbe wird dann mit Hilfe eines Gummistempels aufgedrückt.

Zum Zwecke des Abbrennens des Glühkörpers wird derselbe zunächst auf eine Holzform aufgezogen und durch Darüberstreichen mit der Hand geglättet, dann von dieser abgehoben, an einen Haken gehängt und von oben entzündet. Die Flamme muß gleichmäßig von oben nach abwärts brennen. Sowie sie die Hälfte des Glühkörpers überschritten hat, ist es notwendig, die untere Öffnung mit Hilfe von Glasstäbchen auseinanderzuhalten, da der Glühkörper beim Abbrennen das Bestreben hat, sich unten zusammenzuziehen. Bei Vorrichtungen, mit Hilfe welcher viele Glühkörper gleichzeitig abgebrannt werden, sind gewöhnlich unten Stäbchen angebracht, welche dieses Auseinanderhalten besorgen.

Nach dem Abbrennen erfolgt das Formen, Ausweiten und Härten des Glühkörpers mit Hilfe von Preßgas. Es ist notwendig, den Glühkörper auf eine höhere Temperatur zu erhitzen, als jene ist, welche er später auf der Flamme auszuhalten hat, so daß er die Form, welche er beim Härten angenommen hat, später nicht mehr verlieren kann. Das Härten erfolgt zunächst am Kopf, um denselben möglichst widerstandsfähig zu machen, und dann geht man allmählich mit der Preßgasflamme herab. Bei Kunstseideglühkörpern erfolgt das Härten zugleich mit dem Abbrennen. Die Formgebung soll derart erfolgen, daß der Glühkörper oben am Kopf etwas konisch

geformt ist, da dies namentlich bei der Anwendung von ärmeren Gasen besser der Flamme des Brenners entspricht.

Das einfache Abbrennen mit der Hand ist heute wohl in allen größeren Glühkörperfabriken durch die Abbrennmaschine ersetzt<sup>1)</sup>. 10 Preßgasbrenner befinden sich an einer Schiene und lassen sich durch eine einfache Hebelbewegung auf- und abwärts bewegen. Oberhalb der 10 Glühkörper sind Rundbrenner angebracht, welche das Härten des Kopfes besorgen. Gleichzeitig mit der Bewegung der Brenner wird auch die Gaszufuhr zu den Brennern entsprechend reguliert, so daß dadurch die Härtung und Formgebung erfolgen kann. Während beim Handabbrennen die Arbeiter ihre Augen durch eine Brille schützen müssen, besitzen die Abbrennmaschinen eine Glasscheibe aus sogenanntem Neutralglas, welche die Augen schützt. Ferner sind dieselben in Kästen angebracht, aus denen mit Hilfe eines Ventilators die Verbrennungsgase abgesogen werden, so daß dieselben die Luft des Raumes nicht verunreinigen, wie dies früher in den großen Handabbrennsälen in sehr unangenehmer Weise der Fall war.

Das Veraschen dauert 2 bis 3 Minuten, das Formen und Härten  $1\frac{1}{2}$  bis 2 Minuten. Beim Hängelichtglühkörper muß besonders darauf geachtet werden, daß die Bindestelle am Ringe besonders gehärtet wird. Der Ring muß zu diesem Zweck bis zur hellen Glut erhitzt werden. Ebenso muß die Spinne besonders gehärtet werden und noch mehr der Wulst, wenn ein solcher an Stelle der Spinne zum Abschluß des Kopfes angewendet wurde (S. 992).

Gegenwärtig werden Hängelichtglühkörper häufig vom Konsumenten selbst am Brenner abgebrannt. Man verwendet für solche sogenannte autoforme Glühkörper besonders dünnes Ramiegarn. Um solchen Glühkörpern eine gute Form zu geben, wird das Gas geöffnet und das Zündholz so lange hingehalten, bis der Glühkörper innen und außen voll brennt. Wenn der Glühkörper wieder weiß geworden ist, schließt man den Gashahn, dann zündet man das Gas bei halb geöffnetem Hahn wieder an und dreht dann schnell auf<sup>2)</sup>. Diese autoformen Glühkörper können jedoch zweckmäßig nur für Außenbeleuchtung dienen, da das Abbrennen im Inneren von Lokalen die Luft verunreinigt.

Es sind auch automatische Maschinen konstruiert worden, welche sowohl das Abbrennen, als auch das Formen und Härten selbsttätig durchführen. Solche Maschinen sind z. B. jene von Müller u. Bonet und von Robin. Stangen, welche je 10 Glühkörper tragen, werden bei diesen Maschinen mittels Förderketten zu mehreren Reihen von Brennern geführt, wo sie abgebrannt und gehärtet und schließlich auch gemeinsam kollodiniert und beschnitten werden. Eine solche Maschine vermag bis 6000 Glühkörper pro Tag zu liefern.

Das Kollodiniieren der Glühkörper geschieht zu dem Zweck, um abgebrannte Glühkörper versandfähig zu machen. Man taucht sie in eine Lösung von Kollodium in Äther oder Amylacetat oder Aceton und Alkohol. Der Lösung wird etwas Rizinusöl und Kampfer zugesetzt, um eine schmierige Kollodiumschicht zu erhalten. Meist werden 10 Glühkörper, welche an

---

<sup>1)</sup> Z. B. jene von Sensenschmidt, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 480. — <sup>2)</sup> Böhm, ebend. 1911, S. 255.

einer Stange hängen, gemeinsam in die Lösung eingetaucht, dann wieder herausgezogen und getrocknet. Das Trocknen erfolgt in eigenen Schränken, bei etwa 50 bis 60° C. Für einen Glühkörper werden etwa 4 bis 6 g Lösung benötigt, die 0,4 bis 0,6 g feste Substanz enthalten. Es ist leider unvermeidlich, daß die Lichtstärke des Glühkörpers durch das Kollodieren etwas leidet. Das Beschneiden der Glühkörper an ihrem unteren Rande muß erfolgen, damit die nicht vermeidlichen ausgebrannten Teile am unteren Ende entfernt werden und auch alle Glühkörper gleiche Länge erhalten. Es erfolgt nach Aufziehen der Glühkörper auf einen Stahlkegel mit Hilfe eines rotierenden Schneiderädchens. Auch hierbei können 10 Glühkörper gleichzeitig beschnitten werden. Bei der automatischen Maschine von Müller-Bonet werden je 10 Glühkörper gleichzeitig mittels 10 Sichelmessern, die von einer Feder betätigt werden, durchgeschlagen.

Die Verpackung der kollodierten Glühkörper für stehendes Gasglühlicht erfolgt in zylindrischen Pappschachteln, die beiderseits etwas Watte enthalten. Besondere Vorkehrungen sind hingegen bei der Versendung der Glühkörper für Hängelicht erforderlich. Zum Zwecke der Vermeidung des Bruches muß der Ring in die Pappschachtel derart eingeklemmt sein, daß er vor jeder Bewegung gesichert ist. Er muß aber auch bequem herausnehmbar sein. Es sind hierfür eine Reihe sinnreicher Konstruktionen angewendet worden, deren Beschreibung hier zu weit führen würde.

Die sogenannte Flachware, d. h. nicht abgebrannte Glühkörper müssen vollständig trocken aufbewahrt werden, namentlich wenn es sich um Glühkörper aus Baumwolle handelt. Bei feuchter Luft tritt eine geringe Abspaltung von Salpetersäure ein, welche das Garn zerstört. Aus diesem Grunde ist es auch zweckmäßig, die Flachware nicht zu lange lagern zu lassen.

Zum Zwecke der Prüfung der Glühkörper hat die Lichtmeßkommission des Deutschen Vereins der Gas- und Wasserfachmänner<sup>1)</sup> besondere Vorschriften herausgegeben, welche im Jahre 1901 ergänzt wurden<sup>2)</sup>. Handelt es sich um Flachware, so ist zunächst ein sorgfältiges Abbrennen erforderlich, für welches ebenfalls Vorschriften gegeben sind, welches jedoch nur von kundiger Hand ausgeführt werden soll. Nach dem Abbrennen darf der Glühkörper bei gelindem Druck derart, daß sich sein Durchmesser einseitig auf die Hälfte verkleinert, keine Risse erhalten und muß bei Aufhören des Druckes wieder die ursprüngliche Form annehmen. Wenn man ihn am Haken aufhängt und unten zieht, so darf er nicht am Kopf abreißen, sondern in der Mitte. Zur Prüfung der Festigkeit der Glühkörper hat Drehschmidt eine besondere Schüttelmaschine konstruiert. Andere derartige Maschinen sind von Meyer<sup>3)</sup> und von Sensenschmidt<sup>4)</sup> angegeben worden. Die Anzahl der Stöße, welche ein Körper aushält, hängt natürlich von der Einstellung der Schüttelmaschine ab. Dieselbe ergibt daher nur Vergleichswerte. In neuerer Zeit werden die Glühkörper manchmal auch auf ihre Tragfähigkeit geprüft. Die Maximalbelastung beträgt etwa 15 bis 20 g.

Bei der Wahl des Brenners, welcher zur Bestimmung der Lichtstärke des Glühkörpers dienen soll, muß berücksichtigt werden, daß verschiedene Brenner stets ein verschiedenes Resultat geben, auch dann, wenn sie anscheinend

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1899, S. 558. — <sup>2)</sup> Ebend. 1901, S. 697. — <sup>3)</sup> Ebend. 1908, S. 751. — <sup>4)</sup> Ebend. 1909, S. 480.

ganz gleich geartet sind. Man kann daher exakte Vergleiche zweier Glühkörper nur dann erzielen, wenn man immer denselben Brenner verwendet. Natürlich ist aus einer Reihe von Brennern ein solcher auszuwählen, welcher eine besonders gleichmäßige und luftreiche Flamme hat, bei dem also der innere Kegel mit grüner Farbe eng am Siebe aufsitzt. Zweckmäßig wäre es, bei derartigen Prüfungen auch immer das Gasluftgemisch zu untersuchen, welches im Brenner vorhanden ist, um dadurch die Funktion des Brenners zu charakterisieren. Für jeden Brenner muß ferner die günstigste Aufhängehöhe besonders ermittelt werden. Es hängt dies sowohl von der Wahl des Brenners, als auch von der Art und Qualität des Glühkörpers und der Qualität des Gases ab. Gewöhnlich wird der Glühkörperhaken 70 mm oberhalb der Brenneroberkante anzubringen sein. Auf den Brenner kommt ein glatter Glaszylinder von 25 cm Höhe.

Die Düsen des Brenners sind auf einen Gaskonsum von 115 bis 130 Liter bei einem Gasdruck von 35 bis 40 mm Wassersäule einzurichten. Gaskonsum und Druck ist bei jeder Messung besonders anzugeben. Die Lichtmessung soll erst erfolgen, nachdem der Glühkörper  $\frac{1}{2}$  Stunde gebrannt hat, damit er sich in seiner Form der Flamme angepaßt hat. Man reguliert dann die Düsen derart, daß der beste Lichteffect erzielt wird. Regulierdüsen sollen jedoch dabei nicht verwendet werden, wenn es sich um Stehlicht handelt, da ja auch die Glühkörper in der Praxis ohne Regulierdüsen verwendet werden. Hat man die Düsen richtig eingestellt, so kontrolliert man sie dadurch, daß bei einer Verringerung des Druckes um 5 mm die Lichtstärke bereits sichtbar abnehmen muß. Zur Bestimmung der Lichtstärke muß man mindestens vier Glühkörper photometrieren, um ein Mittel daraus zu nehmen. Vor jeder Messung muß der Brenner mindestens 5 Minuten brennen, damit er gleichmäßig erwärmt ist. Die Photometrierung muß bei jeder Messung in mindestens drei Richtungen erfolgen, da der Glühkörper oft nach verschiedenen Richtungen sehr verschieden stark Licht aussendet.

Dauerproben von Glühkörpern müssen stets in einem staubfreien Raum durchgeführt werden, da sonst eine zu starke Abnahme des Lichtes stattfinden kann. Man macht gewöhnlich die Messungen nach 24 Stunden, nach 100, 300 und 600 Stunden. Auch sind nach jeder dieser Zeiten Schüttelproben vorzunehmen, um die Festigkeit des Glühkörpers nach einer gewissen Brenndauer zu bestimmen. In die Gasleitung ist ein Druckregler einzuschalten, welcher den Gasdruck beständig auf 35 bis 40 mm hält. Es ist aber zu beachten, daß während der ganzen Brenndauer der Druck nicht unter diese Höhe sinken darf, da sonst das Resultat nicht maßgeblich wäre. Vor jeder Messung ist ein vollständig reiner Glaszylinder auf den Brenner zu setzen, da während der Dauerproben sich der Glaszylinder oft matt beschlägt.

Coste & Pownay<sup>1)</sup> empfehlen, die Glühkörper derart zu prüfen, daß sie zunächst 5 Minuten gehärtet, dann erst auf Dauerhaftigkeit mit der Woodall-Moonschen Maschine geprüft und jene, welche 1000 Stöße ausgehalten haben, zur weiteren Prüfung verwendet werden. Von sechs Glühkörpern darf nur einer weniger als 1000 Stöße aushalten. Für Hängelicht verlangen Coste & Pownay mindestens 3000 Stöße, was wohl sehr hoch gerechnet ist. Die Glühkörper werden dann, drei an der Zahl, auf Leucht-

<sup>1)</sup> Soc. of Chem. Ind.; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 635.

kraft und Lichtkonstanz geprüft. Coste & Pownay raten, stets mindestens 20 bis 40 Glühkörper zu untersuchen, um ein richtiges Mittel zu erhalten. Macbeth<sup>1)</sup> möchte bei der Probe der Glühkörper auch noch die Farbe des Lichtes bestimmt wissen und ihr Verhalten bei verschiedenen Gasqualitäten. Hierfür sind jedoch noch keine bestimmten Methoden ausgearbeitet.

In den letzten Jahren sind eine Anzahl von Spekulanten an die Gaskonsumenten herangetreten, um ihnen Mittel zu verkaufen, welche angeblich den Glühkörpern eine größere Festigkeit und eine höhere Leuchtkraft erteilen sollen. Solche Mittel wurden verkauft unter den Namen Antifax, Stabilol, Terranova, Ferrolit, Dyna, Fabra, Cera usw.; es handelt sich aber meistens um Glaspulver, Talkum oder Borsäure, welche weder in der einen, noch in der anderen Richtung günstig auf den Glühkörper wirken<sup>2)</sup>.

## XV. Anwendung der Gasbeleuchtung.

### 68. Laternen und Kandelaber; Brenner.

Der Zweck der Laternen ist der Schutz der Leuchtflamme gegen die Einflüsse der Witterung. Früher, als man noch die frei brennende Flamme verwendete, genügte eine einfache Glasumhüllung, um Sturm, Regen und Schnee von der Flamme abzuhalten. Heute bei der allgemeinen Anwendung des Gasglühlichtes sind natürlich viel vollkommener ausgebildete Laternen erforderlich und war man sich bei der Einführung des Gasglühlichtes durchaus nicht im klaren darüber, ob dies überhaupt für die Straßenbeleuchtung geeignet sei. Erst als man lernte, vollständig sturmsichere Laternen zu konstruieren, konnte man an die Einführung des Gasglühlichtes für die Straßenbeleuchtung denken.

Ursprünglich stellte man die Straßenlaternen gewöhnlich mit viereckigem Grundriß her, nach oben zu etwas erweitert. Man versah die Kanten mit schmiedeeisernen Stäben und verfertigte das Dach entweder aus Blech oder es waren die konischen Dachflächen ebenso wie die Seitenflächen mit Glas tafeln abgeschlossen. Später verwendete man sechseckige Laternen, die sonst in derselben Weise hergestellt waren. Fig. 399 zeigt eine solche. Eine der Seitenwände muß stets als Türe ausgebildet sein, damit man von dort aus zum Zweck des Reinigens der Laterne und zum Zweck des Ersatzes der Glühkörper in die Laterne gelangen kann. Um das nach oben gehende Licht nach abwärts zu werfen, versah man die Dachflächen mit Milchglasscheiben, die wenigstens einen Teil des Lichtes nach abwärts reflektierten. Viel vollkommener wirken die jetzt allgemein angewendeten Reflektoren. Dieselben werden konvex nach aufwärts gekrümmt, um das von dem Brenner ausgehende Licht nicht vertikal nach abwärts, sondern nach der Seite zu werfen. Der Punkt unter der Laterne ist ohnedies hell genug beleuchtet, es ist daher wichtiger, das von der Laterne ausgehende Licht auf größere Entfernungen zu werfen. Um stets zu dem Brenner gelangen zu können und andererseits die Laterne doch vollständig sturmsicher zu halten, was bei den genannten Türen nicht immer gut möglich ist, verwendet man heute auch bei den sechs-

<sup>1)</sup> Illum. Engin. 1910, S. 277; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 236. —

<sup>2)</sup> Böhm, „Wegelagerer der Gasglühlichtbranche“, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1159.

eckigen Laternen ein nach oben aufklappbares Dach, wie dies in Fig. 399 angedeutet ist. Ferner sorgt man dafür, daß die zum Brenner zuströmende Verbrennungsluft im gewundenen Wege in die Laterne gelangt. In diesem Falle ist eine größere Windsicherheit gewährleistet. Läßt man die Verbrennungsluft von oben in das Dach eintreten, so kann man dabei gleichzeitig eine Vorwärmung der zutretenden Luft erzielen, wie dies in Fig. 399 durch die Pfeile angedeutet ist.

Fig. 399.

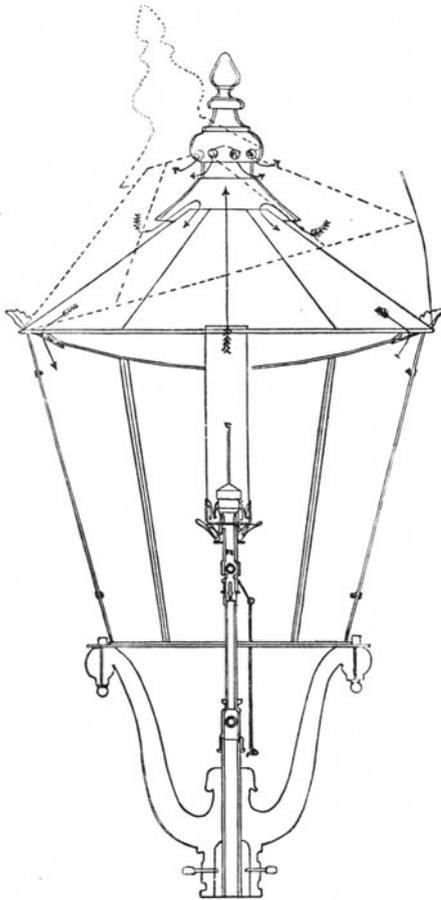


Fig. 400.



Seit etwa zwei Jahrzehnten haben die sogenannten schattenlosen Laternen mit rundem Glaskonus ausgebreitete Anwendung gefunden. Bei diesen wird das Dach nur durch zwei Stäbe getragen, wie dies Fig. 400 zeigt. Der Glaskonus wird dabei aus sehr starkem Glase gefertigt, so daß er sehr widerstandsfähig ist. Das Dach ist nach oben aufklappbar. Der Boden ist ebenfalls verglast; er besteht aus zwei halbkreisförmigen Hälften, von denen eine nach oben aufgeklappt werden kann, so daß von hier aus die Bedienung der Laterne ermöglicht ist, während zum Zweck des Reinigens das Dach aufgeklappt wird. Ein mit Gegengewicht versehener Sperrhaken an der Unterseite der Laterne hält die aufklappbare Hälfte verschlossen.

In letzter Zeit ist auch eine neuartige Laternenform zur Anwendung gelangt, die sogenannte „Rechlaterne“. Sie besteht aus einem schmalen zylindrischen Glasmantel, welcher den Brenner umgibt, und der Reflektor liegt vollständig außerhalb der Laterne. Diese Laterne hat sich jedoch nicht allgemein einzuführen vermocht.

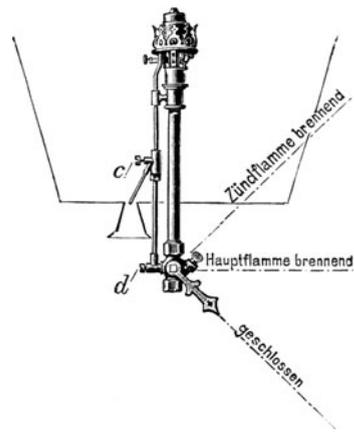
Die Hähne zum Öffnen und Schließen der Gaszufuhr zum Brenner sind stets unterhalb der Laterne angebracht. Die Laterne steht auf einem Bügel, wie dies in Fig. 399 und 400 angedeutet ist, und es befindet sich der Laternenhahn innerhalb des Zwischenraumes zwischen dem Laternenboden und dem Fuß des Bügels.

Die allgemein angewendete Form eines Laternenhahnes zeigt Fig. 401. Der Wirbel des Hahnes trägt eine Verlängerung, an welcher ein mit einer Öse versehener Hebel angebracht ist. Er wird dann durch die mit einem Haken versehene Anzündestange betätigt. In diesem Falle dreht sich also der Hebel in einer Vertikalebene. Es sind jedoch auch Hähne in Anwendung, bei welchen der Hebel zum Zweck des Öffnens und Schließens des Hahnes in einer Horizontalebene gedreht wird. Es ist dann eine Zahnübersetzung angebracht, welche diese Bewegung auf das Hahnkücken überträgt. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß beim Öffnen und Schließen des Hahnes keine so starken Stöße auf den Glühkörper ausgeübt werden. Gleich unterhalb des Hahnes ist ein nach oben stehender Stutzen angebracht, welcher mit einer dicht schließenden Schraube verschlossen werden kann. Dieser dient zum Eingießen von Spiritus, das notwendig wird, wenn eine Verlegung der Steigeleitung zur Laterne durch Naphtalin oder Eiskristalle stattgefunden hat. Diese sogenannte Auftauschraube soll bei keinem Laternenhahn fehlen.

Die Laternenhähne tragen gewöhnlich auch eine Vorrichtung zur Zündung der Flamme. In Fig. 401 ist eine Zündflamme angeordnet, wie wir dies bereits auf S. 962 besprochen haben. Das Rohr derselben muß natürlich aufwärts bis zu dem Brenner geführt werden. An Stelle der dauernd brennenden Zündflamme verwendet man auch häufig die Kletterzündung: In das nach oben gehende Rohr ist eine größere Anzahl von Gasaustrittsöffnungen gebohrt, die so angeordnet sind, daß bei der Entzündung eines Flämmchens die Flamme über die ganze Reihe fortschreitet. Zum Zweck der Zündung wird dann der Laternenhahn zunächst auf eine Mittelstellung gebracht, bei welcher sowohl die Gaszufuhr zur Hauptflamme als auch die Gaszufuhr zur Kletterzündung geöffnet ist. Nach Entzündung des untersten Flämmchens schreitet die Flamme längs des Rohres nach oben bis zum Brenner fort und entzündet diesen. Dann wird der Hahn weiter gedreht, so daß die Gaszufuhr zur Kletterzündung geschlossen wird, während die Hauptflamme geöffnet bleibt.

Die Durchschlagszündung ist zuerst von Muchall angewendet worden. Bei dieser befindet sich oberhalb des Glaszylinders des Glühlichtbrenners in dem

Fig. 401.



...nach ein Loch in eine ... in eine ... verläuft, welche das Gas nach Öffnen des Laternenhahnes nach außen führt. Es kann dann die Entzündung des hier austretenden Gasluftgemisches durch Einhalten einer

Fig. 402.



Flamme erfolgen, und die Flamme schlägt dann durch den Löffel und durch den Zylinder bis zum Brenner zurück.

Heute ist aber hauptsächlich die dauernd brennende Zündflamme in Anwendung, trotzdem der Gaskonsum derselben nicht unbedeutend ist und erspart werden könnte, wenn sich eine bessere Zündung finden würde. Wir werden hierauf bei Besprechung der Zündvorrichtungen auf S. 1027 noch näher eingehen.

Die Laternen werden von Wandarmen oder Kandelabern getragen. Wandarme verwendet man dort, wo die Laternen bequem an den Häusern angebracht werden können, namentlich in schmalen Straßen. In breiten Straßen ist die Verwendung von Wandarmen weniger zweckmäßig, weil man dadurch keine gleichmäßige Lichtverteilung erzielen kann und weil es zweckmäßiger ist, die Laternen mehr gegen die Mitte der Straße zu bringen.

Der einfachste Wandarm besteht aus einem rechtwinkelig gebogenen schmiedeeisernen Gasrohr, welches an der Wand befestigt und durch eine schräg nach abwärts zur Mauer gehende Stütze getragen wird. Diese Stütze stellt man dann gewöhnlich in entsprechender Weise verziert aus Gußeisen her. In neuerer Zeit verwendet man aber auch Stützen aus Schmiedeeisen und man kann das Rohr auch derart ausbilden, daß es die untere Kante der Stütze bildet.

Der einfachste Kandelaber zur Aufstellung von Laternen besteht aus einem gewöhnlichen Holzpfeiler, der seitlich eine Aufnahme erhält, um das Gaszuführungsrohr hinein zu verlegen. So einfache Kandelaber werden aber jetzt nur mehr in Ausnahmefällen verwendet. Man wendet beinahe ausschließlich den gußeisernen Kandelaber an. Zur Zweck der Befestigung des Kan-

im Unterteil mit dem Erdbock versehen. Dieser wird eingegraben und trägt seitliche Schlitze zur Einführung des Gaszuleitungsrohres, welches im Inneren des hohlen Kandelabers in die Höhe führt. Oben besitzt derselbe zwei Stützen zum Anlegen der Leiter, zum Zweck des Reinigens der Laterne und des Auswechslens der Glühkörper. Um vorhandene gußeiserne Kandelaber auch für Hängelicht verwenden zu können, benutzt man Aufsätze, wie sie z. B. in Fig. 402 dargestellt sind. Für sehr hohe Kandelaber, wie sie z. B. bei Starklichtlampen, Preßgaslampen usw. erforderlich sind, verwendet man mit Vorliebe Kandelaber aus Mannesmannrohren.

Die Aufhängehöhe der Laternen hängt wesentlich von der Lichtstärke derselben ab. Je stärker die betreffende Lichtquelle ist, um so höher soll man dieselbe anbringen, damit sie das horizontal gerichtete Auge nicht blendet. Außerdem aber erzielt man durch die größere Aufhängehöhe auch eine bessere Lichtverteilung, worauf wir unter dem Kapitel 70 „Lichtverteilung“ (S. 1010) noch zu sprechen kommen. Für Lichtstärken bis zu 300 HK genügt eine Aufhängehöhe von 2,5 bis 5 m.

Bei der elektrischen Bogenlichtbeleuchtung ist es sehr üblich, die Lampen in der Mitte der Straßen an Straßenüberspannungen aufzuhängen. Bei der Einführung der Preßgasbeleuchtung hat man auch schon vielfach die Preßgaslampen an derartigen Straßenüberspannungen aufgehängt. Tatsächlich ist dies heute beim Gase nicht mehr schwieriger als bei elektrischen Lampen<sup>1)</sup>. Die Lampen können entweder direkt an das Gasrohr ohne Spannseil gehängt werden<sup>2)</sup>, oder sie können auch an einem Spannseil hängen. Mittels einer Herablaßvorrichtung kann die Lampe entweder in der Mitte der Straße herabgelassen werden und müssen dann in der Straßenmitte geeignete Gasauslässe angebracht sein, um zum Zweck des Ausprobierens Gas zur Verfügung zu haben, oder aber man zieht die Lampe auf Rollen an dem Spannseil nach seitwärts und läßt sie dort herab<sup>3)</sup>. Auf alle Fälle muß eine automatisch wirkende Anschlußvorrichtung vorhanden sein, so daß beim Aufziehen der Laterne oben sofort ein gasdichter Verschuß mit der Gaszuleitung hergestellt wird. Es kann dies entweder durch ein Stopfbüchsenrohr bewirkt werden, in das ein an der Gaszuleitung befestigtes zylindrisches Rohr eintaucht, wie bei der Omnia-Aufzugsvorrichtung, bei welcher das Ablassseil gleichzeitig auch zur Bedienung des Hahnes der Laterne dient, oder es wird mit Hilfe eines Quecksilberschlusses oben eine vollständige Abdichtung erzielt. Derartige Aufzugsvorrichtungen sind auch erforderlich, wenn die Starklichtlampen auf hohen Masten aufgehängt werden, die mit der Leiter nicht mehr bestiegen werden können. Die Anlagekosten solcher hoher Kandelaber mit Aufzugsvorrichtung sind heute nicht mehr höher, als jene von elektrischen Bogenlampen auf Hochmasten<sup>4)</sup>.

Bevor Auer von Welsbach das Gasglühlicht eingeführt hatte, war man auf die Verwendung der frei brennenden Gasflamme als Beleuchtungsmittel angewiesen. Begreiflicherweise legte man daher auf die Vervollkommnung derselben hohen Wert; heute erscheint dieses Kapitel überholt, da der offene Brenner so gut wie vollständig durch das Gasglühlicht verdrängt ist. Nur

---

<sup>1)</sup> Himmel, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 135. — <sup>2)</sup> Wunderlich, ebend. 1909, S. 425. — <sup>3)</sup> Himmel, „Omnia“-Lampe, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 203. — <sup>4)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1115.

für das Acetylen besitzt der offene Brenner noch ein bedeutendes Anwendungsgebiet. Es wird daher genügen, die offenen Brenner hier nur kurz zu behandeln.

Der mit einem oder mehreren Löchern versehene ursprünglichste Brenner (Einlochröhrbrenner, Sternbrenner usw.) wurde bald durch den das Gas viel besser ausnutzenden Schnittbrenner (Stone 1805) verdrängt, der dann in Form des Hohlkopfbrenners noch verbessert wurde. Schon gegen 1830 trat der später namentlich für reiche Gase (Ölgas) verwendete Zweilochbrenner (Fischschwanzbrenner, später Braybrenner) auf, bei dem eine flache Flamme durch zwei gegeneinander gerichtete dünne Gasstrahlen erzielt wurde. Bald gesellte sich der Argandbrenner hinzu, der bereits wesentlich mehr Licht ergab als die flache Form der Flamme, die nur für sehr kohlenstoffreiche Flammen geeignet ist.

In den 80er Jahren konstruierte Friedrich Siemens seine später durch Wenham verbesserte Regenerativlampe, indem er die Flammentemperatur und

Fig. 403.

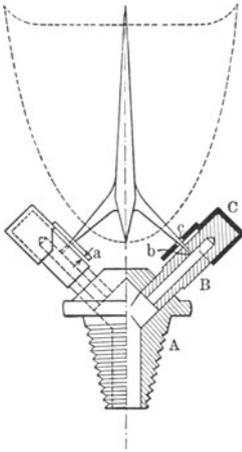
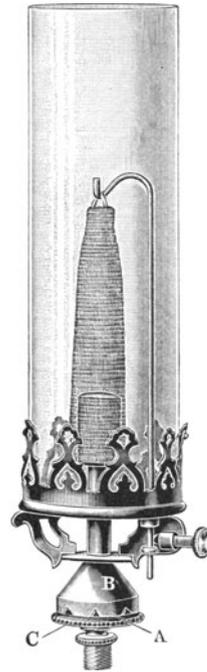


Fig. 404.



daher die Lichtstrahlung durch Vorwärmung der Verbrennungsluft wesentlich steigerte. Doch es konnten alle diese vollkommeneren Formen der selbstleuchtenden Gasflammen dem Gasglühlicht nicht standhalten. Nur das Acetylen mußte darauf zurückgreifen, weil sein hoher Kohlenstoffgehalt neben der hohen Flammentemperatur eine besonders günstige Lichtausbeute bot und weil andererseits das Acetylen in der ersten Zeit nicht für Gasglühlicht verwendbar schien, da seine hohe Entzündungsgeschwindigkeit und sein großes Explosionsbereich das Zurückschlagen der Gasglühlichtbrenner förderte. Ist diesem Übelstande heute auch durch geeignete Acetylenglühlichtbrenner abgeholfen, so verwendet man doch noch in ausgedehnter Weise die offene Acetylenflamme und sei daher der heute beinahe ausschließlich verwendete Billwillerbrenner näher beschrieben (Fig. 403). Es ist ein Zweilochbrenner, dessen beide Gasaustrittsöffnungen *b* jedoch weiter voneinander entfernt sind als bei dem Braybrenner, so daß die Luft in reicherm Maße hinzutreten

kann und um die Flamme vor direkter Berührung mit den Brennerteilen zu bewahren. Diese Maßregel allein genügt jedoch nicht, um der Flamme die nötige Luftmenge zuzuführen. Man gibt daher dem austretenden Gasstrahl durch Anordnung einer kleinen Luftöffnung *c* in der Nähe des Gasaustrittes Gelegenheit, noch etwas Luft anzusaugen. Erst durch diese Maßregel ist es möglich geworden, das Acetylgas dauernd rußfrei zu verbrennen (vgl. S. 714).

Noch mehr Schwierigkeiten bot die Konstruktion des Acetylglühllichtbrenners, die jedoch durch richtige Anwendung der Prinzipien des Bunsenbrenners (S. 78 bis 88) vollständig befriedigend gelöst wurde. Fig. 404 zeigt einen vielfach angewendeten Acetylglühllichtbrenner von Keller und Knappich.

### 69. Waggonbeleuchtung und Seebeleuchtung.

Für die Waggonbeleuchtung, sowie für die Seebeleuchtung müssen die gleichen Hilfsmittel verwendet werden, weil es sich in beiden Fällen darum handelt, ein transportables Beleuchtungsmittel zu besitzen, bei dem durch lange Zeit keine Bedienung erforderlich ist, mit dem aber doch eine durchaus gleichmäßige Lichtstärke während der ganzen Brenndauer erzielt wird. Wir behandeln daher hier Waggon- und Seebeleuchtung gemeinsam.

Die erste Eisenbahn in Deutschland, welche 1835 von Nürnberg nach Fürth gebaut wurde, besaß keinerlei Beleuchtung, da der Betrieb derselben am Abend eingestellt wurde<sup>1)</sup>. Später behalf man sich mit Kerzen, dann mit der Ölbeleuchtung. Lange Zeit wurde die Rübölbeleuchtung von Lafourie angewendet<sup>2)</sup>. 1869 führte die Preußische Eisenbahnverwaltung die von der Firma Julius Pintsch ins Leben gerufene Ölgasbeleuchtung ein, und im Jahre 1909 waren bereits 200 000 Waggons und Lokomotiven mit Ölgas versorgt.

Die Erzeugung des Ölgases haben wir bereits auf S. 663 besprochen. Die Waggons führen das Ölgas in komprimiertem Zustande mit sich. Die Komprimierung erfolgt zweistufig, auf 2,5 und 10 Atm. Das komprimierte Gas wird in einem Sammelbehälter unter einem Druck von 10 Atm. aufgespeichert. Da das Ölgas eine Anzahl von Kohlenwasserstoffen enthält, welche sich bei diesem Druck verflüssigen, scheidet sich bei der Kompression eine benzinartige Flüssigkeit aus, welche den intensiven Geruch des Ölgases besitzt, sehr leicht verdampfbar ist und mit stark rußender Flamme brennt. Diese Flüssigkeit, die rundweg als „Kohlenwasserstoff“ bezeichnet wird, findet in ähnlicher Weise wie Benzin die verschiedensten Verwendungszwecke. Von dem Sammelbehälter führen Rohrleitungen zu den Geleisen, und starke Schläuche mit einem am Mundstück angebrachten Manometer führen das Gas zu den Wagenbehältern (Rezipienten), welche sich unter den Waggons befinden. In diese läßt man das Gas bis zu einem Druck von 6 Atm. einströmen.

Um jedoch die Füllung der Behälter auch außerhalb jener Stationen welche eine Ölgasanstalt besitzen, vornehmen zu können, werden eigene Gastransportwagen verwendet, welche Behälter bis zu 10 m<sup>3</sup> Inhalt führen und bei 12 Atm. Druck 120 m<sup>3</sup> Gas enthalten. Diese Behälter der Gastransport-

<sup>1)</sup> Görger, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 209. — <sup>2)</sup> Spitzer, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 588.

wagen lassen sich naturgemäß nur bis auf 6 Atm. herab entleeren, wenn der Druck in den betreffenden Waggonbehältern 6 Atm. erreichen soll. Es werden daher auch Gaswagen mit Preßpumpeneinrichtungen versehen <sup>1)</sup>, mit Hilfe welcher das Gas aus den Gastransportwagen vollständig entleert werden kann. Auch kleinere Eisenbahnstationen mit geringem Lichtbedarf können auf diese Weise mit Ölgasbeleuchtung versehen werden.

Die Einrichtung des Eisenbahnwagens selbst besteht aus dem bereits besprochenen Gasrezipienten

Fig. 405.

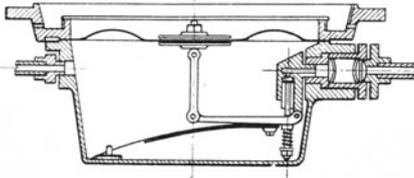
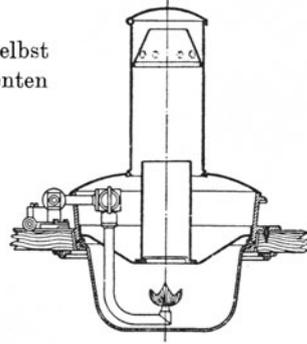


Fig. 406.



mit Füllhahn, der Hochdruckleitung mit Absperrhahn und dem Druckregler, welcher in Fig. 405 abgebildet ist. Der Druckregler muß gegen Stöße vollständig unempfindlich sein und darf daher keine großen beweglichen Massen enthalten.

Fig. 407.

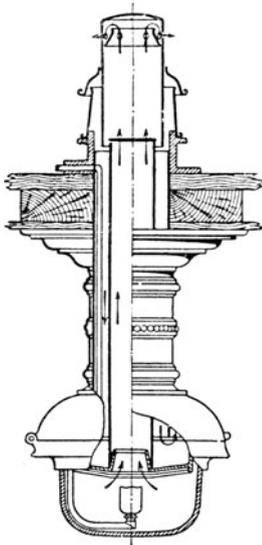
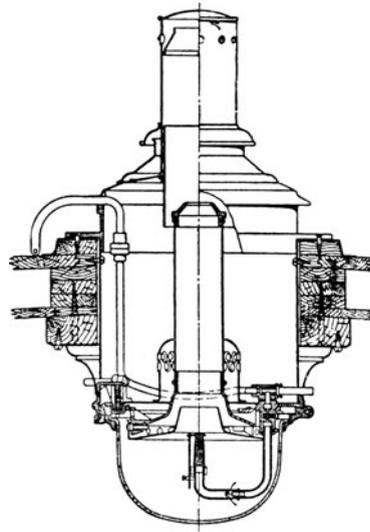


Fig. 408.



Man verwendet ausnahmslos trockene Membranregler, bei denen die Belastung mit Hilfe einer Feder erfolgt. Die Membrane steht durch einen Hebel mit einem Ventil in Verbindung, welches das vom Behälter kommende Gas absperrt, sowie sich die Membrane zufolge des unter ihr lastenden Druckes hebt. Vom Druck-

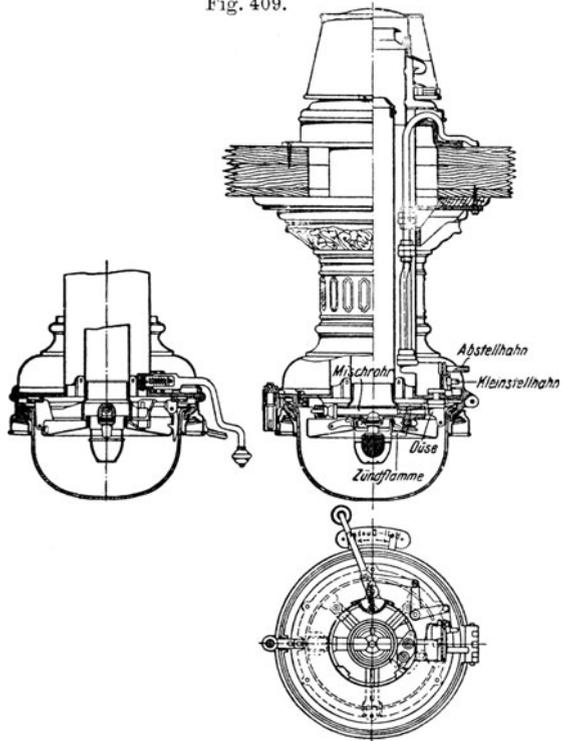
<sup>1)</sup> Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1911, Heft 20; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1262.

regler geht das Gas durch die Niederdruckleitung, welche außerhalb des Wagens verlegt wird, um Undichtheiten unschädlich zu machen und einen Haupthahn enthält, zu den Beleuchtungskörpern. Die Lampen bestehen aus Gehäuse, Reflektor und Brenner. Letztere sind herausklappbar um die Lampen reinigen zu können. Der früher verwendete Zweilochbrenner gab bei 27,6 Liter Stundenkonsum 6 HK. Er flackerte jedoch schon bei geringem Luftzug. Fig. 406 zeigt eine derartige einfache Ölgaswaggonlampe. Eine Lampe für Oberlichtaufbau ist in Fig. 407 dargestellt.

In den Jahren 1897 und 1898 wurden dann von Pintsch die ersten Versuche der Zumischung von Acetylen zum Ölgas gemacht, was eine weitere Verbesserung der Waggonbeleuchtung ergab. Während das reine Ölgas bei 27 Liter Stundenkonsum nur 5,5 HK ergab, wurde durch den Acetylenzusatz bei gleichem Konsum im gleichen Brenner eine Lichtstärke von 13,3 HK erzielt. Der Vorteil war nicht nur eine wesentlich stärkere Beleuchtung der Waggons, sondern auch eine wesentlich größere Brenndauer bei gleichem Behälter. Durch ausführliche Versuche wurde nachgewiesen, daß Gemische bis zu 33 Proz. Acetylengehalt bei Drucken von 10 Atm. und mehr nicht mehr explosiv sind (s. S. 713), während bekanntlich Acetylen schon bei einem Drucke von 2 Atm. einen außerordentlich explosiven Stoff darstellt. Die Mischung der beiden Gase muß schon vor der Komprimierung erfolgen; die Abmessung wird mittels zweier Gasmesser, die mit einer Gallschen Kette gekuppelt sind, vorgenommen. Acetylen- und Ölgas werden dann in einer gemeinsamen Leitung zur Kompressionspumpe zugeführt. Die Komprimierung und sonstige Einrichtung ist bei Verwendung des Gemisches von Acetylen und Ölgas die gleiche, wie bei Verwendung von reinem Ölgas.

Schon im Jahre 1894 wurden die ersten Versuche der Waggonbeleuchtung mit Gasglühlicht vorgenommen. Die Glühkörper waren jedoch damals zu gebrechlich. Sie wurden aber im Laufe der Jahre so verbessert, daß die französische Ostbahn im Jahre 1904 bereits 200 Wagen mit stehendem Gasglühlicht mit den in Fig. 408 dargestellten Lampen beleuchtete. Die Lebens-

Fig. 409.



Die Mischung der beiden Gase muß schon vor der Komprimierung erfolgen; die Abmessung wird mittels zweier Gasmesser, die mit einer Gallschen Kette gekuppelt sind, vorgenommen. Acetylen- und Ölgas werden dann in einer gemeinsamen Leitung zur Kompressionspumpe zugeführt. Die Komprimierung und sonstige Einrichtung ist bei Verwendung des Gemisches von Acetylen und Ölgas die gleiche, wie bei Verwendung von reinem Ölgas.

dauer der Glühkörper betrug damals bereits 280 Stunden. Den wichtigsten Fortschritt aber erfuhr die Waggonbeleuchtung durch die Einführung des hängenden Ölgasglühlichtes. Es wurde zuerst von Farkas auf der französischen Westbahn erprobt<sup>1)</sup>. In Deutschland und Österreich wurde das Invertlicht von Pintsch eingeführt. Bei dieser Lampe, Fig. 409, wird der Bunsenbrenner mit einem Knie in den Glühkörper hineingeschlagen. Die Glühkörper haben einen Schutzkorb, damit sie nicht mit der Hand berührt werden müssen. Der Reflektor kann herabgeklappt werden; der hohe Verbrauch an Glühkörpern ist durch die Einführung des Hängelichtes überwunden. Der Lichteffect ist ein außerordentlich günstiger, denn es ergibt sich bei einem Stundenverbrauch von 18 Litern Ölgas eine Lichtstärke von 43,3 HK, bei 26 Litern Gaskonsum 59,3 HK und bei 33 Litern Gasverbrauch 74,5 HK. Es ist auch weniger reiches Gas verwendbar, weil das Volumen des Gasbehälters bei diesem geringen Konsum ein vollständig ausreichendes ist. Auch der Zusatz von Acetylen zum Ölgas ist durch die Einführung des Glühlichtes überflüssig geworden, ja selbst Steinkohlengas kann jetzt zur Waggonbeleuchtung verwendet werden. Probeweise wurde dies bei der Isle of Wight Central Railway eingeführt<sup>2)</sup>.

In dem letzten Jahrzehnt hat auch das elektrische Licht bei der Waggonbeleuchtung wesentliche Fortschritte erzielt. Die Erläuterung derselben fällt jedoch nicht in den Rahmen dieses Buches; wohl aber muß darauf hingewiesen werden, daß bei Vergleichen mit der elektrischen Beleuchtung das Ölgas häufig als sehr gefährlich hingestellt wird, weil bei Zusammenstößen Brände vorgekommen sind. Betrachtet man jedoch die Umstände, welche dabei maßgeblich waren, näher, so findet man in den meisten Fällen, daß nicht das Ölgas an sich Schuld an diesen Bränden trägt. So z. B. fand in einzelnen Fällen die Inbrandsetzung durch einen elektrisch beleuchteten Postwagen statt<sup>3)</sup>. In anderen Fällen entzündete sich das Gas nur dadurch, daß das Feuer der Lokomotive unvorsichtigerweise an den Wagen herangebracht wurde, bei welchem eine Gasausströmung vorhanden war<sup>4)</sup>. Dagegen sind auch wiederholt Zusammenstöße vorgekommen, bei welchen beide Züge mit Gas beleuchtet waren und wobei kein Brand entstand<sup>5)</sup>.

Aus alledem ist zu ersehen, daß durchaus nicht jeder Brand bei einem Zusammenstoß auf die Gasbeleuchtung zu schieben ist. Das Gas kann sich eben nur dann entzünden, wenn das Feuer der Lokomotive hinzukommt, und von diesem können auch Wagen mit elektrischer Beleuchtung entzündet werden. Überdies sind bei der elektrischen Beleuchtung ebenfalls eine Reihe von Bränden aufgetreten, welche durch Kurzschluß veranlaßt waren<sup>6)</sup>. Es kann sogar gesagt werden, daß die Gasbeleuchtung beim normalen Betriebe sicherer ist als die elektrische Beleuchtung, da letztere auch während normaler Fahrt Brände erzeugen kann, wo bei Gasbeleuchtung eine Gefahr vollständig

---

<sup>1)</sup> Prasch, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 465. — <sup>2)</sup> Prasch, ebend. 1909, S. 465. — <sup>3)</sup> Bei Herlisheim, s. Spitzer, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 588. — <sup>4)</sup> Bei Uhersko. — <sup>5)</sup> Z. B. bei Rottenmann. Eine Zusammenstellung von Unfällen, bei welchen die elektrische Beleuchtung der Wagen eine Rolle gespielt hat, s. Gorrlicher, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 193. — <sup>6)</sup> Z. B. bei einem Schlafwagen der Pennsylvaniabahn und beim Luxuszug Kopenhagen-Berlin, ferner in Liverpool.

ausgeschlossen ist. Demgegenüber treten die Gefahren beim Zusammenstoß in den Hintergrund <sup>1)</sup>).

Die Gasbeleuchtung hat aber den weiteren Vorteil, daß die Einrichtungskosten nur etwa ein Drittel jener der elektrischen Einrichtung betragen <sup>2)</sup>. Das Gewicht einer Einrichtung für das Gas beträgt 800 bis 900 kg, der Preis des auf 10 Atm. komprimierten Ölgases beträgt in Österreich 49,5 Heller pro Kubikmeter, einschließlich Verzinsung und Amortisation der Anlagekosten. Der Gasverbrauch stellt sich pro Hefnerkerze und Stunde auf 0,03 Heller und der Glühkörperverbrauch auf 0,004 Heller, zusammen kostet also die HK-Stunde bei Gasbeleuchtung 0,035 Heller <sup>3)</sup>. Dagegen muß dem elektrischen Licht der Vorteil zuerkannt werden, daß es eine bessere Verteilung des Lichtes im Raume ermöglicht, weil kein Rauchabzug erforderlich ist und die elektrische Lampe daher an jeder beliebigen Stelle angebracht werden kann. Eine Verdrängung des Gases bei der Waggonbeleuchtung durch Elektrizität ist aber nach dem oben Gesagten nicht anzunehmen <sup>4)</sup>.

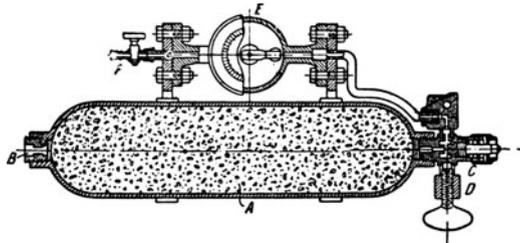
Jedenfalls sollte darauf gedrungen werden, daß die Beleuchtung der Eisenbahnwagen nicht, wie dies bei elektrischer Beleuchtung häufig der Fall ist, durch die Ersparnissucht eingeschränkt werde, weil der Wechsel von Hell zum Dunklen bei der Bahnfahrt sehr oft eintritt und für die Augen sehr unzutraglich ist <sup>5)</sup>.

Außer dem Ölgas erscheint auch besonders das Blaugas (S. 680) für die Waggonbeleuchtung geeignet. Es wird in ähnlicher Weise angewendet werden

können wie das Ölgas, hat aber den Vorteil, daß es in kleineren Behältern untergebracht werden kann, weil es sich unter Druck verflüssigt. Die Resultate von Versuchen hierüber müssen erst abgewartet werden.

Auch das Acetylen wurde versuchsweise für die Waggonbeleuchtung verwendet. Im komprimierten Zustande kann dasselbe wegen der hohen Explosionsgefahr, die hiermit verbunden wäre (S. 694) nicht verwendet werden. Man hat deshalb versucht, eigene Acetyलगasentwickler in die Wagen einzubauen, jedoch bewährt sich dies nicht, da dieselben zu viel Bedienung erfordern und außerdem der Gefahr des Einfrierens ausgesetzt sind. Hingegen erscheint das Acetylen dissous berufen, eine Rolle bei der Waggonbeleuchtung zu spielen, wenn es zu entsprechend billigen Preisen geliefert werden kann. Im Invertglühlicht läßt sich das Acetylen allerdings vorläufig noch nicht verwenden, da es sich durch die Überhitzung zersetzt <sup>6)</sup>. Fig. 410 zeigt einen

Fig. 410.



<sup>1)</sup> Auch Willinger betont, daß ihm kein einziger Fall einer Gasexplosion bei einem Zusammenstoß bekannt sei. (Siehe Spitzer, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 588.) — <sup>2)</sup> Nach Gorlitzer, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 193, 1500 bis 1800 Kronen, gegenüber 4500 Kronen bei der elektrischen Beleuchtung. — <sup>3)</sup> Gegenüber 0,6 Heller für die HK-Stunde bei elektrischer Beleuchtung. — <sup>4)</sup> Über Gasglühlichtbeleuchtung in Personenwagen, Österr.-ung. Eisenbahnblatt XIV, S. 409; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 582. — <sup>5)</sup> Prasch, ebend. 1909, S. 465. — <sup>6)</sup> Prasch, „Beleuchtung der Eisenbahnwagen“, ebend. 1909, S. 465.

mit poröser Masse gefüllten Behälter, der die Acetonacetylenlösung aufnimmt. Jeder solche Behälter erhält einen Pfropfen aus einer Legierung von Zink mit Blei und Zinn, welche bei  $121^{\circ}\text{C}$  schmilzt. Bei einer Erwärmung des Behälters von außen schmilzt dieser Pfropfen noch früher, als innen eine Temperatur von  $60^{\circ}$  erreicht wird. Bei dieser Temperatursteigerung kann aber der Druck nur auf das Doppelte zunehmen, so daß eine Explosionsgefahr ausgeschlossen ist. Für eine Brenndauer von 16 Stunden werden pro Flamme von 15 Liter Konsum 2,5 Liter der porösen Masse gebraucht. Der Vorteil des Acetylen dissolved für die Waggonbeleuchtung liegt daher in dem geringen Gewichte. 4000 Liter Acetylen wiegen in diesem Zustande nur 82 kg. Sie nehmen einen Raum von  $0,5\text{ m}^3$  ein bei 1,17 m Länge, und da eine Flamme von 16 HK 11,2 Liter stündlich erfordert, so genügt eine Flasche für 357 Stunden. Diese Beleuchtungsart wird sich also hauptsächlich dort Eingang verschaffen können, wo es sich darum handelt, den Vorrat an Beleuchtungsmittel möglichst leicht zu gestalten, also namentlich auch für automobile Fuhrwerke.

In ganz ähnlicher Weise wie die Waggonbeleuchtung wird auch die Seebeleuchtung mit Hilfe von Ölgas oder Blaugas ausgeführt. Hier handelt es sich allerdings nicht nur um die Erzielung einer bestimmten Erhellung eines Raumes, sondern vornehmlich darum, einem Schiffe seinen Standpunkt in der Nähe der Küste erkenntlich zu machen. Schon seit den ältesten Zeiten wurden hierfür die Leuchtfeuer verwendet. Das erste wurde auf dem großen Turm auf der Insel Pharos vor Alexandria gegen 300 v. Chr. errichtet<sup>1)</sup>.

Die Entfernung, auf welche das Licht sichtbar ist (die Lichtweite), ist abhängig von der Höhe des Leuchtfeuers und von der Krümmung der Erde. Die Tragweite eines Leuchtfeuers hingegen ist von der Stärke des Lichtes und von der Durchsichtigkeit der Luft abhängig. Bei den deutschen Leuchtfeuern gilt als Norm, daß die Tragweite in 83 Proz. aller Nächte gleich der Lichtweite sein soll. Bei untergeordneten Leuchtfeuern genügen 50 Proz.<sup>2)</sup>

Zur Konzentration des Lichtes nach einer bestimmten Richtung verwendet man Parabolspiegel. Bei diesen geht jedoch ein Teil des Lichtes innerhalb eines bestimmten Streuwinkels verloren. Man schaltet daher vor die Öffnung des Spiegels eine Linse. Fresnel konstruierte die Gürtellinse, die aus übereinander gelagerten, ringförmigen Prismen besteht. Läßt man dagegen das Profil der Gürtellinse um eine horizontale Achse rotieren, so erhält man den sogenannten „Scheinwerfer“. Ein solcher gibt einen Lichtkegel über einen nur geringen horizontalen Winkel. Wenn sich nun der Scheinwerfer um seine vertikale Achse dreht, so entsteht das sogenannte Blitzfeuer. Um bestimmte Leuchttürme für die Schiffe kenntlich zu machen, werden verschiedene Anordnungen von Einzelblitzen und Gruppenblitzen gegeben. Man nennt dies die Kennung des Feuers. Die Drehung des oft 2000 kg wiegenden Apparates erfordert viel Kraft, daher hat Bourdelles das Gewicht in einem eisernen, auf Quecksilber schwimmenden Ringe aufgenommen, so daß trotz des großen Gewichtes eine Umdrehung in 10 bis 15 Sek. mittels eines einfachen Gewichtsmotors zustande gebracht wird. Die Dauer der Blitze beträgt 0,1 bis 0,2 Sek. Die Folge der Blitze 3 bis 4 Sek.

<sup>1)</sup> Allard, Geschichte der Leuchttürme: „Les Phares“ und Veitmayer, „Leuchtfeuer und Leuchtapparate“. — <sup>2)</sup> Grundsätze für die Leuchtfeuer und Nebelsignale der deutschen Küsten 1904; Allard, Memoire sur l'intensité et la portée des phares.

Bei anderen Konstruktionen werden Leuchtfeuer mit Gürtellinsen oder Scheinwerfer mit Blenden versehen, die aus drehbaren, jalousieartig zusammengesetzten Blechstreifen bestehen, welche letztere vom Uhrwerk bewegt werden.

Als Leuchtfeuer verwendete man ehemals Holzfeuer, später Kerzen und auch offenes Steinkohlenfeuer, dann Petroleumlampen mit mehreren (bis zu sechs) konzentrischen Dochten. Jetzt dient hierzu hauptsächlich das Petroleumglühlicht und das Ölgas. Die offenen Gasbrenner, die mit Ölgas gespeist werden und namentlich auch zur Beleuchtung der Bojen dienen, sind jetzt in Deutschland durch Glühlicht ersetzt, welches zufolge des hohen Druckes des im Hohlraume der Boje komprimierten Ölgases als Preßgaslicht angewendet wird.

Die Gasboje wird von einem Gasbeförderungsdampfer in gleicher Weise mit Ölgas gefüllt, wie dies bei der Waggonbeleuchtung durch die Gasbeförderungswagen geschieht, d. h. mit Hilfe großer Behälter, welche in dem Schiffe untergebracht sind und Ölgas unter 12 Atm. Druck aufgespeichert enthalten.

Fig. 411 zeigt, wie das Nachsehen des Brenners einer Boje durchgeführt wird. Der Druckregulator befindet sich bei diesen Vorrichtungen in der Laterne selbst. Man brannte das Gas früher aus Doppelring-Ar gandbrennern, später in stehendem Glühlicht, in letzter Zeit aber auch als Hängelicht. Der hohe Gasdruck gibt gleichzeitig auch das Mittel ab, den Blitzlichtapparat motorisch zu betreiben<sup>1)</sup>.

Durch die Anwendung von Selenzellen ist es möglich geworden, das Licht bei Tag automatisch zu löschen. Selen ist nämlich im belichteten Zustande ein besserer Elektrizitätsleiter als im Dunkeln und schaltet daher mittelst eines Relais einen stärkeren Strom ein, welcher ein Ventil öffnet, wonach sich das Gas an einer Zündflamme entzündet, sobald das Tageslicht verschwindet.

Für diese Art der Beleuchtung kann natürlich ebenso wie für die Waggonbeleuchtung Blaugas und Acétylen dissous verwendet werden. Letzteres hat speziell in Schweden Eingang gefunden. Um Schiffe bei starkem Nebel zu warnen, sind manche Bojen mit Schallsignalen ausgerüstet. Es sind dies Glocken, welche an den von den Wellen bewegten Bojen angebracht sind. Bei den sogenannten „Heulbojen“ wird durch die Auf- und Abwärtsbewegung der Boje Luft angesaugt und komprimiert, die dann eine Dampfpeife betreibt. In England wird auch die Gaspressung auf unbemannten Feuerschiffen dazu benutzt, um ein Glockenwerk zu betätigen.

Fig. 411.



<sup>1)</sup> Klebert, „Leuchtfeuer und Nebelsignale“, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 445.

## 70. Lichtverteilung.

### Straßenbeleuchtung und Innenbeleuchtung.

Nicht nur die Menge des Lichtes, welche man in einem Innenraume oder auf der Straße anwendet, ist von Bedeutung, sondern in beinahe noch höherem Grade ist die Art und Weise der Verteilung des Lichtes von Wichtigkeit. In früheren Zeiten wurde auf diesen Umstand wenig Wert gelegt, und Weber war der erste, welcher ein praktisches Photometer für die Bestimmung der Platzhelligkeit konstruierte. Heute gibt es bereits eine ganze Anzahl derartiger Instrumente (vgl. S. 167 bis 173), doch werden dieselben leider verhältnismäßig wenig verwendet. In allen Zweigen der Technik hält man bei der Übernahme ausgeführter Anlagen die messende Prüfung zum Nachweis der Leistungsfähigkeit der gelieferten Apparate erforderlich, nur bei Übernahme von Beleuchtungsanlagen ist ein solcher Vorgang nicht üblich. Da begnügt man sich gewöhnlich mit dem bloßen Augenschein. Eventuell wird durch Lesen von Druckschriften die Beleuchtungsstärke geprüft; man sollte aber bei der Übernahme von Beleuchtungsanlagen mit der gleichen Sorgfalt vorgehen, um die genügende Belichtung messend zu kontrollieren. Ebenso sollte man sich schon beim Entwerfen einer Beleuchtungsanlage nicht mit dem Quotienten:

$$\frac{\text{Lampenzahl} \times \text{Lichtstärke}}{\text{Fußbodenfläche}}$$

begnügen<sup>1)</sup>.

Die Definition der Beleuchtungsstärke und die Art der Bestimmung derselben haben wir bereits in den Kapiteln „Photometrische Grundbegriffe“ (S. 131) und „Photometrie“ (S. 154) besprochen. Hier wollen wir zunächst betrachten, welche Beleuchtungsstärken für das Auge zuträglich sind. Wir könnten uns zunächst an die natürlichen Verhältnisse der Tageslichtbeleuchtung anlehnen; wir finden aber, daß dieselben außerordentlich stark wechselnde sind und unser Auge vermag in der umfangreichsten Weise den verschiedenen Stärken der Beleuchtung durch die Akkommodation Folge zu leisten. Im Freien schwankt die Beleuchtung vom dunkelsten Wintertage bis zum hellsten Sommertage zwischen 655 Lux und 154 000 Lux<sup>2)</sup>. Auch im Laufe des Tages ist die Intensität der Beleuchtung starken Schwankungen ausgesetzt. So fand z. B. Lewison<sup>3)</sup> zwischen 8<sup>h</sup> früh und 4<sup>h</sup> nachmittags Beleuchtungsstärken im Freien von 23 500 bis 94 500 Lux. Vergleichen wir damit das Licht, welches wir im Freien an einem vollständig klaren Vollmondabend haben, so finden wir 0,36 Lux. Schon dieser Vergleich zeigt, wie außerordentlich anpassungsfähig unser Auge ist, denn selbst an einem Vollmondabend können wir Gegenstände im Freien noch mit genügender Deutlichkeit wahrnehmen, und selbst bei hellem Sonnenschein, der eine 500 000fach stärkere Beleuchtung liefert, kann das Auge noch diese Lichtmenge bewältigen.

<sup>1)</sup> Niesiolowsky-Gawin, „Erfahrungen mit indirekter Gasbeleuchtung in Schulräumen“, „Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie- und Geniewesens“ 1908, Heft 8; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 570. — <sup>2)</sup> Weber, „Handbuch der Hygiene“ 1895, S. 71. — <sup>3)</sup> Behl, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 267.

Vergleichsweise sei noch hinzugefügt, daß die Beleuchtungsstärke bei klarem Sternenhimmel, jedoch Neumond, mit 0,012 Lux gemessen wurde.

Wenn wir uns nun klar darüber werden wollen, welche Beleuchtungsstärken wir bei der künstlichen Beleuchtung verlangen sollen, so müssen wir uns eigentlich an die Beleuchtung eines klaren Tages halten. Aber die Beleuchtung ist an solchen Tagen so intensiv, daß wir mit unseren künstlichen Beleuchtungsmitteln vorderhand diese Lichtmengen praktisch noch nicht liefern können. Wir machen uns also die große Akkommodationsfähigkeit des Auges zunutze und geben uns mit geringeren Beleuchtungsstärken zufrieden.

Bertelsmann<sup>1)</sup> empfiehlt als Grundlagen für die Mindestbeleuchtung die nachstehenden Beleuchtungsstärken.

Nebenstraßen mit schwachem Verkehr und Zierplätze . .	0,3 bis 0,5 Lux,
Nebenstraßen mit stärkerem Verkehr . . . . .	0,5 „ 1,0 „
Hauptstraßen . . . . .	1,5 „ 2,0 „
Hauptstraßen mit starkem Verkehr und Verkehrsplätze . .	3,5 „ 5,0 „ <sup>2)</sup> .

Es ist indessen zu berücksichtigen, daß in den verkehrsreichen Straßen der Großstädte weit stärkere Beleuchtungsstärken angewendet werden und auch notwendig sind. So z. B. besitzt der Potsdamerplatz in Berlin, der mit Preßgas beleuchtet ist, eine mittlere Beleuchtungsstärke von 25 Lux<sup>3)</sup>.

Auch die Beleuchtung im Inneren ist noch eine mangelhafte und reicht noch lange nicht an die Beleuchtungsstärke heran, wie sie bei Tageslicht herrscht. An klaren Tagen haben Plätze knapp beim Fenster eine Beleuchtungsstärke bis zu 2000 Lux. Die Belichtung ist dabei keine zu starke, was schon daraus hervorgeht, daß man zum Zwecke feinerer Arbeiten: Schreiben, Zeichnen oder dgl. auch an klaren Tagen gern den Fensterplatz aufsucht. Allerdings nimmt die Beleuchtung nach dem Inneren des Zimmers auch bei Tag sehr rasch ab, so z. B. wurden in den Gemeindeschulen Berlins Beleuchtungsstärken an verschiedenen Plätzen von 5 bis 500 Lux schwankend gefunden. Die zu geringe Beleuchtung, namentlich in Schulen, ist aber die Ursache der weiten Verbreitung der Kurzsichtigkeit. Die meisten Augenkrankheiten entstehen im Kindesalter<sup>4)</sup>. In Gymnasien wurden 64 Proz. der Schüler als kurzsichtig befunden. Dies hat eben die Ursache darin, daß nicht nur die künstliche Beleuchtung, sondern auch die natürliche Beleuchtung oft ungenügend ist. Das Lichtbedürfnis wächst allerdings auch sehr stark mit der Möglichkeit, dasselbe zu befriedigen. Von Cohn, der sehr umfangreiche Untersuchungen über den Einfluß der Beleuchtung in Schulen auf die Augen der Schüler angestellt hatte, wurde vor etwa 20 Jahren als Minimum der Beleuchtungsstärke 12 Hefner-Meterkerzen (Lux) angegeben. Heute erscheint dieser Betrag ungenügend und verlangt man heute in Schulen selbst am dunkelsten Platz mindestens die doppelte Beleuchtungsstärke. Wünschenswert sind aber 30 bis 60 Lux.

Natürlich muß die Helligkeit der Innenbeleuchtung den Bedürfnissen des betreffenden Raumes angepaßt werden. Man kann den heutigen Bedürfnissen

<sup>1)</sup> Lehrbuch der Leuchtgasindustrie II, 13; Stuttgart, Verlag Enke, 1911, S. 261. — <sup>2)</sup> Vgl. auch Harrison, Illum. Engin., November 1908; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 41. — <sup>3)</sup> Drehschmidt, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 49. — <sup>4)</sup> Freytag, ebend. 1910, S. 49.

entsprechend, die aber in beständigem Steigen begriffen sind, nachstehende Zahlen als Grundlagen annehmen:

Nebenräume, Flure und Schlafräume . . . . .	10 Lux
Lagerräume . . . . .	10 bis 15 "
Einfache Wohnzimmer, Spinnereien . . . . .	15 " 20 "
Bessere Wohnräume, Fabrikräume . . . . .	20 " 30 "
Maschinenfabriken, Webereien, Schlossereien . . . . .	25 " 35 "
Werkstätten für Feinmechanik, Bureaus, Verkaufsräume, Konzert- und Festsäle . . . . .	35 " 50 "
Druckereien und Setzereien . . . . .	40 " 60 "
Schulzimmer . . . . .	30 " 60 "
Verkaufsräume und Säle mit reichlicher Beleuchtung .	60 " 80 "
Zeichensäle und Arbeitsräume für besonders feine Arbeit	80 " 100 "

Zum Zwecke der Berechnung der Beleuchtung ist Nachstehendes zu beachten <sup>1)</sup>.

Bedeutet gemäß Fig. 412  $f$  ein horizontal liegendes Flächenstück, dessen Beleuchtungsstärke bestimmt werden soll,  $L$  die Lichtquelle,  $h$  die vertikale Höhe derselben über der horizontalen Ebene, in welcher dieses Flächenstück  $f$

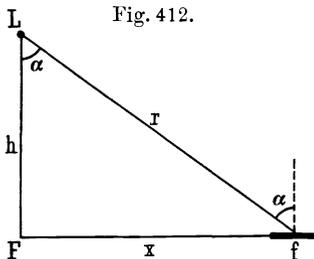


Fig. 412.

liegt,  $x$  die Entfernung des Flächenelementes  $f$  vom Fußpunkt der Lichtquelle  $F$ ,  $\alpha$  den Winkel des Lichtstrahles  $r$ , den derselbe mit der Vertikalen einschließt, und  $r$  die Entfernung des Flächenstückes  $f$  von der Lichtquelle  $L$ , so würde die Beleuchtung, im Falle dieses Flächenstück senkrecht zum Lichtstrahl  $r$  stehen würde,  $\frac{J_\alpha}{r^2}$

betragen, wobei  $J_\alpha$  die unter dem Winkel  $\alpha$  ausgesendete Lichtstärke bedeutet. Es ist dies die sogenannte Normalbeleuchtung. Steht jedoch das Flächenelement  $f$  nicht senkrecht zum Lichtstrahl  $r$ , sondern liegt dasselbe in der Horizontalebene, so wird dasselbe unter dem Einfallswinkel  $\alpha$  von dem Lichtstrahl getroffen und dementsprechend ist seine Beleuchtung schwächer. Man findet dieselbe, indem man die vorgenannte Normalbeleuchtung mit  $\cos \alpha$  multipliziert. Es ist somit die Horizontalbeleuchtung  $E_h$  dieses Flächenstückes  $f$

$$E_h = \frac{J_\alpha \cos \alpha}{r^2}.$$

Da nun  $r^2 = \frac{x^2}{\sin^2 \alpha}$  ist, so kann man auch schreiben:

$$E_h = \frac{J_\alpha \sin^2 \alpha \cos \alpha}{x^2}.$$

Ferner ergibt sich unter Berücksichtigung, daß  $r = \frac{h}{\cos \alpha}$ :

$$\cos \alpha = \frac{h}{r}; E_h = J_\alpha \frac{h}{r^3} = J_\alpha \frac{\cos^3 \alpha}{h^2}.$$

Ebenso ergibt sich die Normalbeleuchtung

$$E_n = \frac{J_\alpha}{r^2} = J_\alpha \frac{\cos^2 \alpha}{h^2} = J_\alpha \frac{\sin^2 \alpha}{x^2}.$$

<sup>1)</sup> Siehe auch Bloch, „Grundzüge der Beleuchtungstechnik“; Berlin, Verlag Springer, 1907.

Steht hingegen das Flächenelement  $f$  nicht horizontal, sondern vertikal, so ergibt sich die sogenannte vertikale Beleuchtungsstärke

$$E_v = \frac{J_\alpha \sin \alpha}{r^2} = J_\alpha \frac{x}{r^3} = J_\alpha \frac{\sin \alpha \cos^2 \alpha}{h^2}.$$

Zur Berechnung der horizontalen Beleuchtung kann man sich bequem der von Liebenthal<sup>1)</sup> angegebenen Tabelle bedienen, die im Nachstehenden wiedergegeben ist. In dieser ist die Beleuchtungsstärke eines horizontalen

$x'$ m	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	100,0	98,5	94,3	87,9	80,0	71,6	63,0	55,0	47,6	41,1
1	35,4	30,4	26,2	22,7	19,6	17,1	14,9	13,0	11,5	10,1
2	8,94	7,95	7,09	6,34	5,69	5,12	4,63	4,19	3,80	3,46
3	3,16	2,89	2,65	2,44	2,25	2,07	1,92	1,78	1,65	1,53
4	1,43	1,33	1,24	1,16	1,09	1,02	0,96	0,90	0,85	0,80
5	0,75	0,71	0,67	0,64	0,60	0,57	0,54	0,52	0,49	0,47

Flächenelementes wiedergegeben unter der Voraussetzung, daß die Lichtstärke unter dem Winkel  $\alpha$  100 HK beträgt und daß die Entfernung des Flächenelementes von dem Fußpunkte  $x'$  beträgt, während die Höhe der Lichtquelle über der horizontalen Ebene mit 1 m angenommen ist. Hat man somit mit der Höhe  $h$  und mit der Entfernung des Flächenelementes  $x$  zu rechnen, so ist zu setzen

$$x' = \frac{x}{h},$$

und für diesen Wert von  $x'$  ist die Beleuchtungsstärke  $p'$  aus der Tabelle aufzusuchen. Dann ergibt sich die horizontale Beleuchtungsstärke  $E_h$  aus der Formel:

$$E_h = \frac{p'}{h^2} \cdot \frac{J_\alpha}{100}.$$

Nach Weber<sup>2)</sup> kann man auch mit Hilfe von Kurventafeln an Stelle einer Tabelle in ähnlicher Weise die horizontale Lichtstärke bestimmen.

Wie aus obigen Formeln ersichtlich, sind die Größen  $J_\alpha$ ,  $\cos^3 \alpha$ ,  $J_\alpha \cos^2 \alpha$ ,  $J_\alpha \sin \alpha \cos^2 \alpha$  für die Berechnung der Beleuchtung von besonderer Bedeutung. Alle diese Größen lassen sich nach Maréchal<sup>3)</sup> einfach auf graphischem Wege ermitteln. Ferner hat Edler<sup>4)</sup> eine graphische Methode zur Ermittlung der Beleuchtung einer Fläche unterhalb einer Lichtquelle angegeben.

In den meisten Fällen, wo es sich um die Berechnung der Beleuchtung handelt, kommt nicht eine einzige Lichtquelle, sondern eine größere Anzahl von Lichtquellen in Betracht. Zur Bestimmung der horizontalen Beleuchtungsstärken braucht man in diesem Falle nur die Beleuchtung zu bestimmen, welche jede einzelne der Lichtquellen auf dem betreffenden Flächenelement hervorruft, und diese einzelnen Beleuchtungsstärken zu addieren. Da bei

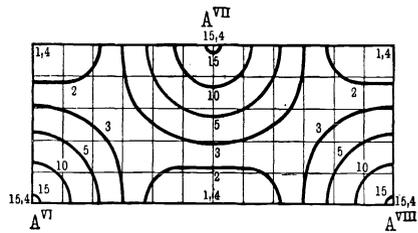
<sup>1)</sup> „Praktische Photometrie“, S. 434; Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1907. — <sup>2)</sup> Kurven zur Berechnung der von künstlichen Lichtquellen indizierten Helligkeit; Berlin, Verlag Springer, 1885. — <sup>3)</sup> Liebenthal, „Praktische Photometrie“, S. 364. — <sup>4)</sup> „Elektrotechnik und Maschinenbau“ 27, 293; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 203.



Man kann auch eine graphische Darstellung der Lichtverteilung auf einer horizontalen Fläche dadurch erhalten, daß man die Lichtstärken an den einzelnen Stellen von dieser Fläche in vertikaler Richtung nach oben aufträgt und die Punkte, die man dadurch erhält, miteinander verbindet. Man erhält dadurch eine „Beleuchtungsfläche“, die bei vollständig gleichmäßiger Beleuchtung eine Ebene sein müßte, dagegen gewöhnlich unterhalb jeder Lichtquelle konvex nach oben gekrümmt ist <sup>1)</sup>. Die vorhin genannten Isoluxkurven stellen dann Schichtenlinien in dieser unebenen Fläche dar. In bequemerer Weise kann man jedoch die Darstellung der Beleuchtung in der Weise vornehmen, daß man die ganze Fläche in einzelne Rechtecke teilt und für den Mittelpunkt jedes Rechtecks die Beleuchtungsstärke bestimmt. Die mittlere Beleuchtungsstärke stellt dann ein Mittel aus den Beleuchtungsstärken sämtlicher Rechtecke dar. Durch verschiedene Schraffierung der einzelnen Rechtecke kann man die Verhältnisse übersichtlich veranschaulichen <sup>2)</sup>. Für einzelne Punkte, deren Lage man gewöhnlich leicht ermitteln kann, erhält man ein Maximum der Beleuchtungsstärke, für andere ein Minimum. Bildet man das Verhältnis aus dem Minimum und dem Maximum, so zeigt dieses den Gleichmäßigkeitsgrad der Beleuchtung an. Gemäß nebenstehender Fig. 414 z. B. ist die maximale Beleuchtung senkrecht unterhalb der Lichtquellen 15,4 Meterkerzen, hingegen die minimale Beleuchtung zwischen den einzelnen Lichtquellen 1,4 Meterkerzen. Der Gleichmäßigkeitskoeffizient ist somit

$$\frac{1,4}{15,4} = 0,091.$$

Fig. 414.



Wir haben es also hier mit einer sehr ungleichmäßigen Beleuchtung zu tun.

Betreffs der Beurteilung der Straßenbeleuchtung ist viel darüber diskutiert worden, ob die horizontale Beleuchtungsstärke oder die vertikale Beleuchtungsstärke als maßgeblicher betrachtet werden soll. Maréchal, Uppenberg <sup>3)</sup>, Lux, Zeidler und Bloch <sup>4)</sup> betrachten nur die horizontale Beleuchtungsstärke als maßgeblich. Diese kommt jedoch eigentlich nur in Betracht, wenn es sich darum handelt, auf der Straßenfläche etwa einen verlorenen Gegenstand zu suchen. Drehschmidt <sup>5)</sup> und Krüss <sup>6)</sup> weisen dagegen darauf hin, daß es auf der Straße doch hauptsächlich darauf ankommt, entgegenkommende Personen oder Gegenstände rasch erkennen zu können, und diesbezüglich ist die vertikale Beleuchtungsstärke maßgeblicher. Die vertikale Beleuchtungsstärke ist jedoch nicht eindeutig definiert, worauf besonders Bloch hinwies. Je nachdem, wie man die Vertikalebene dreht, ob parallel zur Straßenachse oder senkrecht zu derselben, wird sie gänzlich verschieden ausfallen. Es wäre also eigentlich das Richtigeste, eine vertikale Fläche zu messen, welche nach allen Richtungen gedreht wird, oder nicht nur die vertikale Beleuchtungsstärke,

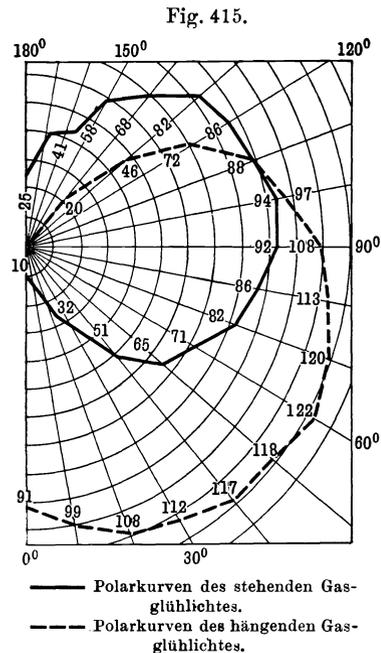
<sup>1)</sup> Niesiolowsky-Gawin, „Erfahrungen mit indirekter Gasbeleuchtung“; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 517. — <sup>2)</sup> Nach Blochs Berechnung; Bertelsmann 2, 235. — <sup>3)</sup> Mitteilungen des Vereins der Elektrizitätswerke 1906, Heft 11. — <sup>4)</sup> Journ. f. Gasbel. 1906, S. 90 u. 1072; ferner Chemikerztg., „Repertorium“ 1906, S. 98; Elektrotechn. Zeitschr. 1906, S. 493. — <sup>5)</sup> Journ. f. Gasbel. 1903, S. 758; 1906, S. 765. — <sup>6)</sup> Ebend. 1906, S. 821.

sondern auch noch die Beleuchtung in verschiedenen anderen Winkeln bis zur horizontalen zu bestimmen. Dies könnte etwa einfach in der Weise vorgenommen werden, daß man eine Kugel an der betreffenden Stelle der Straße aufhängt und die Beleuchtungsstärken an den einzelnen Punkten der Kugel mißt. Ein solches Verfahren wäre jedoch umständlich, und deshalb zieht man es meistens vor, die horizontale Beleuchtungsstärke als maßgeblich zu betrachten.

Die Berechnungen, wie wir sie oben angegeben haben, sind oft recht kompliziert. In vielen Fällen genügt es zu wissen, welches Minimum der Beleuchtung auf der Straße herrschen soll. Wenn dieses und die Höhe sowie die Lichtstärke der einzelnen Flammen gegeben ist, so läßt sich dann in ver-

hältnismäßig einfacher Weise der Lampenabstand bzw. die Verteilung derselben berechnen.

Zu diesem Zwecke ist es allerdings erforderlich, die Lichtverteilungskurven der einzelnen Lichtquellen zu kennen. Für uns mag es hier genügen, die Lichtverteilungskurven, d. h. die Polarkurven des stehenden und des hängenden Gasglühlichtes, in Fig. 415 wiederzugeben. Für die Berechnung der Innenbeleuchtung noch mehr als für die Berechnung der Straßenbeleuchtung ist es dann erforderlich, für die einzelnen zur Verwendung gelangenden Lichtquellen auch die mittlere sphärische Lichtstärke und die untere hemisphärische Lichtstärke kennen zu lernen. Für stehendes Gasglühlicht mit zylindrischem Glühkörper ist die untere hemisphärische Lichtstärke = 0,69 der horizontalen Lichtstärke, und die mittlere sphärische Lichtstärke = 0,78 der horizontalen. Für



Hängelicht hingegen ist die mittlere untere hemisphärische Lichtstärke = 1,07 und die sphärische Lichtstärke = 0,81 der horizontalen <sup>1)</sup>.

Zur raschen Ausführung von Berechnungen der Beleuchtungsstärken eignen sich vorzüglich die Rechentafeln für Beleuchtungstechniker von Bertelsmann <sup>2)</sup>, ferner die graphischen Darstellungen in Bertelsmanns „Lehrbuch der Leuchtgasindustrie“ <sup>3)</sup> und die dazugehörigen Tabellen.

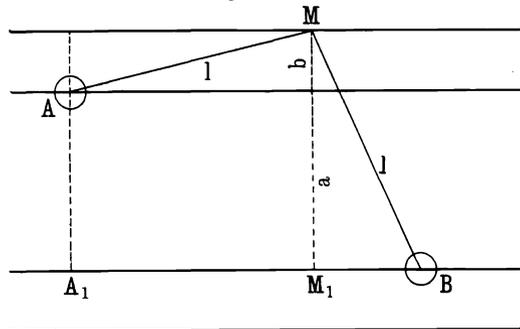
Außer der berechneten Beleuchtungsstärke kommen aber sowohl bei der Außen- wie auch bei der Innenbeleuchtung noch Faktoren in Betracht, die sich der Berechnung entziehen. So z. B. sollen die Beleuchtungskörper stets so angebracht sein, daß sie auf einem möglichst großen Kreis nicht direkt sichtbar sind, damit die Blendung des Auges vermieden wird. Wir kommen später darauf noch zu sprechen und wollen uns zunächst vornehmlich mit der Straßenbeleuchtung befassen.

<sup>1)</sup> Gaskalender 1912, S. 154 u. 156. — <sup>2)</sup> Stuttgart 1910. — <sup>3)</sup> Stuttgart, Verlag Enke, 1911, 2, 236—259.

Bei der Straßenbeleuchtung handelt es sich gewöhnlich darum, eine verhältnismäßig geringe Beleuchtungsstärke durch ziemlich weit auseinander-gestellte Lampen zu erzielen. Hier tritt also die Ungleichmäßigkeit der Beleuchtung viel stärker hervor, als wie bei der Innenbeleuchtung. Deshalb muß man bei der Straßenbeleuchtung um so mehr darauf bedacht sein, die Beleuchtungskörper hoch zu hängen. Eine allzu große Aufhängehöhe wirkt jedoch ungünstig wegen der großen Lichtverluste, welche besonders bei nebligem Wetter eintreten<sup>1)</sup>. Das Verhältnis zwischen Abstand und Höhe der einzelnen Lampen schwankt ziemlich beträchtlich zwischen 5 und 31. Es beträgt nach den Angaben von Sweet<sup>2)</sup> im Mittel 15.

Sind die einzelnen Lampen über der Mitte der Straße aufgehängt, so genügt es gewöhnlich, das Minimum der Beleuchtungsstärke, welches zwischen zwei Lampen herrscht, zu bestimmen. Dieses liegt jedoch naturgemäß nicht in der Mitte der Straße, sondern am Rande. Der Reflex der Häuser, welcher hier auch in Betracht kommt, ist so gering, daß er für gewöhnlich außer acht gelassen werden kann. Er wirkt im günstigen Sinne und ausgleichend, indem er das Minimum der Beleuchtungsstärke vergrößert. Selbstverständlich muß man berücksichtigen, daß

Fig. 416.



der Punkt zwischen zwei Laternen von zwei Seiten aus beleuchtet wird und daß das Minimum daher mit doppelter Größe anzunehmen ist. Werden die Lampen nicht über der Straßenmitte, sondern an der Seite aufgestellt, so ist die Bestimmung des Punktes geringster Beleuchtung etwas komplizierter. Die Lage desselben geht aus Fig. 416 hervor. Aus der Lage dieses Minimums und den Lichtverteilungskurven der einzelnen Lampen ist dann mit Hilfe der Tabellen (S. 1013) die Anzahl der Lampen zu bestimmen.

Als Beispiel sei erwähnt, daß bei einer Fahrbahnbreite von 6 m und einer Höhe der Lichtquellen von 4,0 m bei einer Minimalbeleuchtung von 0,55 Lux sich ein Abstand von 25,4 m der einzelnen Laternen ergibt. Zuzufolge des Reflexes der Häuser kann dieser Abstand auf 30 m erhöht werden.

Handelt es sich um die Beleuchtung eines Platzes, dessen Rand möglichst gut beleuchtet sein soll, durch eine einzige Lichtquelle, so ist nach Uppenborn<sup>3)</sup> die günstigste Aufhängehöhe derselben = 0,707 des Halbmessers des kreisförmig gedachten Platzes zu machen. Bedenkt man, daß die Horizontalbeleuchtung Null wird, wenn die Aufhängehöhe Null ist, weil dann die zu beleuchtende Fläche in der Richtung der Lichtstrahlen liegt, daß sie aber auch verschwindend klein wird, wenn die Aufhängehöhe sehr groß wird, so ergibt sich, daß bei einer bestimmten Höhe des Lichtpunktes die Beleuchtung des Platzrandes am günstigsten sein wird, und die günstigste Höhe ergibt sich aus der Bedingung:

$$h^2 = 0,5 r^2; \quad h = 0,707 r.$$

<sup>1)</sup> Krüss, Journ. f. Gasbel. 1906, S. 949. — <sup>2)</sup> Illum. Eng. 1910, S. 649; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 115. — <sup>3)</sup> Zeitschr. f. angew. Elektrizitätslehre 1880, S. 380.

Dies trifft, genau genommen, natürlich nur dann zu, wenn die Polarkurve der Lichtquelle ein Kreis ist.

Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Straßenbeleuchtung ist außer der Beleuchtungsstärke und dem Gleichmäßigkeitsgrad auch noch der Energieverbrauch pro 1 Lux mittlerer horizontaler Beleuchtungsstärke und 100 m<sup>2</sup> Straßenfläche anzugeben.

Mit Rücksicht auf die etwas komplizierten Verhältnisse bei der Beurteilung der Straßenbeleuchtung erscheint es von außerordentlicher Wichtigkeit, daß Normalien für die Beurteilung der Straßenbeleuchtung festgesetzt werden. Vom Verbands Deutscher Elektrotechniker sind solche auch bereits angenommen worden und dem Deutschen Verein von Gas- und Wasserfachmännern zur Stellungnahme vorgelegt worden <sup>1)</sup>. Danach soll die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke in 1 m Höhe über der Straßenoberfläche gemessen als Maß der Beleuchtung gelten, und es soll außerdem die maximale und die minimale Horizontalbeleuchtung angegeben werden. Das Verhältnis der Maximal- zur Minimalhorizontalbeleuchtung bezeichnet die Ungleichmäßigkeit. Der spezifische Verbrauch ist für 1 Lux mittlerer Horizontalbeleuchtung auf 1 m<sup>2</sup> Bodenfläche zu berechnen.

Krüss <sup>2)</sup> hat die Polarkurve berechnet, welche eine Lichtquelle haben müßte, um eine vollständig gleichmäßige Straßenbeleuchtung zu ergeben. Eine derartige Polarkurve könnte durch Anordnung eines Glaskörpers mit Fresnelschen Ringen erreicht werden.

Im allgemeinen hat es sich als vorteilhaft erwiesen, für breite, sehr hell zu beleuchtende Straßen große Einheiten in großer Höhe anzubringen und dieselben weit voneinander zu stellen. Für enge Straßen jedoch mit geringerem Lichtbedarf sind niedrige Aufstellhöhen und kleinere Einheiten bei eng nebeneinander gestellten Laternen zweckmäßiger <sup>3)</sup>.

Auch bei der Innenbeleuchtung ist es notwendig, auf Gleichmäßigkeit der Beleuchtung, also auf gute Lichtverteilung zu sehen. Früher war man allerdings genötigt, nur jene Fläche, auf der man Licht brauchte, zu beleuchten, weil die Lichtquellen derart spärlich und kostspielig waren, daß eine allgemeine Beleuchtung des ganzen Arbeitsraumes zu teuer gewesen wäre. Der Gelehrte mußte seine Studierlampe als Lichtquelle ebenso nahe zu seinem Buch heranziehen, wie der Schuhmacher seine Lampe zu seinem Arbeitstisch. Der übrige Teil des Arbeitsraumes war dunkel. Spärliche Beleuchtung der Arbeitsfläche selbst machte es ferner noch notwendig, das Auge möglichst nahe an die Arbeitsfläche heranzubringen, und dies war in den meisten Fällen die Ursache der Kurzsichtigkeit. Auch heute ist man, namentlich bei kostspieligen Lichtquellen, wie z. B. beim elektrischen Glühlicht, oft bestrebt, das Licht nur auf die Arbeitsfläche zu konzentrieren. Das ist aber grundsätzlich falsch, denn wenn das Auge von der Arbeitsfläche dann aufblickt und den dunklen Raum vor sich hat, so muß es sich fortwährend einer stark geänderten Beleuchtung anpassen, und dies ermüdet das Auge in kurzer Zeit. Wir sollen also dafür sorgen, daß der Raum nahezu ebenso stark wie die Arbeitsfläche selbst und gleichmäßig erhellt ist, so wie dies am Tage der Fall ist. Schließlich aber ist es noch von besonderer Wichtigkeit, dafür zu sorgen, daß die Licht-

<sup>1)</sup> Bloch, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 684. — <sup>2)</sup> Ebend. 1906, S. 821. — <sup>3)</sup> Harrison, Illum. Eng. November 1908; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 41; vgl. auch Bell, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 267.

quelle selbst dem Gesichtskreis des Auges möglichst vollständig entzogen ist, da im anderen Falle Blendung des Auges eintritt, welche ebenfalls sehr schädlich ist<sup>1)</sup>.

Um eine gleichmäßige Beleuchtung eines Raumes hervorzurufen, ist auch die Anordnung einer starken Lichtquelle in der Mitte des Raumes, wie sie heute allgemein üblich ist, z. B. die Anordnung einer großen Anzahl von Flammen an einem Kronleuchter falsch<sup>2)</sup>. Viel besser ist die Verteilung einzelner Flammen im Raume. Es wird notwendig sein, die Architekten und Dekorateure hiervon zu überzeugen, damit eine Änderung der Anordnung der Beleuchtungskörper verallgemeinert wird. Als gleichmäßig kann man die Beleuchtung eines Raumes dann betrachten, wenn die Mindestbeleuchtung einer Stelle nicht weniger als die Hälfte der mittleren Beleuchtung beträgt<sup>3)</sup>.

Bei der Innenbeleuchtung ist im allgemeinen die wagerechte Beleuchtung maßgeblich. Die vertikale Beleuchtung kommt nur in einzelnen Fällen, z. B. in Zeichensälen mit senkrechten Reißbrettern, in Bildergalerien usw. in Betracht. Die Beleuchtung soll außerdem durch diffuse Reflexion möglichst verteilt werden, so daß in dem Raume keine scharfen Schatten entstehen. Durch die Reflexion der Wände und Decken wird dann die Beleuchtung auch wesentlich verstärkt.

Wie bereits erwähnt, erachtete man früher die Beleuchtungsstärke von 12 Lux für ausreichend. Heute sind die Ansprüche wesentlich höhere und man verlangt, wie wir schon auf S. 1012 mitgeteilt haben, für Räume, in welchen das Auge anstrengende Arbeiten verrichtet, 80 bis 100 Lux.

Bei der Berechnung der Beleuchtung im Inneren muß man auf das Reflexionsvermögen der Wände und der Decken Rücksicht nehmen. Bezeichnet man mit  $\Phi$  den Lichtstrom, mit  $M$  das Reflexionsvermögen, mit  $S$  die gesamten reflektierenden Flächen, mit  $E'$  die mittlere Beleuchtung, welche durch die diffuse Reflexion verstärkt ist, mit  $E$  die direkte Beleuchtung, ferner mit  $k$  die mittlere Verstärkung der Beleuchtung, so ergeben sich nachstehende Formeln:

$$E = \frac{\Phi}{S}; \quad \text{ferner } k = \frac{1}{1 - M}; \quad E' = \frac{\Phi}{(1 - M)S}.$$

Nun ist aber das Reflexionsvermögen der einzelnen Flächen durchaus nicht immer gleich. Bezeichnet man mit  $S_1, S_2, S_3$  die einzelnen Teile der Fläche und mit  $M_1, M_2, M_3$  deren Reflexionsvermögen, so läßt sich mit genügender Genauigkeit das mittlere Reflexionsvermögen berechnen aus der Formel:

$$M' = \frac{(S_1 M_1 + S_2 M_2 + \dots)}{S_1 + S_2 + \dots}.$$

Die mittlere Verstärkung der Beleuchtung durch die Reflexion ist natürlich um so stärker, je größer das Reflexionsvermögen  $M$  ist. Ist letzteres z. B. 0,5, so ergibt sich die Verstärkung  $k$  zu 2, ist das Reflexionsvermögen 0,9, so ist die Verstärkung bereits eine zehnfache, und hätten wir Wände zur Verfügung, welche eine vollkommene Reflexion bedingen würden, also das Reflexionsvermögen 1,0 besäßen, so wäre die Verstärkung unendlich groß. In diesem Falle also könnte man durch eine ganz geringe Lichtquelle eine beliebig

<sup>1)</sup> Othmer, „Gas und Hygiene“, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1126. — <sup>2)</sup> Schäfer, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 361. — <sup>3)</sup> Illum. Eng. 1911, S. 191; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 461.

starke Beleuchtung des Raumes hervorrufen oder bei absolut vollkommener Reflexion würde das Licht aus einem Raume überhaupt nicht mehr verschwinden, wenn man die Lichtquelle nur einen Moment lang aufflackern lassen würde. Natürlich ist ein solches Verfahren praktisch nicht durchführbar, weil es eben keine absolut weiße, alle Strahlen reflektierende Flächen gibt.

Hat man in einem Raume  $n$  Lampen mit der Lichtstärke  $J_s$ , so ergibt sich der gesamte Lichtstrom aller dieser Lichtquellen zu

$$\Phi = 4 \pi n J$$

und die mittlere Beleuchtung  $E'$  durch diffuse Reflexion ist dann

$$E' = \frac{4 \pi n J_s}{(1 - M') S}$$

Daraus ergibt sich

$$n J_s = \frac{E' (1 - M') S}{4}$$

Dividiert man diesen Ausdruck durch die gesamte Fläche der Umfassungswände  $S$ , so erhält man

$$\frac{n J_s}{S} = \frac{E' (1 - M')}{4 \pi}$$

das ist also die auf  $1 \text{ m}^2$  der gesamten umfassenden Flächen entfallende Lichtstärke aller Lichtquellen zusammengenommen. Andererseits ist die Flächenhelle, welche die Fläche durch die Beleuchtung pro  $1 \text{ m}^2$  erfährt:

$$e' = \frac{M' E'}{\pi}$$

wie wir im Kapitel 10 auf S. 136 gezeigt haben. Und setzen wir hierin den oben gegebenen Wert für  $E'$  ein, so ergibt sich

$$e' = \frac{4 M' n J_s}{(1 - M') S}$$

Praktisch müssen die Werte noch eine Korrektur erfahren, da auch die Gegenstände, welche sich in dem Raume befinden, Licht reflektieren, und zwar in anderer Weise als dies der obengenannten Berechnung entspricht. Gewöhnlich begnügt man sich damit, eine Gesamtlichtstärke aller Beleuchtungsflammen von 3 HK pro  $1 \text{ m}^2$  Fläche der Umfassungswände in kleineren Räumen und 5 HK pro  $1 \text{ m}^2$  in größeren Räumen anzunehmen<sup>1)</sup>.

Um den Einfluß der Wände zu berücksichtigen, kann man auch derart vorgehen, daß man die direkte Beleuchtung, wie bei der Straßenbeleuchtung angegeben (S. 1012), ermittelt und dann mit Rücksicht auf die Reflexion der Wände nur 0,6 bis 0,7 der sich ergebenden Lichtstärke annimmt. Lansingk u. Rolph<sup>2)</sup> haben allerdings einen noch stärkeren Einfluß der Lichtreflexion durch die Wände gemessen, wonach die Beleuchtungsstärke in Tischhöhe durch die Wände um 79 Proz. zunahm und bei hellgetünchten

<sup>1)</sup> Über eine einfache Art zur graphischen Ermittlung der Beleuchtung für stehendes und hängendes Gasglühlicht unter Annahme bestimmter Lichtstärken für diese Flammen und die günstigste Aufhängehöhe hierfür s. Schilling, Kalender für das Gas- und Wasserfach 1912, S. 162 u. 163. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 267.

Wänden sogar um 132 Proz. Durch Anbringung von Reflektoren verstärkte sich dann die Beleuchtungsstärke von 2,24 auf 4,25 Lux und bei heller Decke wurde diese Beleuchtung noch um 33 Proz., und wenn auch die Wände noch hell waren, um 56 Proz. gehoben.

Das Lichtreflexionsvermögen der Wände wird auch durch das sogenannte „Albedo“ gekennzeichnet. Seeliger<sup>1)</sup> versteht darunter das Verhältnis aus dem nach allen Seiten reflektierten zu dem von allen Seiten auffallenden Lichte. Dasselbe ist in der nachstehenden Tabelle wiedergegeben.

Nach Zöllner.		Nach Sumpner.	
Gegenstand	Albedo	Gegenstand	Albedo
Frisch gefallener Schnee . .	0,783	Weißes Löschpapier . . . .	0,82
Gew. weißes Schreibpapier .	0,700	Weißer Wand . . . . .	0,80
Weißer Sandstein . . . . .	0,237	Gelbe Tapete . . . . .	0,40
Tonmergel . . . . .	0,156	Blaue Tapete . . . . .	0,25
Quarz-Porphyr . . . . .	0,108	Dunkelbraune Tapete . . .	0,13
Feuchte Ackererde . . . . .	0,079	Schwarzes Tuch . . . . .	0,012
Dunkelgrauer Syenit . . . .	0,078	Schwarzer Samt . . . . .	0,004

Nach Blochs Untersuchungen<sup>2)</sup> ist das Reflexionsvermögen verschiedener Anstriche durch die Prozentsätze, wie sie in folgender Tabelle angegeben sind, gekennzeichnet.

Lithopone, rein . . . . .	75	Proz.
Zinkweiß, rein . . . . .	76	„
Schlemmkreide . . . . .	66,5	„
Schlemmkreide mit einem für helle Anstriche gebräuchlichen kleinen Zusatz von Chromgelb . . .	66,5	„
Ocker . . . . .	66,5	„
Grün . . . . .	66,5	„
Ocker und Grün . . . . .	55,5	„
Englisch Rot . . . . .	63,5	„
Blau . . . . .	60,0	„
Umbrä . . . . .	56,0	„
Weißes Schreibpapier . . . . .	68	Proz.
Gelbliches Papier . . . . .	67	„
Gelbes Papier . . . . .	60	„

O. Connor<sup>3)</sup> hat für verschiedenfarbige Tapeten nachstehende Zahlen erhalten:

Orangefarbene Tapeten . . . . .	55	Proz.
Grüne . . . . .	10 bis 46	„
Blaßrote . . . . .	16	„
Braune . . . . .	15	„
Schokoladefarbene . . . . .	4	„

Für verschieden gefärbte Lichtquellen ist die Menge des reflektierten Lichtes natürlich eine verschiedene, so daß obige Zahlen nur für jene Lichtquellen gelten, für welche die Messungen ausgeführt wurden [im vorliegenden

<sup>1)</sup> Liebethal, „Praktische Photometrie“, S. 20. — <sup>2)</sup> Bertelsmann, „Lehrbuch der Leuchtgasindustrie“ 2, 277. — <sup>3)</sup> Journ. of Gaslighting 1909, S. 509; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 837.

Falle für einen Invertbrenner] <sup>1)</sup>. Waldram <sup>2)</sup> gibt den Einfluß der Tapeten nach Mitteilungen von Haydn u. Harrison wie folgt an. Nach einer Tabelle Harrisons ist jene Belichtung verschieden gefärbter Flächen, welche nötig ist, um dieselben gleich hell erscheinen zu lassen, folgende:

Bei hellroten Tapeten . . . . .	3,5 fach
„ kardinalroten Tapeten . . . . .	6,5 „
„ mittelblauen „ . . . . .	4,8 „
„ hellblauen „ . . . . .	3,2 „
„ dunkelgrünen „ . . . . .	7,0 „
„ hellgrünen „ . . . . .	2,2 „

Auch hierbei sind natürlich die Verhältnisse bei verschiedenen gefärbten Lichtquellen verschieden. Darch befürwortete, die Tapetenfabrikanten möchten für ihre Tapeten den Lichtabsorptionskoeffizienten angeben. Natürlich müßte sich diese Angabe aber auch auf eine Lichtquelle von bestimmter Farbe beziehen.

Zur raschen Ermittlung der zweckmäßigsten Aufhängehöhe der Flammen in geschlossenen Räumen ist es genügend, die Aufhängehöhe zu 0,7 des Halbmessers des größten zu beleuchtenden Kreises zu wählen. Also wenn z. B. ein rechteckiger Saal durch eine einzige Lichtquelle erleuchtet werden soll, so soll die Aufhängehöhe 0,7 der halben Länge des Saales betragen (vgl. S. 1017). Je nach der Polarkurve der verschiedenen Lichtquellen kann diese Zahl etwas höher oder geringer werden. Gibt eine Lichtquelle ein mehr nach unten konzentriertes Licht, so ist die Aufhängehöhe höher zu wählen, wirkt die Lichtquelle mehr seitwärts, so kann die Aufhängehöhe geringer genommen werden. Die Polarkurven der einzelnen Lichtquellen, sowie auch die unter denselben bei verschiedenen Aufhängehöhen in verschiedenen Entfernungen erreichten Beleuchtungsstärken einer horizontalen Fläche hat Bertelsmann <sup>3)</sup> sowohl in Diagrammen als auch in Tabellen sehr ausführlich zusammengestellt <sup>4)</sup>.

Obwohl man, wie bereits erwähnt, dafür Sorge tragen soll, daß bei der Innenbeleuchtung nicht nur der untere Teil des Raumes, sondern auch der obere genügend erhellt ist, verwendet man doch häufig, namentlich bei schwachen und kostspieligen Lichtquellen Reflektoren, um den größten Teil des Lichtes nach abwärts zu werfen. Durch die Reflexion geht ein Teil des Lichtstromes verloren. Diese Verluste können etwa wie folgt angenommen werden <sup>5)</sup>:

Bei Klarglas . . . . .	6 Proz.
„ Überfangglas . . . . .	11 „
„ Jenaer Milchglas . . . . .	15 bis 20 „
„ geätztem Glas . . . . .	30 „
„ gewöhnlichem Milchglas . . . . .	30 bis 50 „
„ Neusilberreflektoren etwa . . . . .	30 „
„ Papierschirmen, Emailschildern usw. etwa .	30 „

Die Absorptionsverluste werden um so kleiner, je schräger die Lichtstrahlen auf die betreffende Fläche auffallen.

Bei stehendem Gasglühlicht werden häufig Reflektoren verwendet, weil dasselbe in die obere Hemisphäre mehr Licht gibt, als in die untere. Bei

<sup>1)</sup> Vgl. auch Journ. of Gaslighting 1909, S. 509; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 837. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 822. — <sup>3)</sup> Lehrbuch der Leuchtgasindustrie 2, 236 bis 259, Verlag Enke, Stuttgart. — <sup>4)</sup> Vgl. auch Bertelsmann, „Rechentafeln für Beleuchtungstechniker“, Stuttgart 1910. — <sup>5)</sup> Kalender für das Gas- und Wasserfach 1912, S. 159.

Hängelicht hingegen findet man die Reflektoren seltener verwendet. Wobbe<sup>1)</sup> hat verschiedene Reflektoren geprüft und gefunden, daß durch dieselben auch bei Invertlicht etwas mehr Licht in die untere Hemisphäre geleitet werden kann<sup>2)</sup>. Wobbe zeigte auch, daß bei richtiger Aufhängehöhe der Reflektoren bei stehendem Gasglühlicht das Licht auch in der unteren Hemisphäre beliebig verteilt werden kann. Dies ist hingegen bei hängendem Gasglühlicht nicht möglich. Er fand dann auch bei stehendem Gasglühlicht einen Gasverbrauch von 0,9 Liter auf die untere hemisphärische Hefnerkerze, also etwa ebensoviel als beim Hängelicht.

Hat man die Polarkurve einer Lichtquelle gegeben und ebenso die vorgeschriebene Bodenbeleuchtung, so kann man auf graphischem Wege die Kurve bestimmen, welche der Reflektor besitzen muß, um die vorgeschriebene Bodenbeleuchtung zu erzielen<sup>3)</sup>.

An Stelle von Reflektoren kann man auch geschliffene Gläser verwenden, welche die Lichtquelle umgeben und so ausgebildet sind, daß sie das Licht in die gewünschte Richtung werfen. Bei diesen sind in der Art, wie wir es bei der Seebeleuchtung kennen gelernt haben (S. 1008), prismenförmige Ringe übereinander gelegt, so daß an den Prismenflächen eine Brechung und totale Reflexion des Lichtes eintritt. Blondel hat derartige Gläser konstruiert und dieselben sind unter dem Namen „Holophangläser“ früher vielfach verwendet worden, jetzt aber nur sehr wenig in Anwendung.

Über einen neuartigen Reflektor, der eine Kombination des gewöhnlichen Reflektors mit der totalen Reflexion der Prismengläser darstellt, berichtete Hralowsky<sup>4)</sup>, er wurde „Totalreflektor“ genannt und besteht aus einem emaillierten Reflektor aus Eisenblech und einem ringförmigen Reflektor aus Metallglas, der optisch total reflektierend wirkt. Der Durchmesser des stark beleuchteten Kreises, der auf der Bodenfläche mit diesem Reflektor erzielt wird, ist doppelt so groß als die Aufhängehöhe, also viel größer als bei Anwendung einer Lichtquelle ohne einem solchen Reflektor. Die Lichtverluste desselben sollen nur 11 Proz. betragen.

Wie bereits erwähnt, ist es bei der Innenbeleuchtung noch mehr als bei der Außenbeleuchtung zweckmäßig, die Lichtquelle dem Bereiche des Auges so vollkommen wie möglich zu entziehen, damit die Blendung des Auges vermieden wird. Die gleichmäßigste, für das Auge günstigste Beleuchtung erhält man dann, wenn man die Lichtquelle knapp unterhalb der Decke anbringt und unten durch einen undurchsichtigen Reflektor vollständig abblendet, gleichzeitig aber das Licht, welches dieselbe nach unten sendet, vollständig zur Decke wirft. Man erhält auf diese Weise die sogenannte indirekte oder vollkommen diffuse Beleuchtung. Die Aufhängehöhe der Flammen unter der Decke beträgt hierbei gewöhnlich 75 bis 100 cm. Die theoretische Berechnung einer derartigen Beleuchtung ist ziemlich kompliziert und wenig maßgeblich, weil die Reflexion der Decke, welche hier die Hauptrolle spielt, stark von dem jeweiligen Zustande derselben abhängig ist. Es sei daher hier auf eine Abhandlung von Niesiolowsky-Gawin, welche sich mit dieser Berechnung

<sup>1)</sup> Wirkung der Reflektoren bei Invertlampen, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 13. — <sup>2)</sup> Vgl. auch Wobbe, „Wirkung der Reflektoren bei stehendem Gasglühlicht“, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 337. — <sup>3)</sup> Weinbeer, Zeitschr. f. Beleuchtungswesen 1908, S. 281; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 128. — <sup>4)</sup> Elektrotechn. Zeitschr. 1910, S. 11; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 530.

befaßt, hingewiesen<sup>1)</sup>. Zur richtigen Ausführung derartiger indirekter Beleuchtungsanlagen genügen die praktischen Zahlenangaben Schillings<sup>2)</sup>. Für die mittlere Beleuchtungsstärke von 10 Lux werden 3,5 HK pro Quadratmeter Bodenfläche benötigt oder, wenn man dies auf den Rauminhalt des beleuchteten Raumes berechnen will, was bei höheren Räumen erforderlich ist, so berechnet man 70 HK pro 100 m<sup>3</sup> Raum und 10 Lux. Ist eine höhere Beleuchtungsstärke erforderlich, was gewöhnlich der Fall ist, so wächst natürlich die geforderte Lichtstärke proportional der geforderten Beleuchtungsstärke. Bei dieser Beleuchtungsart ist die Berechnung nach dem Rauminhalte deshalb möglich, weil die Lichtwirkung der Decke zufolge ihrer Ausdehnung nicht proportional dem Quadrate der Entfernung, sondern im einfachen Verhältnis zur Höhe abnimmt.

Da bei der vollkommen diffusen Beleuchtung, wie wir sie eben erörtert haben, beträchtliche Lichtverluste eintreten, so verwendet man häufig die halbdiffuse Beleuchtung. Bei dieser wird die Lichtquelle nach unten nicht durch einen undurchsichtigen Reflektor, sondern durch einen durchscheinenden Reflektor abgedeckt, so daß man wohl nicht direkt die Lichtquelle, aber doch einen hell erleuchtenden Schirm unterhalb der Lichtquelle sieht, wenn man das Auge direkt zur Decke richtet. Dadurch erhält man etwa ein Fünftel mehr Helligkeit, als mit der vollkommen diffusen Beleuchtung<sup>3)</sup>. Demzufolge werden für je 10 Lux und Quadratmeter Bodenfläche nur 2,3 HK Gesamtlichtstärke erfordert und wenn man, wie oben, auf den Rauminhalt rechnet, 60 HK pro 100 m<sup>3</sup>. Als Beispiel einer zweckmäßigen Lampe für halbdiffuse Beleuchtung sei jene von Kratky<sup>4)</sup> erwähnt.

Sowohl bei der vollkommen diffusen, als bei der halbdiffusen Beleuchtung ist natürlich die Tünchung der Decke und der Wände von außerordentlich großem Einfluß auf die erzielte Helligkeit. Uppenborn<sup>5)</sup> bestimmte bei elektrischer Beleuchtung den Effektverbrauch pro 1 Lux und Quadratmeter und erhielt bei frischer Tünchung 0,289 Watt, wogegen die vorher einigermaßen beschmutzte Decke einen Verbrauch von 0,484 Watt pro Lux und Quadratmeter ergab<sup>6)</sup>.

Eine ähnliche Lichtverteilung wie bei der vollkommen diffusen oder halbdiffusen Beleuchtung erzielt man auch durch direktes Hochlicht, wenn man die Beleuchtungskörper knapp unterhalb der Decke anbringt und durch eiförmige Schirme das Licht nach abwärts wirft, worauf besonders Reibmayr<sup>7)</sup> hinwies.

Bei allen diesen Beleuchtungsarten, wo die Lichtquelle knapp unterhalb der Decke angebracht wird, muß dafür Sorge getragen werden, daß die Decke selbst vor den Rauchgasen geschützt wird. Man bringt deshalb zweckmäßig oberhalb der Lichtquelle einen flachen oder schwachkonischen emaillierten oder weißgestrichenen Reflektor an. Handelt es sich um größere Lichtquellen, so ist es auch zweckmäßig, die Abgase derselben abzuführen, und man kann, namentlich wenn ein derartiger Saal neu eingerichtet wird, oberhalb der

---

<sup>1)</sup> Mitteilungen des Artillerie- und Geniewesens 1908, Heft 8 u. 9; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 570. — <sup>2)</sup> Kalender für das Gas- und Wasserfach 1912, S. 166. — <sup>3)</sup> Nach Schumann 21,5 Proz., Journ. f. Gasbel. 1907, S. 113. — <sup>4)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 586. — <sup>5)</sup> Journ. f. Gasbel. 1906, S. 1055. — <sup>6)</sup> Vgl. Niesiolowsky-Gawin, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 517. — <sup>7)</sup> Schilling, Journ. f. Gasbel. 1906, S. 1069.

Starklichtquellen Öffnungen anbringen, welche die Verbrennungsgase durch kleine Kanäle nach außen oder in einen Schornstein führen.

Will man die Tageslichtbeleuchtung durch die künstliche Beleuchtung möglichst ersetzen, so ist auch eine Anordnung zweckmäßig, bei welcher sich die Lichtquellen an der Fensterseite zwischen den Pfeilern der Fenster befinden und welche das Licht mit Hilfe von Parabolschirmen gegen das Innere des Raumes werfen <sup>1)</sup>).

Für die Beleuchtung von Konzert- und Festsälen ist die Anordnung eines Oberlichtes aus Mattglas, über welchem eine entsprechende Anzahl von Hängeleuchtampen, die mit Fernzündern (S. 1027) zu versehen sind, angebracht werden <sup>2)</sup>), zweckmäßig.

Will man die richtige Ausführung der Beleuchtung eines Raumes kontrollieren, so sind die Messungen ungefähr ebenso auszuführen, wie dies bei der Straßenbeleuchtung besprochen wurde (S. 1015). Zur Beurteilung sind dann notwendig: die mittlere Beleuchtungsstärke sowie die geringste und größte Beleuchtungsstärke, aus welcher sich der Gleichmäßigkeitskoeffizient als Verhältnis zwischen der geringsten zur mittleren Beleuchtung ergibt, ferner ist der Gesamtenergieverbrauch und der Energieverbrauch pro 1 Lux mittlerer Beleuchtungsstärke anzugeben <sup>3)</sup>).

Von besonderer Wichtigkeit für die Einwirkung des Lichtes auf das Auge ist auch der Glanz der Lichtquellen (S. 134), der erst in letzterer Zeit mehr Aufmerksamkeit auf sich lenkt. Als Glanz bezeichnet man gewöhnlich die Lichtstärke pro Quadratzentimeter leuchtender Fläche. Je größer dieselbe ist, desto mehr wird das Auge von der Lichtquelle geblendet. Nach Herring <sup>4)</sup> ist es jedoch richtiger, den Glanz als Erhellung zu definieren, da er physikalisch gleichbedeutend mit der Beleuchtungsstärke ist und durch dieselben Einheiten ausgedrückt werden kann. Dagegen ist eine auf die Flächeneinheit bezogene Helligkeit einer Lichtquelle physikalisch nicht dasselbe wie die Lichtstärke einer punktförmigen Lichtquelle. Danach ist also der Glanz nicht in Hefnerkerzen pro Quadratzentimeter, sondern in Lumen pro Quadratzentimeter auszudrücken, d. h. als eine Dichte des Lichtstromes (vgl. S. 133), also als eine Beleuchtungsstärke. Nach der ersten Definition hat Stockhausen <sup>5)</sup> den Glanz der Lichtquellen wie folgt gemessen:

Kienspan . . . . .	0,223	HK	pro	cm <sup>2</sup>
Römische Öllampe . . . . .	0,618	"	"	"
Kerzen . . . . .	0,663 bis	0,735	"	"
Rüböllampe . . . . .	0,579	"	1,515	"
Petroleumlampen . . . . .	0,749	"	3,69	"
Petroleum- und Spiritusglühlicht mit				
Docht . . . . .	1,185	"	2,47	"
Gasleuchtflammen . . . . .	0,538	"	1,268	"
Stehendes Gasglühlicht . . . . .	5,06	"	5,68	"
Hängendes Gasglühlicht . . . . .	3,05	"	6,74	"
Acetylschnittbrenner . . . . .	6,23	"	"	"
Acetylenglühlicht . . . . .	3,97	"	"	"

<sup>1)</sup> Scholz, „Neuheiten der Invertbeleuchtung“, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1145; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 537. — <sup>2)</sup> Rödenbeck, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 326. — <sup>3)</sup> Bertelsmann, „Lehrbuch der Leuchtgasindustrie“, 2. Teil, S. 272. — <sup>4)</sup> Rechnungsgrößen des Lichtes, Elect. World 1908; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 412. — <sup>5)</sup> Bertelsmann, „Lehrbuch der Leuchtgasindustrie“, 2. Teil, S. 289.

Elektr. Kohlenfadenglühlampen . . . . .	57,4 bis 117,2	HK pro cm <sup>2</sup>
Metallfadenglühlampe . . . . .	185,5 „ 265,0	„ „ „
Nernstlampen . . . . .	387,5 „ 464,0	„ „ „
Elektrische Bogenlampen etwa . . . . .	3000	„ „ „

Nach Messinger<sup>1)</sup> beträgt derselbe bei:

Nernstlampe . . . . .	136 bis 170	HK pro cm <sup>2</sup>
Metallfadenlampe . . . . .	85 „ 136	„ „ „
Elektrische Flammenbogen . . . . .	85 „ 119	„ „ „
Offene elektrische Lichtbogen . . . . .	68 „ 119	„ „ „
Kohlenfadenglühlampen . . . . .	30 „ 51	„ „ „
Eingeschlossenem elektr. Lichtbogen . . . . .	17 „ 34	„ „ „
Preßgasbrenner . . . . .	5,0 „ 8,5	„ „ „

Weichen diese Zahlenwerte auch sehr stark von den vorgenannten ab, so ist doch hieraus der große Unterschied im Glanz der elektrischen Beleuchtung gegenüber den anderen Beleuchtungsmitteln zu erkennen. Dieser Glanz wirkt aber blendend, also nachteilig auf das Auge.

Nach der Definition als Erhellung gibt Herring die folgenden Flächenhelligkeiten verschiedener Lichtquellen an:

Die Sonne im Zenith . . . . .	3190	Mill. Lux
Bogenlampen . . . . .	530	„ „
Nernstlampe . . . . .	5,3	„ „
Glühlampen . . . . .	1,6	„ „
Acetylen . . . . .	0,530	„ „
Offene Gasflamme . . . . .	0,042	„ „
Glühlampe, mattiert . . . . .	0,0266	„ „

Nach Stockhausen soll der Glanz einer Lichtquelle nicht mehr als 0,75 HK pro Quadratcentimeter betragen<sup>2)</sup>. Elektrische Glühlampen mit klaren Birnen, wie sie gewöhnlich verwendet werden, haben einen starken Glanz, weil der Glühfaden eine außerordentlich geringe Fläche und eine hohe Lichtstärke pro Flächeneinheit besitzt. Sie sollten also, um das Auge nicht zu blenden, stets im mattierten Zustande verwendet werden<sup>3)</sup>.

Von großer Wichtigkeit für die Innenbeleuchtung ist auch die Ruhe, mit der das Licht von einer Lichtquelle ausgesendet wird, denn das schwankende Licht übt auf das Auge ebenfalls einen sehr ungünstigen Eindruck aus. Nach Presser<sup>4)</sup> kann man diese Schwankungen messen, indem man das Licht auf eine Selenzelle fallen läßt, die mit einem registrierenden Strommesser in Verbindung steht. Das Selen ändert bekanntlich seinen Widerstand mit der Beleuchtungsstärke, und somit können die Schwankungen der Lichtstärke, die beim elektrischen Bogenlicht am größten sind, selbsttätig aufgezeichnet werden.

Schließlich kommt für die Innenbeleuchtung auch noch die Wärmewirkung in Frage, welche durch eine Lichtquelle hervorgerufen wird. Wir werden hierauf bei der Besprechung des Vergleiches verschiedener Beleuchtungsmittel noch zurückkommen. Hier sei nur erwähnt, daß abgesondert von der gesamten Wärmewirkung einer Lichtquelle besonders die Strahlung zu berücksichtigen ist, da diese nicht eine allgemeine Erwärmung des Raumes, sondern die Erwärmung der nächsten Umgebung der Lichtquelle mit sich bringt, was besonders bei Lampen, die oberhalb eines Arbeitsplatzes auf-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 405. — <sup>2)</sup> Ebend. 1907, S. 1070. — <sup>3)</sup> Vgl. Mackenzie, Elect. World 1907, S. 1058. — <sup>4)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 530; Elektrot. Zeitschr. 1910, S. 187.

gehängt sind, von Wichtigkeit ist. Die Strahlung des Gaslichtes beträgt beim gewöhnlichen frei brennenden Schnittbrenner 3,72 Kal. pro HK-Stunde, bei Gasglühlicht hingegen nur 1,37 Kal.<sup>1)</sup> Nach Rubner<sup>2)</sup> soll die Wärmestrahlung einer Lichtquelle 50 Mikrokalorien in einer Minute auf 1 cm<sup>2</sup>, d. i. 3 Kal. pro Stunde und Quadratcentimeter als äußerste hygienisch zulässige Grenze nicht übersteigen. Nach seinen Messungen beträgt die Wärmestrahlung pro Hefnerkerze und Stunde bei:

Paraffinkerze . . . . .	10,76 Kal.
Petroleumlampe . . . . .	10,50 „
Gasschnittbrenner . . . . .	8,25 „
Argandbrenner . . . . .	7,03 „
Elektrisches Glühlicht . . . . .	2,53 „
Gasglühlicht . . . . .	1,57 „

Danach lassen sich nicht alle Lichtquellen gleich nahe an einen Arbeitsplatz heranbringen und es ist somit die Ausnutzbarkeit verschiedener Lichtquellen verschieden. Die Ausnutzbarkeit ist gegeben durch die Anzahl der Lux, welche bei Annäherung erzielt werden können, ohne die obige hygienische Grenze der Wärmestrahlung zu überschreiten. Wir werden beim Vergleich der Beleuchtungsmittel auf S. 1049 hierauf zurückkommen.

Zur Beurteilung der Anwendbarkeit verschiedener Beleuchtungsarten im Inneren von Räumen ist auch die Wirkung der ultravioletten Strahlen zu berücksichtigen, welche diese auf das Auge ausüben. Wir werden auch hierauf bei Besprechung der Hygiene der Beleuchtung unter dem Kapitel 72: Vergleich der Beleuchtungsmittel noch zu sprechen kommen (S. 1050).

Aus all dem oben Gesagten ist ersichtlich, daß die Innenbeleuchtung eines sorgfältigen Studiums benötigt und die Verhältnisse durchaus noch nicht als völlig geklärt zu betrachten sind. Es ist daher sehr zu begrüßen, daß das Französische Ministerium des Inneren eine Kommission für das Studium der Hygiene der Beleuchtung eingesetzt hat<sup>3)</sup>, welche die Verhältnisse genau zu untersuchen haben wird und auf deren Resultate man gespannt sein kann.

## 71. Zündvorrichtungen<sup>4)</sup>.

Die Gasbeleuchtung hat vor der elektrischen Beleuchtung heute noch den einen wesentlichen Nachteil, daß die Zündung der Flammen eine weniger bequeme ist. Man darf sich jedoch der Hoffnung hingeben, daß dieser Nachteil behoben sein wird, sobald eine vollständig verläßlich wirkende und einfache Fernzündvorrichtung vorhanden sein wird, welche nicht zu kostspielig und einfach in der Bedienung ist. Sobald dies der Fall ist, wird die Gasbeleuchtung im Kampfe gegen das elektrische Licht abermals einen wichtigen Posten besetzt haben.

In der Erkenntnis dieses Umstandes hat sich schon eine Reihe von Erfindern in den letzten Jahrzehnten bemüht, derartige Vorrichtungen zu konstruieren. Es ist auch eine große Anzahl von Zündvorrichtungen auf den Markt gebracht worden, welche dem genannten Nachteile der Gasbeleuch-

<sup>1)</sup> Kalender für das Gas- und Wasserfach 1912, S. 168. — <sup>2)</sup> Ballner, „Beurteilung des hängenden Gasglühlichtes“, Journ. f. Gasbel. 1906, S. 301. — <sup>3)</sup> Illum. Engin. 1911, S. 455; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 943. — <sup>4)</sup> Über Zündvorrichtungen siehe auch Hole, „The distribution of Gas“, Allan & Co., London.

tung teilweise abhilft, aber man kann die Frage doch noch nicht als vollständig gelöst betrachten, weil alle diese bisher auf den Markt gekommenen Zündvorrichtungen noch manche — wenn auch geringe — Übelstände besitzen, welche die Bequemlichkeit der Zündung der Gasflammen doch noch immer etwas hinter die Bequemlichkeit der Zündung der elektrischen Lampen zurücksetzen.

Mit Rücksicht auf die außerordentliche Wichtigkeit dieser Frage seien hier auch jene Zündvorrichtungen erörtert, welche sich nicht auf die Dauer zu behaupten vermochten, neben jenen, welche bereits eine ausgedehnte Anwendung gewonnen haben.

Die Zündvorrichtungen, von denen wir hier sprechen wollen, haben zweierlei gänzlich verschiedene Funktionen zu besorgen. Die eine ist das Öffnen der Gaszuleitung zur Flamme und die zweite die Entzündung der Flamme. Wir sehen hier von der Beschreibung der Zünder ab, welche nur zur Entzündung von Laternen und Außenflammen dienen und die wir bereits unter dem Kapitel 68: „Laternen und Kandelaber“ (S. 999) besprochen haben. Es sind dies die Durchschlag- und die Kletterflammenzündung, sowie die Zündung mittels Dauerflammen. Allerdings spielen die Dauerflammen bei der Zündung eine große Rolle und werden wir daher fallweise auf diese zurückkommen. Die verschiedenen Vorrichtungen, welche wir hier zu besprechen haben, wollen wir wie folgt zusammenfassen.

#### I. Vorrichtungen zum Öffnen und Schließen der Gaszuleitungen:

- a) durch Betätigung mit der Hand,
- b) durch automatische Betätigung mit Uhrwerken u. dgl.,
- c) durch Betätigung von einer Zentrale aus (Fernzünder) und zwar:
  - α) mittels Luftdruck,
  - β) mittels Gasdruck,
  - γ) mittels Druckwellen,
  - δ) mittels elektrischen Stromes.

#### II. Vorrichtungen zum Zünden der Flamme:

1. mit Zündflammen,
2. durch katalytische Zündung,
3. durch Reibzünder (Funkenzündung),
4. durch elektrische Zündung mit Glühdraht,
5. durch elektrische Zündung mit Induktionsfunken.

Wir wollen nun diese Vorrichtungen einzeln und in ihren Verbindungen miteinander erörtern.

Ia. Das Öffnen der Gaszufuhr zum Brenner mit der Hand geschieht durch die gewöhnlichen Gashähne, wie wir sie schon auf S. 999 kennen gelernt haben, und bietet nichts Besonderes. Diese Art des Öffnens ist jedoch bei den unter II. besprochenen Zündvorrichtungen häufig angewendet und werden wir fallweise darauf zurückkommen.

Ib. Das automatische Öffnen der Gaszufuhr zu den Brennern, sowie das Schließen derselben kann mit Hilfe von Uhrwerken — den sogenannten Zünduhren — erfolgen. Man wendet dieselben hauptsächlich nur bei Straßenbeleuchtung an. Diese Uhren werden innerhalb des Laternengehäuses, im unteren Teile desselben, auf die Gaszuleitung aufgeschraubt und müssen so gearbeitet sein, daß sowohl die Zündezeiten als die Löscheziten der Laternen

in einfacher Weise eingestellt und außen ersichtlich gemacht werden können. Das Uhrwerk muß möglichst ohne Ölschmierung funktionieren, da das Öl bei größerer Kälte erhärtet und dann große Reibungsverluste bedingt, welche ein Stillstehen der Uhren zur Folge haben können. Eine genaue Beschreibung der Zünduhren können wir hier nicht geben und sei nur darauf hingewiesen, daß man mittelst dieser Uhren die Zündung vollständig unabhängig von Arbeitern und unabhängig vom Gasdruck im Rohrnetze vornehmen kann. Die Genauigkeit dieser Uhren geht bis auf 5 bis 10 Minuten, und ein Mann vermag mit Hilfe dieser Uhren 250 Laternen zu bedienen<sup>1)</sup>. Ein Nachteil derartiger Zünduhren ist jedoch, daß man nicht die Freiheit besitzt, die Anzünde- und Löschzeiten beliebig zu ändern. Die jeweilige Einstellung der Uhren ist zu umständlich, um sie häufig vornehmen zu können. Es sind zwar bereits Uhren mit automatischer Umstellung konstruiert worden, so daß sich die Uhr von selbst, dem Brennkalender entsprechend, allmählich umstellt, aber auch selbst bei dieser Vervollkommnung ist man nicht in der Lage, bei plötzlich eintretender Dunkelheit die Laternen in Tätigkeit zu setzen<sup>2)</sup>. Außerdem sind die Anlagekosten derartiger Zünduhren ziemlich hohe.

Zur Zündung des Gases bei Anwendung dieser Uhren dient gewöhnlich die einfache Dauerflamme. Es liegt jedoch kein Hindernis vor, an Stelle der letzteren auch die katalytische oder die Reibzündung zu verwenden.

Anstatt die Uhrfeder als Antriebskraft zum Betriebe der Uhr zu wählen, kann man auch die Kraft des zuströmenden Gases zum Antriebe des Uhrwerkes benutzen, worauf Gerdes<sup>3)</sup> hingewiesen hat. Das Gas bewirkt dabei die Bewegung eines Balges nach Art der trockenen Gasmesser, indem das durch diese Vorrichtung hindurchströmende Gas in der Zündflamme verwendet wird. Erfahrungen mit dieser Vorrichtung liegen jedoch noch nicht vor.

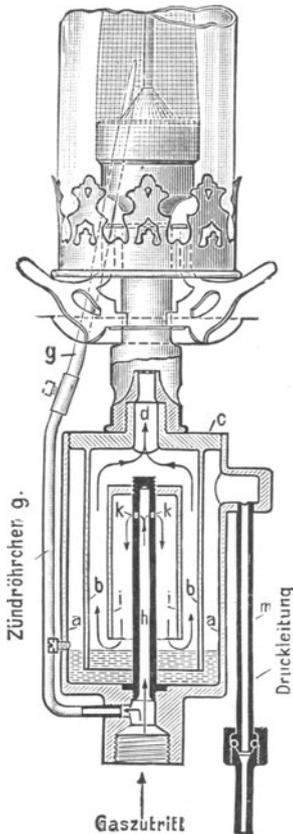
Ic. Die Vorrichtungen, welche zur Entzündung von Gasflammen von einer Zentralstelle aus dienen, interessieren uns am meisten, weil sie sowohl bei der Straßenbeleuchtung, als auch bei der Innenbeleuchtung eine ausgedehnte Verwendung finden können. Mit Hilfe derartiger Fernzündler können sämtliche Straßen einer Stadt mit einem Schläge erhellt werden, und von großer Wichtigkeit sind derartige Vorrichtungen für die Innenbeleuchtung bei großen Installationen, bei der Anwendung der Deckenbeleuchtung und nicht zum mindesten auch für die Innenbeleuchtung in Wohnungen, um von einer beliebigen Stelle des Zimmers aus das Licht entzünden zu können, so wie dies beim elektrischen Lichte der Fall ist. Wir wollen jedoch zunächst nur jene Mittel besprechen, welche zum Öffnen und Schließen der Gaszufuhr dienen. Dazu ist die Aufwendung einer Kraft erforderlich. Diese kann nun sein:

α) Luftdruck. Als Beispiel eines solchen Fernzünders sei der Siemenssche pneumatische Fernzündler erörtert<sup>4)</sup>. Er ist in Fig. 417 dargestellt. Ventile und Membranen sind bei diesem Zünder als unsichere Organe gänzlich vermieden. Das Absperren und Öffnen des Gaszuflusses zum Brenner erfolgt bei diesem durch Ansteigen oder Abfallen einer Quecksilbersäule, die

<sup>1)</sup> Kobbert, „Erfahrungen bei der Einrichtung der Fernzündung“, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 835. — <sup>2)</sup> Gaulis, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 914; Versammlung des niederländischen Gasfachmännervers. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1028. — <sup>4)</sup> Rödenbeck, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 326; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 723.

durch Druckluft betätigt wird, wie dies aus Fig. 417 ohne weiteres ersichtlich ist. Die innere Glocke kann höher oder tiefer geschraubt werden, wodurch die Wahl des erforderlichen Druckes ermöglicht wird. Als Druckluftzentrale dient eine beschwerte Glocke. Beim Löschen kann die Luftleitung durch einen Dreiweghahn entleert werden. Die Luft muß durch Chlorcalcium entfeuchtet sein, damit keine Kondensationen vorkommen. In neuerer Zeit sind diese Zünder so weit verbessert worden, daß gar kein Druckluftbehälter mehr erforderlich ist, wenn es sich um einzelne oder wenige Flammen handelt. Es

Fig. 417.



genügt dann eine Federkapsel. Ein dünnes, weiches Messingröhrchen überträgt den Druck auf die Quecksilbersäule im Zünder.

Der Vorzug derartiger Druckluftfernzünder vor den gleich zu besprechenden Gasdruckfernzündern liegt hauptsächlich in der Unabhängigkeit vom Rohrnetz und in der Unabhängigkeit vom Gaswerke selbst. Bei der Straßenbeleuchtung kann die Einschaltung der einzelnen Flammen von einem beliebigen Punkte in der Mitte der Stadt aus erfolgen und bei Verbandgaswerken kann die Zündung in jeder Gemeinde für sich erfolgen. Ebenso kann die Zündung bei größeren Inneninstallationen gruppenweise oder nach einzelnen Flammen vorgenommen werden.

Eine von Sachse konstruierte pneumatische Gasfernzündung ohne Dauerflamme betätigt das Ventil mit Hilfe eines kleinen Kolbens, der durch Luftdruck oder Saugwirkung hin und her bewegt wird<sup>1)</sup>. Die Zündung des Gases erfolgt an einer Zündpille (vgl. S. 1036). Zunächst jedoch entzündet sich eine Zündflamme, welche dann erst die Hauptflamme in Tätigkeit setzt und durch den wieder herabfallenden Kolben wieder erlischt.

In ähnlicher Weise arbeitet der Askania-Luftdruckzünder, Fig. 418. Druck und Saugwirkung in dem Luftröhrchen wird durch Hineindrücken oder Herausziehen des Knopfes *e* bewirkt, der die Membrane *d* betätigt. Die Wirkungsweise des von dem Kolben *k* betätigten Kugelventils *p* ist aus der Figur ohne weiteres ersichtlich.

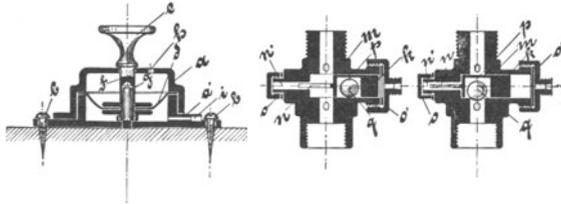
β) Gasdruck. Die vorstehenden Druckzünder erfordern die Anlage einer eigenen Leitung für die Druckluft. Diese kann vermieden werden, wenn man den Gasdruck selbst dazu benutzt, um das Öffnen und Schließen der Ventile zu besorgen. Dieses Verfahren ist speziell bei der Preßgasbeleuchtung schon seit langem in Anwendung und beruht darauf, daß ein Kolben die Gaszuleitung zur Hauptflamme geschlossen hält, solange der Druck im Gaszuleitungsrohre eine gewisse Grenze nicht überschreitet, und ist in

<sup>1)</sup> Fritzsche, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 743.

diesem Zustande die Zuleitung des Gases zu einer Zündflamme, die dauernd brennt, geöffnet. Sobald jedoch in der Gasleitung hoher Druck auftritt, was dann der Fall ist, wenn Preßgas in die Leitung gelangt, wird der Kolben durch diesen Druck verschoben und es entzündet sich die Hauptflamme an der zunächst durch den Druck wesentlich länger gewordenen Zündflamme und darauf verschließt der Kolben durch seine Verschiebung die Zündflamme<sup>1)</sup>.

Dasselbe Prinzip läßt sich jedoch auch auf Zündvorrichtungen für Innenräume übertragen, wo zwar keine so hohen Gasdrucke zur Verfügung stehen, wie bei der Preßgasbeleuchtung, wo aber doch auch durch den veränderten Druck das Öffnen des Ventiles und Entzündung des Gases an einer Dauerflamme bewirkt werden kann.

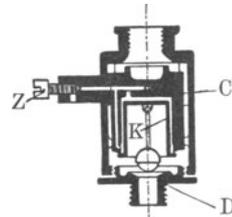
Fig. 418.



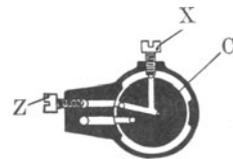
Ein Beispiel eines der-

artigen Zünder ist in dem Dessauer Gaszünder, Fig. 419, gegeben. In der Gaszuleitung befindet sich an beliebiger Stelle ein Abschlußhahn, welcher nur so viel Gas hindurchtreten läßt, als die Zündflamme verbraucht, wenn die Hauptflamme außer Tätigkeit sein soll. Demzufolge ist während dieses Ruhezustandes in der Zuleitung zwischen dem genannten Hahn und dem Brenner nur ein geringer Druck vorhanden, so daß das Hauptflammenventil geschlossen bleibt. Öffnet man hingegen den genannten Hahn, so tritt der volle Gasdruck zur Zündvorrichtung, öffnet dort das Kugelventil, das von dem Kolben *K* getragen wird, so daß sich die Hauptflamme entzündet und gleichzeitig die Gaszufuhr zur Zündflamme durch den unteren Rand des Kolbens abgeschlossen wird.

Fig. 419.



Ein besonders ausgebildeter Wechselschalzhahn ermöglicht auch, eine oder mehrere Flammen, z. B. in einem Treppenhaus, von beliebiger Stelle aus einschalten und von anderer Stelle ausschalten zu können. Ebenso kann diese Zündung mit einem Zeitschalter, etwa für 3 Minuten-Beleuchtung, verbunden werden<sup>2)</sup>.



γ) Gasdruckwellen. Eine gleichmäßige Erhöhung oder Verminderung des Druckes zum Zwecke des Zündens und Löschens läßt sich nur in den Fällen anwenden, wo sämtliche an das betreffende Rohr angeschlossene Flammen gleichzeitig gezündet oder gelöscht werden sollen. Dieses Verfahren ist also nicht anwendbar, wenn Konsumenten an das betreffende Rohr angeschlossen sind, die von dieser Zündung unabhängig bleiben müssen, oder aber sie müssen Druckregler besitzen, welche diese veränderlichen Drucke ausgleichen. Der erste, welcher eine vorübergehende Druckerhöhung, eine

<sup>1)</sup> Bertelsmann, „Lehrbuch der Leuchtgasindustrie“, 2. Band, S. 215. —

<sup>2)</sup> Diese Zünder werden auch in Verbindung mit Laternen-Zünduhren (vgl. S. 1028) geliefert.

sogenannte Druckwelle anwendete, um sowohl das Öffnen, als auch das Schließen der Gaszufuhr zu den Laternenbrennern zu bewirken, war Klinkerfuß in Göttingen<sup>1)</sup>. Bei diesen Druckwellenfernzündern wird entweder eine Membrane, ein Lederbalg oder eine in einer Flüssigkeit schwimmende Glocke durch die vorübergehende Druckerhöhung gehoben und betätigt das Abschlußorgan. Geht dann der Druck wieder auf seine normale Höhe zurück, so bleibt das Abschlußorgan geöffnet und tritt erst bei einer zweiten Welle durch abermaliges Auf- und Abgehen des Steuerungsorganes wieder der Verschuß der Gaszufuhr ein. Danach könnten jedoch nur alle Straßenlampen gleichzeitig gelöscht werden. Es besteht hingegen das Bedürfnis, nach Aufhören des starken Verkehrs den größeren Teil der Straßenflammen zu löschen, einen kleineren Teil hingegen bis zum Eintritt der Dämmerung brennen zu lassen (Nachtlaternen). Die genannten Druckwellenfernzündler müssen daher so eingerichtet sein, daß jene, welche für die ganznächtigen Laternen bestimmt sind, durch die zweite Druckwelle nicht beeinflußt werden und erst bei der dritten Druckwelle, welche dann des Morgens gegeben wird, das Abschlußorgan verschließen. Dagegen müssen die halbnächtigen Laternen, welche durch die erste Druckwelle, ebenso wie die ganznächtigen, geöffnet wurden, durch die zweite Druckwelle verschlossen werden und durch die dritte Druckwelle unbeeinflußt bleiben. Bei der vierten Druckwelle, welche am anderen Abend gegeben wird, müssen dann wieder sämtliche Laternen entzündet werden.

Zur Zündung des Gases verwendet man bei diesen Fernzündern beinahe ausschließlich die Dauerflamme. Es könnte jedoch auch die katalytische Zündung verwendet werden (S. 1036), im Falle es gelingen würde, dieselbe betriebsicher zu gestalten. Zur Anwendung der Reibzündung (S. 1038) fehlen bei der Druckwellenzündung die erforderlichen Kräfte und die elektrische Zündung erscheint hier schon deshalb ausgeschaltet, weil bei Vorhandensein von elektrischem Strom auch das Öffnen und Schließen der Gaszufuhr auf elektrischem Wege besorgt werden könnte, womit dann die Druckwellenzündung überflüssig würde.

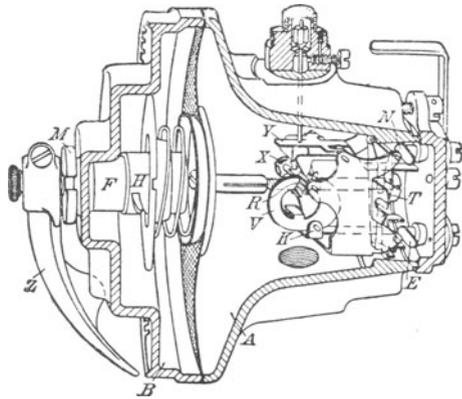
Die Druckwellenfernzündler dürfen durch kurze Druckstöße, wie sie z. B. bei Sturm durch den Druck des Windes auf den Gasbehälter vorkommen können, nicht beeinflußt werden. Zu diesem Zwecke besitzen diese Zündler die sogenannte „Sturmdüse“, welche durch Anordnung einer Drosselung den Druck nur allmählich auf das Regelungsorgan einwirken läßt. Es wurden vielfach Zweifel darüber laut, ob bei größeren Höhenunterschieden die Druckwelle an allen Stellen des Rohrnetzes gleichmäßig auftritt. Es hat sich jedoch gezeigt<sup>2)</sup>, daß die Zündung trotz großer Niveaudifferenzen gut funktioniert, wenn der Druckverlust zufolge der Rohrdimensionen nicht zu groß ist. Dies läßt sich ja auch voraussehen, weil Höhenunterschiede nur eine gleichbleibende Erhöhung oder Verminderung des Gasdruckes bewirken können, der Gasdruckfernzündler jedoch nur durch die Druckerhöhung oder durch die Druckverminderung betätigt wird.

Der Druckwellenfernzündler „Bamag“<sup>3)</sup> ist in Fig. 420 dargestellt. Das Gehäuse A ist durch eine Membrane in zwei Teile geteilt, auf der einen Seite

<sup>1)</sup> Göhrum, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 490; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 320. — <sup>2)</sup> Metzger, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 835. — <sup>3)</sup> Ebend. 1905, S. 92; vgl. ferner Meyer, ebend. 1909, S. 341.

der Membrane wirkt der Gasdruck, auf der anderen Seite hingegen eine Feder, deren Spannung durch Drehung des Zeigers *Z* geregelt werden kann. Dieser zeigt an einer Skala, welche an dem Gehäuse angebracht ist, den Druck an, bei welchem die Membrane sich hebt und der Zünder in Funktion tritt. Die Bewegung der Membrane wird durch einen Stift *T* und ein entsprechendes Hebelwerk auf ein Zahnrad *R* übertragen, das einen Exzenter *X* dreht. Dieser betätigt den Hebel *Y*, auf welchem die Spindel des Ventiles aufruhet. Läßt der Gasdruck nach, so geht der Stift *T* zurück, wogegen die Zurückdrehung des Zahnrades *R* durch die Falle *V* verhindert wird. Der Exzenter *X* macht daher die Drehung immer nur in einer Richtung. Bei der zweiten Druckerhöhung wird derselbe weiter gedreht und es hängt nun von der Ausbildung dieses Exzenters ab, ob der Hebel *Y* bei der Weiterdrehung gehoben bleibt, was bei den ganznächtigen Laternen der Fall ist, oder in eine Ausnehmung fällt, so daß die Flammen bei der zweiten Druckerhöhung gelöscht werden. Ein an der Außenseite des Gehäuses in der Zeichnung rechts oben angedeuteter Hebel ermöglicht das Öffnen des Ventiles von außen, im Falle die Funktion des Apparates gestört ist. Zufolge der Anordnung des Zeigers an der Außenseite kann der Bamagzünder gleichzeitig als Manometer dienen, da durch Verstellung der Membranfeder, an einer entsprechenden Stelle Zündung der Flamme eintritt, so daß man den an der Laterne herrschenden Druck aus dieser Stellung ablesen kann. Man stellt dann den Apparat auf 10 bis 20 mm Überdruck ein, welcher durch die Druckwelle erzielt werden muß, wenn die Flamme gezündet werden soll.

Fig. 420.



Ähnlich wie der Bamagzünder ist der „Meteor-Zünder“<sup>1)</sup> konstruiert. Dieser soll den Vorteil besitzen, daß er feiner einstellbar ist, wogegen der Bamagzünder bequemer zu handhaben ist. Ähnlich wirken auch die mit Lederbälgen versehenen Druckwellenfernzünder von Himmel<sup>2)</sup>, ferner der Gascho-Zünder<sup>3)</sup>, welcher später vervollkommenet worden ist<sup>4)</sup>, da bei seiner ursprünglichen Ausführung außer dem Ruhezustande zwei verschiedene Drucke notwendig waren, um die Zündung, bzw. die Löschung zu bewirken. Dies ist jedoch nachteilig, weil es schon nicht immer ganz leicht ist, den Zünddruck mit Sicherheit um ein bestimmtes Maß über den normalen Gasdruck zu erheben. Die Erzielung einer dritten Druckhöhe an allen Stellen des Rohrnetzes bereitet gewiß Schwierigkeiten<sup>5)</sup>. Die gleiche Schwierigkeit tritt auch bei den Zündern von Schwarzkopf<sup>6)</sup> auf. Auch Baudouin<sup>7)</sup> hat einen auto-

<sup>1)</sup> Metzger, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 835. — <sup>2)</sup> Ebend. 1908, S. 91. —

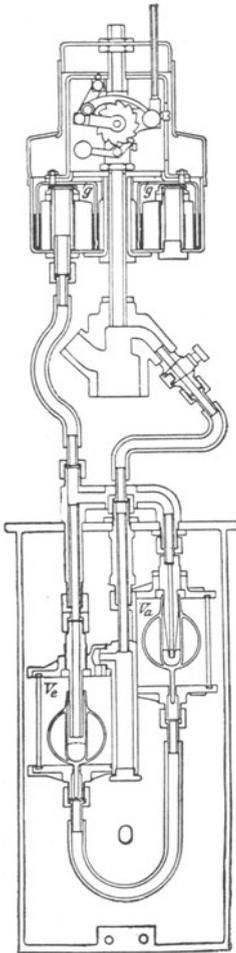
<sup>3)</sup> Ebend. 1908, S. 372. — <sup>4)</sup> Ebend. 1909, S. 396. — <sup>5)</sup> Ebend. 1908, S. 372. —

<sup>6)</sup> Ebend. 1907, S. 819; vgl. auch Burgemeister, ebend. 1908, S. 728. — <sup>7)</sup> Het Gas 1909, Nr. 7; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 788.

matischen Laternenzünder konstruiert, der sich bewährt haben soll. Ein weiterer Gasdruckfernzünder ist unter dem Namen „Gafeg“<sup>1)</sup> im Handel.

An Stelle der Membranen oder der Lederbälge lassen sich natürlich auch in Flüssigkeiten (Glycerin oder Quecksilber) schwimmende Glasglocken benutzen, um die Absperrorgane zu betätigen. Solche sind z. B. angewendet bei den Druckwellenzündern von Müller<sup>2)</sup> und von Zickwolff<sup>3)</sup>. Im

Fig. 421.



Müllerschen Apparat ist eine in Quecksilber schwimmende Glocke mit einer Stange verbunden, die ein steiles Schraubengewinde trägt. Dieses greift in einen Drehschieber ein. Bei diesem Apparat kann die Zündung für Abend- und Nachtlaternen ohne Auswechseln des Apparates eingestellt werden. Der Zickwolffsche Zünder bewegt durch eine Tauchglocke ein Zahnrad, das mittels Exzenters den Ventilhebel und dadurch ein Kugelventil bewegt. Er ist sehr einfach, seine Teile sind leicht ersetzbar und er wirkt auch bei Sturm- und Druckschwankungen sicher; außerdem ist der Apparat billig und daher sehr beachtenswert<sup>4)</sup>.

Da das Öffnen dicht schließender Hähne oder Ventile einen beträchtlichen Kraftaufwand erfordert, welcher durch die Druckwelle geleistet werden muß, sind auch Konstruktionen ausgeführt worden, welche diese Kraftleistung nicht der Druckwelle überweisen, sondern eine andere Kraftquelle verwenden. So ordnet Kilchmann<sup>5)</sup> eine Feder an, welche durch die Gasdruckwelle nur ausgelöst wird und dann das Öffnen und Schließen der Abschlußorgane bewirkt.

Gegen diese Kombination wird eingewendet, daß sie die Zündung sowohl vom richtigen Gasdruck, als auch von der richtigen Wirkung der Feder abhängig macht<sup>6)</sup>.

Rostin<sup>7)</sup> verwendet hingegen an Stelle der Druckerhöhung einer Druckwelle den vollen Gasdruck zur Betätigung seines Zünders. Die Auslösung mittels der Druckwelle erfolgt durch Einschaltung von Vorschaltventilen. Dieser Zünder, der neben dem Bamagzünder ebenfalls ausgedehntere Verwendung gefunden hat, ist in Fig. 421 dargestellt. Die Vorschaltventile *Va* und *Ve* sind mit Glycerin gefüllt, in welchem Hohlkörper schwimmen, die etwas Quecksilber als Abschlußmittel enthalten. Die Einstellung erfolgt durch Verschieben der Tauchröhrchen. Die Glocke, welche den vollen Gasdruck aufnimmt, dreht ein Zahnrad und dadurch den horizontalen konischen Hahn. Die Vorschaltventile sind im Laternenbügel oder in gußeisernen Kästen untergebracht. Ein Vorteil dieses Zünders ist, daß der Mechanismus nicht im Gase liegt und der Zünder daher

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 892. — <sup>2)</sup> Ebend. 1908, S. 1036. — <sup>3)</sup> Ebend. 1908, S. 561. — <sup>4)</sup> Meyer, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 341. — <sup>5)</sup> Jahrbuch „Über die Fortschritte des Beleuchtungswesens“ 1909, S. 106. — <sup>6)</sup> Othmer, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 373. — <sup>7)</sup> Ebend. 1904, S. 236, und 1905, S. 1161.

gleichmäßig arbeitet<sup>1)</sup>. Bei diesem Zünder genügt somit eine verhältnismäßig kleine Druckerhöhung, um einen dichtschießenden gewöhnlichen Wirbelhahn zu betätigen. Der Apparat wird meist nur bei besonders schwierigen Druckverhältnissen angewendet.

Die Anforderungen, welche an eine gute Laternenzündung zu stellen sind, sind nach O. Meyer folgende:

1. Bewegliche Teile müssen gegen unbeabsichtigte Verstellung gesichert sein.
2. Sämtliche Teile müssen bequem und billig ersetzbar sein.
3. Die Zündvorrichtungen müssen von ungeübten Arbeitern bedienbar sein.
4. Auch die Montage muß durch ungelernete Arbeiter ausführbar sein.
5. Die Einstellung und Umstellung der Apparate muß sich schnell und einfach ermöglichen lassen.
6. Die Apparate müssen ihre Einstellung beibehalten.
7. Beim Versagen der Fernzündung müssen die Apparate von der Hand bedienbar sein.
8. Die Zündvorrichtungen dürfen keine große Schattenbildung hervorrufen.
9. Die Apparate müssen dauerhaft, auch gegen Witterungseinflüsse unempfindlich sein und dürfen auch beim Umfahren der Laternen nicht stark leiden.
10. Das sich absetzende Naphtalin muß leicht zu beseitigen sein.
11. Die Apparate müssen sich durch Lohnersparnis bald amortisieren.
12. Die Zündvorrichtungen müssen gegen unwillkürliche, z. B. durch Sturm hervorgerufene Druckschwankungen unempfindlich sein.

Bedingung für die gute Funktion der Druckwellenfernzünder ist ferner, daß die Druckverhältnisse im Rohrnetze durchaus gleichmäßige und geregelte sind. Es müssen daher vor Einführung der Fernzünder die örtlichen Verhältnisse genau geprüft werden<sup>2)</sup>.

Bei der Zündung treten auch stets Versager auf und ist daher bei jeder Zündung und Löschung eine Revision, am besten durch Radfahrer, erforderlich. Um die Versager möglichst zu vermeiden, gibt man die Druckwelle beim Einsetzen des starken Konsums und gibt den Druck nicht plötzlich, sondern allmählich<sup>3)</sup>. Eine weitere Bedingung für die gute Funktion der Druckwellenzünder ist auch, daß der Gasbehälter genügend Druck geben muß, um die Druckwelle mit Sicherheit hervorzurufen. Er muß um mindestens 20 mm mehr Druck zu liefern vermögen als zuzeiten des höchsten Verbrauches erforderlich ist.

Als Vorteile der Druckwellenfernzündung hebt Meyer hervor<sup>4)</sup>, daß ein Mann bequem 200 Laternen bedienen kann, also viermal soviel als sonst<sup>5)</sup>; daß die Beleuchtung erst bei Beginn der Dunkelheit in Betrieb gesetzt werden muß, daher bei hellem Wetter Ersparnisse an Gas erzielt werden<sup>6)</sup>; daß die wenigen Laternenputzer einen guten Lohn erhalten und daher bessere, voll beschäftigte Leute verwendet werden können, denen auch die Instandhaltung der Lampen zugewiesen werden kann.

<sup>1)</sup> Meyer, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 341. — <sup>2)</sup> Buhe, ebend. 1910, S. 697. — <sup>3)</sup> Ebend. 1911, S. 892. — <sup>4)</sup> Vgl. auch Göhrum, ebend. 1910, S. 490; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 320. — <sup>5)</sup> Vgl. auch Dobert, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 576. — <sup>6)</sup> Vgl. auch Schütte, ebend. 1909, S. 209.

Weitere Vorteile sind die Ersparnisse an Glühkörpern, welche bei dieser ruhigen Zündung nicht leiden<sup>1)</sup>. Auch ein geringerer Bruch von Laternen hat sich ergeben<sup>2)</sup>. Die Anschaffungskosten amortisieren sich daher in etwa drei Jahren.

Ein besonderer Vorteil dieser Art der Zündung von Straßenlaternen ist dadurch gegeben, daß namentlich mit Hilfe des in dieser Beziehung sehr praktischen Bamagzünders das Rohrnetz einer ständigen Kontrolle auf die richtigen Druckverhältnisse unterzogen wird. Ergeben sich bei der Zündung oder Löschung Versager, so prüft man durch Drehen des Zeigers, der, wie oben erwähnt, als Manometer dient, auf den Druck, welcher im Rohre herrscht und kann daraus auf Fehler im Rohrnetze schließen.

Pintsch hat die Druckwellenzündung auch für Innenbeleuchtung angewendet und den Druckwellenfernzünder (auch für Straßenbeleuchtung) für stehendes und hängendes Gasglühlicht ausgebildet<sup>3)</sup>.

δ) Der elektrische Strom. Elektrische Fernöffner werden immer in Verbindung mit der elektrischen Zündung (S. 1040) verwendet. Wir werden sie daher mit dieser zusammen besprechen. Für die Zündung von Straßenlampen wäre die Anlage zu teuer<sup>4)</sup>, für die Innenbeleuchtung haben sich jedoch die elektrischen Fernöffner gut bewährt, wenn man entsprechende Vorsichtsmaßregeln berücksichtigt. So z. B. muß zum Öffnen ein stärkerer Strom erforderlich sein als zum Schließen, damit das Offenbleiben der Ventile bei zu geringer Stromstärke auf alle Fälle vermieden wird. Als Abschlußorgane verwendet man zufolge der geringen zur Verfügung stehenden Kräfte jetzt nicht mehr Hähne, sondern entweder Scheibenventile oder Kugelventile. Letztere z. B. beim Luxschen Zünder.

Wir gehen nun zur Besprechung der Zündung des Gases über.

II. 1. Die Anordnung der Zündflammen (Dauerflammen) haben wir bereits im Kapitel 68 „Laternen und Kandelaber“ (S. 999) besprochen. Sie stellen zweifellos das sicherste Mittel der Zündung dar und werden daher für die meisten Fernöffner angewendet, mit Ausnahme der elektrischen, bei denen die Zündung durch den elektrischen Strom erfolgt. Der einzige Nachteil der Dauerflamme ist der Gasverbrauch, der je nach Umständen 5 bis 10 Liter pro Stunde beträgt. Außerdem verhindert das Vorhandensein der Zündflammen bei Innenbeleuchtungen das Abdrehen des Haupthahnes, doch ist dies, wie wir auf S. 613 bereits besprochen haben, ohnedies nicht zu empfehlen, so daß in dieser Beziehung das Vorhandensein der Zündflammen eher einen Vorteil als einen Nachteil bedeutet.

II. 2. Die katalytische Zündung oder Pillenzündung beruht auf der Erscheinung, daß sich Platinmohr, wenn man es in ein Gemisch von Wasserstoff und Luft bringt, bis zum Glühen erwärmt, so daß dadurch eine Entzündung des Gasluftgemisches erzielt werden kann. Maßgeblich für die Zündung ist daher der Wasserstoffgehalt des Gases. Diese Art der Zündung wird gewöhnlich nur bei der Handzündung angewendet. Sie erscheint jedoch auch für Fernzündung geeignet, im Falle sie genügend betriebssicher ausgebildet werden könnte, was bisher jedoch noch nicht der Fall ist. Die oben genannte Erscheinung hatte Döbereiner bereits am Platinschwamm entdeckt

<sup>1)</sup> Zielinsky, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 266; ferner Saulmann, ebend. 1911, S. 837. — <sup>2)</sup> „Erfahrungen bei der Einrichtung der Fernzündung“, ebend. 1911, S. 835. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 117. — <sup>4)</sup> Kobbert, ebend. 1911, S. 835.

und darauf sein Platinfeuerzeug gegründet. 1888 verwendete Rosenfeld dieses Verfahren zur Zündung des Gases, doch erst vom Jahre 1895 ab, wo Duke <sup>1)</sup> seine Platinmohrzündpillen auf den Markt brachte, hat dieses Verfahren allgemeiner Anwendung gefunden. Weitere Verbesserungen der Platinmohrzündpillen rühren von Perl<sup>2)</sup> und Novak<sup>3)</sup> her. Die wesentlichste Verbesserung war die, daß die Platinmohrpille in Verbindung mit sehr dünnen Platindrähten gebracht wurde, welche die Eigenschaft haben, in helles Glühen zu geraten und ausströmendes Gas zu zünden, wenn sie vorher angewärmt worden sind. Im kalten Zustande dagegen erhitzen sich derartige dünne Platindrähte durch das Gas allein nicht. Die Platinmohrpille dagegen hat wieder die Eigenschaft, sich bis zum Glühen zu erwärmen, ohne daß sie jedoch das Gas mit Sicherheit entzünden würde. Zufolge der Vereinigung der Pille mit dünnen Platindrähten erwärmt sich zunächst die Platinmohrpille; sie erwärmt die Drähte, diese gelangen zur Weißglut und entzünden das Gas. Leider behält die Platinmohrpille diese Eigenschaft nur auf beschränkte Dauer. Manche Pillen verlieren ihre Zündfähigkeit außerordentlich rasch, einzelne halten jahrelang. Durch manche Gase, z. B. Schwefelwasserstoff oder Ammoniak, verlieren die Pillen ihre Zündfähigkeit sofort.

Man hat die Zündpillen gewöhnlich in den Blakern, das sind Aufsätze aus Metall, welche man auf den Glaszylindern des stehenden Gasglühlichtes aufsetzte, untergebracht. Hier sind jedoch die Pillen dauernd den Abgasen ausgesetzt. Man hat deshalb Zünder konstruiert, bei denen die Pille den Abgasen entzogen ist. So z. B. wurde beim Fiat-Lux, der eine Zeitlang vielfach Anwendung fand, durch die Zündpille nur eine Hilfsflamme entzündet, deren Wärme dann benutzt wurde, einen Platindraht auszudehnen, welcher das Hauptventil öffnete, das Zündflammenventil hingegen schloß, damit die Pille der Flamme entzogen war. Beim Meister-Zünder <sup>4)</sup>, der speziell für hängendes Gasglühlicht konstruiert ist, sitzt ein Zündröhrchen an einem Dreiweghahn. Der eigentliche Zündapparat mit Pille und Drähten ist in einem Halter untergebracht. Bei Zündstellung ist die Zündleitung offen und der Brenner nur teilweise offen, nach der Zündung dreht eine Feder den Hahn etwas zurück, öffnet dabei den Brenner ganz und schließt die Zündleitung.

Die Beanspruchung der Zündpatronen, d. h. die Anzahl der Zündungen, welche dieselbe bereits bewirkt hat, ist für die Funktion der Zündpille nicht maßgeblich. Hingegen ist folgender Umstand von Wichtigkeit. Oberhalb des Zylinders sind Gasluftgemische von oft ganz verschiedener Zündfähigkeit vorhanden. Es ist daher zweckmäßig, mehrere Zündpillen an verschiedenen Stellen der Patrone anzubringen. Auch die Anbringung eines schrägen Schirmes, welcher die Gase sammelt, begünstigt die Zündung. Die Einwirkung des Staubes scheint von nicht allzu großer Bedeutung zu sein. Vielfach wurden Konstruktionen angewendet, um die Pille automatisch vor Erwärmung und dauernder Bepflügelung mit Abgasen zu schützen. So z. B. hat Grix <sup>5)</sup> die Pille an einem Flügelrade aufgehängt, welches durch die Wärme der Abgase in Rotation versetzt und wodurch die Pille seitlich über den Zylinderrand ausgeschleudert wurde. Auch bewegliche Marienglasscheiben wurden verwendet,

<sup>1)</sup> D. R.-P. Nr. 91 284. — <sup>2)</sup> D. R.-P. Nr. 104 035. — <sup>3)</sup> D. R.-P. Nr. 113 861. —

<sup>4)</sup> Butzke, Gasglühlicht-Aktiengesellschaft, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 245. —

<sup>5)</sup> Ebend. 1910, S. 457; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 295.

die durch den Auftrieb der Abgase gehoben wurden, wodurch die daran aufgehängte Pille aus dem Bereiche der Abgase herausgebracht wurde. Weil jedoch die hohen Temperaturen der Lagerung der beweglichen Teile schädlich sind, so verzichten jetzt die meisten Zünderfabrikanten auf die Entfernung der Pille aus der Zone der Abgase und suchen sie durch Drahtnetze oder perforierte Glimmerplättchen zu schützen; dies ist aber nur ein unvollkommener Schutz, weil dann doch noch ein Teil der Abgase die Pille bespült.

Grix hat daher eine Vorrichtung konstruiert, welche die Pille aus der Abgaszone entfernt, ohne bewegliche Gelenke zu besitzen. Das Herausdrehen der Pille erfolgt durch einen Streifen aus zweierlei Metallen von verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten. Zuzufolge der Länge des Streifens und der doppelten Wirkung funktioniert derselbe schon bei einer geringen Temperaturerhöhung, während die kleinen Spiralen, die früher verwendet wurden, nach der starken Erhitzung, der sie ausgesetzt werden mußten, nicht wieder genau in ihre ursprüngliche Lage zurückkehrten. Bei Hängelicht ist der Apparat außen an der Mantelfassung befestigt. Die Schwierigkeiten sind hier größer als beim stehenden Licht<sup>1)</sup>. Man muß die Patronen möglichst nahe dem oberen Rande eines der innen stehenden Schutzbleche des Abzugrohres anbringen. Die beiden Seiten sind oft in bezug auf die Zündung nicht gleichwertig. Die Abgase wirken hier noch schädlicher als beim stehenden Licht, weil die Temperaturen höhere sind. Blakerzünder sind hier kaum verwendbar. Mit dem von Grix konstruierten Zünder, sollen jedoch auch hier gute Resultate erzielt worden sein. Als Zündpatrone kommt am besten die von Novak konstruierte trommelartige Zündpille zur Anwendung. Die Zünddrähte sollen nicht allzu dünn sein, da sonst die Zündung zu rasch erfolgt, wodurch Flammenrückschläge vorkommen können. Es sind daher Drähte von 0,06 mm vorzuziehen.

Man hat die Zündpillen auch oft an den Glühkörpern angebracht und auf diese Weise selbstzündende Glühkörper hergestellt. An Stelle der Drähte bringt man dann an den Glühkörpern Streifen an, welche durch Bestreichen des Glühkörpers mit einer Platinlösung hergestellt werden und ebenfalls zum Glühen kommen und die Zündung des Gases bewirken<sup>2)</sup>. In neuester Zeit ist die Herstellung der selbstzündenden Glühkörper wieder aufgenommen worden<sup>3)</sup>. Die Sicherheit der Zündung läßt jedoch noch immer zu wünschen übrig.

II. 3. Die Reibzünder wirken in der Weise, daß zwei feste Körper aneinandergeschlagen werden und dadurch Funken geben, daß sich Teilchen des einen der beiden Körper ablösen und gleichzeitig durch die bei der Reibung entstehende Wärme bis auf die Verbrennungstemperatur erhitzt werden. Die entstehenden Funken sind daher um so intensiver, je größer die Menge der vom entzündbaren Körper abgerissenen Teilchen und je geringer deren Entzündungstemperatur ist. Der gewöhnliche Feuerstein, welchen unsere Vorfahren benutzt haben, reißt ebenfalls von dem Schlageisen Splitterchen ab, welche an der Luft verbrennen. Das Eisen hat jedoch eine sehr hohe Entzündungstemperatur, so daß nur einzelne Teilchen bis auf diese Temperatur gelangen und daher auch nur einzelne Funken entstehen.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1193. — <sup>2)</sup> Ebend. 1898, S. 547, u. 1899, S. 294. —

<sup>3)</sup> Bencke, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 10; vgl. auch Journ. f. Gasbel. 1911, S. 972.

Auer von Welsbach hat hingegen Legierungen aus Eisen und seltenen Erdmetallen, speziell Cer, hergestellt, welche eine besonders niedrige Entzündungstemperatur haben, dabei hart sind, so daß sie sich nicht zu rasch abnutzen und von denen doch eine große Anzahl von Teilchen abgerissen wird, wenn sie mit einem Stahl geschlagen werden. Diese Legierungen werden heute allgemein für Taschenfeuerzeuge benutzt und es liegen vielfach Versuche vor, diese Art der Zündung für die Gasflammen zu verwenden. Auer verwendet zweierlei Legierungen: das sogenannte Auermetall I (geschmolzen) und ferner Legierungen, welche niedrige Oxyde der seltenen Erdmetalle enthalten und mit Auermetall II (gefrittet) bezeichnet werden. Die Metalle erhalten noch, je nach dem Verwendungszweck, verschiedene Zusätze<sup>1)</sup>. Blöcke bis zu 10 kg kosten 100 Kronen pro 1 kg.

Das Auer'sche Patent auf pyrophore Legierungen rührt aus dem Jahre 1903 her, es vergingen jedoch fünf Jahre, ehe das erste brauchbare Taschenfeuerzeug mit pyrophorer Zündung in den Handel kam [D. R.-P. Nr. 207 183, das jedoch nicht aufrecht erhalten werden konnte<sup>2)</sup>].

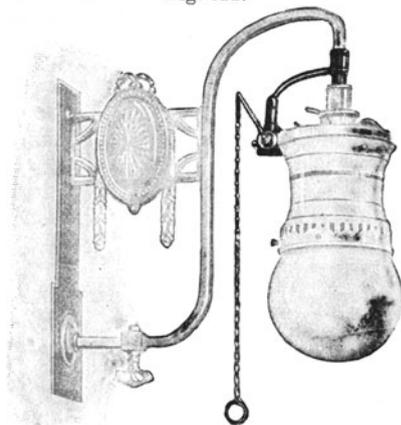
Zum Zwecke der Bearbeitung der Auermetalle muß das Metall reichlich mit einem Gemisch von 1 Tl. Mineral-schmieröl mit 1 Tl. Petroleum bespült werden. Wasser und Säure greifen das Auermetall an<sup>3)</sup>. 1 g Auermetall reicht für 5000 bis 6000 Zündungen aus<sup>4)</sup>.

Bedingung bei der Metallzündung ist, daß die Funkenbildung mit geringer Masse und geringer mechanischer Energie ausgelöst werden muß. Das Produkt dieser beiden Größen kann als Maßstab des pyrophoren Effektes gelten<sup>5)</sup>.

Während die reinen Erdmetalle (Cer, Lanthan) eine Entzündungstemperatur von 280° besitzen, hat das Auermetall I mit 30 Proz. Eisen eine Entzündungstemperatur von 180 bis 220°, und Metall II, welches Oxyde und ebenfalls 30 Proz. Eisen enthält, eine noch niedrigere Entzündungstemperatur von nur 120 bis 140°. Es scheint also, daß gerade die niedrigeren Oxyde die pyrophore Eigenschaft des Metalles begünstigen. Mengt man Ceroyd und Cermetall und erhitzt das Gemenge schwach im Vakuum unter vollständigem Ausschluß von Luft, so tritt ein Erglühen ein und die entstehenden Produkte enthalten niedrigere Oxyde des Cers. Dies zeigt, daß eine Reaktion auch innerhalb des Metalles selbst, ohne Zutritt der äußeren Luft, eine Temperatursteigerung bedingt.

Die Betätigung der Reibzünder zum Zwecke der Zündung von Gasflammen erfolgt bis jetzt beinahe ausschließlich mit der Hand. Es kann dabei entweder besonders der Gashahn geöffnet und die Zündung vorgenommen

Fig. 422.

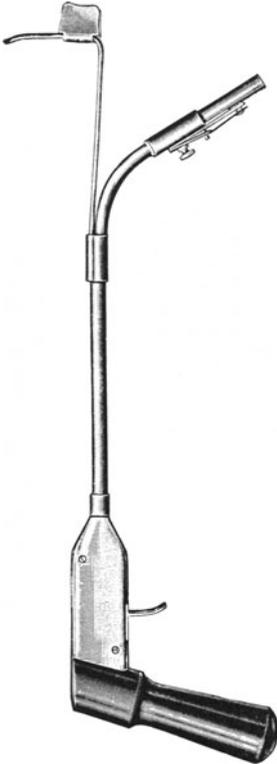


<sup>1)</sup> Lieferanten sind in Österreich die Treibacher Chemischen Werke in Kärnten und für Deutschland die Pyrophor-Metallgesellschaft, A.-G., in Cöln. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 270. — <sup>3)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 627. — <sup>4)</sup> Böhm, ebend. 1911, S. 40. — <sup>5)</sup> Fattinger, Chem.-Ztg. 1910, S. 470; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 137.

werden, wie dies z. B. beim Reibzünder der Zentralwerkstatt Dessau der Deutschen Kontinental-Gasgesellschaft der Fall ist (Fig. 422), oder der Gashahn steht mit dem Reibzünder derart in Verbindung, daß beim Öffnen des Hahnes auch gleichzeitig der Zünder betätigt wird. Um sicher zündende Funken zu erzielen, ist jedoch ein nicht unbeträchtlicher Kraftaufwand erforderlich, weil ein kurzer scharfer Schlag einer geriffelten Stahlfläche auf das Zündmetall ausgeführt werden muß.

Fig. 423 zeigt einen Reibzünder mit pistolenartigem Griff der Aktiengesellschaft für Selas-Beleuchtung in Berlin. Durch Anziehen der Zunge

Fig. 423.



wird eine Feder gespannt und wieder losgelassen, wodurch ein Stab, der an seinem Ende eine stählerne Reibfläche besitzt, an dem Zündmetall rasch vorbeigerissen wird. Das Zündmetall befindet sich in einer kleinen Hülse, als ein etwa 5 mm langer Zylinder von etwa 2 mm Durchmesser, der durch eine nachstellbare Feder fest gegen die Reibfläche gepreßt wird. Die gerade Verlängerung der Pistole (in der Zeichnung links oben) trägt einen Hahnöffner. Ein ähnlicher Reibzünder ist unter dem Namen „Jago“ in den Handel gekommen<sup>1)</sup>.

Bei den Reibzündern, bei welchen die Betätigung des Gashahnes mit der Hand erfolgt, wird ebenfalls durch eine geeignete Hebelübersetzung zunächst eine Feder gespannt und dann losgelassen, zum Zwecke, um die Reibfläche an dem Zündmetall rasch vorbeizuführen.

Auch zum Zwecke der Zündung von Straßenlampen sind die Cer-Eisenzünder verwendet worden. Zweckmäßig ist es dabei, das Gasluftgemisch zunächst in eine windgeschützte Explosionskammer zu leiten, in welcher sich der Zündmechanismus befindet<sup>2)</sup>. Eine derartige Zündvorrichtung kann auch mit dem Aufzugsseil der Lampe betätigt werden.

II. 4. und 5. Elektrische Zündung. Diese hat vor den anderen Zündern den Vorteil, daß sowohl die Betätigung des Ventiles als auch die Zündung selbst durch ein und dieselbe Kraft, nämlich den elektrischen Strom, bewirkt werden kann. Zuzufolge der Drahtleitung, welche hierfür notwendig ist, scheint diese Zündung allerdings nicht für die Straßenlampen geeignet, verspricht aber für die Innenbeleuchtung große Vorteile, ebenso für die Schaufensterbeleuchtung. Nach den in Berlin herausgegebenen Vorschriften für die Gasbeleuchtung in Schaufenstern müssen unter den Lampen Glasplatten angebracht oder  $2\frac{1}{2}$  mm

<sup>1)</sup> Geliefert von Gebrüder Jakob in Zwickau. Gaszünder liefern ferner: Bünthe u. Remmler in Frankfurt a. M., Lahnstraße 60; Gustav Mittelstentscheid, Cöln-Lindenthal; F. Herber, Effern b. Cöln, Metallwarenfabrik in Bergengop-Zoom, Holland; Robert Fuss, Bonn, Kaiserstraße 34; Zentralwerkstatt Dessau der Deutschen Kontinental-Gasgesellschaft. — <sup>2)</sup> Wunderlich, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 425.

starke Glasglocken verwendet werden, die unten vollständig geschlossen sind, um heiße Zylinder- oder Strumpfteile nicht herabfallen zu lassen. Diese Lampen dürfen nicht mit offenem Licht gezündet werden, sondern sie müssen mit chemischen oder elektrischen Anzündern oder elektrischen Fernzündern entzündet werden. Bedingung ist dabei:

a) daß es unmöglich sein muß, die Lampen ohne Benutzung des betreffenden Zünders anzuzünden;

b) daß explosionsartige Zündungen ausgeschlossen sein müssen;

c) daß die Zündung auch noch wirken muß, wenn der Strom schon zu schwach geworden ist, um den Hahn zu öffnen;

d) daß das Schließen durch den Strom leichter erfolgen muß als das Öffnen, um bei schwacher Wirkung der Batterie wohl noch das Schließen des Hahnes bewirken zu können, wenn er zum Öffnen desselben bereits zu schwach geworden ist.

Die in Berlin zugelassenen Gasfernzündler sind nach Wendt<sup>1)</sup> die folgenden.

Der Sonnenzünder hat besondere Druckknöpfe zum Zünden und Löschen. Ein Unterbrecheranker gibt Funken am Zündkontakt einer Nebenflamme, die nur so lange brennt, als Stromschluß vorhanden ist. Der Apparat ist in eine Messingkapsel eingeschlossen, so daß der Hahn von außen nicht geöffnet werden kann. Die Öffnerspule enthält einen Widerstand, um das Öffnen bei zu schwachem Strom unmöglich zu machen. Zur Verstärkung der Funken ist eine Verstärkungsspule angeordnet.

Der Zünder „Rapid“ wirkt wie der Sonnenzünder, jedoch trägt der Öffnungsanker ein Gestänge, welches die Zündflamme durch sein oberes Ende abschließt und dort gleichzeitig beim Öffnen den Öffnungsfunken erzeugt. Auch bei diesem Zünder darf der weiße Druckknopf nicht losgelassen werden, bis die Zündung erfolgt.

Der „Multiplex“-Zünder erzeugt die funkenbildenden Unterbrechungen durch eine schwingende Feder im Einschalter. Sobald der Hahn geöffnet ist, wird die Öffnerspule durch Kurzschluß ausgeschaltet, damit der Anker nicht weiter klappert. Auch bei diesem wird die Funkenbildung durch eine Induktionsspule erhöht. Hört die Feder auf zu schwingen, bevor noch die Zündung erfolgt ist, so muß der Schalter nochmals gedreht werden.

Der elektrische Gasfernzündler von Rosenfeld bewirkt die größere Sicherheit des Schließens dadurch, daß der Schließungsanker dem Elektromagnet näher steht als der Öffnungsanker. Ebenso wird die Zündflamme sicher geöffnet, weil der Öffnungsanker das Zündstangenventil erst hebt, nachdem er schon sehr nahe an die Spule herangekommen ist. Im übrigen ist Rosenfelds Zünder ähnlich dem Rapidzünder.

Der „Gnom“-Zünder von der Multiplexgesellschaft ermöglicht, durch einen Hebel den Hahn von außen zu öffnen, um auch mit dem Streichholz zünden zu können. Dieser Zünder ist demzufolge jedoch in Schaufenstern nicht zulässig.

Der „Herkules“-Zünder, der ebenfalls von der Multiplexgesellschaft hergestellt wird, vermeidet das Festsetzen des Hahnkükens dadurch, daß dasselbe in Spitzen gelagert ist, deren eine von einer Feder sanft angedrückt wird und

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 97 u. 367.

deren andere verstellbar ist, so daß immer die richtige Stärke der Reibung und der Dichtigkeit des Kükens eingestellt werden kann. Die Multiplexgesellschaft hat auch einen Zentralschalter zum Zünden mehrerer Flammen nacheinander von einem Schalter aus und einen Mehrfachschalter zur Zündung sämtlicher Flammen von einer Zentrale aus, und schließlich einen Uhrwerkschalter für automatische Treppenbeleuchtung konstruiert<sup>1)</sup>.

Der Imperialzünder von Lange<sup>2)</sup> charakterisiert sich durch eine Kontaktstange, die mit dem Anker verbunden ist und durch diesen in Schwingungen versetzt wird. Es treten dadurch Funkenbildungen an der Kontaktstelle ein, die das Gas an einem Zündflammenrohr entzünden. Bei Unterbrechung des Stromes schließt sich das Zündflammenventil.

Der Vorzug dieser Anordnung besteht darin, daß die Funkenbildung 4mm unterhalb des Brennerkopfes stattfindet, so daß ein Ausglühen der Kontaktstelle ausgeschlossen ist.

Auch zur Zündung von Preßgasflammen können natürlich die elektrischen Zünder verwendet werden. Hierzu eignet sich z. B. der elektrische Zünder der James Keith & Blackmann Co., bei welchem jeder Brenner einzeln vom Schaltbrett aus kontrolliert werden kann<sup>3)</sup>.

Alle diese bisher genannten elektrischen Zünder sind sogenannte „Induktions“-Zünder, welche eine Unterbrechung des Stromes und Verstärkung durch eine Induktionsspule erfordern. Die Zündung kann jedoch auch durch einen, mit dem elektrischen Strom angewärmten dünnen Platindraht erfolgen. Ein Repräsentant dieser Glühdrahtzünder ist der elektrische Fernzünder von Jeidel, genannt „Seneta“<sup>4)</sup>. Die Magnetspule, welche das Öffnen des Ventiles bewirkt, erhält den Strom durch einen Widerstand. Nach Öffnen des Hahnes wird diese Öffnerspule ausgeschaltet, so daß der ganze Strom durch den Zünddraht geht, der eine Nebenflamme entzündet. Beim Loslassen des Zündkopfes erlischt die Nebenflamme zufolge der Wirkung einer Feder auf ein Ventil. Der Vorteil dieser Zünder ist, daß eine schwächere Batterie angewendet werden kann. Der „Seneta“ wurde dann verbessert, indem der Zünddraht in den Stromkreis des Öffnermagnetes eingeschaltet wurde. Wenn dann der Platindraht zerstört ist, so kann auch keine Hahnöffnung stattfinden. Gleichzeitig bewirkt der Widerstand der Drahtes, daß der Öffnermagnet schwerer funktioniert als der Magnet zum Schließen des Ventiles, wie dies der Vorschrift entspricht. Ein Strom von 3 Amp. und 3 Volt soll zuverlässig zünden. Bei Hängelicht ist wegen der Wärmeleitung eine Asbestmuffe einzuschalten. Bei Bogenarmen wird der Zünder seitlich angebracht<sup>5)</sup>.

Nach neueren Angaben soll eine Erwärmung des Drahtes auf 60 bis 100° zur Zündung genügen und eine Stromstärke von 0,4 bis 0,45 Amp. bei 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Volt Spannung gebraucht werden.

## 72. Vergleich der Beleuchtungsmittel; Hygiene der Gasbeleuchtung.

Im folgenden wollen wir die Vorzüge und Nachteile der einzelnen Beleuchtungsarten in technischer, hygienischer und wirtschaftlicher Beziehung

<sup>1)</sup> Über Treppenhausbeleuchtung, automatische Zeitzündung, s. auch Reinhard, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 572. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 851. — <sup>3)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, S. 513; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 17. — <sup>4)</sup> Wendt, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 97. — <sup>5)</sup> Vgl. auch Jeidel, ebend. 1911, S. 1104.

zusammenstellen und miteinander vergleichen. Das elektrische Licht soll hierbei, dem Rahmen dieses Buches entsprechend, nur insoweit herangezogen werden, als dies beim Vergleich mit anderen Beleuchtungsarten notwendig ist.

Über die physikalischen und physiologischen Nutzeffekte, welche mit den verschiedenen Beleuchtungsmitteln erzielt werden können, haben wir bereits auf S. 36 berichtet. Wir haben dort gesehen, daß zur Steigerung des physikalischen Wirkungsgrades, d. h. jenes Teiles der gesamten ausgestrahlten Energie, welchen wir als Licht empfinden, die Anwendung hoher Temperaturen erforderlich ist. Dagegen ist zur Steigerung des physiologischen Proportionalitätsfaktors die Erzeugung eines Lichtes mit möglichst vielen grünen Strahlen erforderlich, weil das grüne Licht auf unser Auge bei gleichem Energieaufwand eine viel intensivere Wirkung hat als das Licht von anderer Farbe. Die Anwendung hoher Temperaturen ist bei der elektrischen Bogenlampe und bei der Preßgasbeleuchtung die Ursache der günstigen Nutzeffekte, wogegen betreffs der physiologischen Wirkung das Gasglühlicht an erster Stelle steht, weil es zufolge seines Reichtums an grünen Strahlen unser Auge am stärksten beeinflußt.

Die Tabelle auf S. 38 zeigt jedoch, wie gering noch der physikalische Wirkungsgrad des Gasglühlichtes ist und daß somit in dieser Beziehung noch wesentliche Verbesserungen erreichbar sind, während beim elektrischen Licht in dieser Beziehung nicht mehr so viel wird verbessert werden können und hier nur durch eine Steigerung des physiologischen Faktors bessere Nutzeffekte möglich wären. Auch das elektrische Licht müßte also von dem Bogenlicht, welches reich an violetten Strahlen ist, und von dem Glühlicht, welches reich an roten Strahlen ist, zu einem Lichte übergehen, welches mehr gelbe und grüne Strahlen enthält, um auf unser Auge stärker zu wirken.

Betreffs der Farbe des Lichtes sollen wir allerdings danach streben, das Tageslicht so weit wie möglich nachzuahmen, d. h. also ein Licht zu liefern, welches die einzelnen Farben in der gleichen Weise zusammengesetzt enthält, wie dies im weißen Lichte der Fall ist. Ein in Zahlen ausdrückbares Maß für die Farbe eines Lichtes ist allerdings noch nicht vorhanden, wir können jedoch den Gehalt einer Lichtquelle an weißem Lichte bestimmen, indem wir jene Partie des Spektrums der betreffenden Lichtquelle herausuchen, welche in dem Lichte am wenigsten vertreten ist, und dann die anderen Teile des Spektrums nur mit jenem Teile in Anrechnung bringen, welcher der Intensität dieser schwächsten Farbe entspricht, so daß das Gemisch aller dieser Spektralteile ein rein weißes Licht liefern würde. Diese „weiße“ Lichtstärke, bezogen auf die Gesamtlichtstärke, stellt dann den in Prozenten auszudrückenden Gehalt an weißem Lichte dar. Auch diesbezüglich ist das Gasglühlicht den anderen Beleuchtungsarten überlegen<sup>1)</sup>. Am ungünstigsten betreffs der Farbe des Lichtes erscheint hingegen die Quecksilberdampf Lampe auch in ihrer Form als Quarzlampe<sup>2)</sup>. Eine Korrektur der Lichtfarbe könnte eventuell durch rote Glasglocken vorgenommen werden, es würde dadurch aber ein großer Teil der Intensität verloren gehen. Ebenso hat man versucht, elektrische Glühlampen mit einzuschalten, um mehr rote Strahlen zu erhalten,

---

<sup>1)</sup> Freitag, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 49 und Roßkothén, Ebend. 1910, S. 1145. — <sup>2)</sup> Bussmann, „Elektrotechnischer Anzeiger“ 1908, S. 78; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 289.

doch werden dieselben durch den Anfangsstrom übermäßig beansprucht und brennen andererseits im Dauerstrom zu dunkel. Die frei brennenden Flammen, ebenso die elektrische Kohlenfadenglühlampe geben ein Licht, welches zu viel rote Strahlen enthält. Die elektrische Metallfadenglühlampe ist diesbezüglich etwas günstiger, jedoch ebenfalls noch zu reich an roten Strahlen. Das in neuester Zeit aufgetretene „Moore“-Licht hat hingegen ein diskontinuierliches Spektrum, d. h. es sendet nur einzelne Wellenlängen aus und wird daher niemals ein Licht, welches alle Farben enthält, d. h. ein rein weißes Licht, liefern, obwohl dasselbe nach Wunsch mit einer roten und einer weißen Farbenabstufung geliefert werden kann.

Um den praktischen Vergleich verschiedener Beleuchtungsmittel durchführen zu können, ist vor allem die Kenntnis des Verbrauches an Brennmaterial bzw. Energie erforderlich, welche zur Erzielung einer bestimmten Lichtstärke aufgewendet werden muß. Dieser Verbrauch wird naturgemäß von verschiedenen Beobachtern sehr verschieden angegeben. In der Tabelle XXI des Anhanges sind die Angaben verschiedener Beobachter zusammengestellt. Leider ist bei den verschiedenen Brennmaterialien, insbesondere beim Steinkohlengas, in den seltensten Fällen der Heizwert des Gases oder eine sonstige nähere Charakterisierung des Gases angegeben, so daß die Zusammenstellung in dieser Beziehung unvollkommen ausfallen mußte. Immerhin gibt dieselbe einen Überblick und es lassen sich daraus Mittelwerte ziehen, auf Grund deren dann die weiteren Zahlen der Tabelle berechnet sind. So z. B. zeigt diese Tabelle auch den Kohlenverbrauch, welcher pro 1000 Kerzenstunden bei den einzelnen Beleuchtungsmitteln aufgewendet werden muß.

Von Wichtigkeit für die vergleichende Beurteilung verschiedener Beleuchtungsmittel ist auch die Lichtverteilung (S. 1047), welche bei den einzelnen Beleuchtungsarten erzielt werden kann. Auch bei der Straßenbeleuchtung spielt dies eine nicht unbeträchtliche Rolle. Das Gas ist diesbezüglich dem elektrischen Bogenlicht überlegen, weil es eine mildere und gleichmäßigere Verteilung der Beleuchtung auf der Straße gestattet<sup>1)</sup>. Aber auch durch die Starklichtlampen, insbesondere die Preßgasbeleuchtung, welche eine große Menge von Licht in ähnlicher Weise auf einen Punkt konzentriert, wie dies bei der elektrischen Bogenlichtbeleuchtung der Fall ist, läßt sich eine gleichmäßigere Beleuchtung erzielen, und gibt Drehschmidt<sup>2)</sup> für die Straßenbeleuchtung in Berlin nachstehende Zahlen, gegen die allerdings Bloch<sup>3)</sup> Stellung nahm.

	Für Gas- beleuchtung	Für Beleuchtung mit elektrischen Alkakohlen
Maximale Horizontalbeleuchtung . . . .	149,4 Lux	132,3 Lux
Minimale Horizontalbeleuchtung . . . .	3,4 „	2,0 „
Mittlere Horizontalbeleuchtung . . . .	25,0 „	23,1 „
Verhältnis Maximum zu Minimum . . .	44	66
Verbrauch pro 1 Lux und 100 m <sup>2</sup> . . .	13 Liter	4,9 Watt

<sup>1)</sup> Vgl. Wrightington, Versuchsanstallation in Boston, Journ. of Gaslighting 1910, S. 33; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 425. — <sup>2)</sup> Neueste Fortschritte der Berliner Straßenbeleuchtung und ihr Vergleich mit bisherigen Beleuchtungsarten, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 49 u. 389. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 1045; 1909, S. 385.

Es kommt dabei sehr in Betracht, daß beim elektrischen Bogenlicht zufolge des starken Glanzes Klarglasglocken nur bei sehr großer Aufhängehöhe verwendbar sind. Bei Flammenbogenlampen muß die Aufhängehöhe eine größere sein, falls man sich nicht mit einem geringeren Gleichmäßigkeitsgrad der Beleuchtung begnügen will als bei Gas. Durch die größere Höhe sinkt aber der mittlere Wert der Horizontalbeleuchtung. Nach Drehschmidts Angaben beträgt die Helligkeit des Potsdamerplatzes in Berlin, der mit Preßgas beleuchtet ist, bei gut regulierten Lampen 25 Lux und ist um 45 Proz. höher als die Helligkeit der mit elektrischen Alkoholenbogenlampen beleuchteten Friedrichsstraße.

Bei der Lichtverteilung durch elektrisches Bogenlicht kommt ferner noch hinzu, daß eine Reduktion der Lichtstärke, wie dies beim Gas möglich ist, nicht erzielt werden kann<sup>1)</sup>. Alles dies bezieht sich in gleicher Weise auf alle Gasbeleuchtungsarten. Das elektrische Glühlicht ist allerdings betreffs der Lichtverteilung dem Bogenlicht überlegen und in vieler Beziehung dem Gas gleichwertig, wenn nicht sogar etwas überlegen. Aber die Mehrkosten der elektrischen Glühlichtbeleuchtung gegenüber dem Gasglühlicht, wie sie in der vorhin genannten Tabelle gegeben sind, sind so bedeutende, daß dieser Vorteil des elektrischen Lichtes nur in besonderen Fällen zur Geltung gelangen kann. In sehr schöner Weise ermöglicht das erst in allerletzter Zeit praktisch eingeführte Moorelicht die Lichtverteilung, indem dasselbe in langen Glasröhren von 20 bis 66 m Länge erzeugt wird, so daß nicht wie bei den anderen Beleuchtungsarten einzelne helle Punkte als Lichtquellen dienen, sondern lange zusammenhängende Linien. Von Wedding<sup>2)</sup> wurde die Lichtstärke

bei Streifen von 1 cm Länge zu . . . . .	0,224	HK
„ „ „ 3 „ „ „ . . . . .	0,622	„
„ „ „ 6 „ „ „ . . . . .	1,253	„
„ „ „ 8 „ „ „ . . . . .	1,545	„

gemessen. Pro laufenden Meter wurde eine Lichtstärke von 51,1 HK gemessen. Der Effektverbrauch betrug 87,6 Watt, was einem spezifischen Verbrauch von 1,53 Watt auf die Hefnerkerze entspricht. Es ist zweifellos, daß diese neue Beleuchtungsart wegen ihrer günstigen Lichtverteilung vielfache Anwendung wird finden können.

Während bei der Straßenbeleuchtung die Lichtverteilung eine hervorragende Rolle spielt, so ist für den Vergleich der verschiedenen Beleuchtungsmittel für die Innenbeleuchtung auch der dekorative Effekt, der durch die Beleuchtungskörper erzielt werden kann, von maßgeblicher Bedeutung, namentlich wenn es sich darum handelt, luxuriös ausgestattete Räume zu beleuchten. Bisher war diesbezüglich das elektrische Glühlicht allen anderen Beleuchtungsarten wesentlich überlegen. In der letzten Zeit hat man aber, besonders durch die Einführung des Hängelichtes und durch die künstlerische Ausgestaltung der Beleuchtungskörper für Hängelicht, Effekte erzielt, welche dem elektrischen Glühlicht in keiner Weise nachstehen. Auch bei der Außenbeleuchtung hat man die Maste, insbesondere z. B. für die Preßgasbeleuchtung, ebenso wie die Straßenüberspannungen (vgl. S. 1001), so elegant ausgeführt, daß auch diese der elektrischen Bogenlichtbeleuchtung auf der Straße nicht nachstehen.

<sup>1)</sup> Witt, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 112. — <sup>2)</sup> Elektrotechnische Zeitschrift 1910, S. 501; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 42.

Ebenso stand betreffs der Bequemlichkeit in der Handhabung der Beleuchtung bisher das elektrische Glühlicht an erster Stelle. Erst in der letzten Zeit hat man es durch die Anwendung von Selbstzündern und Fernzündern auch bei der Gasbeleuchtung versucht, es in bezug auf die Bequemlichkeit der Entzündung dem elektrischen Glühlicht gleichzutun. Leider haben die Zündvorrichtungen (S. 1027) noch nicht jenen Grad der Vollkommenheit erreicht, daß man sagen könnte, das Gasglühlicht sei auch in dieser Beziehung dem elektrischen Glühlicht gleichwertig. Es kann aber wohl erwartet werden, daß sich im Laufe der Zeit Zündvorrichtungen herausbilden werden, welche das Gaslicht auch in dieser Beziehung dem elektrischen Glühlicht nahe bringen werden.

In neuerer Zeit ist man bestrebt, die Erzeugung der Beleuchtungsmittel speziell zum Zwecke der Lichtverteilung in ausgiebigerem Maße zu zentralisieren als bisher und dieselben auf große Entfernungen von einer Zentrale aus zu verteilen, weil dadurch die Spesen der Verwaltung und auch die Verzinsung und Amortisation verhältnismäßig geringer werden. Zu diesem Zwecke muß das betreffende Leuchtmittel auf große Entfernungen und ohne wesentliche Verluste verteilt werden können. Auch hier ist die elektrische Beleuchtung durch die Ausführung der Überlandzentralen vorangegangen, und man hat durch die Anwendung hochgespannter Ströme die Kosten der Fernleitung auf ein Minimum herabgedrückt. Die Verluste, die dabei eintreten, sind jedoch nicht unbeträchtliche. Im letzten Jahrzehnt hat man nun auch das Gas in verhältnismäßig engen Leitungen unter hohem Druck auf weite Entfernungen gepreßt, wie wir bei der Besprechung der Ferndruckleitungen auf S. 588 erfahren haben. Die Verluste an Gas, welche dabei eintreten, sind unbedeutend und gänzlich zu vernachlässigen. Es ist zur Gasfernversorgung nur ein Aufwand an Energie erforderlich, der wesentlich geringer ist, als der Verlust an Energie, welcher bei der elektrischen Fernversorgung eintritt.

Beim Vergleich verschiedener Beleuchtungsmittel ist auch zu berücksichtigen, daß man das gleiche Mittel auch zu anderen Zwecken, insbesondere zum Kochen, zum Heizen, zum Motorenbetrieb und zu vielen industriellen Zwecken anwenden kann. Dies trifft sowohl bei der Verteilung von Gas, als auch bei der Verteilung von Elektrizität zu. Betreffs der Versorgung mit motorischer Kraft hat die Elektrizität dem Gas namentlich durch seine bequeme Anwendbarkeit für kleine und kleinste Motoren den Rang abgelaufen. Nicht so jedoch betreffs des Kochens und Heizens und der Verwendung zu industriellen Zwecken. Dies rührt daher, weil der elektrische Strom die Energie darstellt, welche erst in Wärme umgesetzt werden muß, wenn sie zu derartigen Zwecken dienen soll. Beim Gas ist hingegen die Sache umgekehrt. Das Gas wird zunächst durch die Verbrennung in Wärme umgesetzt, welche erst im weiteren Verlauf in motorische Kraft verwandelt werden kann. Die Verluste dieser Verwandlung der Wärme in motorische Kraft sind nun bekanntlich verhältnismäßig hohe. Umgekehrt sind allerdings auch Verluste bei der Verwandlung des elektrischen Stromes in ausnutzbare Wärme vorhanden, diese sind jedoch sehr gering, und die hohen Kosten der Anwendung des elektrischen Stromes als Heizmittel liegen nur in den hohen Kosten des Stromes überhaupt.

Über den Vergleich des Kochens mit Elektrizität und mittels Gas werden wir im Kapitel 75 näher sprechen. Hier sei nur erwähnt, daß 1 Liter Wasser

bei einem Strompreis von 20 ₤ pro Kilowatt zum Sieden erhitzt 2,24 ₤ kostet, während die entsprechende Gasmenge bei einem Einheitspreis von 14 ₤ pro Kubikmeter nur 0,5 ₤ kostet. Also auch wenn man sehr billige Strompreise in Ansatz bringt, ist die Elektrizität diesbezüglich noch immer vier- bis fünfmal so teuer wie das Gas. Das gleiche trifft natürlich für alle Zwecke zu, wo die gelieferte Wärmemenge in Betracht kommt, und die Elektrizität kann nur in solchen Fällen einen Vorteil bieten, wo ihr besonderer Vorzug in Betracht kommt, die Erzeugung hoher Temperaturen ohne Abgabe von Abgasen zu ermöglichen.

Ehe wir den Vergleich der verschiedenen Beleuchtungsmittel in technischer Beziehung schließen, muß noch erwähnt werden, daß die Betriebssicherheit einer Beleuchtungsart beim Vergleich in Betracht gezogen werden muß, die erfahrungsgemäß beim Gas eine weitaus größere ist als beim elektrischen Licht. Störungen, die beim letzteren infolge von Kurzschlüssen oder schlechten Kontakten auftreten, sind beim Gas so gut wie ausgeschlossen. Selbst bei größeren Betriebsunfällen, wie dies z. B. beim Brande des Hamburger Gasbehälters der Fall war, konnte die Straßenbeleuchtung mit einer kurzen und kaum bemerkbaren Einschränkung aufrecht erhalten bleiben <sup>1)</sup>.

Wenden wir uns nun dem hygienischen Vergleich der einzelnen Beleuchtungsarten zu, so haben wir zuerst die Verunreinigung zu betrachten, welche die Luft durch die verschiedenen Beleuchtungsmittel erfährt. Diesbezügliche Angaben, auf die gleiche Lichtstärke gerechnet, finden wir in der schon genannten Tabelle XXI im Anhang. Zuzufolge der Einführung der Gasglühlichtbeleuchtung ist durch den so außerordentlich verminderten Konsum der Flammen die Menge der Verbrennungsprodukte eine so geringe geworden, daß sie praktisch gar nicht mehr in Betracht kommt und nicht mehr als ein Nachteil der Gasbeleuchtung gegenüber dem elektrischen Licht bezeichnet werden kann. Schon Pettenkofer hat gezeigt, daß 10 Promille reine Kohlensäure in der Luft nicht schädlicher sind, als 1 Promille Kohlensäure in Form von Ausatemluft. Die Ursache hiervon ist die, daß der Mensch außer der Kohlensäure einen giftigen Stoff, das Kenotoxin, ausatmet <sup>2)</sup>. Weichardt <sup>3)</sup> weist darauf hin, daß zwei Menschen ebensoviel Kohlensäure liefern wie ein Auerbrenner. Außerdem aber bewirkt jede Gasflamme lebhaftere Luftzirkulation, welche dazu führt, daß die Luft in die Höhe geführt wird und daher an der Stelle, wo sich der Kopf der Menschen befindet, bei der Gasbeleuchtung weniger Kohlensäure vorhanden ist, als bei elektrischer Beleuchtung, wenn sich Menschen in dem betreffenden Raum aufhalten. So wurde z. B. von Prof. Frankland <sup>4)</sup> nachgewiesen, daß in einer Kunstgalerie, wo keine künstliche Beleuchtung war, sich der Prozentsatz an Kohlensäure in der Luft vergrößerte, wogegen er bei Gasbeleuchtung zufolge der Ventilation sich nicht steigerte. Auch Rideal <sup>5)</sup> prüfte besetzte Schulzimmer und fand, daß bei Gasbeleuchtung lange nicht so viel Verbrennungsprodukte in der Luft gefunden wurden, als erwartet war, weil die durch die Gasbeleuchtung hervorgerufene Ventilation die-

<sup>1)</sup> Schäfer, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 422. — <sup>2)</sup> Vgl. Othmer, „Gas und Hygiene“, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1126. — <sup>3)</sup> Über Ausatemluft, Archiv f. Hygiene 1908, S. 252; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 90. — <sup>4)</sup> Journ. of Gaslighting 1911, S. 226; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 556 und 965. — <sup>5)</sup> Elektrische und Gasbeleuchtung in hygienischer Beziehung, Journ. f. Gasbel. 1908, S. 664; Journ. of Gaslighting Nr. 2239, S. 613.

selben entfernte. Die Temperatur und der Feuchtigkeitsgehalt der Luft war ebenfalls nicht höher als bei elektrischer Beleuchtung. Die Zunahme des Kohlensäuregehaltes ist mehr durch die Menschen bedingt als durch die Beleuchtung. Je kleiner ein Raum ist, um so intensiver wirkt die durch die Gasbeleuchtung hervorgerufene Ventilation. Bei der Wahl zwischen Gas und elektrischer Beleuchtung braucht man sich daher von hygienischen Bedenken keineswegs leiten zu lassen. Auch Lewes <sup>1)</sup> fand, daß bei Beleuchtung eines gleichen Raumes einmal mit Gas und einmal mit elektrischem Licht die Luft in Atmungshöhe bei beiden Beleuchtungsarten gleich rein war, wenn sich in dem Raume zwei Menschen aufhielten. Dazu kommt aber noch, daß bei Gasbeleuchtung die Luft von krankheitserregenden Keimen befreit wird, weil sie durch die Flammen hindurchgesogen wird. Die Sache stellt sich um so günstiger, je mehr Menschen sich in dem Raume befinden. Lewes fand, daß der Kohlensäuregehalt bei der Beleuchtung mit Leuchtgas in Atemhöhe tatsächlich niedriger war als bei elektrischer Beleuchtung. Ähnliches fand auch Cooper <sup>2)</sup>, indem er folgende Resultate erhielt:

	Elektrisches Licht	Gas
Prozente Kohlensäure bei Versuchsbeginn . . . . .	0,064	0,071
Prozente Kohlensäure nach 3 Stunden . . . . .	0,218	0,202
Zunahme in Prozenten . . . . .	0,154	0,131

Es fand sich also hier wieder, daß der Kohlensäuregehalt der Luft in einem von Menschen benutzten Raume bei Gasbeleuchtung weniger zunimmt als bei elektrischer Beleuchtung. Die Erklärung liegt eben in der ventilierenden Wirkung der Gasflamme.

Außer der Kohlensäure kommt auch noch die schweflige Säure in Betracht, welche aus den sehr geringen Mengen von Schwefel, die im gereinigten Gas enthalten sind, bei der Verbrennung entstehen. Nussbaum <sup>3)</sup> gibt an, daß 0,02 bis 0,03 cm<sup>3</sup> schweflige Säure in einem Liter Luft nach mehrstündiger Einwirkung nur ganz minimale Symptome auf die Gesundheit hervorrufen. Nehmen wir aber an, in 100 m<sup>3</sup> Steinkohlengas seien 200 g Schwefel enthalten, so ergibt dies in einem Raume von 100 m<sup>3</sup>, in welchem 100 Liter Gas verbrennen, wenn die Verbrennungsprodukte vollständig in der Luft erhalten würden, 0,2 g, d. i. 0,06 cm<sup>3</sup> schweflige Säure, so daß auf 1 m<sup>3</sup> Luft 0,0006 cm<sup>3</sup> und auf 1 Liter Luft 0,000006 cm<sup>3</sup> schweflige Säure entfallen. Also selbst bei diesem hohen Gehalt des Gases an Schwefel, der praktisch nie vorkommt, ist eine gesundheitsschädliche Wirkung vollkommen ausgeschlossen. Auch das im Gase enthaltene Cyan ist vollständig unschädlich, da dasselbe in der Flamme vollständig zu Kohlensäure, Wasserdampf und Stickstoff verbrannt wird. Schließlich entstehen bei der Verbrennung des Gases noch Spuren von salpetriger Säure (vgl. S. 76), die jedoch praktisch ohne alle Bedeutung sind.

Außer der Verunreinigung der Zimmerluft durch Verbrennungsgase kommt ferner noch der Verbrauch an Sauerstoff in Betracht. Derselbe ist ebenfalls in der Tabelle XXI des Anhanges eingetragen. Der Sauerstoffverbrauch ist im

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 293. — <sup>2)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, S. 705; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 285. — <sup>3)</sup> Othmer, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1126.

Hinblick auf die Lufterneuerung durch die Ventilation ein so geringer, daß er ebenfalls nicht in Betracht zu ziehen ist.

Bei der hygienischen Beurteilung der Beleuchtungsmittel kommt neben den Veränderungen der Luft auch noch die Erwärmung derselben in Betracht. Wir haben hier die gesamte abgegebene Wärmemenge und die durch Strahlung ausgesendete zu unterscheiden. Seinerzeit, als man das Gas noch in offenen Flammen brannte, war die Erwärmung der Zimmerluft zufolge der großen zur Verbrennung gelangenden Gasmengen eine beträchtliche. Heute ist sie verschwindend, weil der Gasverbrauch für die Lichteinheit auf etwa den zehnten Teil herabgegangen ist. Die Wärmemengen, welche die Lichtquellen liefern, und ebenso die Strahlung derselben ist ebenfalls in der genannten Tabelle XXI des Anhanges wiedergegeben.

In München wurden im Jahre 1904 von einer gemischten Kommission Versuche vorgenommen <sup>1)</sup>, welche ergaben, daß die Temperaturerhöhung am Ende der Versuche bei Gasbeleuchtung um 1,2<sup>0</sup> mehr betrug als bei elektrischer Beleuchtung. Auch Scholz <sup>2)</sup> gibt an, daß die Erwärmung eines Zimmers von 7,5 × 5 × 4 m mit acht Grätzinlampen zu je 110 HK Lichtstärke nach 3<sup>1</sup>/<sub>4</sub> Stunden nur 4<sup>0</sup> Temperatursteigerung ergab, während acht 50 kerzige Metallfadenlampen in gleicher Zeit eine Erwärmung von 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub><sup>0</sup> hervorriefen. Also gibt die gleiche Lichtmenge ungefähr die gleiche Erwärmung. Aus der genannten Tabelle geht zwar hervor, daß die gleiche Lichtstärke bei Gas höhere Wärmemengen liefert als bei elektrischer Glühlichtbeleuchtung, aber es wird eben bei der praktischen Verwendung des Gases eine stärkere Ventilation erzielt, welche einen Teil der erwärmten Luft abführt.

Betreffs der Wärmestrahlung steht das Gasglühlicht sogar günstiger da als das elektrische Glühlicht (vgl. S. 1027). Die in der genannten Tabelle XXI eingetragenen Zahlen, welche von Rubner <sup>3)</sup> stammen, zeigen, daß die Strahlung des Gasglühlichtes nur etwa die Hälfte jener der elektrischen Glühlampe beträgt. Bei den Metallfadenglühlampen, die bei dieser Untersuchung offenbar noch nicht in Betracht gezogen wurden, sind die Verhältnisse nur unwesentlich günstiger, weil das Licht eine von der Kohlenfadenglühlampe nur wenig verschiedene Farbe besitzt und somit auch die Menge der ultraroten Wärmestrahlen nicht stark verschieden ist. Will man eine Lichtquelle an eine Arbeitsfläche, in deren Nähe man beschäftigt ist, heranbringen, so ist man an bestimmte Grenzen gebunden, bei deren Überschreitung der Kopf zu sehr von den Wärmestrahlen leiden würde. Rubner bestimmt daher die Ausnutzbarkeit der verschiedenen Lichtquellen in Meterkerzen wie folgt:

Bei Kerzenbeleuchtung . . . . .	34 MK
„ Petroleumbeleuchtung . . . . .	36 „
„ Gas-Schnittbrennern . . . . .	67 „
„ Gas-Argandbrennern . . . . .	54 „
„ elektrischem Glühlicht . . . . .	149 „
„ Gasglühlicht . . . . .	264 „

Auf das Auge sind die Strahlen verschiedener Lichtquellen von verschiedenem Einfluß, nicht nur in bezug auf die Lichtwirkung, sondern auch in gesundheitlicher Beziehung. Schanz und Stockhausen haben Versuche

<sup>1)</sup> Othmer, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1126. — <sup>2)</sup> Die Fortschritte des Beleuchtungswesens 1908, S. 59. — <sup>3)</sup> Othmer, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1126.

angestellt<sup>1)</sup>, aus denen hervorgeht, daß ein bestimmter Teil des ultravioletten Lichtes auf das Auge besonders schädlich wirkt. Läßt man nämlich die Strahlen einer elektrischen Bogenlampe durch eine Quarzlinse auf das Auge fallen, so beginnt die Linse des Auges zu fluoreszieren. Dies ist zwar an sich noch nicht schädlich, jedoch bringt die Fluoreszenz im Laufe der Zeit eine Veränderung hervor, welche eine Trübung der Linse verursacht. Auch treten dann auf der Netzhaut Störungen [Erythroopsie]<sup>2)</sup> ein. Je höher die Temperatur einer Lichtquelle ist, um so mehr ultraviolette Strahlen treten auf. Deshalb sind die in neuerer Zeit verwendeten Lichtquellen, welche zum Zwecke einer günstigen Lichtausbeute hohe Temperaturen verwenden, reicher an ultravioletten Strahlen, und daher leidet das Auge unter diesen mehr als unter den früher verwendeten mit gelbem oder rotem Licht leuchtenden Lichtquellen. Speziell das elektrische Licht ist aber einschließlich des elektrischen Glühlichtes reich an ultravioletten Strahlen, und Schanz und Stockhausen bezeichnen dasselbe daher ebenso wie wegen seiner hohen Flächenintensität (siehe unten) als die für das Auge giftigste Lichtquelle. Schanz und Stockhausen empfehlen, die Lichtquellen zum Zwecke der Absorption der ultravioletten Strahlen mit einem geeigneten Glase, dem sogenannten „Euphosglase“, zu umgeben.

Auch der Glanz der Lichtquellen ist für das Auge von Bedeutung. Die Blendung des Auges rührt ja davon her, daß ein Teil der Netzhaut zu sehr beansprucht wird. Die durch den Glanz hervorgerufene Blendung ist also durch die Lichtintensität pro Quadratcentimeter der leuchtenden Fläche hervorgerufen. Wir haben den Glanz verschiedener Lichtquellen bereits auf S. 1025 kennen gelernt und gesehen, daß das Gasglühlicht auch in dieser Beziehung wieder das günstigste von allen modernen Beleuchtungsmitteln darstellt. Lichtquellen, die einen zu hohen Glanz besitzen, wie z. B. das elektrische Bogenlicht, müssen ja auch tatsächlich mit matten Gläsern versehen werden, wodurch der Glanz verringert, aber auch die Lichtausbeute eine ungünstigere wird<sup>3)</sup>.

In etwas anderer Art wirkt die Blendung, wenn es sich nicht um die direkte Einwirkung der Lichtquelle auf die Netzhaut handelt, sondern um eine ungleichmäßige Beleuchtung. Die Ungleichmäßigkeit kann entweder eine zeitliche oder eine örtliche sein. Brennt eine Lichtquelle zeitlich ungleichmäßig hell, so bezeichnet man sie als unruhig (vgl. S. 1026) und dieses schadet dem Auge, namentlich beim Lesen oder bei feineren Arbeiten, da dann die Pupille gezwungen ist, sich der jeweiligen Lichtstärke anzupassen und durch diese Arbeit eine rasche Ermüdung der Muskeln eintritt. Am unsichersten ist diesbezüglich das elektrische Bogenlicht, bei welchem die Unruhe teils von dem veränderlichen Abstand der beiden Kohlen voneinander, teils von den Schlackenansätzen, welche sich an den Kohlen bilden, herrührt. Namentlich die neueren Flammenbogenlampen, die wegen ihrer Lichtausnutzung so vorteilhaft sind, zeigen diesbezüglich Mängel und sind aus diesem Grunde, sowie auch wegen der Verunreinigung der Luft durch Verdampfung der in ihren Kohlen enthaltenen Salze für die Innenbeleuchtung kaum geeignet.

---

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1908, S. 856. — <sup>2)</sup> Vgl. auch Birch-Hirschfeld, Zeitschr. f. Augenheilkunde 20, Heft 1: „Schutz der Augen vor ultraviolettem Licht“. — <sup>3)</sup> Vgl. Scholz, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 465.

In gleicher Weise wie die zeitliche Ungleichmäßigkeit wirkt aber auch die örtliche Ungleichmäßigkeit blendend und ermüdend auf das Auge. Das Auge bleibt ja nicht stets auf einen Punkt gerichtet und ist daher genötigt, sich den wechselnden Beleuchtungsstärken anzupassen, wenn es verschiedene Stellen eines Raumes oder einer Fläche betrachtet, die ungleichmäßig stark erhellt sind. Wir haben diesbezüglich Näheres schon in dem Kapitel „Lichtverteilung“ (S. 1018) besprochen und es sei nur nochmals hervorgehoben, daß namentlich im Inneren eine gleichmäßige Beleuchtung hygienisch notwendig ist, daß aber auch auf der Straße gesündigt wird, indem die verkehrsreichen Straßen so intensiv beleuchtet werden, während die anschließenden Nebenstraßen gewöhnlich unzureichend beleuchtet sind. Die Beleuchtung einer Straßenfläche selbst soll aber auch möglichst gleichmäßig sein, was am leichtesten mit Hilfe der Preßgasbeleuchtung zu erreichen ist<sup>1)</sup>.

Beim Vergleich der Beleuchtungsmittel haben wir auch die Gefahren zu berücksichtigen, welchen der Konsument oder der Unbeteiligte ausgesetzt sein kann. Diese Gefahren erstrecken sich auf Explosionen und Brand bei Gasen und auf Brände durch Kurzschluß bei Elektrizität einerseits, auf die Vergiftung durch Gasausströmungen und auf die Einwirkung des elektrischen Stromes auf den Körper andererseits. Die Feuer- und Explosionsgefahr wird bei der Gasbeleuchtung gewöhnlich überschätzt, bei der elektrischen Beleuchtung hingegen gewöhnlich wesentlich unterschätzt. Aus statistischen Zusammenstellungen geht hervor, daß die Schadenssummen, welche durch die durch Elektrizität verursachten Brände veranlaßt werden, die Schäden der Brände durch Steinkohlengas wesentlich überschreiten. So z. B. macht das Königlich statistische Landesamt in Preußen<sup>2)</sup> bekannt, daß dem Gase 923 Brandfälle mit einer Schadenssumme von 645 735 *M* zur Last fielen, der Elektrizität hingegen allerdings nur 394 Brandfälle, jedoch mit einer Schadenssumme von 3 834 782 *M* und dem Petroleum 4412 Brandfälle mit einer Schadenssumme von 1 076 706 *M*. Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß die Anzahl der Gasabnehmer etwa 8 bis 10 mal so groß ist, wie die Gesamtzahl der Elektrizitätskonsumenten (vgl. S. 1053). Dadurch wird die Zahl der Verbraucher, welche auf 1 Brandfall kommt, bei Gas wesentlich größer als bei Elektrizität. So z. B. ergab die letzte Brandstatistik von London<sup>3)</sup>, daß 1 Brandfall auf 3012 Gasverbraucher und 1 Brandfall auf 1113 Elektrizitätsverbraucher kam.

Ziehen wir auch die anderen Gasbeleuchtungsarten in das Bereich der Betrachtung der Gefahren, so müssen wir auch diesbezüglich den Unterschied zwischen Explosions- und Vergiftungsgefahr machen. Die Explosionsgefahr hängt zusammen mit der unteren Explosionsgrenze der Gase (vgl. S. 63). Dementsprechend ist Acetylen das explosivste Gas, da schon eine sehr geringe Menge genügt, um die Luft entzündlich zu machen, dann folgt Steinkohlengas, uncarburiertes Wassergas und schließlich Luftgas, von dem am meisten ausströmen muß, ehe die Luft entzündbar wird. Betreffs der Vergiftungsgefahr hingegen steht das Wassergas zufolge seines hohen Kohlenoxydgehaltes an erster Stelle, obwohl zu berücksichtigen ist, daß nicht das Kohlenoxydgas allein Vergiftungserscheinungen hervorruft, sondern auch der Cyangehalt des Gases, welcher noch wesentlich giftiger wirkt, als das Kohlen-

<sup>1)</sup> Wedding, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1155; vgl. auch Journ. f. Gasbel. 1911, S. 977. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 348. — <sup>3)</sup> Journ. of Gaslighting 1910, S. 91; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 636.

oxyd und welches wohl im Steinkohlengas, nicht aber im uncarburierten Wassergas enthalten ist. Acetylen ist ungiftig, wenn es vollständig rein ist. Geringe Mengen von Phosphorwasserstoff, welche im Acetylen vorkommen, können dasselbe jedoch sehr giftig machen. Am wenigsten giftig erscheint das Luftgas, obwohl auch Benzindämpfe betäubend wirken können und auch der Benzolgehalt des Steinkohlengases Vergiftungserscheinungen hervorzurufen vermag. Der Vergiftungsgefahr bei den Gasen steht die Gefahr der körperlichen Beschädigung durch den elektrischen Strom ungefähr gleichwertig gegenüber.

Im allgemeinen eignen sich jene Beleuchtungsarten, welche hohe Anlagekosten, dagegen geringe Betriebskosten verursachen, besser zur Beleuchtung im großen Stile, dagegen jene Beleuchtungsmittel mit geringen Anlagekosten und hohen Betriebskosten, wie z. B. Acetylen und Luftgas nur für kleine Werke, wo eben Verzinsung und Amortisation und besonders die Löhne auf das bescheidenste Maß herabgedrückt werden müssen.

Betreffs der Kosten des Brennmaterial- bzw. des Energieverbrauches verschiedener Beleuchtungsmittel sei wieder auf die im Anhang wiedergegebene Tabelle XXI hingewiesen. Es mußte hier ein Unterschied gemacht werden zwischen den reinen Erzeugungskosten, d. h. Materialverbrauch und Löhnen gegenüber dem Verkaufspreise, welcher letzterer von verschiedenen Umständen beeinflußt ist. Jedoch auch die reinen Erzeugungskosten schwanken selbst bei Annahme einheitlicher Grundpreise für die Rohmaterialien stark mit der Leistung der betreffenden Anlage, da die Löhne bei großen Anlagen eine geringere Rolle spielen als bei kleinen. Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß das billigste Licht mit Hilfe von uncarburiertem Wassergas hergestellt werden kann. Dieses trifft jedoch nur für größere Anlagen zu, da bei kleineren Anlagen Löhne, Verzinsung und Amortisation je nach den Umständen starken Einfluß haben können und da beim Steinkohlengas, besonders im Verkaufspreise des Koks starke Schwankungen eintreten können und der Erlös für Koks naturgemäß von den Rohmaterialkosten für die Gasbereitung in Abzug gebracht werden muß.

Außer den reinen Kosten des Brennmaterials oder der Energie kommen auch noch die Unterhaltungskosten der betreffenden Lichtquellen in Frage. Auch diese sind in der genannten Tabelle eingetragen.

Bei der Wahl einer Beleuchtungsart ist jedoch nicht nur auf die Kosten der Lichtstärke Rücksicht zu nehmen, sondern meistens handelt es sich um die Ermittlung der Kosten einer bestimmten Beleuchtungsstärke. Allerdings wurden dieselben bisher nur wenig berücksichtigt. Weinbeer<sup>1)</sup> gab einen Vergleich in folgender Weise.

Für 1 ♂ erhält man bei:

	pro Quadratmeter und Stunde
gewöhnlichen Petroleumlampen . . . . .	153 Lux
Acetylen, offene Flammen . . . . .	157 „
Metallfadenlampen für 220 Volt . . . . .	184 „
Spiritustischlampen . . . . .	203 „
Metallfadenlampen für 110 Volt . . . . .	255 „
Spiritus, größere Lampen . . . . .	319 „
Acetylenlühllicht . . . . .	357 „
stehendem Gasglühllicht . . . . .	618 „
hängendem Gasglühllicht . . . . .	905 „

<sup>1)</sup> Elektrischer Anzeiger 1909, S. 45; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 908.

Es zeigt sich also auch hier wieder, wie sehr das Gasglühlicht betreffs der Kosten allen anderen Beleuchtungsarten und namentlich auch der elektrischen Metallfadenglühlampe überlegen ist.

Die derzeit in den Gaswerken Deutschlands festgelegten Summen betragen 235 Mill. Mark, welche sich auf 858000 Gasabnehmer verteilen, so daß das Anlagekapital pro Abnehmer 274  $\mathcal{M}$  beträgt. Bei den Elektrizitätswerken ergeben sich 132 Mill. Mark Anlagekapital, welche sich auf 84000 Stromabnehmer verteilen, so daß auf die Anlagekosten pro Abnehmer 1575  $\mathcal{M}$  entfallen, daraus geht natürlich hervor, daß pro Konsument bei Elektrizität ein Betrag für Verzinsung und Amortisation aufgebracht werden muß, der sechsmal so viel beträgt wie für den Gaskonsumenten<sup>1)</sup>.

Einer Zusammenstellung von Busch<sup>2)</sup> entnehmen wir die nachstehenden Werte, welche ausdrücken, wie viel Kubikmeter bzw. Kilowatt, welcher Heizwert und welche Leuchtkraft und welche Kraftleistung pro 1  $\mathcal{M}$  Anlagekapital bei verschiedenen Beleuchtungs- bzw. Energiezentralen an die Konsumenten abgegeben werden können.

Beleuchtungsart	Abgabe pro 1 $\mathcal{M}$ Anlagekapital			
	Kubikmeter bzw. Kilowatt	Heizwert in Kalorien	Licht in Hefnerkerzen	Kraft in Pferdestärken
Steinkohlengas . . . . .	0,873	4426	873	1,26
Luftgas . . . . .	0,921	2765	614	0,92
Acetylen . . . . .	0,097	1225	388	0,38
Elektrizität in größerer Anlage . . . . .	0,400	345	400	0,54
Elektrizität in kleinerer Anlage . . . . .	0,360	311	360	0,50
Uncarburirtes Wassergas <sup>3)</sup> in einer kleineren Stadt . . . . .	1,440	4320	1110	1,44

Ferner sei noch umstehende Zusammenstellung von Anzböck<sup>4)</sup> wiedergegeben, welche bei einem Strompreise von 60 bis 29  $\text{ö}$  je nach den Rabatten und bei einem Gaspreise von 14,5  $\text{ö}$  pro Kubikmeter die Gesamtlichtstärken angibt, welche für 1  $\mathcal{M}$  stündlich erhältlich sind.

Aus allen diesen Zusammenstellungen ist ersichtlich, daß die Gasbeleuchtung seit der Einführung des Gasglühlichtes in Form von Steinkohlengas in den größeren Städten und von Luftgas, Acetylen oder Wassergas in kleineren Städten ganz bedeutend billiger zu stehen kommt, als die elektrische Beleuchtung selbst nach der Einführung der viel sparsameren Metallfadenglühlampe. Bei der Gasbeleuchtung kommt aber noch in Betracht, daß eine wesentliche Verbilligung der Verkaufspreise des Gases eintreten könnte, wenn die Konsumdichte, d. h. der Gaskonsum pro Kilometer Rohrnetz und der Gesamtkonsum eines Werkes gesteigert würde. Daß eine derartige Steigerung möglich ist, zeigen uns die Verhältnisse in England, wo zufolge dieser Steigerung eine wesentliche Verbilligung des Gaspreises eingetreten ist. Eine

<sup>1)</sup> Blum, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 650. — <sup>2)</sup> Ebend. 1911, S. 333. — <sup>3)</sup> Ist in den Aufstellungen von Busch nicht mit enthalten, sondern mußte hier neu hinzugefügt werden. — <sup>4)</sup> Ökonomische Vergleiche zwischen elektrischem und Gaslicht, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1908, S. 149; Journ. f. Gasbel. 1908, S. 471.

	Preise pro HK-Stunde	Für 1 <i>M</i> sind erhältlich HK-Stunden	
<b>A. Elektrisches Licht.</b>			
Kohlenfadenglühlampe .	{ Unterhaltungskosten 0,106 $\frac{1}{2}$ } { Stromverbrauch . . 3,0 " }	560 bis 1 150	
Tantallampe . . . . .	{ Unterhaltungskosten 0,34 " } { Stromverbrauch . . 1,6 " }	1040 " 2 140	
Wolframlampe . . . . .	{ Unterhaltungskosten 0,34 " } { Stromverbrauch . . 1,1 " }	1520 " 3 140	
Gewöhnliche Bogenlampe	{ Unterhaltungskosten 1,02 " } { Stromverbrauch . . 0,6 " }	2780 " 5 750	
Sparbogenlampe . . . .	{ Unterhaltungskosten 0,425 " } { Stromverbrauch . . 0,5 " }	3330 " 6 900	
Flammenbogenlampe . .	{ Unterhaltungskosten 1,70 " } { Stromverbrauch . . 0,33 " }	5050 " 10 450	
<b>B. Gasbeleuchtung.</b>			
	Unterhaltung	Gasverbrauch	
Schnittbrenner . . . . .	0 $\frac{1}{2}$	13,3 $\frac{1}{2}$	520
Argandbrenner . . . . .	0,001 "	10,0 "	690
Stehendes Gasglühlicht .	0,08 "	1,50 "	4 590
Hängendes " . . . . .	0,08 "	0,82 "	8 400
Stehendes Preßgaslicht .		0,8 "	8 620
Hängendes " . . . . .		0,60 "	11 490

Steigerung des Gasabsatzes könnte aber auch am Kontinent durchgeführt werden, wenn die Propaganda und die Zeitungsreklame dem Gas in gleicher Weise dienbar wäre wie dem elektrischen Licht. Auch erscheint es ungerechtfertigt, daß die Gemeinden aus ihren Gaswerken bedeutenden Nutzen ziehen und oft die Gasabnehmer schwere Lasten des Gemeindehaushaltes zu tragen haben, an denen die Elektrizität nicht im gleichen Maße teilnimmt<sup>1)</sup>. Lempelius<sup>2)</sup> vergleicht treffend die Elektrizität mit einem talentvollen Jüngling voll Selbstgefühl, welcher noch in der Entwicklung begriffen ist und Unterstützung braucht, während die Gastechnik ihm als Mann in seiner vollen Kraft gegenübersteht, der seinem Brotherrn — vorwiegend den Stadtgemeinden — so viel Gewinn schafft, wie sonst niemand. Würde aber der Gewinn, welchen die Gaswerke abwerfen, den Konsumenten dadurch zunutze gemacht, daß die Gaspreise entsprechend erniedrigt würden, so würde das Verhältnis zwischen den Kosten von Gas und Elektrizität, auf eine derart gerechte Grundlage gestellt, noch wesentlich mehr zugunsten des Gases lauten.

Ein Beispiel dafür, daß das Gas auch den größten Fortschritten der Elektrizität die Spitze zu bieten vermochte, ist darin gegeben, daß im Jahre 1891 die Wasserkräfte des Lauffener Falles in Form elektrischer Energie nach Frankfurt a. M. geleitet wurden und man damals annahm, die Wasserkräfte Süddeutschlands würden berufen sein, das Lichtbedürfnis des Nordens zu decken, wogegen im Jahre 1906 Lauffen selbst sich veranlaßt sah, ein Gas-

<sup>1)</sup> Schilling, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 753; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 545. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 361.

werk zu errichten<sup>1)</sup>). Jedenfalls wäre es sehr zweckmäßig, wenn den Behörden nicht nur Elektriker, sondern auch Gasfachmänner zur Seite ständen, wenn Fragen der zweckmäßigsten Beleuchtung beraten werden<sup>2)</sup>).

## XVI. Heizgasverteilung.

In der Art, wie die Feuerungen in vielen Zweigen der Technik betrieben werden, ist noch kaum ein Unterschied bemerkbar gegenüber den, was unsere Vorfahren im alten Rom, ja sogar im alten Ägypten gekannt und geübt haben<sup>3)</sup>). Die mittleren und kleineren Feuerungen in den Werkstätten und Fabriken stehen heute noch auf derselben niedrigen Stufe wie vor 1000 Jahren. Nicht nur hygienische, sondern auch praktisch technische Gründe sprechen für die Einführung der Gasfeuerung in der Industrie. Der durch unsere Feuerungsanlagen entstehende Rauch ist nicht nur belästigend, sondern auch der Gesundheit sehr schädlich. Er macht die Lungenzellen für Lungenkrankheiten empfänglich, er begünstigt die Nebelbildung, der Nebel nimmt Rußteilchen auf und führt sie in die Lunge. Der Nebel absorbiert außerdem das Sonnenlicht. Den größten Teil des Rauches liefern jedoch nicht die Fabriken, sondern unsere Zimmer- und Küchenheizungen.

Die fortgesetzte Untersuchung der Luft wäre ebenso nötig wie die Untersuchung des Trinkwassers, der Abwässer und der Nahrungsmittel, die heute von allen Hygienikern gefordert wird<sup>4)</sup>). Wenn sich auch die Industrie schon vielfach mit der Frage der Gasheizung beschäftigt, so wird doch der häuslichen Heizung noch viel zu wenig Aufmerksamkeit zugewendet; schon Siemens sagte, es sei geradezu barbarisch, die rohe Kohle in den Fabriken und Werkstätten zu benutzen, anstatt sie vorher in ihre zwei Hauptbestandteile: Koks und Steinkohlengas zu zerlegen<sup>5)</sup>). Das Urteil der Fachleute geht heute dahin, daß der außerordentlich stark hervortretende Übelstand der Rauchbelästigung nur durch die Einführung der allgemeinen Gasheizung beseitigt werden kann. Leider sind aber die Schritte, die in dieser Richtung unternommen worden sind, bisher noch nicht vielverheißend.

Mit Rücksicht auf die Ausbeutung der Naturschätze, wie sie heute geübt wird, kann die Forderung aufgestellt werden<sup>6)</sup>), daß die Staaten der ganzen Welt sich zusammentun sollten, um die rohe Verbrennung der Kohle, wie sie jetzt geübt wird, zugunsten der Vergasung durch internationale Abmachungen zu verbieten.

Selbstverständlich schließen sich auch die Hygieniker dieser Forderung an. So z. B. sagt Nußbaum<sup>7)</sup> in seinem Leitfaden der Hygiene, S. 22, daß die allgemeine Durchführung der Gasheizung den Abschluß der bestehenden Mißstände bedeuten würde. In London ist die Rauchplage geradezu unerträglich geworden<sup>8)</sup>). Der Schaden, welcher in London allein durch die

<sup>1)</sup> Messinger, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1003. — <sup>2)</sup> Winter, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 528. — <sup>3)</sup> Schäfer, Ebend. 1910, S. 552; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 899. — <sup>4)</sup> Leitsätze von Ascher u. Hauser, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 790; vgl. auch Armstrong, Journ. of Gaslighting 1908; Journ. f. Gasbel. 1909, S. 288. — <sup>5)</sup> Messinger, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 405. — <sup>6)</sup> Vgl. Andrew Carnegie, der diese Forderung in einer seiner populären Schriften stellte. — <sup>7)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1126. — <sup>8)</sup> Rogers, Ebend. 1911, S. 556; Journ. of Gaslighting 1911, S. 226.

Rauchbelästigung jährlich entsteht, beträgt über 100 Mill. Mark. Für je 1  $\mathcal{M}$  Kosten der Kohle, welche im Haushalt verfeuert wird, ist die Aufwendung einer weiteren Mark an Kapital erforderlich, um den Schaden zu beseitigen, den die Kohle gestiftet hat. In Leeds<sup>1)</sup> sind Untersuchungen über die Rauchbelästigung ausgeführt worden, welche ergaben, daß sich täglich 20 t Kohlenstaub in der Luft befinden und über der Stadt lagern. Mit dem Schnee fällt jährlich eine Rußmenge von 20 t pro Quadratkilometer zu Boden und ein Viertel des Tageslichtes wird vom Rauch zurückgehalten. In Königsberg<sup>2)</sup> hat sich eine Kommission zum Studium der Bekämpfung der Rauchplage gebildet, welche ermittelt hat, daß die Luft im Winter wesentlich mehr verunreinigt ist als im Sommer, ein Beweis dafür, daß die Beheizung der Wohnungen einen wesentlichen Beitrag zur Rauchbelästigung liefert. Aus den Öfen unserer Wohnungen werden 1 bis 2 Proz. der Kohle in Rußform durch den Schornstein in die Luft befördert, während bei Verwendung von Koks nur 0,05 bis 0,2 Proz. Verunreinigungen in die Luft gelangen. Nicht zu vernachlässigen ist auch die große Menge von schwefliger Säure, welche von den Kohlen in die Luft geliefert wird, während bei Einführung der Gasfeuerung nur der 40. Teil des Schwefelgehaltes der Kohlen in die Luft gelangen würde. Eine gründliche Abhilfe ließe sich allerdings nur dann schaffen, wenn ein Verbot der Verbrennung von Steinkohle erlassen würde, wie es tatsächlich schon in einigen Städten der Vereinigten Staaten geschehen sein soll. Sehr zweckmäßig erscheint auch der Vorschlag von Lewes<sup>3)</sup>, welcher eine Steuer von 5  $\mathcal{M}$  auf alle Kohlen befürwortet, welche nicht zur Erzeugung von Gas oder Koks verwendet wird.

Wenn auch in den letzten Jahrzehnten sehr vieles für die Einführung der Gasheizung geschehen ist, so bleibt doch noch immer viel mehr zu tun übrig und die Gastechniker behandeln das Gebiet der Heizgasverteilung noch immer zu stiefmütterlich<sup>4)</sup>. Die Einführung der Gasheizung kann allerdings auch nur dann eine allgemeine werden, wenn die Bedingungen für eine gute Gasheizung, die wir später kennen lernen werden, sorgfältig eingehalten werden. Gegenwärtig wird aber noch immer in vielen Fällen dadurch, daß Verbrennungsgase einfach in den zu beheizenden Raum gelassen werden, durch unsachgemäße Luftführung, brenzliche Gerüche, welche durch Staubablagerungen hervorgerufen sind und die das Gefühl der trockenen Luft hervorrufen, sowie durch den hohen Gaspreis die Einführung der Gasheizung erschwert. Die städtischen Gaswerke müßten sich im Interesse der Hygiene geneigt zeigen, ihren Gewinn herabzusetzen. Die allgemeine Einführung der Gasheizung würde eine außerordentliche Steigerung des Gasconsums hervorrufen<sup>5)</sup> und es fragt sich, ob diese Steigerung die Kosten des Gases so weit ermäßigen würde, daß eben die allgemeine Gasheizung möglich wäre. Allerdings würden die Unregelmäßigkeiten des Heizgaskonsums Schwierigkeiten bereiten, da der Maximaltageskonsum, der jetzt 0,5 Proz. des Jahreskonsums beträgt, auf etwa 2 Proz. ansteigen könnte. Aber es ist zu berücksichtigen, daß die heutigen und künftigen Gasbereitungsmethoden nicht mehr das löffelweise Eintragen der Kohle in die Retorten, welches man früher

<sup>1)</sup> Cohen, Journ. of Gaslighting 1910, S. 202; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 557. —

<sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 65. — <sup>3)</sup> Journ. of Gaslighting 1911, S. 787; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 439. — <sup>4)</sup> Galley, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 15. —

<sup>5)</sup> Strache, ebend. 1909, S. 257.

gewohnt war, erfordern. Bei Erzeugung des Gases in Generatoren wird sich ein plötzlicher Konsum leicht bewältigen lassen. Auch die Anlagekosten, die zufolge der bei der Gasfeuerung erforderlichen großen Reserven stark steigen würden, werden sich durch die Anlage von Generatoren an Stelle der heutigen Öfen in mäßigen Grenzen halten lassen. Durch die Einführung der Gasheizung dürfte sich der Konsum pro Kopf der Bevölkerung auf das Fünffache des heutigen steigern<sup>1)</sup>. Ferner fragt es sich, ob die Kosten des Gases nicht dadurch ermäßigt werden können, daß das Gas an den Kohlengruben erzeugt und in Hochdruckleitungen den Städten zugeführt wird, wie dies heute schon beim Koksofengas (vgl. S. 657) geschieht. Bei der Verteilung des Koksofengases ist aber der Hauptzweck noch immer die Erzeugung des Koks, während zur Einführung der Gasheizung ein Verfahren herangezogen werden müßte, welches die Kohle restlos, d. h. ohne Hinterlassung von Koks vergast. Auch sehr hervorragende Elektriker bezeichnen die Heizung als unbestrittene Domäne des Gases<sup>2)</sup>.

Jedenfalls kann sich aber die allgemeine Gasfeuerung erst dann einbürgern, wenn das Gas billig wird und ist es daher sehr zu begrüßen, daß Mülheim a. Ruhr als erste aller deutschen Städte den Einheitspreis des Gases auf 10 ₤ pro Kubikmeter herabgesetzt hat<sup>3)</sup>. Zum Zwecke der Wärmeversorgung eines Schlachthofes ist der Preis des Gases in Mülheim a. Ruhr sogar auf 4,0 ₤ pro Kubikmeter ermäßigt worden<sup>4)</sup>. In manchen Städten ist auch jetzt schon der Heiz- und Kraftgasverbrauch ein sehr hoher geworden, so betrug er z. B. in Freiburg i. B. im Jahre 1909 bereits nahezu 52 Proz. des Gesamtkonsums<sup>5)</sup>. Es kann allerdings den Konsumenten nicht zugemutet werden, daß sie die Initiative zur Gasfeuerung, sei es für industrielle Zwecke, sei es für ihre Wohnung selbst ergreifen und stets den richtigen Apparat wählen, so daß ihre Bedürfnisse wirklich voll befriedigt werden. Es ist daher notwendig, daß das Gaswerk die Stelle eines vertrauenswürdigen Beraters übernimmt und dem Konsumenten durch Beschaffung geeigneter Apparate, die sparsam im Gasverbrauch arbeiten, sparen hilft. Die wenigen oben gegebenen Ziffern zeigen, daß dann die Verwendung des Gases zu Heizzwecken eine größere Bedeutung für die gesamte Gasindustrie gewinnen wird, als die Beleuchtung.

### 73. Verwendung des Gases zu technischen Zwecken.

Die Vorzüge, welche der Industrie durch die Anwendung des Gases als Heizmittel geboten werden, sind mannigfache. Die Verfeinerung der Erzeugnisse, die Beschleunigung der Fabrikation und die Automatisierung der Arbeitsvorgänge ist nur dadurch möglich, daß man das Feuer selbst verfeinert, indem man gasförmiges Brennmaterial anwendet. Die Vorzüge liegen in der Formbarkeit und Biegsamkeit der Gasflamme, in der Anpassungsfähigkeit in bezug auf Größe, Gestalt und Temperatur, in der Möglichkeit, die Flamme am Werkzeug oder an der Arbeitsmaschine selbst anzubringen, sie eventl. selbst als Werkzeug auszubilden. Die selbsttätige Regulierung der Temperatur und das automatische An- und Abstellen machen die Gasheizung in manchen Fällen

<sup>1)</sup> Kobbert, Journ. f. Gasbel. 1907, S. 781. — <sup>2)</sup> Elektrisches Kochen und Heizen, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 149 und 309. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 371. — <sup>4)</sup> Förster, Ebend. 1911, S. 1106. — <sup>5)</sup> Ebend. 1910, S. 688.

ganz unentbehrlich. Außerdem ist es aber die Höhe der Temperatur und die Möglichkeit, dieselbe auf eine kleine Stelle eines Stückes zu konzentrieren, welche die Gasflamme für industrielle Zwecke so außerordentlich geeignet macht.

Tatsächlich ist das Gas bereits in einer großen Reihe von Industrien zum unentbehrlichen Hilfsmittel geworden und sei diesbezüglich auf eine Zusammenstellung verwiesen, welche Bertelsmann in seinem vorzüglichen Lehrbuch der Leuchtgasindustrie<sup>1)</sup> gegeben hat. Hier seien nur die wichtigsten der Verwendungszwecke hervorgehoben. Es gibt bereits eine Reihe von Fabriken, welche diesbezüglich musterhaft eingerichtet sind<sup>2)</sup>. So z. B. gibt es bei den Isaria-Zählerwerken überhaupt keinen Schornstein, ebenso keinen Dampfkessel oder sonstige Rauch und Ruß entwickelnde Feuerungsanlagen. Für alle Zwecke tritt dort das Steinkohlengas an die Stelle der Kohle. Das Gas wird zur Beheizung der Trockenöfen, zu Lötzwecken, zum Schmelzen in den Gießöfen, zur Erwärmung der galvanischen Säure- und Wasserbäder, zum Ausglühen und Härten in Muffelöfen, zum Härten in den sogenannten Schmelzbadgenerativgasglüh- und Härtetiegelöfen zum Ausglühen schwerer Arbeitsstücke, in Gasschmiedefeuern usw. verwendet<sup>3)</sup>.

Ein reiches Feld für die Anwendung des Gases bietet auch die Härte-technik. Die Werkzeuge werden in den Muffelöfen zum Glühen gebracht und auf eine ganz bestimmte Temperatur, je nach der Stahlqualität (550 bis 1200°) erhitzt. Das Abkühlen, Anlassen, Nachlassen oder Temperieren erfolgt unter Luftabschluß in Bädern von Salzlösungen, Öl oder von geschmolzenen Weichmetallen<sup>4)</sup>. Auch zum Emaillieren findet die Gasfeuerung bereits reichliche Anwendung<sup>5)</sup>. Ebenso sind die elektrotechnischen Fabriken gute Gasabnehmer, da sie dasselbe zum Schmelzen der Glasbirnen und Fassungen für die Fäden benutzen, ferner die Akkumulatorenwerke, welche das Gas zum Schmelzen der Bleiplatten benötigen. In der Buchdruckerei wird Gas zum Schmelzen von Letternmetall verwendet; ebenso in Setz- und Gießmaschinen<sup>6)</sup>. Auch die Textilindustrie macht bereits umfangreiche Anwendung von den Vorzügen der Gasfeuerung, hauptsächlich in den Sengmaschinen; ferner dient die Gasfeuerung zur Herstellung der Hutformen in Kartonagenfabriken, für Brutkästen, für Züchtung von Bakterien, wo die Temperatur auf 0,1<sup>0</sup> konstant gehalten wird<sup>7)</sup>. Schließlich dient das Gas in den Gasräucheröfen<sup>8)</sup> zum Rösten von Kaffee<sup>9)</sup>, sowie zum Einkochen von Konserven.

Auch Schäfer<sup>10)</sup> bespricht in einem besonderen Artikel die verschiedenen Anwendungen des Gases als Gasschmiede-, Gaslöt-, Gasschweiß-, Gasschmelz- und Gasbacköfen, Trockenöfen, Abspreg- und Verschmelzfeuer für die Glasindustrie, Warmwasser- und Dampfautomaten. Ferner erläuterte Herzfeld<sup>11)</sup>

<sup>1)</sup> Bertelsmann, 2. Band, S. 238, Verlag Enke in Stuttgart, 1911. — <sup>2)</sup> Schilling, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 433, 624, 715, 794, 1178; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 479. — <sup>3)</sup> Schilling gibt auch ein ausführliches Verzeichnis über das Anwendungsgebiet des Gases, die hierfür gebrauchten Apparate und die Fabrikanten derselben. —

<sup>4)</sup> Einen Überblick über solche Öfen gibt die Broschüre „Moderne Gasfeuerstätten“ von De Friese u. Co. in Düsseldorf. — <sup>5)</sup> Öfen zum Einbrennen von Emailmalerei sind in übersichtlicher Weise in dem Katalog von Paul A. F. Schulze in Dresden zusammengestellt. — <sup>6)</sup> Von Kempewerk in Nürnberg und Horygarda in Leipzig. — <sup>7)</sup> Vereinigte Fabriken für Laboratoriumsbedarf in Berlin. — <sup>8)</sup> Firma Richard Heike, Berlin. — <sup>9)</sup> Kirsch u. Mausers, Heilbronn. — <sup>10)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 397. — <sup>11)</sup> Verhandlungen des Vereines zur Förderung des Gewerbetreibenden 1910, S. 331; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 879.

die Anwendung der entleuchteten Flamme zum Schweißen, Löten und Brennen von Metallen. Insbesondere für LötKolben, Bandsägenlötmaschinen, Schweißbrenner, wobei entweder Leuchtgas oder Leuchtgassauerstoffgemisch, aber auch Acetylen und Sauerstoff angewendet werden kann.

In neuester Zeit sind auch Versuche gemacht worden, das Zementieren des Stahls mit Gas durchzuführen<sup>1)</sup>. Die Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes wird durch Erhitzen im Gas erreicht. Zufolge der großen Bedeutung, welche der gebundene Stickstoff für die Kohlung des Stahls besitzt, wurde dabei das Gas mit Ammoniak beladen.

Das autogene Schweißen ist ein Feld, welches sich die Gasindustrie durch Anwendung des Sauerstoffs an Stelle der Luft errungen hat. Vorläufig wird zwar hauptsächlich Acetylen und Wasserstoff angewendet, es stehen jedoch gar keine Bedenken entgegen, hierzu auch Steinkohlengas oder Wassergas zu verwenden und ist dies, wie bereits erwähnt, schon häufig in Anwendung. Die Vorzüge, welche das autogene Schweißen bietet, sind allgemein bekannt und können hier nicht ausführlich erörtert werden. Es muß diesbezüglich auf Spezialwerke verwiesen werden<sup>2)</sup>. Hier sei nur erwähnt, daß zum Zwecke des autogenen Schweißens<sup>3)</sup> Gas und Sauerstoff in einer besonders konstruierten Lötpistole gemischt werden. Aber da das Gemisch von Sauerstoff mit Gas (das sogenannte Knallgas) eine sehr hohe Entzündungsgeschwindigkeit besitzt und daher sehr leicht zurückschlägt, müssen sehr große Ausströmungsgeschwindigkeiten an der Brenneröffnung angewendet werden. Es müssen daher beide Gase unter verhältnismäßig hohem Druck zur Anwendung gelangen. Auch sind in den Brennern gewöhnlich irgend welche Sicherheitsvorrichtungen getroffen, um das Zurückschlagen zu vermeiden. Fouché z. B., dessen Brenner sehr verbreitet ist, verwendet innerhalb der Lötpistole lange, gewundene Kanäle, durch welche das Gasgemisch hindurchtreten muß, ehe es zur Flamme gelangt und welche das Zurückschlagen verhindern. Auch Keller u. Knappich<sup>4)</sup> verwenden besondere Sicherheitsbrenner. Friedmann<sup>5)</sup> stellte Untersuchungen über die Ausströmung des Gasgemisches aus den Düsenöffnungen an. Es ergeben sich bei Öffnungen von 1,1 bis 2,5 mm lichtigem Durchmesser bei 0,1 Atm. Überdruck Ausströmungsgeschwindigkeiten von 130 bis 176 m pro Sekunde, bei einem Überdruck von 1,0 Atm. hingegen 218 bis 284 m pro Sekunde. Von besonderer Wichtigkeit bei der autogenen Schweißung ist die Reinheit des Sauerstoffs. Ist derselbe verunreinigt, so wächst der Konsum viel stärker, als dem Prozentgehalt der Unreinheit entspricht<sup>6)</sup>.

Auch die Beheizung der Backöfen mit Gas verdient das größte Interesse. Bei einem Backofen, der von der Association des Gaziers Belges aufgestellt war, wurden pro 1 kg Brod nur 100 Liter Gas verbraucht<sup>7)</sup>. Auch zur Beheizung von Krematorien findet das Gas in neuester Zeit Anwendung, so z. B. in Dessau<sup>8)</sup>.

Will man bei der Verwendung des Gases für technische Zwecke besonders hohe Temperaturen erzielen, so wendet man häufig Gebläsebrenner an, d. h.

---

<sup>1)</sup> Stahl u. Eisen 1910, S. 306; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 902. — <sup>2)</sup> Ing. Fritz Kagerer: „Autogenes Schweißen und Schneiden“. Verlag Waldheim, Eberle u. Co., Wien. — <sup>3)</sup> Friedmann, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 64. — <sup>4)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 92. — <sup>5)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 28. — <sup>6)</sup> Tucker, Journ. of Soc. of Chem. Ind. 1911, S. 779; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1239. — <sup>7)</sup> Beielstein, Ebend. 1911, S. 110. — <sup>8)</sup> Deutsche Technikerztg. 1911, S. 613; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1114.

Brenner mit künstlicher Luftzufuhr, und nur das reine Wassergas im uncarburirten Zustande gibt auch ohne Luftzufuhr eine außerordentlich heiße Flamme, welche ebenso wie die Gebläseflamme des Steinkohlengases verwendet werden kann und durch einfaches Entzünden des aus einer feinen Öffnung strömenden Wassergasstrahles erhalten wird.

Zum Zwecke der künstlichen Luftzufuhr wird aber ein eigenes Luftgebläse und eine zweite Rohrleitung notwendig. Man hat daher in neuerer Zeit das Preßgas auch für technische Zwecke verwendet, um so durch die Intensität des Gasstrahles selbst die nötige Luftmenge anzusaugen und die Anwendung einer zweiten Rohrleitung mit Luftgebläse zu vermeiden. Die Erzeugung des Preßgases findet dann in der gleichen Weise statt, wie wir dies bereits auf S. 977 besprochen haben <sup>1)</sup>. Es sind dann besondere Preßgasbrenner konstruiert worden für Metallschmelzereien und für Schmiedefeuer, deren Gaskonsum 4 bis 9 m<sup>3</sup> stündlich beträgt. Die Preßgasgebläsebrenner finden ferner Anwendung für Gasmuffelöfen, Tiegelschmelzöfen, Öl- und Kalkbäder, bei Gasrohrschweißfeuern, Gaslöttischen und bei Spezialgasöfen zum Glühen und Schmelzen aller Glasarten, auch zum Kochen für Wasser, Leim und Kleister, ebenso bei Plättereien. Auch beim Löten bieten dieselben große Vorzüge, da die Lötflamme die erforderliche Luft nicht selbst ansaugt. Solche LötKolben mit Innenheizung benötigen bei einem Gewicht von 250 bis 500 g einen stündlichen Gaszufluß von 50 Litern. Auch zum Hartlöten und Aluminiumlöten leisten dieselben vorzügliche Dienste <sup>2)</sup>.

Auch Preßluftschmelzöfen sind konstruiert worden <sup>3)</sup>, welche eine Temperatur bis zu 1670° liefern, bei einem Gasverbrauch von 4,3 bis 4,8 m<sup>3</sup> pro Stunde <sup>4)</sup>.

#### 74. Gasheizung.

Wir wenden uns nun der Anwendung des Gases zur Beheizung der Räumlichkeiten zu. Die Gasheizung hat vor allen anderen Feuerungsarten wesentliche Vorteile. Vor allem entfällt bei ihr der Ankauf und die Aufspeicherung des Brennmaterials, die Herbeischaffung des Brennmaterials zu dem Ofen, das Feuermachen, die Bedienung der Öfen und die Abfuhr der Asche. Dabei ermöglicht sie die größte Reinlichkeit und die genaueste Regulierung der Wärme, welche auf automatischem Wege bequem und sicher durchgeführt werden kann. Schließlich ermöglicht sie die größte Sparsamkeit insofern, als die Räume nur dann beheizt werden müssen, wenn sie benutzt werden, während der Brennmaterialverbrauch sofort eingestellt werden kann, wenn die Heizung nicht mehr nötig ist. Auch vor Dampf- und Warmwasser-Zentralheizung bietet die Gasheizung die Vorteile der genaueren Regulierbarkeit und Sparsamkeit im Verbrauch und sie hat vor jenen den Vorteil, daß eben keine Kohlenzufuhr zu dem betreffenden Gebäude erfolgen muß, daß sie sowohl für die kleinsten einzelnen

---

<sup>1)</sup> Über die Anwendung des Preßgases zu technischen Zwecken s. Messinger, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1048; 1911, S. 594. — <sup>2)</sup> Über die Verwendung des Preßgases für industrielle Zwecke in Birmingham s. Journ. of Gaslighting 1911, S. 287; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 601; ferner Journ. of Gaslighting 1910, S. 313; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 600. — <sup>3)</sup> Heinecke, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 485. — <sup>4)</sup> Von der Königl. Porzellanmanufaktur in Berlin und vom Chem. Laboratorium für Tonindustrie, Prof. Seeger und Cramer geliefert, Keramische Rundschau 1911, Heft 1.

Zimmer und kleine Wohnungen mit demselben Vorteil verwendbar ist, wie auch für große Gebäudekomplexe, da auch bei der Leitung auf größte Entfernungen keinerlei Verluste eintreten.

Allen diesen Vorteilen steht nur der eine Nachteil gegenüber, daß die Gasheizung bei den heutigen Preisen teurer ist als andere Heizungen, obwohl sich die höheren Kosten häufig dadurch ausgleichen lassen, daß man eine größere Sparsamkeit im Verbrauch aufwenden kann. Der Preis ist wohl auch der einzige stichhaltige Grund, weshalb die Gasheizung, die schon seit vielen Jahrzehnten praktisch angewendet wird, sich verhältnismäßig langsam Bahn bricht. In dem Maße aber, als die Kosten des Gases herabgesetzt werden, verbreitet sich auch die Anwendung des Gases zur Beheizung von Räumlichkeiten, so daß z. B. die Imp. Continental Gasassociation allein in Berlin im Jahre 1907 nicht weniger als 1637 Gasheizöfen in einem Jahre vermietete <sup>1)</sup>.

Allerdings bestehen auch viele Vorurteile gegen die Gasheizung, die daraus entstanden, daß dieselbe vielfach in unrichtiger Weise angewendet worden ist. Es sind eine Reihe von Bedingungen einzuhalten, wenn eine Gasheizung tadellos funktionieren soll und wollen wir dieselben im folgenden erläutern <sup>2)</sup>.

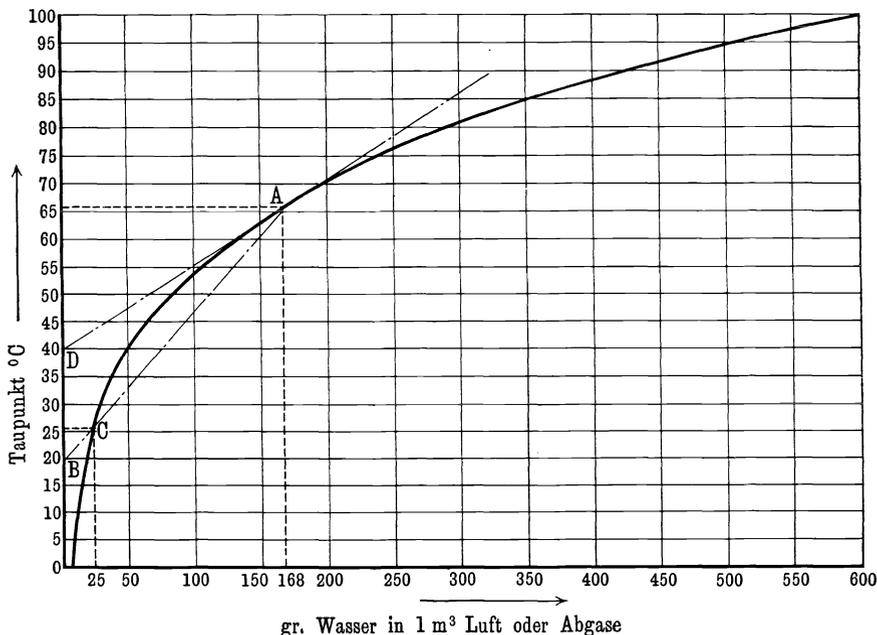
Mit Rücksicht auf die Kosten der Beheizung mit Gas ist es erforderlich, die Wärme des verbrennenden Gases möglichst günstig auszunutzen. Aus diesem Grunde darf kein allzu großer Luftüberschuß bei der Verbrennung angewendet werden, weil sonst die erwärmte Luft einen zu großen Teil der Verbrennungswärme mit in den Schornstein entführt. Um aber den Eintritt der Verbrennungsgase in den Raum zu vermeiden und auch eine vollkommene und gleichmäßige Verbrennung des Gases zu erzielen, ist doch ein genügender Luftzug erforderlich, so daß es am besten ist, wenn die Abzüge der Gasöfen groß gehalten werden und erst an Ort und Stelle den jeweiligen Zugverhältnissen entsprechend durch Einlegen von Drosselscheiben abgedrosselt werden. Der Nutzeffekt verringert sich natürlich, wenn bei gleichem Luftdurchzug die Menge des verbrennenden Gases geringer wird, d. h. wenn der Gashahn gedrosselt wird. Um den Nutzeffekt gleich hoch zu erhalten, ist es dann zweckmäßig, mit der Drosselung des Gashahnes auch eine Drosselung des Abzuges zu bewirken, was durch eine entsprechende Kuppelung geschehen kann. Im allgemeinen geben Gasöfen mit geschlossenem Brennraum einen besseren Nutzeffekt als die mit offener Flamme brennenden (wie z. B. Gaskamine), aber auch bei diesen ist der Nutzeffekt durch entsprechende Abkühlung der Abgase so günstig gestaltet worden (vgl. S. 1066), daß diesbezüglich nichts zu wünschen übrig bleibt. Ein guter Gasofen liefert einen Nutzeffekt von 85 bis 90 Proz., manche kommen auch bis gegen 95 Proz. Das Verlöschen der Flammen muß unter allen Umständen verhindert werden, da sonst Ausströmungen unverbrannten Gases eintreten können. Das Verlöschen kann dann eintreten, wenn ein Gasofen mit geringem Luftüberschuß, also mit gutem Nutzeffekt brennt und ein Rückstauen der Abgase stattfindet, wenn z. B. ein

<sup>1)</sup> Galley, „Über Gaskamine“, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 15. —

<sup>2)</sup> Vgl. Rösch, Ebend. 1909, S. 284; Galley, „Über Gaskamine“, Ebend. 1909, S. 15; Spaleck, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 127; Rödenböck, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 357; Heussler, Ebend. 1909, S. 361; Schilling, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 513; Drory, Ebend. 1909, S. 470; Kropf, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 343.

Windstoß auf den Schornstein trifft oder aus anderen Gründen eine Abwärtsbewegung der Abgase im Schornstein stattfindet. In diesem Falle muß die Konstruktion des Ofens derart sein, daß die Abgase nicht direkt zu den Flammen gelangen, weil sie dann eben ein vollständiges Verlöschen oder mindestens eine unvollkommene Verbrennung hervorrufen würden. Die Abgase müssen vielmehr in diesem Falle durch entsprechende Öffnungen ungehindert in den zu beheizenden Raum austreten können. Die geringe Menge der Abgase, welche auf diese Weise nur während des kurzen Augenblickes eines zu ungünstigen Zuges oder eines Windstoßes in den Raum gelangen, sind so gering, daß sie ohne alle praktische Bedeutung sind. Behufs vollkommener Verbrennung muß darauf Rücksicht genommen werden, daß die Flammen keine metallenen Bestandteile berühren dürfen, weil diesfalls durch die rasche

Fig. 424.



Abkühlung die Verbrennung unvollkommen wird und teils Kohlenoxyd, teils Produkte entstehen, welche einen unangenehmen Geruch verbreiten.

Um einen guten Nutzeffekt zu erzielen, ist es natürlich notwendig, die Abgase soweit wie möglich abzukühlen, d. h. ihre Wärme so vollkommen wie möglich an den zu beheizenden Raum zu übertragen. Eine allzu starke Abkühlung der Abgase ist jedoch wegen der Kondensation des Wasserdampfes aus den Verbrennungsgasen unzulässig. Werden die Abgase unter ihren Taupunkt abgekühlt, so scheidet sich eine gewisse Menge von Wasser aus, die man allerdings hinter dem Ofen in einem geeigneten kleinen Gefäß sammeln und beseitigen kann. Aber bei der weiteren Abkühlung, welche die Abgase dann im Schornstein erleiden, finden weitere Wasserausscheidungen statt, wodurch die Schornsteine feucht werden, ein schlechter Zug in denselben hervorgerufen wird und die Feuchtigkeit schließlich so weit vorschreiten kann, daß die Mauern feuchte Flecken zeigen. Die Taupunkte der Abgase bei verschiedenen Feuchtigkeitsgehalten zeigt die Kurve Fig. 424.

Würde man z. B. Steinkohlengas mit der theoretisch notwendigen Luftmenge verbrennen, so würden die Abgase 20,8 Vol.-Proz. Feuchtigkeit, das ist 168 g Wasser im Kubikmeter enthalten und es dürfte daher die Abkühlung nicht weiter getrieben werden als bis auf 67°. Da nun aber im Schornstein eine weitere Abkühlung stattfindet, so muß beim Austritt aus dem Ofen eine beträchtlich höhere Temperatur vorhanden sein und es ist zweckmäßig, die Abkühlung nicht unter 150 bis 200° gehen zu lassen. Auch die Zugwirkung hängt ja von der Wärme der Abgase ab. Je höher die Temperatur, desto besser die Zugwirkung. Jedoch auch in dieser Beziehung ist es nicht notwendig, eine höhere Temperatur als 200° zu halten, weil oberhalb 200° die Zugwirkung nicht rasch wächst.

Der Zusatz von kalter trockener Luft zu den mit Feuchtigkeit gesättigten Abgasen führt nicht zum Ziel, sondern bewirkt im Gegenteil eine lebhaftere Kondensation des Wassers, weil die Abkühlung zufolge des Luftzusatzes einen stärkeren Einfluß übt, als die dadurch vorgenommene Verdünnung. Warme, trockene Luft verhindert dagegen die Kondensation. Es muß daher von Fall zu Fall ermittelt werden, ob durch Luftzusatz Förderung oder Verhinderung der Kondensation eintritt, hierzu dient das Diagramm Fig. 424. Setzt man z. B. den reinen Abgasen des Steinkohlengases mit 168 g Wassergehalt pro Kubikmeter, die sich im Zustand der beginnenden Kondensation befinden, d. h. 67° besitzen, Luft von 20° zu, so vermindert sich der Wasserdampfgehalt umgekehrt proportional dem Luftzusatz, die Temperatur hingegen in einer solchen Weise, wie dies die Linie *AB* ausdrückt. Wird also so viel Luft zugesetzt, daß der Wasserdampfgehalt auf 25 g pro Kubikmeter herabgeht, so sinkt die Temperatur auf 26° (Punkt *C* der Linie *AB*); gleichzeitig sinkt auch der Taupunkt (Punkt *C* der Taupunktkurve) auf 26°, so daß die Abgase jetzt wieder mit Dampf gesättigt sind, d. h. beim Taupunkt stehen. Ein geringerer Luftzusatz hingegen, der einem Punkt der Linie zwischen *C* und *A* entspricht, würde Kondensation von Wasser zur Folge haben und nur ein höherer Luftzusatz, der einem Punkt der Linie von *C* bis *B* entspricht, würde eine Sicherung gegen Kondensation bedeuten. Daraus folgt, daß nur ein Zusatz trockener Luft von 40° C, entsprechend der Tangente *DA* an die Taupunktkurve unter allen Umständen die Kondensation vermeidet.

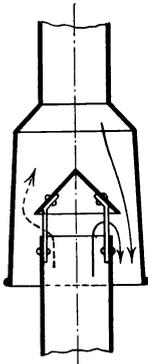
Ein Mittel, welches sowohl von Galley als auch von Kropf angegeben worden ist, um die Kondensation von Wasser im Schornstein zu vermeiden, wäre also, im Ofen eine sehr weitgehende Abkühlung vorzunehmen, so daß sich Wasser aus den Abgasen abscheidet, und hinterher den Abgasen wieder eine gewisse Menge Luft unter neuerlicher Erwärmung zuzuführen, so daß die Abgase hoch über ihrem Taupunkt erhitzt sind und dann im Schornstein kein weiteres Wasser mehr absetzen können. Auf diese Weise wäre es sogar möglich, den oberen Heizwert des Gases, das ist den Heizwert der Verbrennung zu flüssigem Wasser, auszunutzen, während man heute bei der Verbrennung zu dampfförmigem Wasser natürlich nur den unteren Heizwert des Gases ausnutzen kann.

Um eine gewisse Wärmemenge aus den Abgasen auf die Luft des zu beheizenden Raumes zu übertragen oder durch Ausstrahlung abzugeben, ist eine gewisse Heizfläche erforderlich. Je höher die Temperatur dieser Heizfläche ist, um so rascher ist die Wärmeübertragung. Sie ist proportional der Temperaturdifferenz zwischen der Heizfläche und der Außenluft.

Für eine bestimmte Heizwirkung wird also die Heizfläche um so größer sein müssen, je geringer die Temperatur der Heizfläche gehalten werden soll. Die Wärmetransmission pro Quadratmeter Heizfläche beträgt je nach Umständen 1700 bis 4000 Kal. pro Stunde und ist bei gußeisernen Öfen etwas größer als bei schmiedeisernen.

Es ist nicht zweckmäßig, die Heizflächen auf zu hohe Temperaturen zu erhitzen, obwohl dadurch die Wärmeübertragung beschleunigt würde, weil eine hohe Temperatur der Heizflächen eine ungleichmäßige Wärmeverteilung im Raum hervorbringt und weil ferner, was noch wichtiger ist, die Staubteilchen, welche stets in der Luft enthalten sind, an hoch erhitzten Heizflächen sich zu brenzlichen Produkten zersetzen, welche die Atmungsorgane reizen. Dies ist die Ursache, warum die Luft eines in dieser Weise beheizten Raumes den Eindruck der Trockenheit hervorruft, trotzdem dieselbe beliebig feucht sein kann. Man hat auf den Gasöfen Wasserverdampfer angebracht, welche ihren Zweck erfüllen, die Luft mit Wasserdämpfen anzureichern, jedoch ist dies nutzlos, wenn die Luft nicht wirklich trocken ist, sondern durch brenzliche

Fig. 425.



Produkte nur scheinbar den Eindruck der Trockenheit hervorruft. Allerdings bewirkt jede Heizung eine Austrocknung der Luft, weil wir den Feuchtigkeitsgehalt der Luft nicht absolut, sondern mit relativem Maß messen, d. h. in Prozenten der Sättigung mit Wasserdampf. Ist nun die Luft im Freien mit Wasserdampf gesättigt und tritt sie in einen Raum ein, der eine höhere Temperatur besitzt, was im Winter stets der Fall ist, so behält sie, absolut genommen, den gleichen Feuchtigkeitsgehalt bei. Der relative Feuchtigkeitsgehalt wird jedoch zufolge der Steigerung der Lufttemperatur ein geringerer, also wird durch jede Beheizung, wenn sie nicht gleichzeitig Wasserdampf in die Luft abgibt, die Luft getrocknet.

Da jedoch die Luft, welche in den beheizten Raum eintritt, aus den Mauern und Gegenständen des beheizten Raumes Feuchtigkeit aufnimmt, so sinkt der relative Feuchtigkeitsgehalt nicht in der Weise, wie dies der Temperaturerhöhung entspricht. Kropf<sup>1)</sup> fand bei seinen Untersuchungen ein Herabsinken des relativen Feuchtigkeitsgehaltes innerhalb 4 Stunden um 2 bis 4 Proz.

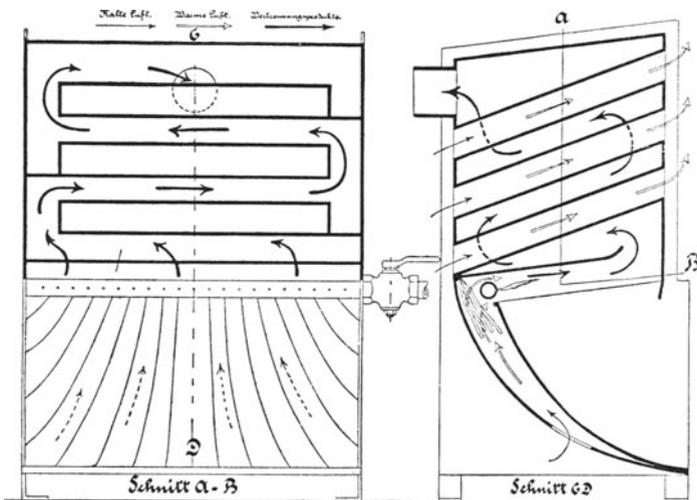
Diese Art der Trockenheit ist jedoch lange nicht so unangenehm, wie der Reiz der Atmungsorgane durch versengte Staubteilchen. Schon aus diesem Grunde ist es erforderlich, die Heizflächen der Gasöfen möglichst groß zu machen und sie auf eine sehr geringe Temperatur zu erhitzen. Man kann für 1 m<sup>3</sup> in der Stunde verbrannten Gases etwa eine Heizfläche von 1,1 m<sup>2</sup> annehmen.

Da das Zurückstauen der Abgase aus dem Schornstein nie ganz vermieden werden kann, ist es, um das Verlöschen der Flammen im Gasofen zu vermeiden, zweckmäßig, im Schornstein, kurz hinter dem Gasofen, eine Unterbrechung anzubringen, welche derart wirkt, daß im normalen Betriebe die Abgase ihren freien Abzug finden können, wogegen bei Zurückstauung die Abgase nicht in den Ofen treten, sondern seitlich in den zu beheizenden Raum austreten. Eine solche Unterbrechung, welche auch von der Heizkommission des Deutschen Vereins der Gas- und Wasserfachmänner befürwortet

<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 343.

wird, ist in Fig. 425 angegeben. Die Pfeile deuten an, in welcher Richtung die Abgase bei normalem Zuge und bei Rückstauung ihren Weg nehmen. Es ist häufig behauptet worden, daß derartige Unterbrechungen den Nutzeffekt der Öfen verschlechtern, weil sie einen Teil der bereits erwärmten Luft aus dem Raum durch den Schornstein absaugen. Dies ist nun tatsächlich der Fall, aber es muß berücksichtigt werden, daß durch die Anordnung einer derartigen Unterbrechung die Zugwirkungen im Ofen vollständig konstant gehalten werden können, und von der Funktion des Schornsteins vollständig unabhängig werden. Schon aus diesem Grunde kann ein mit einer Unterbrechung ausgestatteter Ofen auf einen viel günstigeren Nutzeffekt eingestellt werden als ein solcher, der auf die wechselnden Saugwirkungen im Schornstein angewiesen ist. Die Verschlechterung des Nutzeffektes aber, welche, wie oben

Fig. 426.



erwähnt, durch das Absaugen der erwärmten Luft hervorgerufen wird, ist eine so minimale, daß sie kaum in Betracht kommt. Die umstehende Tabelle zeigt, daß nur eine Verschlechterung des Effektes um 1 oder 2 Proz. stattfindet, also ganz unmaßgeblich ist gegen die wesentliche Verbesserung des Nutzeffektes, welche durch den gleichmäßigen Zug erzielt werden kann. Bei Reflektorkaminen oder den sogenannten offenen Gasöfen ist die Anbringung einer derartigen Unterbrechung wegen des Rückstauens der Abgase nicht erforderlich, weil dort die zurückstauenden Abgase gar nicht mit den Flammen in Berührung kommen, wie dies aus Fig. 426<sup>1)</sup> hervorgeht. Indessen ist die Unterbrechung auch für solche Öfen empfehlenswert, weil sie eben dadurch von der Saugwirkung des Schornsteins unabhängig werden. Die Unterbrechungen sind auch in der Weise ausgeführt worden, daß eine leichte Klappe die Unterbrechung für gewöhnlich geschlossen hält und sich nur öffnet, wenn eine Rückstauung eintritt. Dadurch wird das Luftabsaugen vermieden, eine derartige Unterbrechung ist in Fig. 427 dargestellt. Wenn man jedoch berücksichtigt, daß der Nutzeffekt mehr durch den wechselnden Schornsteinzug, als

<sup>1)</sup> Vgl. auch Fig. 428 auf S. 1071.



durch das Absaugen der erwärmten Luft geschädigt wird, so muß diese Art der Unterbrechungen als nicht zweckmäßig bezeichnet werden.

Die Heizflächen sollen stets so angeordnet sein, daß sich kein Staub auf denselben ablagern kann. Ist der Ofen längere Zeit außer Betrieb und wird er dann angeheizt, so wird der auf den Heizflächen abgelagerte Staub naturgemäß versengt und dies bringt den Geruch der Gasöfen hervor, den wir so oft beobachten, wenn wir einen solchen erstmalig anheizen. Am besten kann dies vermieden werden, indem man die Heizflächen nur vertikal anordnet, wie wir dies später bei den sogenannten „Radiatoröfen“ kennen lernen werden.

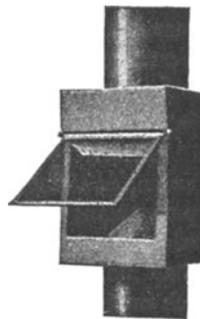
Bei der Aufstellung von Gasöfen fühlt man sich häufig verleitet, die Abgase durch irgend eine Wand direkt ins Freie zu leiten. Dies ist jedoch nachteilig, weil dann der Einfluß des Windes, der an die betreffende Wand, aus welcher die Abgasleitung hervorragt, antrifft, eine sehr starke Rückstauung der Abgase hervorruft. Eine solche Anordnung darf nur dann getroffen werden, wenn man bei Anwendung eines geschlossenen Ofens auch die Frischluftzufuhr zum Ofen mit der Außenluft derart in Verbindung bringt, daß die Mündung des Frischluftrohres denselben Windverhältnissen ausgesetzt ist, wie die Mündung des Abgaserohres. Ein von außen auftretender Windstoß wird dann die Druckverhältnisse sowohl im Frischluftrohr als auch im Abgasrohr gleichmäßig verändern, so daß durch den Auftrieb der erwärmten Gase doch stets ein gleichmäßiger Abzug der Abgase hervorgerufen wird.

Was die Dimensionierung des Schornsteines betrifft, so sei auf die Berechnungen von Grellert<sup>1)</sup> verwiesen. Gewöhnlich begnügt man sich jedoch damit, das Abzugsrohr in einem bestimmten Verhältnis größer zu machen als die Gaszuleitung zum Ofen. Als Regel gilt, daß für je 1 m<sup>3</sup> stündlichem Verbrauch von Kohlendgas bei Koch- und Heizapparaten mindestens 35 cm<sup>2</sup>, bei Badeöfen mindestens 20 cm<sup>2</sup> Abzugsquerschnitt vorhanden sein müssen.

Der Schornstein eines Gasofens wird am besten aus glasierten Tonrohren hergestellt, weil dadurch etwaige Wasserkondensationen von vornherein unschädlich gemacht werden. Betreffs der Zugwirkung der Schornsteine gilt das gleiche wie für alle Schornsteine anderer Feuerungsanlagen und soll bei Gasöfen ebenso wie bei anderen Öfen auf eine gute Zugwirkung gesehen werden. Unzweckmäßig ist es, Gasöfen in verschiedenen Stockwerken an den gleichen Schornstein anzuschließen, denn in diesem Fall kann es vorkommen, daß etwa aus dem unteren Stockwerk unverbrannt aus dem Ofen austretendes Gas sich in dem Ofen des oberen Stockwerkes ansammelt und dort zu Explosionen führt<sup>2)</sup>.

Geschlossene Gasöfen sind auch ein zweckmäßiges Hilfsmittel, um mit der Beheizung auch gleichzeitig die Ventilation zu verbinden. Zu diesem Zweck verbindet man den abgeschlossenen Heizraum unten mit einem Frischluftkanal, welcher die zuzuführende Luft von außen herbeiführt. Die Ansaugung erfolgt dann durch den Auftrieb der warmen Luft im Ofen selbst. Derartige Frischluftkanäle haben jedoch immer den Nachteil, daß sich Staub

Fig. 427.



<sup>1)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1906, S. 646. — <sup>2)</sup> Vgl. Schilling, „Abführung der Heizgase von Gasheizöfen“, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 513.

und andere Unreinlichkeiten in denselben ablagern, so daß die zugeführte Frischluft nicht gerade verbessert wird. Solche Kanäle sollten daher, wenn sie überhaupt angeordnet werden, stets derart zugänglich sein, daß sie vollständig rein gehalten werden können.

Sehr üblich ist es, die Größe eines Gasofens, d. h. seine Heizfläche und seinen Gaskonsum, nach der Größe des zu beheizenden Raumes zu bemessen. Dies ist jedoch mit Rücksicht auf den sehr verschiedenen Wärmebedarf verschiedener gleich großer Räume nicht korrekt<sup>1)</sup>. Besser ist es, die Gasheizöfen ebenso wie andere Heizkörper bei Dampfheizungen od. dgl. stets nur nach den zu liefernden Wärmeeinheiten zu berechnen. Es ist dabei zu berücksichtigen, daß die Gasheizung namentlich für unregelmäßig beheizte Räume, die zum Zweck des Anheizens zwei- bis dreimal mehr Wärme brauchen als regelmäßig beheizte, verwendet wird<sup>2)</sup>.

Ein Gasofen kann natürlich auch nur dann seinen Zweck voll erfüllen, wenn ihm die nötige Gasmenge durch entsprechend weite Rohrleitungen zugeführt wird. Leider wird beim Neubau von Häusern zu viel auf die Billigkeit der Gasinstallation gesehen und wird zu wenig Rücksicht darauf genommen, daß die Gaszuleitung nicht nur für einzelne Beleuchtungsflammen in den Wohnungen, sondern vornehmlich auch für die Küche, für das Badezimmer und auch zur Beheizung einzelner Räume dienen können muß. Bei Übernahme einer Gasinstallation sollte auch stets darauf gesehen werden, daß die Leitung nicht nur dicht, sondern daß sie auch groß genug dimensioniert ist, um etwaigen diesbezüglichen Anforderungen zu genügen.

Bei offenen Gasöfen, wie z. B. bei Gaskaminen, kann es nicht vermieden werden, daß eine ganz geringe Menge der Abgase auch in den zu beheizenden Raum gelangt. Diese Menge ist jedoch so gering, daß sie praktisch ohne alle Bedeutung ist. So z. B. stieg nach Angaben von Kropf<sup>3)</sup> der Kohlensäuregehalt im Laufe von vier Stunden um 2,5 bis 3,5 Promille. Dabei waren noch zwei Beobachter in dem Raum vorhanden, so daß auch diese zur Steigerung des Kohlensäuregehaltes beitrugen.

Betreffs der Wahl des Materials, aus welchen die Gasöfen herzustellen sind, ist zu berücksichtigen, daß Schmiedeeisen leichter und dünner hergestellt werden kann und daher eine raschere Wärmeabgabe herbeiführt, d. h. daß sich Schmiedeeisen rascher auf die Temperatur erhitzt, was eine gleichmäßige Wärmeabgabe sichert. Aus dem gleichen Grunde gibt ein schmiedeeiserner Ofen beim Anheizen auch weniger Kondenswasser, weil eben die Erwärmung auf die normale Betriebstemperatur rascher erreicht wird<sup>4)</sup>. Dagegen spricht für die Anwendung des Gußeisens die weit größere Solidität und besonders der Umstand, daß dasselbe durch die Abscheidung des Kondenswassers nicht so leicht zum Rosten gebracht wird.

Was nun die Konstruktion der Gasheizöfen betrifft, so haben wir sowohl betreffs der Verbrennung, als auch betreffs der Übertragung der Wärme an den zu beheizenden Raum zweierlei prinzipiell verschiedene Anordnungen zu unterscheiden. Die Verbrennung des Gases kann entweder durch Aus-

<sup>1)</sup> Spaleck, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1201. — <sup>2)</sup> Genauerer über die diesbezüglichen Berechnungen siehe Journ. f. Gasbel. Nr. 6, 8 und 9 vom Jahre 1911. — <sup>3)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 343. — <sup>4)</sup> Rösch, Ebend. 1909, S. 284 u. Schöne, Ebend. 1910, S. 461.

strömenlassen aus kleinen Öffnungen, welche gewöhnlich in einem geraden oder gebogenen Rohre angebracht sind, in Form kleiner Stichflämmchen, die mit gelber Flamme, also ohne Luftbeimischung, brennen (sogenannte Gelbbrenner), oder mit Hilfe von Bunsenbrennern durchgeführt werden. Letztere nennt man Blaubrenner. Die erstere Art, die Gelbbrenner, wird in Deutschland und Österreich mehr angewendet, während in England die Blaubrenner weitere Verbreitung besitzen, weil man es dort gerne sieht, daß der Gasofen den gleichen angenehmen Eindruck hervorruft wie die mit glühendem Holz oder Kohlen beschickten Kamine, die in England so üblich sind. Man verwendet dann die Bunsenflamme, um Tonkörper oder Asbestfäden zum Glühen zu erhitzen und auf diese Weise einen ähnlichen Eindruck hervorzurufen, wie mit dem gewöhnlichen Kamin. Bei den Flammen der Gelbbrenner muß sorgfältig darauf geachtet werden, daß sie mit keinerlei kalten Bestandteilen des Ofens in Berührung kommen, da der Ofen sonst durch Absetzen von Ruß sehr bald unbrauchbar wird. Deshalb müssen die Heizflächen ziemlich weit von der Flamme entfernt bleiben, und man kann daher den Kohlen säuregehalt der Abgase nicht so hoch bringen wie bei Anwendung der Blaubrenner, bei denen die Luftbeimischung eine Absonderung von Ruß von vornherein unmöglich macht. Es muß jedoch betont werden, daß auch bei diesen die Verbrennung durch Berührung der Flamme mit kalten Bestandteilen des Ofens unbedingt vermieden werden muß, weil in diesem Falle ebenfalls eine unvollkommene Verbrennung stattfinden würde, und wenn sich hier auch kein Ruß abscheidet, so bildet sich doch Kohlenoxyd, was unbedingt vermieden werden muß. Die Blaubrenner haben außerdem den Nachteil, daß deren Funktion vom Druck in der Gasleitung abhängt, was beim Gelbbrenner nicht der Fall ist, und daß ein Zurückschlagen der Flamme stattfinden kann, was ebenfalls vermieden werden muß.

Betreffs der Übertragung der Wärme in den zu beheizenden Raum haben wir die Erwärmung der Luft durch die Heizflächen und die Heizwirkung durch Ausstrahlung der Wärme zu unterscheiden. Je nachdem, ob ein Ofen die eine oder die andere Wärmeübertragung bevorzugt, ist auch dessen Konstruktion ausgebildet. Nun müssen wir aber weiter unterscheiden, daß die Strahlung entweder von der Flamme selbst ausgehen kann bzw. von Glühkörpern, welche in die Flamme gebracht sind, oder aber von den Heizflächen. Im ersteren Falle haben wir es mit Strahlung von hoher Temperatur, im letzteren Falle mit Strahlung von geringer Temperatur zu tun. Welche von den beiden Arten der Strahlung vorzuziehen ist, darüber ist noch wenig gesprochen worden. Die Strahlung von sehr hoher Temperatur vermag zweifellos ein sehr angenehmes Gefühl der Wärme hervorzurufen, ohne daß die Luft des Raumes, in welchem man sich befindet, erwärmt sein muß. Ein Beispiel davon haben wir im Winter oder auf hohen Bergen bei intensiver Sonnenstrahlung. Bekanntlich kann man z. B. in Höhenkurorten, wie Davos, bei einer Lufttemperatur von  $-20^{\circ}\text{C}$  in der Sonne ein außerordentlich angenehmes Wärmegefühl haben, weil wir in der Sonnenstrahlung eine Strahlung von außerordentlich hoher Temperatur haben. Andererseits kann aber auch die Strahlung von geringerer Temperatur, wenn sie von einer sehr großen Fläche ausgeht, sehr angenehme Wärmewirkungen hervorbringen. Ein Beispiel hierfür sind die Kachelöfen, die mit Recht als angenehmste Art der Beheizung, speziell in nordischen Ländern gelten. Hier handelt es sich um große Flächen, die

eine Temperatur von etwa 35 bis 45° besitzen und die dem Raume eine angenehme Wärme mitteilen, selbst dann, wenn die Luft des Raumes noch durchaus nicht warm ist.

Das Gegenteil davon sehen wir bei der Luftheizung. Hier haben wir keinerlei Strahlung, dagegen nur eine Erwärmung der Luft, und häufig ist die Luft in diesen Fällen wärmer als die Wandungen des Raumes, so daß nicht eine Bestrahlung des Körpers von den Wänden, sondern eine Wärmeentziehung durch Strahlung stattfindet. In diesem Falle empfinden wir die Erwärmung als eine unangenehm schwüle, während dieses Empfinden niemals auftritt, wenn große Flächen von mäßiger Temperatur bei kalter Luft vorhanden sind.

In England wird die Beheizung mittels der Strahlung von hoher Temperatur, wie sie von den Kaminen ausgeht, besonders vorgezogen<sup>1)</sup>, und auch der Reflektor-Kaminofen, wie er zuerst von Friedr. Siemens eingeführt wurde, verdankt seine Beliebtheit der Strahlung hoher Temperatur, welche von den Flammen ausgeht. Siemens erhöhte diese Strahlung noch besonders dadurch, daß er die Verbrennungsluft, bevor sie zu den Flammen trat, vorwärmte. Dadurch wird die Flammentemperatur gesteigert und es tritt eine intensivere Strahlung ein, die mit Hilfe des Reflektors auf den Fußboden geworfen wird, von dem aus sie sich weiter im Raume verbreitet. Die Menge der Wärme, welche auf diese Weise ausgestrahlt wird, ist allerdings nicht sehr bedeutend. Sie ist bisher nur selten gemessen worden, weshalb hier zwei Methoden angeführt sein mögen, welche von der Versuchsanstalt für Gasbeleuchtung, Brennstoffe und Feuerungsanlagen an der Technischen Hochschule in Wien zu diesen Messungen verwendet wurden<sup>2)</sup>.

1. Der Ofen wurde in ein Gehäuse aus Blech gebracht, das vor dem Reflektor einen Ausschnitt hatte, der durch einen Schieber verschlossen werden konnte. Oben endete das Gehäuse in ein weites Rohr, aus dem die erwärmte Luft ausströmte, aus deren Menge und Temperatur bei offenem und geschlossenem Schieber sich die Wirkung des Reflektors ermitteln ließ. Sie ergab sich bei einem Reflektorkamin zu 4,5 Proz. der gesamten abgegebenen Wärmemenge.

2. Vor der Reflektoröffnung wurde ein von Wasser durchflossenes rechteckiges Kalorimetergefäß aufgestellt, welches auf der dem Ofen zugewandten Seite berußt, auf der anderen Seite zur Verminderung der Ausstrahlung blank geschleuert war. Die Menge des zufließenden Wassers wurde derart reguliert, daß die mittlere Temperatur desselben im Kalorimeter mit der Temperatur der Luft hinter der blank geschleuerten Kalorimeterfläche die gleiche war, so daß hier keine Wärme ausstrahlen konnte. Die Menge und Temperaturerhöhung des Wassers ergab somit ohne weiteres die vom Reflektor ausgestrahlte Wärmemenge. Sie betrug bei einem anderen Ofen 7,2 Proz.

Auch Fischbach und Lecomte<sup>3)</sup> verwendeten zur Messung der Strahlung mit Ruß geschwärzte kupferne Kalorimeter von 1 dm<sup>2</sup> Fläche und 1 cm Dicke, die sie entweder senkrecht zum Feuerherd oder unter 45° geneigt oder wagrecht anbrachten. Sie fanden dabei, daß strahlende Wärme rascher

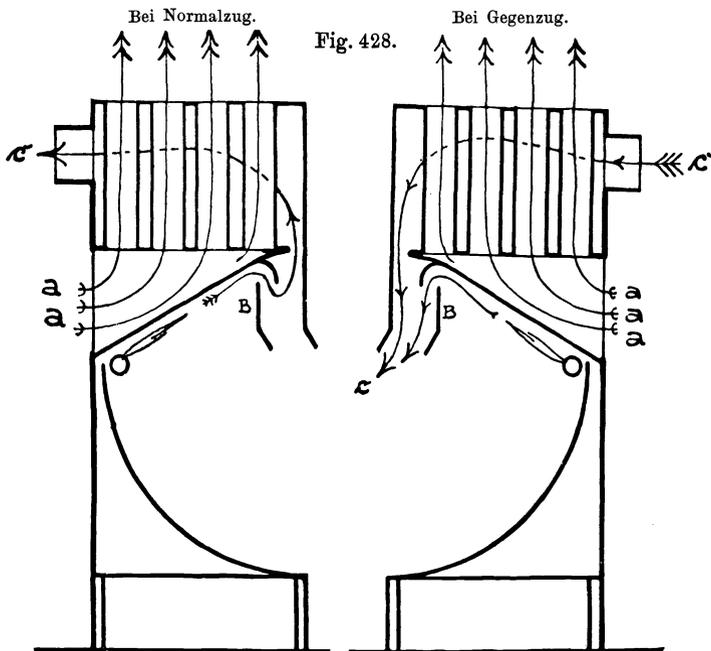
<sup>1)</sup> Yates und Wilson, „Diskussion zum Bericht der englischen Gasheizkommission“; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 290. — <sup>2)</sup> Kropf, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 343. — <sup>3)</sup> Über Gasheizung, Journ. f. Gasbel. 1909, S. 297.

heizt, als die durch die Wärme der Luft vermittelte. Als Gasvolumen, welches zur Erwärmung von  $1\text{ m}^3$  Luft um  $1^\circ$  nötig war, ergab sich

bei leuchtenden Flammen . . . . .	1,245 Liter
„ Blaubrennern . . . . .	0,940 „
„ Blaubrennern mit fünf Glühkörpern . . . . .	0,835 „
„ Blaubrennern mit fünf Tonröhren . . . . .	0,775 „

Sie empfehlen daher die Anwendung von Tonröhren als Strahlungskörper. Es sollen dabei 10 bis 20 Proz. der Wärme als strahlende Wärme auftreten. Die intensive Strahlung, wie sie bei den Reflektor-Gasöfen auf den Fußboden geworfen wird, bringt allerdings auch Nachteile mit sich<sup>1)</sup>, die darin liegen, daß die Erwärmung des Raumes eine ungleichmäßige ist.

Das Prinzip, die Strahlung der leuchtenden Flammen zur Erwärmung des Raumes mit zu benutzen, wurde, wie bereits erwähnt, zuerst von Friedrich Siemens in Dresden in die Praxis eingeführt, jedoch wandten



bald auch Houben u. Sohn in Aachen dasselbe Prinzip an. Die Reflektor-Gaskamine fanden auf dem Kontinent bald eine ausgebreitete Anwendung. Wir haben bereits in der früher wiedergegebenen Zeichnung erläutert, welchen Weg die Abgase und die zugeführte Luft nehmen. Die zu den Flammen gelangende Verbrennungsluft wird hier durch die Wärme des Reflektors vorgewärmt. Welchen Weg die Abgase nehmen, wenn eine Rückstauung bei derartigen Öfen eintritt, ist aus Fig. 428 ersichtlich. Um eine intensivere Vorwärmung der Verbrennungsluft zu erzielen, läßt man die Verbrennungsgase im Gegenstrom zur hinzutretenden Luft zunächst nach unten streichen, wie dies in Fig. 429 dargestellt ist. Um aber bei solchen Konstruktionen zunächst den nötigen Auftrieb der Gase im Schornstein zu erzielen, muß oberhalb der Flammen eine kleine Öffnung angebracht sein, durch welche zunächst beim Entzünden ein Teil der Abgase entweicht und die Heizkammern sowie

<sup>1)</sup> Rösch, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 284.

den Schornstein etwas vorwärmt, wodurch dann die Zugwirkung entsteht, welche die Abgase in der Tasche hinter dem Reflektor nach abwärts und dann erst wieder nach aufwärts in die Heizkammern einsaugt.

Die Heizflächen selbst können natürlich in verschiedenster Weise ausgeführt sein. Gewöhnlich werden sie in Form geneigt liegender Kästen hergestellt, wie dies aus den genannten Figuren ersichtlich ist. In vielen Fällen jedoch werden dieselben auch röhrenförmig ausgebildet. Die Rohre können dabei horizontal oder besser schräg liegen, ähnlich wie die kastenförmigen Heizkörper, um eine raschere Zirkulation der Luft zwischen den Kästen bzw.

Fig. 429.

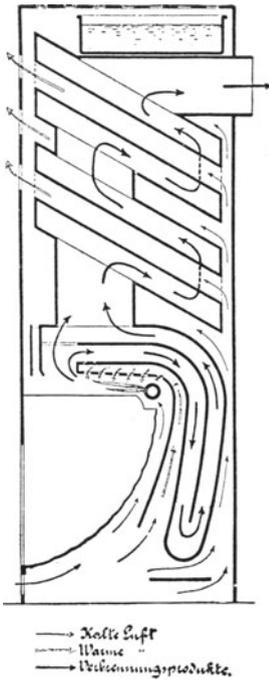
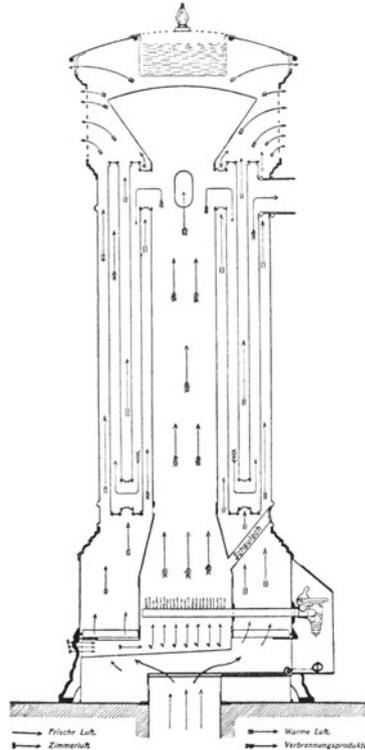


Fig. 430.



Röhren hindurch zu erzielen. Das Zweckmäßigste aber ist, die Rohre vertikal zu stellen, wie wir dies bereits in Fig. 428 gesehen haben, weil sich dann auf den vertikal stehenden Heizflächen kein Staub ablagern kann. Oft bringt man dann im Oberteil des Ofens noch ein kleines Wasserschiff an, durch welches Wasser verdampft und die Luft befeuchtet werden soll, was aber natürlich den brenzlichen Geruch etwa verbrannten Staubes nicht beseitigen kann.

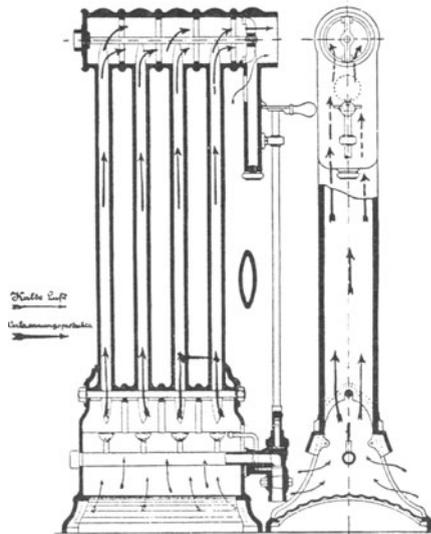
Öfen, welche die Strahlung fester Substanzen benutzen, die von Bunsenbrennern beheizt werden, sind, wie erwähnt, hauptsächlich in England eingeführt. Eine Anzahl von Bunsenbrennern befindet sich an einem horizontalen Rohre nebeneinander angeordnet, und die von hier aufsteigenden Flammen erhitzen entweder Hohlkörper aus Schamotte od. dgl., welche durch die Flammen in Rotglut versetzt werden, oder zylindrische Körper aus gebrannter Magnesia

oder Ton, die meistens durchlocht sind, damit die Gase frei hindurchzirkulieren können. Derartige Glühkörper haben den Nachteil, daß die Flamme beim Entzünden des Ofens zunächst gekühlt wird und dadurch eine unvollkommene Verbrennung ergibt. Sowie jedoch der Ofen eine Zeitlang brennt, wirken die Glühkörper durchaus nicht mehr hinderlich auf die Verbrennung, und es konnte wiederholt nachgewiesen werden, daß dann die Abgase derartiger Öfen nicht die geringste Menge von Kohlenoxyd enthalten.

Wenden wir uns nun der anderen Art der Heizung durch Gasöfen zu, welche nur eine Erwärmung der Luft ohne Rücksichtnahme auf die Strahlung bezweckt, so müssen wir zunächst eine im letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts eingeführte Konstruktion erwähnen, den sogenannten „Karlsruher Schulofen“. Eine Abart desselben, wie sie jetzt von der Firma Friedrich Siemens<sup>1)</sup> ausgeführt wird, ist in Fig. 430 wiedergegeben. Hier wird das

Fig. 431.

Gas in einem Rostfeuereinsatz in dem Heizraum verbrannt, indem dort aus kleinen Öffnungen in Röhren gelbbrennende Flammen austreten. Die Abgase nehmen zunächst den Weg durch einen vorgeschalteten Schornstein nach oben, indem sie auf diese Weise durch den Auftrieb die Energie gewinnen, die Widerstände, welche ihrem weiteren Wege entgegenstehen, zu überwinden. Sie gehen dann in konzentrischen Ringzylindern zunächst nach abwärts, der in die Höhe strebenden Luft entgegen, so daß die Wärmeübertragung an die Luft eine möglichst vollkommene ist. Dann wenden sie sich wieder nach aufwärts und gelangen in den Schornstein. Die Frischluft tritt von unten durch einen eigenen



Frischlufthkanal von außen zu, indem hierdurch gleichzeitig die Ventilation des betreffenden Raumes bewirkt wird. Sie streicht durch die Zwischenräume zwischen den Ringzylindern und tritt oben aus dem Ofen aus. Bei solchen Öfen ist gewöhnlich keine besondere Vorrichtung vorhanden, die das Zurücktreten der Abgase zu den Flammen verhindert; es ist eine solche in diesem Falle auch weniger erforderlich, weil zufolge der großen Höhe der von den Flammen direkt senkrecht nach aufwärts steigenden Gassäule ein starker Auftrieb gegeben ist, welcher das Zurücktreten von Abgasen nicht leicht möglich macht. Zweckmäßig würde es aber zweifellos sein, wenn auch bei solchen Öfen die Abgase vor dem Eintritt in den Schornstein eine Unterbrechung, wie wir sie auf S. 1064 besprochen haben, passieren würden; dies schon mit Rücksicht darauf, daß dadurch der Ofen von den wechselnden Zugverhältnissen unabhängig bleibt.

Als dritte Gattung der Gasheizöfen haben wir die sogenannten „Radiatoröfen“ zu besprechen. Wir wählen als Beispiel den in neuester Zeit gut ein-

<sup>1)</sup> Heussler, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 361.

geführten Ofen von Meurer, welcher aus einzelnen gußeisernen Elementen zusammengesetzt und in Fig. 431 dargestellt ist. Auch dieser Ofen enthält Gelbbrenner, welche im unteren Teil an einem horizontalen Gaszuführungsrohr angebracht sind. Der Gasabsperrhahn kann von oben aus durch eine verlängerte Spindel und einen Handgriff betätigt werden, ohne daß man sich zur Erde bücken muß, wie das sonst bei Gasöfen häufig der Fall ist. Die Verbrennungsgase sammeln sich zunächst in einer Kappe im Unterteil des Ofens und streichen dann durch die einzelnen von den Elementen gebildeten gußeisernen vertikalen Rohre mit ovalem Querschnitt nach oben zu einem gemeinsamen Sammelraum, der am Schluß einen Wasserabscheider trägt. Dann gelangen sie in den Schornstein. In dem Wasserabscheider ist ferner noch eine Öffnung angebracht, welche noch etwas Luft hinzutreten läßt, damit die Abgase verdünnt werden und weiter im Schornstein kein Wasser absetzen. Dieser Ofen besitzt den Vorteil, daß nur vertikale Heizflächen vorhanden sind und daß entsprechend der Größe des zu beheizenden Raumes eine beliebige Anzahl derartiger Elemente zusammengebaut werden können. Zur Erhöhung der Ausnutzung der Wärme können auch zwei konzentrisch ineinander gesteckte Rohre als Heizkörper verwendet werden, wie dies z. B. beim Doppelheizgas-Radiator von Siemens<sup>1)</sup> der Fall ist.

Wie bereits erwähnt (S. 1061), wird der Nutzeffekt der Gasheizöfen ein geringerer, wenn dieselben nicht voll beansprucht sind, d. h. wenn die Flamme klein gedreht wird. Die Luftzufuhr kann dann nicht immer in derselben Weise gedrosselt werden und es tritt somit ein Überschuß an Luft in den Abgasen auf, der einen Teil der Wärme in den Schornstein entführt. Meurer<sup>2)</sup> hat deshalb einen Ofen in ähnlicher Weise wie den vorgenannten konstruiert, der jedoch in zwei Teile geteilt ist, von denen der eine ein Drittel und der andere zwei Drittel der Gesamtheizfläche umfaßt. Durch zwei gesonderte Gaszuführhähne wird dann stets jener Teil der Heizfläche beheizt, welcher dem jeweiligen Wärmebedarf entspricht, und dadurch wird der Wirkungsgrad stets auf gleich guter Höhe erhalten.

Die Gasheizöfen eignen sich besonders für Räume mit wechselndem Wärmebedarf. In Übergangszeiten mit wechselnder Temperatur, wo die anderen Zentralheizungen dem Wechsel der Temperatur nicht rationell nachkommen können, bietet die Gasheizung als Hilfsheizung wegen ihrer steten Betriebsbereitschaft, der geringen Anlagekosten und des geringen Raumbedarfes wesentliche Vorteile. Ebenso in allen jenen Fällen, wo ein Raum nur auf kurze Zeit erwärmt werden soll, wie dies z. B. in Kirchen der Fall ist<sup>3)</sup>. Die Kirchen werden nur für kurze Zeit benutzt, und die Anheizdauer ist bei allen anderen Beheizungsarten eine sehr große, so daß der Wärmebedarf bei anderen Heizungsarten ein wesentlich größerer wird als bei Gasheizung. Es ist nämlich zu berücksichtigen, daß während des Anheizens die Umfassungsmauern eine große Menge von Wärme aufnehmen, die naturgemäß um so größer ist, je länger die Anheizperiode dauert. Die Gasheizung hat aber den besonderen Vorteil, eine kurze Anheizdauer und dadurch einen geringeren Wärmeverbrauch zum Anheizen herbeizuführen. Dementsprechend stellen sich die Kosten der Beheizung für Kirchen<sup>4)</sup>:

<sup>1)</sup> Heussler, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 361. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 863. — <sup>3)</sup> Spaleck, Ebend. 1911, S. 127. — <sup>4)</sup> Ebend. 1911, S. 204.

bei Niederdruckdampfheizung auf . . .	150 bis 272	ℳ	pro 100 m <sup>3</sup> Raum
„ Luftheizung auf . . . . .	80	„	120 „ „ „ „
„ Gasheizung auf . . . . .	70	„	„ „ „ „

Dabei ist aber bei der Gasheizung die dreifache Wärmeleistung pro Zeiteinheit vorgesehen, weil eben die Anheizung viel schneller erfolgen kann und soll. Die Bedienungskosten stellen sich bei Gasheizung auf den dritten Teil der Bedienung der anderen Heizungen. Die Anheizdauer beträgt

bei Niederdruckdampfheizung . . . . .	12	Stunden
„ Luftheizung . . . . .	8	„
„ Gasheizung . . . . .	0,5	„

Unter Berücksichtigung von Abschreibung und Verzinsung stellen sich die Gesamtkosten für 70 Heizungen pro Jahr

bei Niederdruckdampfheizung auf . . . . .	1870	ℳ
„ Luftheizung auf . . . . .	1390	„
„ Gasheizung auf . . . . .	1200	„

Spaleck verweist darauf, daß es unrichtig ist, bei Beheizung von Kirchen die gewöhnliche Wärmetransmissionsberechnung zu machen, daß vielmehr nur die Aufnahme der Wände für Wärme in Betracht kommt. Diese ist

$$W = c \cdot \gamma \cdot \frac{\lambda}{w} \cdot \frac{t_s^2}{2},$$

worin  $c$  die spezifische Wärme,  $\gamma$  das spezifische Gewicht,  $\lambda$  den Leitungskoeffizienten,  $w$  die pro Stunde zugeführte Wärme und  $t_s$  das Temperaturgefälle in der Mauer bedeutet.

Junkers<sup>1)</sup> hat einen Warmluftofen für Kirchenheizung konstruiert, welcher sich dadurch auszeichnet, daß er eine äußerst lebhaft Luftzirkulation hervorruft und daher die Luft des Raumes möglichst rasch beheizt.

Zum Zwecke der Berechnung des Nutzeffektes, welchen ein Gasheizofen liefert, muß man die Gasmenge kennen, welche der Ofen stündlich verbrennt, den Heizwert des Gases, die Menge und Zusammensetzung der Abgase und die Temperatur derselben beim Verlassen des Raumes, wie auch die Temperatur, mit welcher die Außenluft in den Ofen eintritt. Die gesamte aufgewendete Wärmemenge geht aus dem Produkt: Gasverbrauch pro Stunde mal Heizwert des Gases (man nimmt hier gewöhnlich den unteren Heizwert an) hervor. Zieht man von dieser aufgewendeten Wärmemenge den Wärmeverlust ab, welcher dadurch gegeben ist, daß die Abgase eine gewisse Menge von Wärme mit in den Schornstein entführen, so verbleibt die im Ofen ausgenutzte Wärme, d. h. die Summe der durch Strahlung und Leitung abgegebenen Wärmemenge. Es handelt sich also nur darum, die Wärmeverluste durch die Abgase zu bestimmen. Zu diesem Zwecke müssen wir die Zusammensetzung, die Menge und die Temperatur der Abgase kennen lernen. Die Temperatur ist in einfacher Weise zu messen. Die Bestimmung der Menge und die Zusammensetzung ist jedoch mit größeren Schwierigkeiten verbunden, da hier eine direkte Messung mittels Gasmessern od. dgl. nicht möglich erscheint. Wir können vielmehr die Menge nur auf indirektem Wege bestimmen. Am einfachsten geschieht dies durch Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der Abgase. Kennen wir die Menge von Kohlensäure, welche 1 m<sup>3</sup> Gas bei der Verbrennung liefert und die Menge Gas, welche pro Stunde verbrennt, so geht daraus hervor, wie-

<sup>1)</sup> Spaleck, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 179.

viel Kohlensäure pro Stunde in den Abgasen enthalten sein muß. Haben wir aber in den Abgasen den Kohlensäuregehalt bestimmt, so geht dann daraus ohne weiteres die Menge der Abgase hervor. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß in den Abgasen auch Wasserdampf enthalten ist, der bei der Probenahme zum Zwecke der Untersuchung der Abgase auf Kohlensäure kondensiert wird und somit nicht mit zur Untersuchung gelangt. Die Menge dieses Wasserdampfes muß jedoch ebenfalls mit in Rechnung gestellt werden, da die spezifische Wärme des Wasserdampfes eine hohe ist. Die Menge desselben wird entweder aus der Zusammensetzung des Gases ermittelt, es muß also dann eine vollständige Gasanalyse vorliegen, oder sie wird in den Abgasen direkt bestimmt. Die spezifische Wärme der einzelnen Verbrennungsprodukte: Wasserdampf, Kohlensäure, Stickstoff und Luft haben wir bereits auf S. 52 und 53<sup>1)</sup> kennen gelernt. Die spezifische Wärme jeder dieser Produkte mit der pro Stunde auftretenden Menge multipliziert gibt die Wärmekapazität für jeden einzelnen Bestandteil, und die Summe der Wärmekapazitäten multipliziert mit der Temperatur der Abgase gibt dann den Wärmeverlust. Dieser, von der gelieferten Wärmemenge abgezogen und der Rest, d. i. die ausgenutzte Wärme in Prozenten der gesamten angewendeten Verbrennungswärme ausgedrückt, ergibt den Nutzeffekt des Ofens, der, wie bereits auf S. 1061 erläutert, bei guten Gasöfen zwischen 85 und 90 Proz. liegt.

Da diese exakte Methode der Untersuchung des Nutzeffektes wegen der Notwendigkeit einer kompletten Gasanalyse etwas umständlich ist, kann auch eine vereinfachte Methode angewendet werden<sup>2)</sup>. Es genügt diesfalls anzunehmen, daß 1 m<sup>3</sup> Leuchtgas 0,5 m<sup>3</sup> Kohlensäure bei der Verbrennung liefert, und genügt dann eine einfache Kohlensäurebestimmung in den Abgasen. Die von den Abgasen fortgeführte Wärmemenge berechnet sich demgemäß nach der Formel:

$$w = \frac{0,50 \cdot 100}{\text{CO}_2} \cdot 0,32 \cdot t,$$

worin  $w$  den Wärmeverlust durch die Abgase, 0,50 die von 1 Vol. Steinkohlengas gelieferte Kohlensäure,  $\text{CO}_2$  den Kohlensäuregehalt der Abgase in Prozenten, 0,32 die spezifische Wärme der Abgase und  $t$  die Temperaturerhöhung der Abgase gegenüber der zugeführten Luft bedeutet.

Von der Strahlung, welche direkt von den Flammen geliefert wird und deren Größe auf S. 1070 angegeben ist, ist die Strahlung zu unterscheiden, die von den Heizflächen des Ofens bzw. von der Ummantelung desselben nach außen abgegeben wird. Diese beträgt nach Untersuchungen der englischen Gasheizkommission<sup>3)</sup> 30 Proz. der Gesamtwärme, die durch Leitung an die Luft abgegebene Wärmemenge dagegen 40 Proz. Da jedoch in den Berichten dieser Kommission die Wärmeverluste durch die Abgase mit 19 bis 42 Proz. angegeben werden, so ist dies offenbar nur auf Öfen zu beziehen, die eben in England üblich sind und die einen verhältnismäßig ungünstigen Nutzeffekt ergeben. Kropf<sup>4)</sup> zeigte in einer Zusammenstellung über die Resultate, die bei der Untersuchung von Gasheizöfen in der Versuchsanstalt für Gasbeleuchtung, Brennstoffe und Feuerungsanlagen an der Technischen Hochschule in Wien erhalten wurden, daß man hier in der Ausnutzung der Wärme bereits viel weiter fortgeschritten ist, als man dies in England nur wünscht. Die

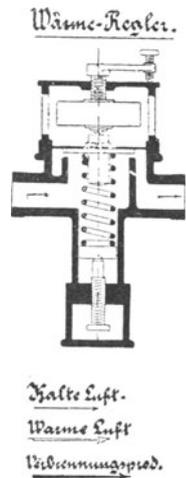
<sup>1)</sup> Vgl. auch Anhang, S. 1099, Tab. VIII. — <sup>2)</sup> K. Bunte, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 713. — <sup>3)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 290. — <sup>4)</sup> Ebend., S. 343.

Untersuchungen erstreckten sich hier auf den Nutzeffekt, auf die Strahlung des Reflektors, auf die Beschaffenheit der Zimmerluft und die Vollkommenheit der Verbrennung. Um von Schornsteinzug unabhängig zu sein, wurden bei den Untersuchungen stets Unterbrechungen im Schornstein angeordnet. Die Resultate waren folgende:

Nutzeffekt im Ofen . . . . .	82,6 bis 90,5	Proz.
„ bis zum Unterbrecher gerechnet . . .	88,1	„ 95,0 „
„ „ „ Verlassen der Abgase aus dem		
Raum gerechnet . . . . .	92,3	„ 96,7 „

Ein großer Vorzug der Gasheizung ist, wie bereits erwähnt, die leichte Regulierbarkeit derselben. Die automatische Regelung der Erwärmung ist bei der Gasheizung ermöglicht, während sie weder bei der Dampfheizung noch bei der Warmwasserheizung in gleich vollkommener Weise möglich ist. Es sollte daher mehr Wert auf die Anwendung derartiger automatischer Temperaturregulatoren gelegt werden, als dies heute geschieht. Tatsächlich sind bereits Konstruktionen vorhanden, welche das Problem der selbsttätigen Temperaturregelung bis auf 0,5° genau vollständig gelöst haben. Als erster trat hier der Porgessche Temperaturregler auf, welcher in Fig. 432 wiedergegeben ist. Er besteht aus einer Wellblechkapsel, welche ein Plattenventil trägt. Die Kapsel ist mit einer sehr leicht siedenden Flüssigkeit (Chloräthyl, Siedepunkt 12,5° C) gefüllt. Das Plattenventil ist durch eine Feder hochgehalten und wird geschlossen, wenn sich die Kapsel ausdehnt. Die Ausdehnung erfolgt durch die Dampftension des Chloräthyls bei Temperaturerhöhung. Die Einstellung erfolgt derart, daß man die Schraube, welche die Kapsel von oben niederdrückt, zunächst hoch dreht, dann den Ofen voll brennen läßt, bis die gewünschte Temperatur erreicht ist, dann die Schraube wieder so lange hineindreht, bis die Gasflammen eben wieder klein geworden sind. Dann stellt man mit Hilfe eines Feststellschraubchens den Hebel, welcher zur Bewegung der Schraubenspindel diente, fest. Sobald die Temperatur nur um wenig gesunken ist, zieht sich die Kapsel wieder zusammen, so daß das Ventil gehoben und der Gaszufluß wieder geöffnet wird. Um das vollständige Verlöschen der Gasflammen zu verhindern, befindet sich unterhalb des Ventils eine kleine Öffnung, welche Gas aus dem Eingang zum Ausgang des Apparates strömen läßt, so daß die Flammen des Ofens klein weiter brennen.

Fig. 432.



Den von der Firma Siemens auf den Markt gebrachten Wärmeregulator zeigt Fig. 433. Hier bewirkt eine aus zweierlei Metall zusammengelötete Spirale die Betätigung des Ventiles. Die Wirkungsweise dieses Reglers geht aus der Zeichnung ohne weiteres hervor. Natürlich müssen alle diese Temperaturregulatoren in großer Entfernung vom Ofen angebracht sein, um die Temperatur des Raumes und nicht jene unmittelbar neben dem Ofen zu regulieren. Zu diesem Zwecke ist also die Führung der Gasleitung durch einen größeren Teil des Raumes (mindestens 2 m vom Ofen entfernt) erforderlich, was offenbar die Einführung dieser Regulatoren erschwert<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Über automatische Temperaturregulatoren siehe auch Messinger „Preßgas für gewerbliche Zwecke“, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 164.

In neuester Zeit ist eine Art der Wärmeversorgung schon vielfach angewendet worden, welche sehr aussichtsreich erscheint. Es ist dies eine Kombination der Vorteile der Gas- und der Warmwasserheizung<sup>1)</sup>. Die später (S. 1086) bei den Badeöfen besprochenen Warmwasserapparate ermöglichen in vollständig automatischer Weise durch selbsttätige Regulierung des

Fig. 433.



Gaszuflusses die Erwärmung des ständig hinzuffließenden Wassers, so daß eine Warmwasserheizung nicht nur für einzelne Häuser, sondern auch für einzelne Wohnungen eingerichtet werden kann, die keinerlei Bedienung benötigt. Diese Kombination ermöglicht also, die Vorteile der Warmwasserheizung auszunutzen unter Verwendung der Vorteile der Gasheizung, nämlich der Abwesenheit jedes Brennstoffes und des Entfalles der Bedienung, der Aschenabfuhr usw. Allerdings bleiben die Kosten der Gasheizung bestehen, die eben erst dann verringert werden, wenn einmal Heizgas zu noch billigerem Preise geliefert werden wird. Auch zur Versorgung größerer Villenkolonien oder dgl. erscheint die Anlage einer derartigen Gasheizzentrale, sei dies nun Steinkohlengas oder Generatorgas, von Vorteil, wobei die Verteilung des Gases auf beliebig große Entfernungen durchgeführt und in den einzelnen Häusern dann die Umsetzung der Verbrennungswärme des Gases in Warmwasser vorgenommen werden kann.

## 75. Das Gas in der Küche und im Haushalte.

Die Küche hat sich das Gas schon nahezu vollständig erobert. Jede halbwegs modern eingerichtete Küche hat bereits ihre Kochgasleitung. Die Vorteile des Kochens mit Gas sind noch bedeutender als die Vorteile der Gasheizung, weil hier nicht das Hindernis des hohen Preises entgegensteht. Die Nutzeffekte, welche bei der Beheizung von Räumen mit unseren gewöhnlichen Öfen für Kohlenfeuerung erzielt werden, sind zwar auch nicht sonderlich gut, aber immerhin schwanken dieselben etwa zwischen 20 und 40 Proz., während man mit der Gasfeuerung über 90 Proz., also zwei- bis dreimal so hoch kommt. Der Preis des Gases pro 1000 Kal. ist aber sechsmal so hoch als der Preis der Kohle. Das hat zur Folge, daß die Gasheizung wesentlich teurer ist als die Kohlenheizung. Bei der Küche liegen die Verhältnisse anders. Hier erzielt man mittels der Kohlenfeuerung Nutzeffekt von etwa 2 bis 5 Proz., bei der Gasheizung hingegen Nutzeffekt von 50 Proz. oder mehr. Die Ausnutzung ist also hier mehr als zehmal so hoch. Deshalb spielt der höhere Gaspreis keine Rolle und das Kochen mit Gas ist bei einiger Sparsamkeit sicher nicht teurer wie das Kochen mit Holz und Kohle. In der Küche kann man gerade durch die mit Hilfe des Gases ermöglichte Sparsamkeit viel erreichen, deshalb führt sich das Kochgas auch in den kleinsten Haushaltungen, wo die Hausfrau selbst am Kochherde steht, ein. Die Verwendung des Gases im Haushalte, und ganz besonders in der Küche, ist auch wesentlich für die Dienstbotenfrage. In Amerika z. B. ist es schon schwierig,

<sup>1)</sup> Geitmann, Gesundheits-Ingenieur 1910, S. 879; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 258.

für eine Wohnung Diensthofen zu erhalten, wo kein Gasherd vorhanden ist<sup>1)</sup>. Aber nicht nur die Haushaltungen ziehen Vorteile aus der Anwendung des Gases für die Küche. Heute verwerten auch die großen Hotels die Vorzüge des Kochens mit Gas ausgiebig<sup>2)</sup>. Auch die Krankenhäuser haben bereits erkannt, daß die Verunreinigung der Luft durch Kohlenstaub durch die Gasfeuerung vermieden werden kann. So hat z. B. das Krankenhaus in München-Schwabing in umfangreicher Weise für die Verwendung des Gases Sorge getragen, und es ist nicht nur der Kochherd allein, sondern auch Spülmaschinen, Wärmeschränke u. dgl. mehr, wo das Gas mit besonderem Vorteil verwendet werden kann. Auch zum Räuchern für Wurstwarenfabriken u. dgl. wird das Gas bereits im großen angewendet.

Ebenso wie bei den Gasheizöfen müssen auch die Gaskoch- und Bratapparate bestimmte Bedingungen erfüllen, wenn sie ihren Zweck erreichen sollen. Hier ist es ausschließlich der Bunsenbrenner, welcher zur Anwendung kommt, und es ist daher notwendig, daß alle Bedingungen vorhanden sind, welche für die gute Wirkung eines Bunsenbrenners erforderlich sind (vgl. S. 77 bis 87).

Den Düsen der Kochbrenner sollte die gleiche Aufmerksamkeit geschenkt werden wie den Leuchtbrennern<sup>3)</sup>. Das richtige Mischungsverhältnis zwischen Gas und Luft ist auch bei der Konstruktion von Gaskochern von außerordentlicher Wichtigkeit. Allerdings ist auch bei der besten Düse ein gewisses Minimum an Gasdruck erforderlich, damit die Brenner entsprechend funktionieren. Durch eine richtige Düse und genügenden Gasdruck kann man Flammen von viel höherer Temperatur erzielen und wird dadurch nicht nur ein rascheres Erwärmen der Kochgeschirre, sondern auch eine größere Sparsamkeit im Verbrauch hervorgerufen, weil das Temperaturgefälle zwischen Flamme und Kochgefäß ein größeres ist, somit die Wärmeübertragung eine günstigere und die von den Abgasen fortgeführte Wärmemenge eine geringere wird. Das gute Arbeiten der Kochflammen erkennt man ebenso wie beim Gasglühlichtbrenner daran, daß der innere Flammenkegel nicht fahlblau, sondern intensiv grün gefärbt ist. Dabei soll ein genügend großer Mischraum vorhanden sein, damit ein gutes Gasluftgemisch erzielt wird und die Flamme ruhig, nicht stark flackernd brennt, weil anderenfalls die Flamme leicht zurückschlägt.

Die einzelnen Teile eines Kochers sollen leicht auswechselbar und bequem zu reinigen sein. Blech ist als Konstruktionsmaterial für die Kocher unzweckmäßig<sup>4)</sup>, weil es zu wenig Festigkeit besitzt und zu leicht rostet. Emaillierte Kocher sind unzweckmäßig, weil der Emailüberzug leicht abblättert<sup>5)</sup>. Ebenso ist das Abschleifen der Kochplatten zu verwerfen, weil hierdurch die widerstandsfähige Gußhaut entfernt wird.

Die Kochwirkung, d. h. die Wärmemenge, welche an das Kochgefäß übertragen wird, ist allerdings nicht nur von der Güte des Brenners, sondern auch von der Art des Kochgefäßes abhängig<sup>6)</sup>. Emaillierte Töpfe haben eine ungünstigere Wärmeübertragung und geben daher ein um etwa 5 Proz. ungünstigeres Resultat als solche aus blankem Metall. Auch ist die Größe des

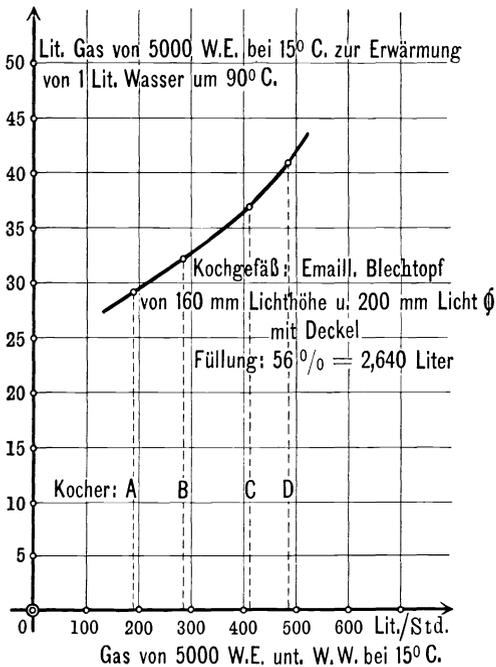
<sup>1)</sup> Eisele, Die Zukunft des Leuchtgases, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 97. —

<sup>2)</sup> Schilling, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 433, 624, 715, 794 u. 1178; Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 479. — <sup>3)</sup> Schöne, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1072. —

<sup>4)</sup> Meurer, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 394. — <sup>5)</sup> Schöne, Ebend. 1910, S. 461. — <sup>6)</sup> Meurer, Ebend. 1910, S. 394.

Gefäßes und seine Wasserfüllung von Einfluß. Je größer ein Gefäß im Verhältnis zu dem angewendeten Brenner ist, desto mehr werden die Abgase des Brenners abgekühlt und desto günstiger ist die Wärmeaufnahme. Es ist daher schwer, einen Kocher zu prüfen, wenn man nicht gleichzeitig das Verhältnis der Größen des Gefäßes zum Kocher festlegt. Es wäre daher empfehlenswert, eine Normalprüfungsmethode für Kocher zu besitzen, die man bisher noch nicht ausgearbeitet hat<sup>1)</sup>. Es genügt nicht, wenn man bei Kochversuchen das gleiche Wasserquantum und die gleichen Topfgrößen verwendet<sup>2)</sup>. In diesem Falle würde man bei gleichem Gasverbrauch den im Verhältnis zur Topfgröße kleineren Brenner bevorzugen. Fig. 434 zeigt, daß

Fig. 434.



schon geringe Gasverbrauchsunterschiede wesentliche Differenzen im Wirkungsgrade ergeben. Da ferner der Eintritt des Siedens nicht genau zu ermitteln ist, schlägt Meurer vor, das Wasser nur bis 95° zu erhitzen.

Der Nutzeffekt eines Kochers ist auch von der Anordnung der Stützen, welche den Topf oder die Kochplatte tragen, der Entfernung der Flammen von diesen, von der Form und Richtung der Flamme, von der Ausstrahlung und Wegführung der Wärme und von der Zusammensetzung des primären Gasgemisches beeinflusst. Ferner ist die Güte eines Gaskochers auch davon abhängig, ob der Brenner von Laienhand oder mit Aufmerksamkeit be-

dient wird. Wobbe<sup>3)</sup> hält allerdings die von Meurer hervorgehobenen Differenzen für nicht so maßgeblich und er meint, daß es genüge, einen Kochtopf zu wählen, der annähernd dem Durchmesser des Kochers entspricht. Empfehlenswert wäre es, für je 2 cm<sup>2</sup> Bodenfläche des Kochtopfes je 1 Liter stündlichen Gasverbrauch zu wählen, um stets gleichmäßige Resultate zu erzielen.

Da die Düsen der Gaskocher nicht immer ganz rein bleiben und die Wirkungsweise der Kocher darunter leidet, eine Reinigung von Laienhand aber ungünstig wirken kann, weil die Düsen dann leicht zu sehr erweitert werden, so ist es sehr empfehlenswert, wenn installierte Kochapparate von Zeit zu Zeit von seiten des Gaswerkes kontrolliert werden, um die Konsumenten stets zufrieden zu halten.

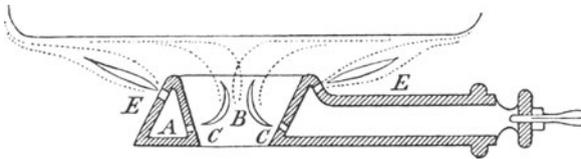
Als Kochbrenner — Rechaud — war früher ein ringförmiger Brenner, welcher die Öffnungen entweder nach außen oder nach innen oder auch nach

<sup>1)</sup> Eine solche wird den beteiligten Vereinen demnächst zur Annahme vorgelegt werden. Vgl. auch Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 394; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1075. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 946. — <sup>3)</sup> Ebend. 1910, S. 1007 u. 1146.

beiden Seiten gerichtet hatte, sehr beliebt (Fig. 435). Zweckmäßiger als dieser erscheint jedoch der Wobbebrenner (Fig. 436), dessen Mischrohr horizontal liegt, rechtwinklig umgebogen und durch eine Platte abgeschlossen ist, welche einen schmalen Spalt zwischen dem Mischrohraufsatz und der Platte frei läßt, so daß hier das Gasluftgemisch austreten kann. Man erhält dann eine schmale, ringförmige Flamme und der ganze Brenner ist leicht zu reinigen, da die Platte abgeschraubt werden kann. Um das Abschrauben noch zu erleichtern, wird die Platte auch mit einem zentralen Stift ausgeführt, der unten durch das Mischrohr hindurchgeht und festgeschraubt werden kann. Es ist dann nur die Lösung einer einzigen Schraube erforderlich, um die Platte abnehmen zu können.

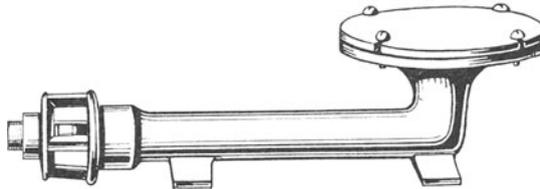
Außer den einfachen Kochern verwendet man auch geschlossene, sogenannte Kochplatten. Der Vorteil der geschlossenen Platten liegt darin, daß

Fig. 435.



Kochgeschirre, welche nicht mehr die volle Wärmewirkung der Flamme benötigen, aber doch warmgestellt bleiben sollen, seitwärts verschoben werden können, wo die Abgase des Brenners genügende Wärme besitzen, um die

Fig. 436.



Platte warm zu halten; dadurch ist ein sparsameres Kochen möglich. Sie haben daher einen 8 bis 10 Proz. geringeren Gasverbrauch<sup>1)</sup>, dagegen eine längere Ankochzeit.

Bei den gewöhnlichen ringförmigen Kochbrennern ist die Heizwirkung dadurch verringert, daß, wenn die Flammen nur nach außen brennen, ein großer toter Raum des Kochtopfes, welcher von der Flamme nicht bespült ist, in der Mitte verbleibt. Aber auch bei Ringbrennern mit doppelter Flamme bleibt ein ringförmiger Raum am Kochtopf unausgenutzt. Schöne<sup>2)</sup> hat deshalb einen Brenner, Fig. 437, angegeben, welcher diese tote Fläche vermeidet, indem der Kopf des Brenners von sternartigen Segmenten gebildet wird, die radial angeordnet sind und von denen die Flammen seitlich herausbrennen.

Eine beträchtliche Wärmemenge geht bei den Gaskochern noch immer dadurch verloren, daß die Flamme ebenso wie der Boden des Kochtopfes die Wärme nach unten ausstrahlen. Um dies zu vermeiden, kann man nach

<sup>1)</sup> Meurer, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 394. — <sup>2)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1075.

Schönes Angabes einen Schnellwassererhitzer mit doppeltem Boden verwenden, wie er in Fig. 438 dargestellt ist. In dem Zwischenraum zwischen dem doppelten Boden brennt die Flamme. Das Wasser wird unterhalb des eingelöteten Deckels abgelassen, auf diese Weise muß immer nur eine sehr dünne Wasserschicht von der Flamme erwärmt werden und man erhält daher sehr rasch heißes Wasser.

Nach Wobbe<sup>1)</sup> erhält man eine Verbesserung des Wirkungsgrades der Gaskocher dadurch, daß man die Luft unterhalb der Flamme durch einen Boden absperrt und die sekundäre Verbrennungsluft der Flamme zentral zuführt, wie dies Fig. 439 zeigt. Bei den bisherigen Kochern strömt nämlich die Luft unterhalb der Flamme zu und bildet dort die

Fig. 437.

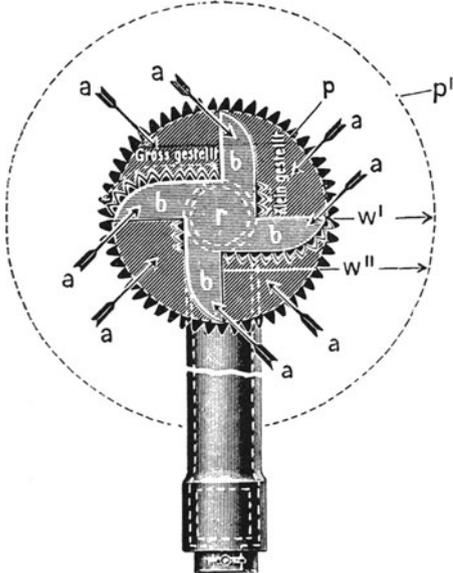
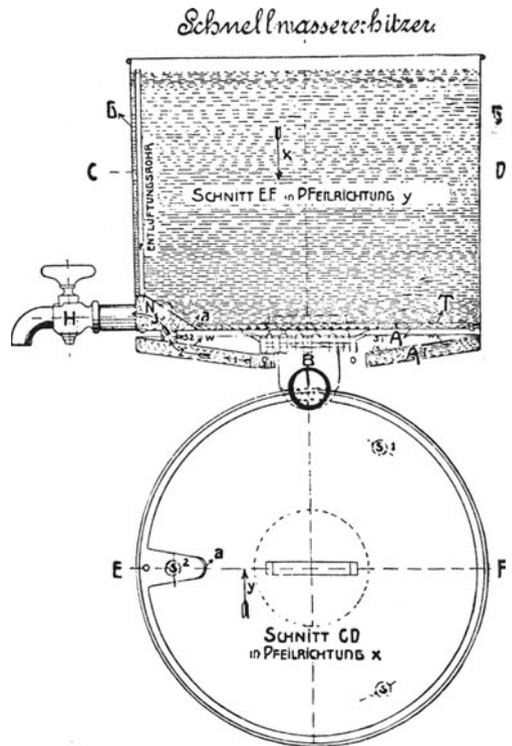


Fig. 438.



heißeste Verbrennungszone, welche die größte Ausstrahlung nach unten hat, während hier sich die heißeste Zone oben in unmittelbarer Nähe des Kochtopfes befindet, so daß der Wirkungsgrad wesentlich besser werden soll. Mit diesem Kocher soll 1 Liter Wasser mit einem Gasverbrauch von 26 Litern zum Sieden erhitzt werden können. Wobbe gibt die Wärmebilanz eines derartigen Kochers wie folgt<sup>2)</sup>.

Es wurden verbraucht:

4,5 Liter Gas zur Verdampfung des Wassers an der Oberfläche,	
das ist . . . . .	17,3 Proz.
1,5 Liter Gas für Ausstrahlung der Wände . . . . .	5,7 "
18,5 Liter Gas als theoretisches Erfordernis zur Erwärmung des	
Wassers, das ist . . . . .	71,2 "
1,5 Liter Gas als nicht direkt gefundene Verluste, das ist . . .	5,7 "

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 256. — <sup>2)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 278.

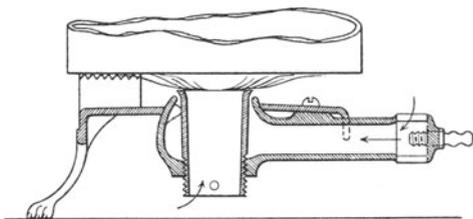
Nur diese letzteren 5,7 Proz. können als wirkliche Verluste angesehen werden <sup>1)</sup>.

Sehr zweckmäßig, jedoch wenig angewendet, ist die Anordnung einer Zündflamme <sup>2)</sup>, um die Hauptflamme jeden Moment, wenn sie nicht gebraucht wird, löschen zu können. Es genügt auch eine einzige Zündflamme für zwei Brenner an einem Kochapparat, wodurch der Gasverbrauch der Zündflamme, welcher nur 5 bis 6 Liter pro Stunde beträgt, noch ermäßigt wird <sup>3)</sup>.

Eine Neuerung, welche die Firma Friedrich Siemens eingeführt hat <sup>4)</sup>, ist eine automatisch wirkende Brennerzündung bei Gaskochern. Beim Aufsetzen eines Kochtopfes wird mittels eines Hebels der Hahn zum Brenner geöffnet, so daß sich das Gas an einer Zündflamme entzündet. Beim Wegschieben des Topfes erlischt die Hauptflamme wieder.

Außer dem Kochbrenner sind natürlich auch die Einrichtungen zum Braten und Backen von hervorragender Wichtigkeit. Dieselben werden meist nicht mit Blaubrennern, sondern mit Gelbbrennern betrieben und sind ein oder mehrere Rohre angeordnet, welche die Wärme auf den ganzen zu beheizenden Raum verteilen. Außerdem sind Bleche eingelegt, welche eine Regulierung der Wärmezufuhr mehr nach oben oder unten ermöglichen. Diese Bleche werden dann in verschiedener Höhe in den Bratraum eingeschoben, und wirken teils dadurch, daß sie die Abgase der Flammen nach seitwärts verdrängen, teils aber durch die Wärmeausstrahlung, die von ihnen selbst ausgeht.

Fig. 439.



Die Erwärmung des in der Küche so vielfach benötigten warmen Wassers soll zweckmäßigerweise nicht auf einem besonderen Kocher vorgenommen werden, sondern man kann die warmen Abgase der Brenner dazu benutzen, das Wasser zu erwärmen. Ist eine solche Vorrichtung bei einem Kocher nicht angebracht, so ist es viel rationeller, einen besonderen kleinen Heißwasserspender zu installieren, da derselbe viel rationeller arbeitet, als ein Kocher mit einem darauf gestellten Topf. Ein großer Teil der Wärme, der bei den gewöhnlichen Kochern verloren geht, läßt sich auch sparen, wenn man unter den Brennern ein Wasserbassin anbringt, wie dies Schöne <sup>5)</sup> empfiehlt.

Auch Waschmaschinen und Geschirrspülmaschinen mit Gasheizung stehen in Anwendung <sup>6)</sup>.

In den letzten Jahren ist viel Propaganda für das Kochen mit elektrischem Strom gemacht worden, die durch den Strom zu erzielende Wärme ist jedoch wesentlich teurer, als man sie durch die Verbrennung des Gases

<sup>1)</sup> Schöne (Journ. f. Gasbel. 1911, S. 847) hat ebenfalls schon Schutzplatten gegen die Wärmeausstrahlung nach unten verwendet, jedoch nicht die zentrale Luftzuführung; vgl. Wobbe, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1042. — <sup>2)</sup> Z. B. an den Kochern der Eschebachschen Werke, A.-G. in Dresden (Journ. f. Gasbel. 1911, S. 485). — <sup>3)</sup> Heise, Jahrbuch über die Fortschritte des Beleuchtungswesens 1910, S. 116. — <sup>4)</sup> Rödenbeck, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 357. — <sup>5)</sup> Ebend. 1910, S. 461. — <sup>6)</sup> Messinger, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 594 u. Zeitschr. f. Blechindustrie 1910, S. 1491; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 41.

erhalten kann und deshalb dürfte sich das Kochen mit elektrischem Strom nur auf wenige Fälle beschränken. Allerdings ist die Wärmeausnutzung des elektrischen Stromes eine bessere, weil der Heizkörper unter Umständen in den Topf selbst verlegt werden und durch entsprechende Isolierung des Topfes die Ausstrahlung der Wärme vermieden werden kann. Letzteres trifft aber auch für Gas zu (so z. B. bei dem von Meurer empfohlenen Nurs- oder Duvekoher), denn auch hier kann man durch Anwendung entsprechender Isoliermaterialien den Nutzeffekt wesentlich steigern. Jedoch ist man dadurch an bestimmte Kochtöpfe gebunden, was seine Nachteile hat, so daß man in den meisten Fällen von der Anwendung solcher Isolierungen beim elektrischen Strom ebenso wird absehen müssen wie beim Gase.

Einen Kostenvergleich zwischen Gas- und elektrischer Küche gab Schilling<sup>1)</sup>. Es kostet:

	Bei einem Strompreise von 2 ₤ pro HW-Stde.	Bei einem Gaspreise von 14 ₤ pro Kubikmeter
1 Liter Wasser zum Sieden zu erhitzen . . . . .	2,24	0,50
4 Tassen Kaffee zu kochen . . . . .	1,28	0,36
850 g Fleisch zu kochen . . . . .	4,80	0,86
600 g Kartoffeln zu rösten . . . . .	3,00	0,90
3 Entrecots zu braten . . . . .	2,00	0,50
1 kg Kalbsbraten nebst Sauce herzustellen . .	16,00	2,16
1 Stunde zu bügeln . . . . .	7,20	3,64

Nach den Ermittlungen Meurers<sup>2)</sup> müßte der elektrische Strom mit 5,1 Heller für die KW-Stunde abgegeben werden, wenn er mit einem Gaspreise von 15 Heller pro Kubikmeter konkurrieren soll<sup>3)</sup>. Beim elektrischen Kochen werden durchschnittlich 0,078 KW-Stunden pro Person und Mittagessen verbraucht, was einem Wärmewert von 68 Kalorien entspricht. Auch Albrecht<sup>4)</sup> stellte einen Vergleich des elektrischen Kochens mit dem Gaskochen auf. Er verwirft die Isolierung der Kochtöpfe, welche bereits früher schon versucht worden war, wegen der ihr anhaftenden Mängel. Er bezeichnet als Vorzüge des Gaskochens vor dem elektrischen Kochen namentlich die größere Geschwindigkeit der Zubereitung der Speisen, die auf Gas in 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub> Stunden hergestellt werden, bei elektrischem Kochen jedoch 3 bis 4 Stunden Zeit beanspruchen; ferner den weit geringeren Verbrauch an Energie. Nach ihm müßte das Preisverhältnis 3,5 ₤ pro KW-Stunde gegenüber 12 ₤ pro Kubikmeter Gas sein, wenn die Kosten die gleichen sein sollten<sup>5)</sup>. Die Zentrale für Gasverwertung setzt dieses Verhältnis mit 2,4 ₤ pro KW-Stunde gegenüber 12 ₤ pro Kubikmeter Gas ein.

Die Elektrizitätswerke geben den Strom zu besonders billigen Preisen, wenn derselbe nur zu bestimmten Zeiten abgenommen, d. h. wenn das Elektrizitätswerk nicht mit anderweitiger Stromabgabe belastet ist. Diese Stromabnahme zu bestimmten Zeiten ist jedoch beim Kochen unzweckmäßig. Es werden folgende Nachteile angegeben<sup>6)</sup>:

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1910, S. 755. — <sup>2)</sup> Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 613. — <sup>3)</sup> Über den Energieverbrauch zur Bereitung einzelner Speisen siehe Electr. World vom. 15. Jan. 1911. — <sup>4)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1178. — <sup>5)</sup> Ebend., S. 608. — <sup>6)</sup> Züricher Zeitung vom 6. August 1910; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 1178.

1. Auf eine Kocheinrichtung, die nur mittags benutzt werden kann, werden viele verzichten.

2. Die dem elektrischen Kochen nachgerühmte Einfachheit ist nicht vorhanden. Der fortwährende Kontaktwechsel zwischen den Töpfen und Apparaten ist zeitraubend und lästig.

3. Auch die elektrisch beheizten Töpfe können überkochen, so daß die dem elektrischen Kochen nachgerühmte Reinlichkeit nicht immer vorhanden ist.

4. Durchaus unzulässig ist es, dem elektrischen Kochen Sicherheit nachzurühmen.

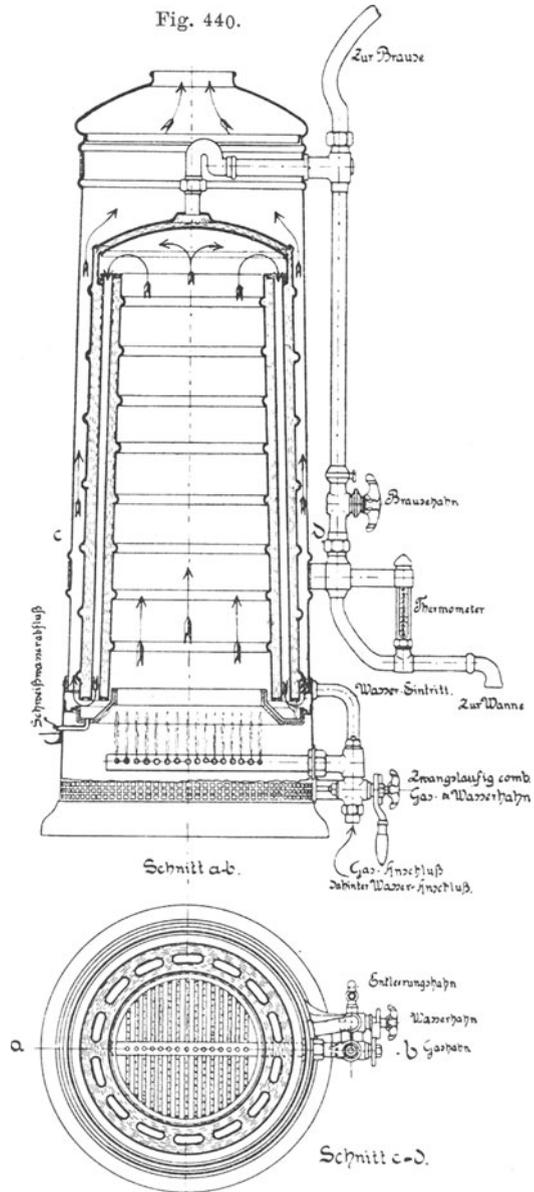
5. Das Unterstromsetzen der Apparate ohne Inhalt hat deren teilweise Zerstörung zur Folge.

6. Beim elektrischen Kochen ist es unmöglich, den Kochprozeß zu beschleunigen.

7. Die höheren Anschaffungspreise der elektrischen Kocher sind ebenfalls hervorzuheben<sup>1)</sup>.

Besondere Vorteile bietet auch die Anwendung des Gases zur Beheizung von Badeöfen. Die Vorteile liegen hier in der großen Zeitersparnis, da das Wasser für ein Bad innerhalb 15 Minuten gewärmt werden kann, während bei Kohlenfeuer dazu 1 Stunde erforderlich ist, und auch in der Sparsamkeit, da der Nutzeffekt der Gasbadeöfen ein sehr guter ist. Fig. 440 zeigt einen Gasbadeofen der Firma Siemens.

Das Gas strömt aus einem Rostbrenner aus, der aus einer Anzahl parallel nebeneinanderliegender Rohre besteht und kleine Öffnungen besitzt, aus welchen Stichflammen her-



<sup>1)</sup> Über den Vergleich zwischen elektrischem und Gaskochen siehe ferner Gas und Elektrizität in Oranienburg, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1911, S. 344.

ausbrennen. Bei den Badeöfen wird nämlich meistens die gelbbrennende Flamme verwendet. Die Abgase streichen zunächst vertikal nach aufwärts, indem sie einen ringzylindrischen Wassermantel beheizen. Oben sammeln sie sich in einer Kappe, gehen weiter außen durch Rohre nach abwärts, welche durch den ringzylindrischen Wassermantel hindurchgehen, so daß hier die Wärme der Abgase an das Wasser nahezu vollständig übertragen wird. Dann streichen die Abgase außerhalb des Wassermantels wieder nach aufwärts in den Schornstein. Der Wasserzufluß erfolgt von unten nach oben, so daß das Wasser in den genannten Rohren im Gegenstrom zu den Abgasen fließt; dadurch wird die Wärmeübertragung eine so vollkommene. Es ist dies dasselbe Prinzip, wie es bei den Kalorimetern angewendet ist, die bekanntlich eine vollkommene Wärmeübertragung bewirken, so daß sie als Meßinstrumente dienen (s. S. 112). Beim Badeofen der Zentralwerkstatt Dessau wird das Wasser in einem schlangenförmigen Rohre nach oben geführt. Die Beheizung dieses Rohres erfolgt durch einen ebensolchen Brenner, wie bei dem genannten Siemensschen Badeofen.

Da die Abkühlung der Abgase bei den Badeöfen eine sehr weitgehende ist, so kondensiert sich Wasser an den Heizflächen. Dieses fließt nach abwärts und muß an geeigneter Stelle abgelassen werden können. In Fig. 440 ist diese Stelle als „Schweißwasserabfluß“ bezeichnet.

Um Reparaturen an Badeöfen leichter ausführen zu können, ist es zweckmäßig, alle Lötstellen des Kessels an freiliegenden Stellen anzubringen<sup>1)</sup>. Ebenso sollen die Verbindungsrohre, welche zum Zwecke der Demontage auseinandergenommen werden müssen, sich an freiliegenden Stellen befinden.

Auch die Badeöfen müssen an gut ziehende Schornsteine angeschlossen werden, um so mehr, weil die Badezimmer gewöhnlich klein sind und daher ein Austritt von Abgasen, oder gar ein Verlöschen der Gasflammen zufolge des Rückstauens der Abgase zu Unglücksfällen führen kann. Auch bei den Gasbadeöfen ist daher eine Anordnung praktisch, welche beim eintretenden Rückstauen der Abgase diese nicht bis an die Brenner gelangen lassen, wie z. B. beim Badeofen von Houben.

In ganz ähnlicher Weise wie die Badeöfen sind auch die Heißwasserspender eingerichtet, welche im Bedarfsfalle rasch heißes Wasser zu liefern vermögen, und sowohl in ganz kleiner Ausführung an Waschtischen, als auch im großen Maßstabe zur Warmwasserheizung verwendet werden können. Die zentrale Warmwasserversorgung mit Hilfe derartiger mit Gas beheizter Warmwasserapparate ist eine außerordentlich praktische und wird vielfach verwendet. Diese werden dann mit einer automatischen Vorrichtung versehen, welche den Gashahn öffnet, sowie die Temperatur des austretenden Wassers bis zu einer gewissen Grenze herabgegangen ist.

Bei allen diesen Apparaten, namentlich aber bei den Badeöfen, muß dafür gesorgt werden, daß die Gasflamme nicht entzündet werden kann, wenn kein Wasserdurchfluß durch den Apparat stattfindet, weil anderenfalls eine Dampfentwicklung und eine Explosion durch den Dampfdruck vorkommen kann. Jedoch wenn auch dem Dampf vollständig freier Eintritt gewährt wird, wie dies bei den Badeöfen z. B. durch die Anordnung einer Brause im oberen Teile der Fall ist, so würde doch das Wasser allmählich vollständig ver-

<sup>1)</sup> Heussler, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 361.

dampfen, die Heizflächen würden dann überhitzt werden und es würde ein Auflöten der Lötstellen vorkommen können. Um nun dies zu verhindern, werden Sicherheitsähne verwendet. Es kann z. B. eine Metallplatte in einem Gehäuse beweglich angeordnet sein und durch den Wasserstrom seitlich verschoben werden, wodurch erst das Öffnen und Schließen des Gasventiles bewirkt werden kann<sup>1)</sup>. Oder es wird das Gasventil durch die brennende Zündflamme und durch den Wasserdruck geöffnet<sup>2)</sup>. Erlischt dann die Zündflamme oder wurde deren Entzündung vergessen, so findet selbst bei geöffnetem Gashahn nie ein Gasaustritt zum Brenner statt. Man kann auch das Gasventil erst öffnen, wenn durch die Wärme der Zündflamme die leicht siedende Flüssigkeit die Kapsel ausgedehnt und dem bewegten Hebel einen Stützpunkt für das Öffnen des Gasventiles geboten hat.

Ausgedehnte Anwendung findet das Gas schon seit vielen Jahrzehnten zum Zwecke der Erhitzung der Bügeleisen. Man unterscheidet hier zwei prinzipiell voneinander verschiedene Methoden, nämlich Eisen mit Innenheizung und solche mit Außenheizung.

Bei den ersteren schlägt die Flamme eines Bunsenbrenners in den Hohlraum des Bügeleisens hindurch. Es hat dies den Vorteil, daß die äußeren Flächen, besonders die untere, welche mit den Wäschestücken in Berührung kommt, in keiner Weise von den Abgasen und deren Kondensationsprodukten berührt wird. Dagegen besitzen solche Eisen den Nachteil, daß sich zufolge der raschen Abkühlung der Flamme eine unvollkommene Verbrennung ergibt, so daß die Luft in den betreffenden Räumen den charakteristischen Geruch der zurückgeschlagenen Flammen, d. h. der unvollkommenen Verbrennung des Steinkohlengases zeigt. Es tritt dann auch Kohlenoxyd in der Luft auf, und solche Luft ist gesundheitsschädlich. Bei derartigen Bügeleisen muß also stets für einen entsprechenden Abzug der Abgase gesorgt sein. Dort, wo dies nicht der Fall sein kann, sind unbedingt Eisen mit Außenheizung vorzuziehen. Bei diesen wird das vollständig massive Eisen auf ein Gestell gelegt, welches von unten mit kleinen Gasflämmchen mit Gelbbrennern geheizt ist. Die Kondensationsprodukte greifen allerdings die untere Fläche des Bügeleisens ein wenig an und es kann sich dort auch Rost ansetzen. Das Bügeleisen muß daher vor jeder Verwendung über ein reines Tuch gezogen werden, um alle Spuren von Unreinheiten zu beseitigen.

Zweckmäßig ist es auch, Bügeleisenerhitzer an den Gaskochern anzubringen, damit die Bügelvorrichtungen nicht mit einem stets gefahrbringenden Schlauch, wie dies gewöhnlich geschieht, an den Gashahn angeschlossen werden müssen, sondern daß sie in fixer Verbindung mit den befestigten Kocheinrichtungen bleiben. Oft richtet man Kocher so ein, daß nach Auswechseln des Brenners Bügeleisen aufgesetzt werden können. Es sollen jedoch dabei keine abnehmbaren Teile vorhanden sein, weil solche leicht in Verlust geraten können<sup>3)</sup>.

Der Nachteil der unvollkommenen Verbrennung bei Innenheizung der Bügeleisen entfällt, wenn man Druckluft zur Erzielung einer Gebläseflamme zur Verfügung hat und also Luft und Gas gleichzeitig in den Hohlraum des Eisens einbläst<sup>4)</sup>. Die Mischung von Gas und Luft kann schon in beträcht-

<sup>1)</sup> Heussler, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1909, S. 361. — <sup>2)</sup> Rödenböck, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 357; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 723. — <sup>3)</sup> Meurer, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 522. — <sup>4)</sup> Brandt, Ebend. 1911, S. 1018.

licher Entfernung vor dem Plättisen stattfinden<sup>1)</sup>. Der stündliche Gasverbrauch beträgt dann zufolge der besseren Wärmeökonomie bei der Beheizung des Eisens und zufolge der vollkommenen Verbrennung 100 Liter pro Eisen und Stunde.

Wie wichtig für die Gaswerke die Einführung des Gases in den Haushalt ist, geht schon daraus hervor, daß ein Kochgasanschluß etwa 1,8mal mehr Konsum hervorruft, als der Verbrauch an Beleuchtungsgas im gleichen Haushalt<sup>2)</sup>. Der Anschluß eines Badeofens gibt das 1,2fache des Beleuchtungskonsums. Es wäre von großem Wert<sup>3)</sup>, wenn durch eine ausführliche Statistik der Gasverbrauch von Koch- und anderen Heizapparaten im Haushalt aufgestellt würde. Der Kochgasverbrauch pro Kopf und Jahr ist für den kleinen Mittelstand wie folgt angegeben:

Von Schäfer . . . . .	mit	50 bis 60 m <sup>3</sup>
„ Schomburg . . . . .	„	43 „ 55 „
„ Anzböck . . . . .	„	145 „
„ Kobbert . . . . .	„	67 „
in Amsterdam . . . . .	„	100 „

Der Verbrauch pro Kopf und Tag, der von Meurer mit 5,43 m<sup>3</sup> angenommen wurde, läßt sich wie folgt zerlegen:

2,3 m <sup>3</sup>	für den Gasherd und zur	Bereitung von Speisen und	Warmwasser,
0,1 „	„	Bügeln,	
1,5 „	„	den Badeofen,	
0,4 „	„	Beleuchtung.	

Meurer beziffert den Kochgasverbrauch pro Person und Jahr auf 104,5 m<sup>3</sup>, und wenn man auch das Bügeln mit dazu rechnet, auf 109 m<sup>3</sup>. 48 Proz. des Kochgases werden zur Warmwasserbereitung benötigt. Es ist daher, wie erwähnt, vorzuziehen, das warme Wasser nicht auf den Kochern, sondern in besonderen Warmwasserapparaten zu erzeugen.

Anzböck<sup>4)</sup> gibt den Konsum der verschiedenen Verwendungszwecke im Haushalt wie folgt an:

Anzahl der Personen	Gasherde	Bügeleisen	Badeöfen	Jahreskonsum m <sup>3</sup>
4	1	1	1	492
3	1	1	1	424
3	1	1	—	702
6	1	1	1	649
5	1	1	1	592

## 76. Verwendung des Gases zu motorischen Zwecken.

Die Verwendung des Gases zu motorischen Zwecken datiert schon bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts zurück. Lenoir war der erste, welcher den bei der Explosion eines Gasluftgemisches auftretenden Druck für moto-

<sup>1)</sup> Gaswerk Rathenow, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1036. — <sup>2)</sup> Meurer, Zeitschr. d. österr. Gasver. 1910, S. 394. — <sup>3)</sup> Ebend. 1911, S. 613. — <sup>4)</sup> Ebend. 1910, S. 93; 1911, S. 218; Journ. f. Gasbel. 1911, S. 17.

rische Zwecke ausnutzte. Bei seinem Motor wurde durch die Explosion ein mit einer Zahnstange verbundener Kolben in die Höhe geschleudert und die letztere setzte dann mit Hilfe eines Zahnrades beim Herabgehen das Schwungrad in Bewegung. Größere Erfolge vermochte jedoch der Gasmotor erst zu erzielen, als durch Otto und Langen der Viertaktmotor eingeführt wurde. Dieser wirkt in der Weise, daß beim ersten Vorwärtsgehen des Kolbens ein Gemisch von Gas und Luft in den Zylinder angesogen wird, beim zweiten Takt, d. h. beim Zurückgehen des Kolbens, dieses Gemisch komprimiert wird, wonach die Zündung erfolgt, und beim dritten Takt, während der Expansion des entzündeten Gemisches, der Kolben nach vorwärts geschoben wird, wodurch die eigentliche Arbeitsleistung zustande kommt. Beim vierten Takt dann, d. h. beim abermaligen Zurückgehen des Kolbens, werden die Verbrennungsgase aus dem Zylinder herausgedrückt, so daß dann neuerlich ein Ansaugen des Gasluftgemisches stattfinden kann.

In größerem Maßstabe wurden die Gasmotoren erst verwendet, als es gelang, in Generatoren durch unvollkommene Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd ein Gas zu erzeugen, das billig genug war, um zum Motorenbetrieb auch für größere Krafterleistungen herangezogen werden zu können. Dowson und Wilson waren die ersten, welche das heute als „Halbwassergas“ bezeichnete Gas (S. 720) zum Motorenbetrieb einführten. Schließlich gewann der Motor durch die Verwendung des Gichtgases der Hochöfen (S. 767) ein Feld, dessen Beherrschung man früher dem Gas nicht zumutete, nämlich das der Großgasmaschinen, und ungefähr um dieselbe Zeit auch eine ausgebreitete Verwendung durch die Einführung des Sauggases (S. 755). In neuester Zeit ist nun auch noch eine wesentlich anders wirkende Gasmaschine, die Gasturbine, hinzugetreten, welche allerdings vorerst nur in wenigen Exemplaren zur Ausführung gelangt ist, die aber noch eine große Bedeutung erlangen dürfte. Imhof<sup>1)</sup> führte einem Stabe von Marinefachleuten eine brauchbare Gasturbine vor, deren Preis kaum  $\frac{1}{6}$  der bisherigen Gasmotoren beträgt<sup>2)</sup>. Ferner ist es die Gasturbine von Holzwardt, über welche bereits ausführliche Versuchsberichte vorliegen und die eine Umwälzung auf dem Gebiete des Gasmaschinenbaues voraussehen läßt.

Und ebenso, wie das Gas zum Betriebe der allergrößten Motore Anwendung gefunden hat, so hat sich dasselbe nunmehr auch das Gebiet der Kleinmotoren zu erobern begonnen<sup>3)</sup>. Im Kleinbetrieb bis zu 10 PS ist der Gasmotor noch immer die billigste Kraftmaschine, trotzdem die Wärme im Gas dreimal teurer ist als im Rohöl. Die Vorzüge vor den Ölmotoren liegen aber darin, daß die Auspuffgase nicht belästigen und daß die Verbrennung ohne störende Rückstände erfolgt; ebenso daß die Lagerung des Brennmaterials entfällt. In neuester Zeit sind die schnellaufenden Kleinmotoren bis zu 1 PS herab praktisch verwendbar geworden; so z. B. die Cudell-Motoren, die Motoren der Aachener Stahlwarenfabrik A.-G., welche den Namen „Fafnir“-Motoren tragen und mit 500 bis 1000 Touren pro Minute laufen; ferner die Motoren der Marienhütte A.-G. in Kotzenau (Schlesien) mit 450 bis 650 Touren, ferner jene der Gasmotorenfabrik Deutz 260 bis 350 Touren, jene der Gebr. Körting A.-G. mit 270 bis 300 Touren, die Motoren von Christoff und

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 211. — <sup>2)</sup> Von den Konstruktionswerken zu Detlikon hergestellt. — <sup>3)</sup> Lieckfeld, Journ. f. Gasbel. 1910, S. 1013.

die der Maschinenfabrik A.-G. von Niesky bei Görlitz, schließlich der Thiers-Motor der Firma Richter u. Co. in Weimar <sup>1)</sup>.

Betreffs der Konstruktion der Motoren bestehen prinzipielle Verschiedenheiten in der Zündung des Gasluftgemisches. Die ursprünglich verwendete Schieberzündung, bei welcher die Zündung durch eine Zündflamme von außen erfolgte, ist längst durch die elektrische Zündung und die Glührohrzündung verdrängt. Schließlich ist zu erwarten, daß beim Gas, ebenso wie bei den Petroleummotoren, die Zündung durch einfache Kompression der Luft, wodurch dieselbe bis auf die Entzündungstemperatur des Gases erhitzt wird, möglich ist, wie dies für flüssige Brennstoffe im Dieselmotor angewendet wird. Für Gas sind jedoch solche Motoren noch nicht konstruiert, wegen der Umstände, welche die Kompression des Gases auf diese hohen Drucke mit sich bringt.

Der Verbrauch des Gases in den Motoren, welcher vor zwei Jahrzehnten noch rund 1 m<sup>3</sup> pro PS-Stunde betrug, ist nunmehr für Steinkohlengas auf 0,4 m<sup>3</sup> pro PS-Stunde herabgegangen. Trotzdem hat die Verwendung der Steinkohlengasmotoren in den letzten Jahren nicht den Fortschritt erfahren wie früher, weil von der einen Seite die Sauggasanlagen (vgl. S. 755), von der anderen Seite die Elektromotoren das Gebiet für sich beansprucht haben. Durch letztere sind speziell kleinere Motoren verdrängt worden, so daß die Stückzahl der Gasmotoren zurückgegangen ist; jedoch der Anschlußwert derselben in Pferdestärken ist im letzten Jahrzehnt um 58 Proz. gewachsen <sup>2)</sup>. Der Gasmotor ist dem Elektromotor in bezug auf die Betriebskosten noch immer wesentlich überlegen, da sich die Betriebsausgaben der Elektromotoren und Gasmotoren wie 3,2 zu 1 stellen. Auch die Kleinmotoren, welche 750 Liter pro PS-Stunde verbrauchen, sind im Betriebe noch immer um 50 bis 60 Proz. billiger als die Elektromotoren. Auch in der Anschaffung sind sie nicht teurer als letztere. Kuckuk <sup>3)</sup> empfiehlt die Kleinmotoren auch für die ländliche Kleinindustrie.

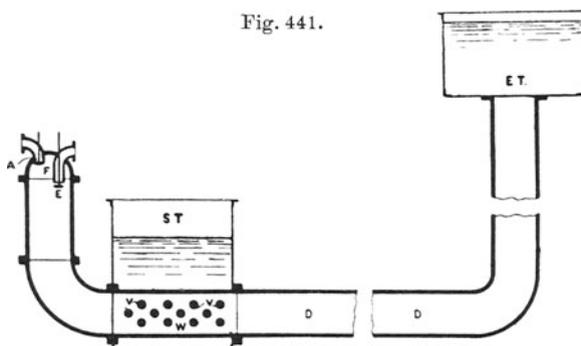
Schilling <sup>4)</sup> machte eine Zusammenstellung, wonach im Jahre 1898 etwa 36 000 PS, 1908 dagegen bereits 900 000 PS in Form von Elektromotoren in Deutschland aufgestellt waren, während die Gasmotoren nur 180 000 PS erreichten. Beim Kleinmotor stellt sich das Verhältnis günstiger, weil z. B. der Anschaffungspreis eines 50 PS-Fafnir-Motors samt Zubehör nur 1165 *M* beträgt und die Betriebskosten bei einem Gaspreise von 12 *§* bei 750 Liter Verbrauch pro PS-Stunde jährlich auf 540 *M* kommen, während ein gleicher Elektromotor mit 850 *M* Anlagekosten jährlich 864 *M* an Strom verbraucht, so daß also der Gasmotor beträchtlich billiger arbeitet. Um dem Gasmotor eine umfangreiche Anwendung zuzusichern, wäre es allerdings zweckmäßig, wenn die Gaswerke den Konsumenten die Motoren gegen ratenweise Rückzahlung beistellen würden <sup>5)</sup>.

Eine neuartige Verwendung der motorischen Kraft des Gases ist auch in der Humphreyschen Gaspumpe <sup>6)</sup> gegeben. Bei dieser wird der Stoß einer Gasexplosion auf eine Wassersäule übertragen, wodurch die Förderung des Wassers in die Höhe zustande kommt. Diese Pumpe ist in Fig. 441 dar-

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 157. — <sup>2)</sup> Schäfer, „Muß der Gasmotor dem Elektromotor weichen?“ Journ. f. Gasbel. 1909, S. 157. — <sup>3)</sup> Journ. f. Gasbel. 1909, S. 1061. — <sup>4)</sup> Ebend. 1910, S. 755. — <sup>5)</sup> Wie dies z. B. in Freiburg i. B. der Fall ist; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 688. — <sup>6)</sup> Dierfeld, Journ. f. Gasbel. 1911, S. 349.

gestellt. In  $F$  wird ein Gasluftgemisch durch eine an der Spitze von  $F$  angeordnete Zündkerze entzündet. Die Explosion setzt die ganze Wassersäule im Ausströmrohr  $D$  in Bewegung, so daß, wenn der Druck der Gase den atmosphärischen erreicht, die Wassersäule sich noch mit beträchtlicher Geschwindigkeit fortbewegt. Auspuff- und Wasserventile öffnen sich durch ihr eigenes Gewicht, das Wasser folgt der sich im Rohr  $D$  bewegendem Wassersäule, steigt aber auch in der Verbrennungskammer  $F$  auf. Da ein Rückfließen nicht verhindert wird, fängt dann das Wasser an, sich rückwärts nach der Verbrennungskammer hin zu bewegen, wobei die Verbrennungsgase in  $F$  ausgetrieben werden. Dies dauert so lange, bis das aufsteigende Wasser das Auspuffventil  $E$  erreicht, welches sich durch den Stoß schließt. Nun ist verbranntes Gas in dem sogenannten Luftkissenraum  $F$  eingeschlossen und wird von der Wassersäule so lange zusammengepreßt, bis der Druck im Raume  $F$  größer ist als die Druckhöhe des Wassers. Daraus ergibt sich eine zweite

Fig. 441.



Ab- oder Auswärtsbewegung der Wassersäule. Wenn das Wasser das Niveau des Ventiles  $E$  erreicht, so ist der Druck im Raume  $F$  gleich dem atmosphärischen. Bei der weiteren Bewegung der Säule öffnet sich das Ventil  $A$  und läßt eine frische Ladung des Gasgemisches ein, wobei das Auspuffventil  $E$  verschlossen gehalten wird. Noch einmal kehrt jetzt die Wassersäule um und komprimiert das angesaugte Gasgemisch in  $F$ , welches dann wieder entzündet wird, usw. Die Länge des Ausströmrohres beträgt 18 bis 24 m. Die Humphrey-Gaspumpen lassen sich auch so konstruieren, daß sie mit Ansaugung des Wassers arbeiten<sup>1)</sup>. Die Ökonomie des Betriebes stellt sich wie folgt:

Förderhöhe . . . . .	10,03 m,
Pumpen PS . . . . .	16,37 PS,
für die Pferdestärke verbrauchtes Mondgas .	2321 Liter,
Heizwert des Gases . . . . .	1311 Kalorien,
Wärmeverbrauch für die PS-Stunde . . . .	3057 "
bei Sauggasverwendung Verbrauch an Anthrazit im Generator für die PS-Stunde .	0,4776 kg.

Der Nutzeffekt ergibt sich bei diesen Pumpen um so höher, je niedriger die Kompressionsdrucke sind.

Die obengenannten, von Dierfeld angegebenen Zahlen zeigen, daß die Humphrey-Gaspumpe geeignet ist, bei der Förderung von Wasser ohne komplizierte maschinelle Hilfsmittel vorzügliche Dienste zu leisten.

<sup>1)</sup> Journ. f. Gasbel. 1911, S. 378.

## XVII.

### 77. Mittel zur Hebung des Gasabsatzes.

Wir haben bereits unter dem Kapitel „Gasheizung“ wiederholt Gelegenheit gehabt, darauf hinzuweisen, wie außerordentlich wichtig es ist, den Gasabsatz zu heben, um eine größere Dichte des Konsums, auf den Kilometer Rohrnetzlänge gerechnet, zu erzielen, weil dadurch eine wesentliche Verbilligung des Gases ermöglicht wird und weil andererseits die Verbilligung wieder einen größeren Gasabsatz hervorruft, so daß dadurch nicht nur die gesamte Gasindustrie neu belebt wird, sondern auch den Konsumenten die Vorzüge des Gases in noch größerem Maße zugute kommen. Jedoch nicht nur die Konsumenten, sondern auch die Allgemeinheit wird durch die hygienischen Vorteile, welche die allgemeine Anwendung des Gases an Stelle unserer jetzigen rohen Feuerungen bietet, wesentliche Vorteile erlangen, wie wir schon auf S. 1055 und 1056 auseinandergesetzt haben.

Um nun den Anstoß zur Hebung des Gasabsatzes zu geben, kann in verschiedener Weise vorgegangen werden. Das wichtigste Mittel zur Hebung des Gasabsatzes bleibt allerdings immer, Gas zu einem solchen Preise zu verkaufen, daß es für jeden Anwendungszweck preiswert erscheint. Andererseits aber ist die Anwendung verschiedener Preistarife für verschiedene Verwendungszwecke ungünstig, weil dadurch die Aufstellung mehrerer Gasmesser erforderlich wird, wenn nicht durch ein Rabattsystem auf andere Weise Begünstigungen für die Verwendung des Gases zu bestimmten Zwecken eingeräumt werden können. Vor einigen Jahrzehnten hat man durch die Einführung eines billigen Heizgaspreises die Anwendung des Gases zur Heizung erst möglich gemacht; jetzt aber ist die Zeit gekommen, wo man durch Einführung eines billigen Einheitspreises die Komplikation des doppelten Tarifes zu beheben sucht und den Leuchtgaspreis ebenso weit herabsetzen soll, wie den Heizgaspreis. In vielen Fällen wird allerdings der Einheitspreis als Mittel aus dem Leucht- und Heizgaspreis angenommen, aber auf alle Fälle soll die Einführung des Einheitspreises keine Verteuerung, sondern eine Verbilligung des Gases für den Konsumenten bringen.

Aber nicht allein der billige Preis des Gases ist es, welcher neue Konsumenten zu werben vermag. Besondere Erleichterungen des Gasbezuges werben in vielen Fällen noch mehr Konsumenten als billige Gaspreise. In erster Linie hat man sich darauf geworfen, dem Gas die Wege in die Küche zu ebnen, weil der gleichmäßige Kochgaskonsum der Gasanstalt große Vorteile bietet. Aber auch dieses Gebiet sollte so weit bearbeitet werden, daß die Kochgasleitung ihren Weg in jede Küche findet<sup>1)</sup>. Wenn schon die Einführung eines billigen Einheitsgaspreises nicht möglich ist, so sollte in jedem Haushalt die Möglichkeit geboten werden, beliebig viele Leuchtflammen an die Kochgasleitung anzuschließen, so daß wenigstens hier nicht zweierlei Leitungen erforderlich sind. Aber nicht nur die Küche ist es, die dem Gase zu erobern ist, sondern die Industrie muß zur Erkenntnis kommen, daß die Verwendung des Gases in vielen Fällen außerordentliche Vorteile zu bieten vermag, und

<sup>1)</sup> Lempelius, „Gasabsatz, Einheitspreis, Gasautomaten“; Journ. f. Gasbel. 1910, S. 361.

außerdem muß auch die Beheizung der Räumlichkeiten mehr und mehr dem Gase erworben werden.

Vor allem ist es erforderlich, daß der Anschluß an ein Rohrnetz dem Konsumenten keinerlei Schwierigkeiten bereite. Die Kosten der Zuleitung zum Hause und der Zweigleitungen in die einzelnen Stockwerke sollen nicht den Konsumenten zur Last fallen, sondern können vom Gaswerk kostenfrei gelegt werden, was das Anlagekapital des Gaswerkes nur in geringem Maße erhöht und durch den vermehrten Gasabsatz reichliche Verzinsung bringt. Durch die Aufstellung von Gasautomaten (S. 635) muß dem Konsumenten die Möglichkeit geboten werden, an Stelle einer großen monatlichen Gasrechnung durch tägliche Bezahlung ihres Gaskonsums vor großen einmaligen Auslagen zu schützen. Da es sich bei der weiteren Ausbreitung des Gasbezuges in erster Linie darum handelt, auch die Kreise der minder wohlhabenden Bevölkerung dem Gase zu gewinnen, darf von den Konsumenten nicht die Bezahlung einer kostspieligen Gasinstallation verlangt werden, sondern die Installation muß ohne Kosten für den Konsumenten ausgeführt werden und entweder durch eine geringe Mietgebühr oder durch Ratenzahlungen oder aber durch eine geringe Erhöhung des Gaspreises mit Hilfe der Automaten verzinst und amortisiert werden. Durch die Anlage von Ferndruckleitungen müssen kleinere Ortschaften, die sich in der Nähe von Städten mit Gaswerken befinden, an diese mit angeschlossen werden (vgl. S. 588).

Eines der wichtigsten Mittel zur Hebung des Gasabsatzes ist, dafür zu sorgen, daß die Konsumenten unter allen Umständen mit der Verwendung des Gases zufrieden bleiben, was besonders dadurch erreicht wird, daß die Gaswerksleitung dem Konsumenten als wohlwollender Ratgeber zur Seite steht, wenn es sich um die Anschaffung von Gasverbrauchsapparaten und Brennern handelt, und daß sie dabei nicht für einen hohen Gaskonsum sorgt, sondern dafür, daß der Konsument für geringes Geld möglichst viele Vorteile erreicht. Die Gaswerksleitung muß also den Konsumenten bei der Beschaffung von Gasverbrauchsapparaten sparen helfen. Häufig liegt die Unzufriedenheit der Konsumenten darin, daß Beleuchtungskörper, Gasöfen, Koch-, Bade- oder Bügelapparate auf die Dauer nicht gleichmäßig gut funktionieren. Oft ist der Konsument selbst schuld daran, indem er den Apparat nicht sachgemäß handhabt. Auch hier kann jedoch geholfen werden, wenn das Gaswerk eine regelmäßige Kontrolle der Gasverbrauchsapparate der Konsumenten führt und kostenlos Winke erteilt, wie aufgetretene Mängel beseitigt werden können, und auch durch die Tat den Konsumenten beispringt, um ihn in jeder Weise zufriedenzustellen. Handelt es sich dabei um größere Installationen, so wird gegen eine billige Vergütung die Instandhaltung der ganzen Installation einschließlich des Ersatzes von Glühkörpern, Glaszylindern und die Instandhaltung der Bunsenbrenner für die Kochapparate seitens des Gaswerkes zu besorgen sein.

Wie wir auf S. 1027 bei Besprechung der Zündvorrichtungen hervorgehoben haben, erscheinen diese geeignet, den einzigen Nachteil des Gases gegenüber dem elektrischen Licht zu beheben. Die Gaswerke sollten also nicht müde werden, geeignete Zündvorrichtungen ausfindig zu machen, welche fallweise dem Konsumenten nicht nur zu empfehlen, sondern auch gegen billige Vergütung einzurichten wären, damit er sich an die Handhabung der Zündvorrichtungen und an ihre Vorteile gewöhnt. Er wird es dann sehr bald für überflüssig finden, sich der Bequemlichkeit halber elektrisches Licht anzu-

schaffen, weil eben das Gaslicht mit der Zündvorrichtung dieselben Bequemlichkeiten zu bieten vermag und dabei wesentlich billiger zu stehen kommt. Allerdings muß berücksichtigt werden, daß die Zündvorrichtungen gewisse Instandhaltungen erfordern, namentlich das Nachfüllen elektrischer Batterien, die Kontrolle der Ventile usw. Alles dieses sollte jedoch vom Gaswerk aus besorgt werden gegen eine billige Vergütung, welche vom Konsumenten leicht geleistet werden kann, weil er ja doch im Gas eine Lichtquelle besitzt, welche kaum den dritten Teil der elektrischen Beleuchtung kostet.

Von größter Wichtigkeit für die Hebung des Gasabsatzes ist es aber auch, die verschiedenen Verwendungszwecke des Gases in jeder nur möglichen Weise dem Publikum bekannt zu machen. In dieser Beziehung geschieht viel zu wenig, und erst in den letzten Jahren fängt man an, die Konsumenten fortwährend darüber auf dem Laufenden zu erhalten, in welcher Weise sie die Vorzüge des Gases ausnutzen können. Aber auch Orte, welche noch kein Gas besitzen, sollten fortdauernd darauf aufmerksam gemacht werden, welche Vorteile ihren Einwohnern zukommen würden, wenn ihnen Gas zur Verfügung stände. Wichtig dabei ist auch die Hervorhebung des Beispiels anderer Städte, und die neu gegründete Zentrale für Gasverwertung in Berlin tut ihr möglichstes, um durch eine umfangreiche Statistik den Gaswerken die Mittel an die Hand zu geben, stets darauf hinzuweisen, welche Erfolge das Gas Jahr für Jahr zu verzeichnen hat.

Schließlich sei noch erwähnt, daß die beste Reklame für die Gasbeleuchtung in jedem Orte durch eine gute und ausgiebige Beleuchtung der Straßen mit Gas gegeben ist. Dort kann der Konsument allabendlich sich die Überzeugung verschaffen, welche Vorteile ihm die Gasbeleuchtung bietet.

Die Propaganda für eine umfangreiche Verwendung des Gases ist aber nicht nur Pflicht der Industriellen, welche unmittelbar wirtschaftliche Vorteile daraus ziehen, sondern auch jener öffentlichen Ämter, welche die Pflicht haben, für die Gesundheit der Bevölkerung zu sorgen. Die Hygiene der Luft ist ein Faktor, welchem im öffentlichen Leben viel zu wenig Beachtung geschenkt wird, und man sollte nicht müde werden darauf hinzuweisen, welche Unsumme von Schäden an Geld und Gesundheit vermieden werden könnte, wenn das Gas zu einer noch umfangreicheren Verwendung gelangen würde als bisher, und es kann nicht mehr bezweifelt werden, daß diese Erkenntnis sich bald Bahn brechen wird.

---

# Anhang.

Tabelle I.

Umrechnung von mm Wassersäule in mm Quecksilbersäule.

Wassersäule	Quecksilbersäule								
1	0,1	11	0,8	21	1,6	31	2,3	41	3,0
2	0,2	12	0,9	22	1,6	32	2,4	42	3,1
3	0,2	13	1,0	23	1,7	33	2,4	43	3,2
4	0,3	14	1,0	24	1,8	34	2,5	44	3,3
5	0,4	15	1,1	25	1,8	35	2,6	45	3,3
6	0,4	16	1,2	26	1,9	36	2,7	46	3,4
7	0,5	17	1,3	27	2,0	37	2,7	47	3,5
8	0,6	18	1,3	28	2,1	38	2,8	48	3,5
9	0,7	19	1,4	29	2,1	39	2,9	49	3,6
10	0,7	20	1,5	30	2,2	40	3,0	50	3,7

Tabelle II.

Spannung, Tension und Gewicht des Wasserdampfes<sup>1)</sup>.

Temperatur °C	Spannung in mm Quecksilber	Gewicht von 1 m <sup>3</sup> g	Temperatur °C	Spannung in mm Quecksilber	Gewicht von 1 m <sup>3</sup> g
0	4,6	4,9	20	17,5	17,3
+ 1	4,9	5,2	21	18,6	18,3
2	5,3	5,6	22	19,8	19,4
3	5,7	6,0	23	21,1	20,6
4	6,1	6,4	24	22,4	21,8
5	6,5	6,8	25	23,8	23,1
6	7,0	7,3	26	25,3	24,5
7	7,5	7,8	27	26,8	25,8
8	8,0	8,3	28	28,4	27,3
9	8,6	8,8	29	30,1	28,8
10	9,2	9,4	30	31,8	30,4
11	9,8	10,0	32	35,3	33,5
12	10,5	10,7	34	39,5	37,2
13	11,2	11,4	36	44,2	41,3
14	12,0	12,1	38	49,3	45,8
			40	54,9	50,7
15	12,8	12,8	42	61,0	56,0
16	13,6	13,7	44	67,8	61,8
17	14,5	14,5	46	75,1	68,1
18	15,5	15,4	48	83,2	74,9
19	16,5	16,3	50	92,0	82,3

<sup>1)</sup> „Hütte“, Berlin 1908, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn.

Tabelle III.

Umrechnungsfaktor ( $f$ ) zur Reduktion der Volumina von feuchtem Gas von  $t^0$  und  $b + p$  mm Druck ( $V$ ) auf trockenes Gas von  $0^0$  und 760 mm Druck ( $V_0$ ), nach der Formel:

$$V_0 = f \cdot V$$

$$f = \frac{b + p - \tau}{760} \cdot \frac{273 + t}{273 + t}$$

$f$  Umrechnungsfaktor,  $b$  Barometerstand in Millimetern Quecksilber,  $p$  Überdruck des Gases über den atmosphärischen Druck in Millimetern Quecksilber,  $\tau$  Tension des Wasserdampfes in Millimetern Quecksilber (s. Tabelle II),  $t$  Temperatur des Gases in  $^0\text{C}$ .

Reine Temperat. Korrektur	Temp. $t$ $^0\text{C}$	Tension $\tau$	Absoluter Gasdruck $b + p$														
			720	725	730	735	740	745	750	755	760	765	770	775	780		
0,965	10	9,2	0,901	0,908	0,914	0,921	0,927	0,934	0,940	0,946	0,952	0,959	0,965	0,972	0,978		
962	11	9,8	898	905	911	918	924	931	937	943	949	955	961	967	973		
958	12	10,5	894	901	907	913	919	926	932	938	945	951	957	963	969		
955	13	11,2	891	897	903	909	915	921	928	934	941	947	953	959	965		
952	14	12,0	888	895	901	907	913	919	926	932	938	944	950	956	961		
949	15	12,8	884	890	896	902	908	914	920	926	932	938	945	951	957		
945	16	13,6	880	886	892	898	904	911	917	923	929	935	941	947	953		
941	17	14,5	875	882	888	894	900	906	912	918	924	931	937	943	949		
938	18	15,5	870	876	882	888	894	900	907	913	919	925	931	937	944		
935	19	16,5	866	872	878	884	891	897	903	909	915	921	927	933	939		
932	20	17,5	862	868	874	880	886	892	898	905	911	917	923	929	935		
929	21	18,6	858	864	870	876	882	888	894	901	907	913	919	925	931		
926	22	19,8	853	858	864	870	876	882	888	894	900	906	912	918	926		
923	23	21,1	849	855	861	867	873	879	885	891	917	903	909	915	921		
919	24	22,4	844	850	856	862	868	874	880	886	894	900	906	912	917		
916	25	23,8	840	846	852	858	864	870	876	882	888	894	900	906	912		
913	26	25,3	841	841	847	853	859	865	871	877	883	889	895	901	907		
910	27	26,8	836	842	848	854	860	866	872	878	884	890	896	902	908		
907	28	28,4	832	838	844	850	856	862	868	874	880	886	892	898	904		
904	29	30,1	821	827	833	839	845	851	857	863	869	875	881	887	892		
901	30	31,8	816	821	827	833	839	845	851	857	863	869	875	881	887		

Tabelle IV.

Prozentueller Abzug zur Umrechnung von feuchtem Gas von  $t^0$  und  $b + p$  mm Druck auf trockenes Gas von  $0^0$  und 760 mm Druck.

Von dem abgelesenen Gasvolumen sind die in nachstehender Tabelle angegebenen Prozentsätze abzuziehen.

Beispiel: Abgelesenes Volumen 200,0 Liter . . . . .  $V$  Abgelesenes Volumen feucht . . . . .  $V = 200,0$  Liter  
 Temperatur des Gases  $21^0$  . . . . .  $t$  Korrektur gemäß der Tabelle 11,1 Proz.  $\equiv 22,2$  „  
 Druck des Gases 40 mm Wasser, das sind 3 mm Quecksilber  $\equiv p$  Korrig. Volumen,  $0^0$ , trocken . . . . .  $V_0 \equiv 177,8$  Liter  
 Barometerstand . . . . .  $742$  „  
 $b + p \equiv 745$  mm.

Temperatur $t$ °C	Tension $\tau$	Reine Temperatur korr. Proz.	Absoluter Gasdruck $b + p$ mm Quecksilber													
			720	725	730	735	740	745	750	755	760	765	770	775	780	
10	9,2	3,5	9,9	9,3	8,6	7,9	7,3	6,7	6,0	5,4	4,8	4,1	3,5	2,8	2,2	
11	9,8	3,8	10,2	9,6	8,9	8,2	7,6	7,0	6,3	5,7	5,1	4,5	3,9	3,2	2,6	
12	10,5	4,2	10,6	10,0	9,3	8,6	8,0	7,4	6,7	6,1	5,5	4,9	4,3	3,7	3,1	
13	11,2	4,5	10,9	10,3	9,6	8,9	8,3	7,7	7,1	6,5	5,9	5,3	4,7	4,1	3,5	
14	12,0	4,8	11,2	10,6	9,9	9,3	8,7	8,1	7,5	6,9	6,3	5,7	5,1	4,5	3,9	
15	12,8	5,2	11,6	11,0	10,3	9,7	9,1	8,5	7,9	7,3	6,7	6,1	5,5	4,9	4,3	
16	13,6	5,5	12,0	11,4	10,7	10,1	9,5	8,9	8,3	7,7	7,1	6,5	5,9	5,3	4,7	
17	14,5	5,8	12,4	11,8	11,1	10,5	9,9	9,3	8,7	8,1	7,5	6,9	6,3	5,7	5,1	
18	15,5	6,1	12,9	12,3	11,6	11,0	10,4	9,8	9,2	8,6	8,0	7,4	6,8	6,2	5,6	
19	16,5	6,5	13,3	12,7	12,1	11,5	10,9	10,3	9,7	9,1	8,5	7,9	7,3	6,7	6,1	
20	17,5	6,8	13,7	13,1	12,5	11,9	11,3	10,7	10,1	9,5	8,9	8,3	7,7	7,1	6,5	
21	18,6	7,1	14,2	13,5	12,9	12,3	11,7	11,1	10,5	9,9	9,3	8,7	8,1	7,5	6,9	
22	19,8	7,4	14,7	14,0	13,4	12,8	12,2	11,6	11,0	10,4	9,8	9,2	8,6	8,0	7,4	
23	21,1	7,7	15,1	14,4	13,8	13,2	12,6	12,0	11,4	10,8	10,2	9,6	9,0	8,4	7,8	
24	22,4	8,1	15,6	14,9	14,3	13,7	13,1	12,5	11,9	11,3	10,7	10,1	9,5	8,9	8,3	
25	23,8	8,4	16,0	15,4	14,8	14,2	13,6	13,0	12,4	11,8	11,2	10,6	10,0	9,4	8,8	
26	25,3	8,7	16,5	15,9	15,3	14,7	14,1	13,5	12,9	12,3	11,7	11,1	10,5	9,9	9,3	
27	26,8	9,0	17,0	16,4	15,8	15,2	14,6	14,0	13,4	12,8	12,2	11,6	11,0	10,4	9,8	
28	28,4	9,3	17,4	16,9	16,3	15,7	15,1	14,5	13,9	13,3	12,7	12,1	11,5	10,9	10,3	
29	30,1	9,6	17,9	17,4	16,8	16,2	15,6	15,0	14,4	13,8	13,2	12,6	12,0	11,4	10,8	
30	31,8	9,9	18,4	17,9	17,3	16,7	16,1	15,5	14,9	14,3	13,7	13,1	12,5	11,9	11,3	

Tabelle V.  
Mittlere Zusammensetzung, Dichte, Gewicht, Heizwert und Luftbedarf der Leucht- und Heizgase.

Gasart	Mittlere Zusammensetzung in Volumprozenten											Mittleres Molekulargew.	Dichte Luft = 1	Gewicht pro 1 m <sup>3</sup> kg	Heizwert pro Kubikmeter in Kalorien		O <sub>2</sub> -Bedarf Vol.	Luftbedarf Vol.	Heizwert pro m <sup>3</sup> Luft Kal.		
	H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	CO <sub>2</sub>				N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>				oberer	unterer
Wasserstoff . . . . .	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,016	0,069	0,090	3 090	2 608	0,5	2,38	1300	
Kohlenoxyd . . . . .	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28	0,967	1,25	3 050	3 051	0,5	2,38	1280	
Methan . . . . .	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	0,558	0,72	9 550	8 590	2,0	9,54	1000	
Äthylen . . . . .	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—	26	0,985	1,26	15 300	14 340	3,0	14,3	1060	
Acetylen . . . . .	—	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—	23	0,92	1,16	14 100	13 620	2,5	11,9	1180	
Pentan . . . . .	—	—	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	72	2,49	3,23	—	—	8,0	38,1	—	
Benzoldampf . . . . .	—	—	—	—	—	—	100	—	—	—	—	—	78	2,70	3,50	35 200	33 760	7,5	35,7	1010	
Techn. Wasserstoff . . . . .	97	2	wenig	—	—	—	—	—	—	—	1	—	2,8	0,097	0,125	3 060	2 560	0,495	2,36	1300	
Hochofengas . . . . .	3	26	1	—	—	—	—	—	—	10	60	—	28,7	0,99	1,29	980	960	0,165	0,79	1240	
Generatorgas aus Koks . . . . .	2	29	—	—	—	—	—	—	—	2	67	—	27,9	0,97	1,25	950	940	0,155	0,74	1230	
„ „ Kohle . . . . .	3	27	2	wenig	—	—	—	—	—	2	66	—	27,3	0,94	1,23	1 110	1 070	0,190	0,90	1230	
Halbwassergas aus Koks . . . . .	11	25	1,5	—	—	—	—	—	—	4,5	58	—	25,7	0,89	1,15	1 250	1 180	0,210	1,00	1245	
„ „ Kohle . . . . .	12	24	4,5	0,5	—	—	—	—	wenig	5	54	—	25,2	0,87	1,13	1 610	1 530	0,285	1,36	1180	
Mondgas . . . . .	26	10	3	wenig	—	—	—	—	wenig	16	45	—	23,5	0,81	1,05	1 400	1 240	0,240	1,14	1220	
Wassergas aus Koks . . . . .	53	40	1,5	—	—	—	—	—	—	2,5	3	—	14,4	0,50	0,64	3 000	2 730	0,495	2,36	1270	
„ „ Kohle . . . . .	60	28	2	wenig	—	—	—	—	—	4	6	—	12,8	0,44	0,57	2 900	2 590	0,480	2,28	1270	
Carburirtes Wassergas . . . . .	37	28	15	7	—	—	—	—	3	4	6	—	18,4	0,64	0,82	5 550	5 120	1,060	5,05	1100	
Mischgas . . . . .	50	14	25	3	Spur	wenig	1	3	4	2	4	—	13,0	0,45	0,58	5 170	4 640	0,985	4,68	1100	
Steinkohlengas . . . . .	53	8	31	2	Spur	wenig	1	3	3	5	3	—	11,3	0,41	0,53	5 500	4 910	1,060	5,05	1090	
Naturgas . . . . .	10	—	82	3	—	—	—	—	—	—	—	—	16,4	0,57	0,73	8 600	7 720	1,780	8,48	1010	
Luftgas . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	8	—	—	73	19	32,3	1,12	1,45	3 200	2 970	0,640	3,05	1050	
Ölgas . . . . .	15	2	46	27	—	—	6	—	—	2	2	—	24,5	0,85	1,10	11 170	10 310	2,265	10,8	1030	
Technisches Acetylen . . . . .	0,2	0,1	0,1	—	98	—	—	—	—	—	1	0,6	26,0	0,90	1,17	13 840	13 370	2,454	11,7	1180	

Chem. einheimische Gase

Technische Gasgemische

Tabelle VI.

Korrektur auf 0° bei Quecksilberbarometern mit Messingskala.

Die in der Tabelle angegebenen Werte sind von dem abgelesenen Barometerstand abzuziehen.

Temperatur	Abgelesener Barometerstand in Millimetern						
	720	730	740	750	760	770	780
10	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3
11	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
12	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
13	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7
14	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
15	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9
16	0,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0
17	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	0,1	0,2
18	2,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
19	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
20	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5
21	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7
22	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
23	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	2,9	2,9
24	0,8	0,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1
25	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2

Tabelle VII.

Mittlere spezifische Wärme der wichtigsten Gase bei konstantem Druck.

Zwischen 0 und 200°.

Gas	Mittlere spezifische Wärme	
	pro 1 kg	pro 1 m <sup>3</sup>
Äthylen . . . . .	0,404	0,507
Benzoldampf . . . . .	0,375	1,31
Kohlenoxyd . . . . .	0,243	0,306
Kohlensäure . . . . .	0,217	0,428
Luft . . . . .	0,238	0,308
Methan . . . . .	0,593	0,425
Sauerstoff . . . . .	0,218	0,312
Stickstoff . . . . .	0,244	0,306
Wasserdampf . . . . .	0,481	0,389
Wasserstoff . . . . .	3,41	0,307

Tabelle VIII.

Bei höheren Temperaturen<sup>1)</sup>.

Temperatur °C	Mittlere spezifische Wärme pro 1 m <sup>3</sup>			
	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
200	0,31	0,31	0,43	0,39
500	0,32	0,32	0,49	0,44
1000	0,33	0,33	0,59	0,52
1500	0,34	0,34	0,66	0,56
2000	0,36	0,36	0,70	0,61

<sup>1)</sup> Die Werte sind gemäß S. 26 berechnet, besitzen jedoch mit Rücksicht auf die verschiedenen Angaben verschiedener Forscher keine große Sicherheit.

Tabelle IX.  
Stündliche Ausflußmengen in Kubikmetern bei 10 mm Druckverlust und  $s = 0,4$ .

Länge der Leitung m	Lichter Rohrdurchmesser Millimeter																		
	40	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	600	800	1000
25	23	40	110	225	394	621	913	1275	1712	2113	2827	3514	5166	6889	9684	12573	19379	40807	71287
50	16	28	78	159	278	439	646	902	1210	1494	1999	2485	3653	4871	6848	8891	14056	28855	50408
75	13	23	63	130	227	359	527	736	988	1290	1632	2029	2983	3977	5591	7259	11477	23560	41158
100	11	20	55	113	197	311	457	638	956	1057	1414	1757	2583	3445	4842	6286	9939	20404	35644
125	10	18	49	101	176	278	408	570	766	945	1264	1572	2310	3081	4331	5623	8990	18250	31881
150	9	16	45	92	161	254	373	521	699	863	1154	1435	2109	2806	3953	5133	8115	16659	29103
175	9	15	42	86	151	238	350	489	656	810	1084	1348	1981	2642	3714	4822	7623	15649	27336
200	8	14	39	80	139	220	323	451	605	747	1000	1242	1827	2436	3424	4445	7028	14428	25320
225	8	13	37	75	131	207	304	425	571	704	942	1171	1722	2296	3228	4191	6626	13602	23782
250	7	13	35	71	125	196	289	403	541	668	894	1111	1634	2179	3062	3976	6286	12904	22543
275	7	12	33	68	119	187	275	384	516	637	852	1060	1558	2077	2920	3710	5994	12304	21494
300	7	12	32	65	114	179	264	368	494	610	816	1014	1491	1989	2795	3630	5739	11780	20578
350	6	11	29	60	105	166	244	341	458	565	756	939	1381	1841	2529	3360	5313	10906	19052
400	6	10	27	56	98	155	228	319	428	528	707	879	1292	1722	2421	3143	4970	10202	17822
450	5	9	26	53	93	146	215	301	403	498	666	828	1218	1624	2282	2963	4685	9618	16803
500	5	9	25	50	88	139	204	285	383	473	632	786	1155	1540	2165	2811	4445	9125	15940
600	5	8	22	46	80	127	186	260	349	430	577	717	1055	1406	1977	2566	4050	8330	14551
700	4	8	21	43	74	117	173	241	324	399	534	664	976	1302	1830	2376	3757	7712	13472
800	4	7	19	40	70	110	161	225	303	374	500	621	913	1218	1712	2223	3514	7214	12035
900	4	7	18	38	66	104	152	213	285	352	471	586	861	1148	1614	2095	3313	6801	11861
1000	4	6	17	36	62	98	144	202	271	334	447	556	817	1089	1531	1988	3143	6452	11272
1250	3	6	16	32	56	88	129	180	242	299	400	497	731	974	1369	1778	2811	5771	10082
1500	3	5	14	29	51	80	118	165	221	273	365	454	667	889	1250	1623	2566	5268	9203
1750	3	5	13	27	47	74	109	152	205	253	338	420	617	823	1157	1503	2376	4877	8520
2000	3	4	12	25	44	69	102	143	191	236	316	398	578	770	1083	1406	2223	4562	7970
2500	2	4	12	24	42	65	96	134	180	223	298	370	545	726	1021	1325	2096	4301	7514
2500	2	4	11	24	39	62	91	128	171	211	283	351	517	689	968	1257	1988	4081	7129
2750	2	4	10	21	38	59	87	122	163	202	270	335	493	657	923	1199	1895	3891	6797
3000	2	4	10	21	36	57	83	116	156	193	258	321	472	629	884	1148	1815	3725	6508

Tabelle X.  
Tabelle der Rohrweiten.  
(Zulässiger größter Gasdurchlaß in m<sup>3</sup>/Stunde.)

1. Durchmesser		Länge der Leitung in Metern							
Zoll engl.	mm	3	5	10	20	30	50	100	150
1/4	6	0,160	0,120						
3/8	10	0,500	0,400	0,250	0,150				
1/2	13	1,4	1,1	0,700	0,400	0,260	0,160		
3/4	20	4,3	3,3	2,1	1,1	0,600	0,400	0,160	
1	25	8,5	6,5	4,0	2,5	1,5	1,1	0,450	0,320
1 1/4	32	16,5	12,5	8,0	5,0	3,5	2,8	1,8	1,2
1 1/2	40	25	20	12	8,5	7,0	4,4	2,7	2,2
2	50	54	44	28	19,8	16,5	12,0	7,5	6,5
2 1/2	63	100	76	53	37	30	24	15	12,5
3	75	170	130	90	62	51	40	26	21
4	100	360	300	210	150	125	100	64	52

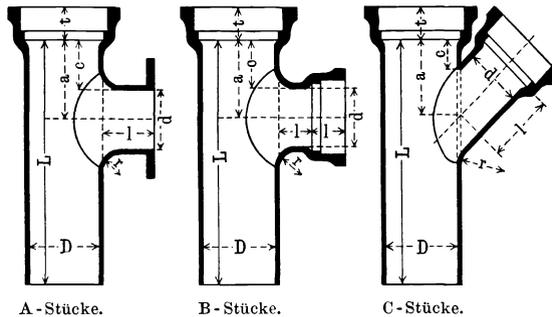
Tabelle XI.

Normalien für gußeiserne Rohre und Formstücke.

Gemeinschaftlich aufgestellt von dem Verein deutscher Ingenieure und dem Deutschen Verein von Gas- und Wasserfachmännern, revidiert 1882.

Formstücke.

Fig. 442.



Für A- und B-Stücke ist:

$$c = 100 + 0,2D \text{ mm}; \quad a = 100 + 0,2D + 0,5d \text{ mm}; \quad r = 40 + 0,05d \text{ mm}.$$

Für A-Stücke:

$$l = 120 + 0,1d \text{ mm}.$$

Für B-Stücke:

$$l = \text{Muffentiefe des Abzweiges}.$$

Für C-Stücke ist:

$$c = 80 + 0,1D \text{ mm}; \quad a = 80 + 0,1D + 0,7d \text{ mm}; \quad r = d; \quad l = 0,75a.$$

## Klassifikation der A-, B- und C-Stücke.

A- und B-Stücke			C-Stücke		
$D$ Durchmesser des Hauptrohres mm	$d$ Durchmesser des Abzweiges mm	$L$ Bau- länge m	$D$ Durchmesser des Hauptrohres mm	$d$ Durchmesser des Abzweiges mm	$L$ Bau- länge m
40—100	40—100	0,8	40—100	40—100	0,8
125—325	40—325	1,0	125—275	40—275	1,0
350—500	40—300	1,0	300—425	40—250	1,0
	325—500	1,25		275—425	1,25
550—750	40—250	1,0	450—600	40—250	1,0
	275—500	1,25		275—425	1,25
	550—750	1,50		450—600	1,50
			650—750	40—250	1,0
				275—425	1,25
				450—600	1,50
				650—750	1,75

Diejenigen Abzweigstücke, deren Abzweig einen Durchmesser von 400 mm und mehr besitzt, sind von 2 Atm. Betriebsdruck an sowohl in ihren Wandungen als auch ev. durch Rippen zu verstärken.

E-Stücke. (Flanschen-Muffenstücke.) Baulänge  $L = 300$  mm.

F-Stücke. (Flanschen-Schwanzstücke.)

Baulänge:

$$L = 600 \text{ mm für } D = 40 \text{ bis } 475 \text{ mm,}$$

$$L = 890 \text{ „ „ } D = 500 \text{ „ } 750 \text{ „}$$

I-Stücke (scharfe Bogenstücke von  $30^\circ$ ).

Radius der Krümmungsmittellinie für:

$$D = 40 \text{ bis } 90 \text{ mm, } R = 250 \text{ mm; } D \overline{\leq} 100 \text{ mm, } R = 150 + D \text{ mm.}$$

Länge des geraden Spitzendes für:

$$f. D = 40 \text{ bis } 375 \text{ mm, } m = D + 200 \text{ mm; } D \overline{\leq} 400 \text{ mm, } m = 600 \text{ mm.}$$

K-Stücke (schlanke Bogenstücke). Radius  $R = 10 D$ .

L-Stücke (schlanke Bogenstücke, zulässig für  $D \overline{\leq} 300$  mm.  $R = 5 D$ ).

R-Stücke. (Übergangsrohre.) Baulänge  $L = 1,0$  m. Länge des zylindrischen Stückes am glatten Ende  $= 2t$ .

U-Stücke. (Überschieber.) Ganze Länge  $= 4$  Muffentiefen.

Bei der Berechnung der Gewichte von Formstücken ist dem Gewichte, welches nach den normalen Dimensionen berechnet ist, ein Zuschlag von 15 Proz., bei Krümmern ein solcher von 20 Proz. zu geben.

Für Anordnung der Schraubenlöcher in den Flanschen gilt die Regel, daß in der Vertikalebene durch die Achse des Rohres sich keine Schraubenlöcher befinden sollen.

Tabelle XII.

Baulänge der Absperrschieber.

Für Flanschenschieber:  $L = D + 200$  mm.

„ Muffenschieber mit direkt eingetriebenen Ringen:  $L = 0,7D + 100$  mm.

„ Muffenschieber mit eingebleiten Ringen:  $L = D + 250 - 2t$  mm.

Gewichte gußeiserner Formstücke.

Gewichtstabelle für gußeiserne Rohrformstücke.

D mm	A-Stücke. d in Millimeter						B-Stücke. d in Millimeter					
	d=D	80	100	150	200	300	d=D	80	100	150	200	300
	Gewicht in Kilogramm						Gewicht in Kilogramm					
40	14	—	—	—	—	—	14	—	—	—	—	—
50	19	—	—	—	—	—	19	—	—	—	—	—
60	22	—	—	—	—	—	22	—	—	—	—	—
70	27	—	—	—	—	—	27	—	—	—	—	—
80	30	30	—	—	—	—	31	31	—	—	—	—
90	33	32	—	—	—	—	34	33	—	—	—	—
100	37	35	37	—	—	—	38	36	38	—	—	—
125	54	49	51	—	—	—	55	50	52	—	—	—
150	68	59	63	68	—	—	70	60	64	70	—	—
175	88	79	81	84	—	—	90	80	82	86	—	—
200	97	88	90	91	97	—	100	89	91	94	100	—
225	106	95	97	100	104	—	110	96	98	102	107	—
250	125	111	113	116	121	—	130	112	114	118	124	—
275	144	126	128	131	136	—	150	127	129	133	139	—
300	162	146	148	152	155	162	170	147	149	154	158	172
350	241	174	178	182	187	199	250	175	179	184	190	207
400	299	210	212	216	222	234	310	211	213	218	225	247

Tabelle XIII. Normalien

Lichter Durchmesser $D$ mm	Normalwanddicke $\delta$ mm	Äußerer Rohrdurchmesser $D_1 = D + 2\delta$ mm	Muffenrohre												
			Übliche Baulänge $L$ m	Muffen								Wulst		Zentrierungsring	
				Muffentiefe mm	Bleifugendicke $f$ mm	Lichte Weite $D_2 = D_1 + 2f$ mm	Wanddicke $y = 1,4\delta$ mm	Äußer. Durchmesser $D_2 + 2y$ mm	Dicke u. Breite $x = 7 + 2\delta$ mm	Durchmesser $D_2 + 2x$ mm	Gr. Durchm. $= D_1 + \frac{1}{3}f$ mm	Kl. Durchm. $= D_1 + \frac{2}{3}f$ mm	Tiefe $= 1,5\delta$ mm		
40	8	56	2	74	7	70	11	92	23	116	65	61	12		
50	8	56	2	77	7,5	81	11	103	23	127	76	71	12		
60	8,5	77	2	80	7,5	92	12	116	24	140	87	82	13		
70	8,5	87	3	82	7,5	102	12	126	24	150	97	92	13		
80	9	98	3	84	7,5	113	12,5	138	25	163	108	103	14		
90	9	108	3	86	7,5	123	12,5	148	25	173	118	113	14		
100	9	118	3	88	7,5	133	13	159	25	183	128	123	14		
125	9,5	144	3	91	7,5	159	13,5	186	26	211	154	149	14		
150	10	170	3	94	7,5	185	14	213	27	239	180	175	15		
175	10,5	196	3	97	7,5	211	14,5	240	28	267	206	211	16		
200	11	222	3	100	8	238	15	268	29	296	233	228	16		
225	11,5	248	3	100	8	264	16	296	30	324	259	254	17		
250	12	274	4	103	8,5	291	17	325	31	353	285	280	18		
275	12,5	300	4	103	8,5	317	17,5	352	32	381	311	306	19		
300	13	326	4	105	8,5	343	18	379	33	409	337	332	20		
325	13,5	352	4	105	8,5	369	19	407	34	437	363	358	20		
350	14	378	4	107	8,5	395	19,5	434	35	465	389	384	21		
375	14	403	4	107	9	421	20	461	35	491	415	409	21		
400	14,5	429	4	110	9,5	448	20,5	489	36	520	442	436	22		
425	14,5	454	4	110	9,5	473	20,5	514	36	545	467	461	22		
450	15	480	4	112	9,5	499	21	541	37	573	493	487	23		
475	15,5	506	4	112	9,5	525	21,5	568	38	601	519	513	23		
500	16	532	4	115	10	552	22,5	597	39	630	545	539	24		
550	16,5	583	4	117	10	603	23	649	40	683	596	590	25		
600	17	634	4	120	10,5	655	24	703	41	737	648	641	26		
650	18	686	4	122	10,5	707	25	757	43	793	700	693	27		
700	19	738	4	125	11	760	26,5	813	45	850	753	746	28		
750	20	790	4	127	11	812	28	868	47	906	805	798	30		
800	21	842	4	130	12	866	29,5	925	49	964	858	850	31		
900	22,5	945	4	135	12,5	970	31,5	1033	52	1074	962	954	33		
1000	24	1048	4	140	13	1074	33,5	1141	55	1184	1065	1057	36		
1100	26	1052	4	145	13	1178	36,5	1251	59	1296	1169	1161	39		
1200	28	1256	4	150	13	1282	39	1360	63	1408	1273	1265	42		

Die Breite des Muffenaufsatzes für das Spitzende im Muffensitze beträgt  $0,5\delta$ .

Die Länge des konischen Überganges vom Muffensitze bis zum glatten Rohre beträgt  $t' = t - 35\text{ mm}$ .

Die normalen Wanddicken gelten für Röhren, welche einem Betriebsdruck von 10 Atm. und einem Prodedruck von im Maximum 20 Atm. ausgesetzt sind und vor allem Wasserleitungszwecken dienen. Für gewöhnliche Druckverhältnisse von Wasserleitungen (4 bis 7 Atm.) ist eine Verminderung der Wanddicken zulässig, desgleichen für Leitungen, in welchen nur ein geringer Druck herrscht (Gas-, Wind-, Kanalisationsleitungen usw.). Für Dampfleitungen, welche größeren Temperaturdifferenzen und dadurch ent-

## für gußeiserne Rohre.

Muffenrohre				Lichter Durchmesser <i>D</i> mm	Flanschenrohre										Gewicht	
Gewicht					Übliche Baulänge m	Flanschen						Dichtungs- leiste		Gewicht kg	pro laufender Meter Baulänge kg	
der Muffe kg	pro lf. Meter Baulänge		des Bleiringes <sup>1)</sup> kg			-Durchmesser mm	-Dicke mm	Lochkreisdurch- messer mm	Schrauben		Breite mm	Höhe mm				
	exkl. Muffe kg	inkl. Muffe abgerundet kg							-Anzahl	-Dicke			Engl. Zoll			Millimeter
2,2	8,75	10	0,51	40	2	140	18	110	4	1/2	13	25	3	1,89	10,64	
2,8	10,57	12	0,69	50	2	160	18	125	4	5/8	16	25	3	2,46	16,98	
3,4	13,26	15	0,73	60	2	175	19	135	4	5/8	16	25	3	2,91	12,22	
4,0	15,20	16,5	0,94	70	3	185	19	145	4	3/8	16	25	3	3,21	17,34	
4,6	18,24	20	1,05	80	3	200	20	160	4	5/8	16	25	3	3,84	20,80	
5,3	20,29	22	1,15	90	3	215	20	170	4	5/8	16	25	3	4,37	23,20	
6,0	22,34	24	1,35	100	3	230	20	180	4	3/4	19	28	3	4,96	25,65	
8,8	29,10	32	1,70	125	3	260	21	210	4	3/4	19	28	3	6,26	33,07	
9,7	36,44	40	2,14	150	3	290	22	240	6	3/4	19	28	3	7,69	41,57	
11,7	44,36	48	2,46	175	3	320	22	270	6	3/4	19	30	3	8,96	50,33	
13,8	52,86	57	2,97	200	3	350	23	300	6	3/4	19	30	3	10,71	60,00	
16	61,95	67	3,67	225	3	370	23	320	6	3/4	19	30	3	11,02	69,30	
19	71,61	76	4,30	250	3	400	24	350	8	3/4	19	30	3	12,98	80,26	
22	81,85	87	4,69	275	3	425	25	375	8	3/4	19	30	3	14,41	91,46	
25	92,68	99	5,09	300	3	450	25	400	8	3/4	19	30	3	15,32	102,89	
28	104,08	111	5,16	325	3	490	26	435	10	7/8	22	35	4	19,48	117,07	
31	116,07	124	5,53	350	3	520	26	465	10	7/8	22	35	4	21,29	130,26	
34	124,04	133	6,64	375	3	550	27	495	10	7/8	22	35	4	24,29	140,23	
37	136,89	146	7,46	400	3	575	27	520	10	7/8	22	35	4	25,44	153,85	
41	145,15	155	7,89	425	3	600	28	545	12	7/8	22	35	4	27,64	163,58	
45	158,87	170	8,33	450	3	630	28	570	12	7/8	22	35	4	29,89	178,80	
49	173,17	185	8,77	475	3	655	29	600	12	7/8	22	40	4	32,41	194,78	
54	188,04	202	10,1	500	3	680	30	625	12	7/8	22	40	4	34,69	211,17	
62	212,90	228	11,7	550	3	740	33	675	14	1	26	40	5	44,28	242,42	
72	238,90	257	13,3	600	3	790	33	725	16	1	26	40	5	47,41	270,51	
84	273,86	295	14,4	650	3	840	33	775	18	1	26	40	5	50,13	307,28	
97	311,15	335	15,5	700	3	900	33	830	18	1	26	40	5	56,50	348,82	
12	350,76	379	17,4	750	3	950	33	880	20	1	26	40	5	59,81	390,63	
128	392,69	425	20,2	800	3											
162	472,76	513	24,7	900	3											
197	559,76	609	29,2	1000	3											
240	666,81	727	34	1100	3											
295	583,15	857	39	1200	3											

Die Schenkellänge der Flanschen-Krümmen- und T-Stücke mit dem Abzweige *D* beträgt:  $L = D + 100$  mm. Hat der Abzweig den Durchmesser *d*, so wird die Schenkellänge des Abzweiges von Mitte Hauptrohr aus gemessen:

$$C = \frac{D}{2} + \frac{d}{2} 100 \text{ mm.}$$

stehenden Spannungen, sowie für Leitungen, welche unter besonderen Verhältnissen schädigenden äußeren Einflüssen ausgesetzt sind, ist es empfehlenswert, die Wanddicken entsprechend zu erhöhen.

Der äußere Durchmesser des Rohres ist feststehend, und sind Änderungen der Wanddicke nur auf den lichten Durchmesser von Einfluß. Als unabänderlich normal gilt ferner die innere Muffenform und die Art des Anschlusses an das Rohr, sowie die Bleifugendicke. Aus Gründen der Fabrikation sind bei geraden Normalröhren Abweichungen von den durch Rechnung ermittelten Gewichten im Maximum von  $\pm 3$  Proz. zu gestatten.

<sup>1)</sup> Gewicht des Teerstrickes etwa 0,1 vom Gewicht des Bleiringes.

Tabelle XIV. Gewichtstabelle für Wassertöpfe.

Rohrweite mm	Lichter Durchmesser mm	Lichte Tiefe mm	Gewicht kg	Rohrweite mm	Lichter Durchmesser mm	Lichte Tiefe mm	Gewicht kg
40—50	235	325	50	425—500	800	1000	830—850
60—80	260	420	85—90	600	800	1250	1550
90—150	315	550	140—150	700	900	1400	2000
175—225	390	650	210—225	750	1000	1500	2450
250—300	500	800	350—360	800	1100	1700	3150
325—400	650	900	590—610	1000	1250	2000	4200

Tabelle XV. Gewichtstabelle für gußeiserne Flanschenformstücke.

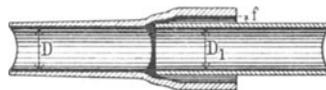
$D$ mm	Schenkellänge mm	Krümmer 90°	T-Stück	Kreuzstück	Deckel
			Gewicht in Kilogramm		
40	140	7	10	13	2,5
50	150	8	13	17	3
60	160	10	15	20	3,5
70	170	13	19	25	4
80	180	15	21	28	4,5
90	190	18	25	33	5
100	200	20	29	39	6
125	225	26	40	53	8
150	250	35	52	69	10
175	275	45	64	85	13
200	300	55	76	102	17
225	325	65	80	117	21
250	350	80	110	147	25
275	375	95	135	180	29
300	400	110	165	205	33
325	425	130	190	255	39
350	450	150	220	295	45
375	475	175	255	340	50
400	500	200	290	390	54
450	550	225	370	490	66

Tabelle XVI. Muffenstahlrohre.

(Mannesmann, Thyssen u. Co.)

Die Rohre sind nahtlos aus bestem Stahl (Bruchfestigkeit 55 bis 65 kg pro Quadratmillimeter) gewalzt. Die Muffen werden entweder aus dem Rohre

Fig. 443.



selbst oder durch einen heiß aufgezogenen Ring verstärkt hergestellt.

Rohrlängen 7 m und mehr.

Rostschutz durch Heißasphaltieren und Umhüllung mit asphaltierter Jute.

Tabelle XVII. Gewichtstabelle für Formstücke und Wassertöpfe.  
Gewichtstabelle für gußeiserne Rohrformstücke.

D mm	C-Stücke. d in Millimeter						E-Stücke kg	F-Stücke kg	U-Stücke kg	K-Stücke R = 10 D		Kümmern 90° D = 300 + 2
	d = D	80	100	150	200	300				Grad	kg	
	Gewicht in Kilogramm											
40	16	—	—	—	—	—	8	9	7	45	9	10
50	21	—	—	—	—	—	10	10	8	45	10	11
60	25	—	—	—	—	—	12	11	10	45	14	14
70	31	—	—	—	—	—	15	14	12	45	18	18
80	37	37	—	—	—	—	17	16	14	45	23	21
90	40	39	—	—	—	—	19	18	15	45	28	23
100	45	42	45	—	—	—	21	20	17	45	34	28
125	65	57	60	—	—	—	26	25	22	45	44	33
150	82	69	72	82	—	—	33	32	26	45	53	45
175	106	88	91	101	—	—	40	39	34	45	68	50
200	119	95	98	108	119	—	47	46	41	30	87	66
225	132	102	105	115	126	—	55	54	46	30	108	75
250	152	115	118	128	139	—	62	61	55	30	136	100
275	178	133	136	146	157	—	71	70	63	30	168	115
300	229	149	152	162	173	229	82	80	75	22,5	178	130
350	282	179	182	192	203	261	102	100	98	22,5	215	165
400	354	218	221	231	242	309	123	120	120	22,5	262	210

Tabelle XVIII.  
Dimensionen der Muffenstahlrohre.

Lichte Weite <i>D</i> mm	Wandstärke <i>δ</i> mm	Muffe, innerer Durchmesser <i>D</i> <sub>1</sub> mm	Dichtungs- fuge <i>f</i> mm	Muffentiefe <i>t</i> mm	Gewicht pro Meter kg
40	3	60	7	81	3,85
50	3	71	7,5	85	4,9
60	3	81	7,5	88	5,5
70	3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	91,5	7,5	90	6,5
80	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	102	7,5	92	8,6
90	4	112,5	7,5	94	10,5
100	4	123	7,5	97	11,6
125	4	148	7,5	100	14,—
150	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	174	7,5	103	19,—
175	5	200	7,5	106	25,5
200	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	227	8	110	30,—
225	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	254	8	110	40,—
250	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	282	8,5	113	53,—

Tabelle XIX.

Atomgewichte der wichtigsten Elemente, bezogen auf 0 = 16.  
(Abgerundet auf <sup>1</sup>/<sub>10</sub>.)

Element	Zeichen	Atom- gewicht	Element	Zeichen	Atom- gewicht
Aluminium . . . . .	Al	27,1	Natrium . . . . .	Na	23,1
Antimon . . . . .	Sb	120,2	Nickel . . . . .	Ni	58,7
Argon . . . . .	A	39,9	Palladium . . . . .	Pd	106,5
Arsen . . . . .	As	75,0	Phosphor . . . . .	P	31,0
Baryum . . . . .	Ba	137,4	Platin . . . . .	Pt	194,8
Blei . . . . .	Pb	206,9	Quecksilber . . . . .	Hg	200,0
Bor . . . . .	B	11	Rhodium . . . . .	Rh	103,0
Brom . . . . .	Br	80	Sauerstoff . . . . .	O	16,0
Cadmium . . . . .	Cd	112,4	Schwefel . . . . .	S	32,1
Calcium . . . . .	Ca	40,1	Selen . . . . .	Se	79,2
Cerium . . . . .	Ce	140	Silber . . . . .	Ag	107,9
Chlor . . . . .	Cl	35,5	Silicium . . . . .	Si	28,4
Chrom . . . . .	Cr	52,1	Stickstoff . . . . .	N = Az	14,0
Eisen . . . . .	Fe	55,9	Strontium . . . . .	Sr	87,6
Fluor . . . . .	F	19	Tantal . . . . .	Ta	183
Gold . . . . .	Au	197,2	Tellur . . . . .	Te	127,6
Iridium . . . . .	Ir	193,0	Thorium . . . . .	Th	232,5
Jod . . . . .	J	126,9	Uran . . . . .	U	238,5
Kalium . . . . .	K	39,2	Wasserstoff . . . . .	H	1,008
Kobalt . . . . .	Co	59,0	Wismuth . . . . .	Bi	208,5
Kohlenstoff . . . . .	C	12,0	Wolfram . . . . .	W	184,0
Kupfer . . . . .	Cu	63,6	Zink . . . . .	Zn	65,4
Magnesium . . . . .	Mg	24,4	Zinn . . . . .	Sn	119,0
Mangan . . . . .	Mn	55,0	Zirconium . . . . .	Zr	90,6
Molybdän . . . . .	Mo	96,0			

Tabelle XX.

Lichtstärke der Hefnerlampe.

$x$  = Liter Wasserdampfgehalt in 1 m<sup>3</sup> trockener Luft;  $h$  = Hygrometerstand in Prozenten;  
 $b$  = Barometerstand (bei Berechnung der Tabelle zu 750 angenommen; 10mm Differenz ergeben weniger als 0,003 Fehler);  $t$  = Temperatur der Luft beim Hygrometer in °C;  
 $e$  = Spannung des Wasserdampfes der Luft  $\tau$  = Maximalspannung des Wasserdampfes bei  $t^\circ$  (s. Tabelle II);  
 $e = \frac{h}{100} \cdot \tau$ ;

$$x = 1000 \frac{e}{b - e} \quad (\text{vgl. S. 151}); \quad y = \text{Lichtstärke der Hefnerlampe} \quad y = 1,049 - 0,0055x + 0,00011(b - 760).$$

$t$	$\tau$	$h = 30$	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
10	9,2	1,028	1,024	1,021	1,018	1,014	1,011	1,007	1,004	1,000	0,997	0,993	0,990	0,987	0,983	0,980
11	9,8	026	022	019	015	011	007	004	0,000	0,997	0,993	0,989	0,986	0,982	0,979	0,975
12	10,5	025	021	017	013	009	005	1,001	0,997	0,993	0,989	0,986	0,982	0,978	0,974	0,970
13	11,2	023	018	014	010	006	1,002	0,998	0,994	0,990	0,986	0,981	0,977	0,973	0,969	0,963
14	12,0	022	017	013	008	004	0,999	0,995	0,990	0,986	0,981	0,977	0,972	0,968	0,964	0,959
15	12,8	020	015	011	006	1,001	0,996	0,991	0,987	0,982	0,977	0,972	0,967	0,963	0,958	0,953
16	13,6	018	012	007	002	0,997	0,992	0,987	0,982	0,977	0,971	0,966	0,961	0,956	0,951	0,946
17	14,5	016	011	005	1,000	0,994	0,988	0,983	0,977	0,972	0,966	0,961	0,955	0,950	0,945	0,939
18	15,5	014	009	1,003	0,997	0,991	0,985	0,979	0,973	0,967	0,961	0,956	0,950	0,944	0,938	0,932
19	16,5	012	006	0,999	0,993	0,987	0,981	0,975	0,968	0,962	0,956	0,950	0,944	0,937	0,931	0,925
20	17,5	009	003	0,996	0,989	0,983	0,976	0,970	0,963	0,956	0,950	0,943	0,937	0,930	0,924	0,917
21	18,6	007	1,000	0,993	0,986	0,979	0,972	0,965	0,958	0,951	0,944	0,936	0,929	0,922	0,915	0,908
22	19,8	004	0,997	0,989	0,982	0,974	0,967	0,959	0,951	0,944	0,936	0,929	0,921	0,914	0,906	0,899
23	21,1	1,001	0,993	0,985	0,978	0,970	0,962	0,954	0,946	0,938	0,930	0,922	0,913	0,905	0,897	0,889
24	22,4	0,998	0,990	0,981	0,973	0,964	0,955	0,947	0,938	0,930	0,921	0,913	0,904	0,896	0,887	0,879
25	22,8	0,995	0,986	0,977	0,968	0,959	0,950	0,941	0,932	0,923	0,914	0,904	0,895	0,886	0,877	0,868
26	25,3	0,992	0,982	0,972	0,963	0,953	0,943	0,934	0,924	0,914	0,904	0,895	0,885	0,875	0,866	0,856
27	26,8	0,988	0,978	0,968	0,957	0,947	0,937	0,926	0,916	0,906	0,895	0,885	0,875	0,865	0,854	0,844
28	28,4	0,985	0,974	0,963	0,952	0,941	0,930	0,919	0,908	0,897	0,886	0,875	0,864	0,853	0,842	0,831
29	30,1	0,981	0,970	0,958	0,947	0,935	0,923	0,912	0,900	0,888	0,877	0,865	0,853	0,841	0,830	0,818
30	31,8	0,978	0,965	0,953	0,941	0,929	0,917	0,905	0,892	0,880	0,867	0,855	0,843	0,830	0,817	0,804

Tabelle XXI.

Korrektur der Lichtstärke der Hefnerlampe nach der Temperatur und dem Hygrometerstand in Prozenten.

Angenommener Barometerstand 750 mm (10 mm Differenz ergaben weniger als 0,3 Proz. Fehler).

Die aus nachstehender Tabelle ermittelte Korrektur in Prozenten ist, je nach dem Vorzeichen der mit der Hefnerlampe gemessenen Lichtstärke, zuzuzählen (+) oder abzuziehen (—).

Beispiel:  
 Temperatur in der Nähe der Hefnerlampe . . . . . 19°  
 Hygrometerstand in der Nähe der Hefnerlampe . . . . . 80 Proz.  
 Gefundene Lichtstärke (unkorrigiert) . . . . . 68,0  
 Korrektur nach der Tabelle — 5,0 Proz. — = — 3,4  
 Korrigierte Lichtstärke . . . . . 64,6 HK.

Temp. <i>t</i> °C	Hygrometerstand <i>h</i> in Prozenten														
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
10	+ 2,8	+ 2,4	+ 2,1	+ 1,8	+ 1,4	+ 1,1	+ 0,7	+ 0,4	+	0	— 0,3	— 0,7	— 1,0	— 1,3	— 2,0
11	+ 2,6	+ 2,2	+ 1,9	+ 1,5	+ 1,1	+ 0,7	+ 0,4	+	0	— 0,3	— 0,7	— 1,1	— 1,4	— 1,8	— 2,5
12	+ 2,5	+ 2,1	+ 1,7	+ 1,3	+ 0,9	+ 0,5	+ 0,1	— 0,3	— 0,6	— 1,0	— 1,4	— 1,9	— 2,3	— 2,6	— 3,0
13	+ 2,3	+ 1,8	+ 1,4	+ 1,0	+ 0,6	+ 0,2	— 0,2	— 0,6	— 1,0	— 1,4	— 1,9	— 2,3	— 2,8	— 3,1	— 3,5
14	+ 2,2	+ 1,7	+ 1,3	+ 0,8	+ 0,4	— 0,1	— 0,5	— 1,0	— 1,4	— 1,8	— 2,3	— 2,8	— 3,3	— 3,6	— 4,1
15	+ 2,0	+ 1,5	+ 1,1	+ 0,6	+ 0,1	— 0,4	— 0,9	— 1,3	— 1,8	— 2,3	— 2,9	— 3,4	— 3,9	— 4,2	— 4,7
16	+ 1,8	+ 1,2	+ 0,7	+ 0,2	— 0,3	— 0,8	— 1,3	— 1,8	— 2,3	— 2,9	— 3,4	— 3,9	— 4,4	— 4,9	— 5,4
17	+ 1,6	+ 1,1	+ 0,5	+	0	— 0,6	— 1,2	— 1,7	— 2,3	— 2,8	— 3,4	— 3,9	— 4,5	— 5,0	— 5,6
18	+ 1,4	+ 0,9	+ 0,3	— 0,3	— 0,9	— 1,5	— 2,1	— 2,7	— 3,3	— 3,9	— 4,4	— 5,0	— 5,6	— 6,2	— 6,8
19	+ 1,2	+ 0,6	— 0,1	— 0,7	— 1,3	— 1,9	— 2,5	— 3,2	— 3,8	— 4,4	— 5,0	— 5,4	— 6,3	— 6,9	— 7,5
20	+ 0,9	+ 0,3	— 0,4	— 1,1	— 1,7	— 2,4	— 3,0	— 3,7	— 4,4	— 5,0	— 5,7	— 6,3	— 7,0	— 7,6	— 8,3
21	+ 0,7	+	0	— 1,4	— 2,1	— 2,8	— 3,5	— 4,2	— 4,9	— 5,6	— 6,4	— 7,1	— 7,8	— 8,5	— 9,2
22	+ 0,4	— 0,3	— 1,1	— 1,8	— 2,6	— 3,3	— 4,1	— 4,9	— 5,6	— 6,4	— 7,1	— 7,9	— 8,6	— 9,4	— 10,1
23	+ 0,1	— 0,7	— 1,5	— 2,2	— 3,0	— 3,8	— 4,6	— 5,4	— 6,2	— 7,0	— 7,8	— 8,7	— 9,5	— 10,3	— 11,1
24	— 0,2	— 1,0	— 1,9	— 2,7	— 3,6	— 4,5	— 5,3	— 6,2	— 7,0	— 7,9	— 8,7	— 9,6	— 10,4	— 11,3	— 12,1
25	— 0,5	— 1,4	— 2,3	— 3,2	— 4,1	— 5,0	— 5,9	— 6,8	— 7,7	— 8,6	— 9,6	— 10,5	— 11,4	— 12,3	— 13,2
26	— 0,8	— 1,8	— 2,8	— 3,7	— 4,7	— 5,7	— 6,6	— 7,6	— 8,6	— 9,6	— 10,5	— 11,5	— 12,5	— 13,4	— 14,4
27	— 1,2	— 2,2	— 3,2	— 4,3	— 5,3	— 6,3	— 7,4	— 8,4	— 9,4	— 10,5	— 11,5	— 12,5	— 13,5	— 14,6	— 15,6
28	— 1,5	— 2,6	— 3,7	— 4,8	— 5,9	— 7,0	— 8,1	— 9,2	— 10,3	— 11,4	— 12,5	— 13,6	— 14,7	— 15,8	— 16,9
29	— 1,9	— 3,0	— 4,2	— 5,3	— 6,5	— 7,7	— 8,8	— 10,0	— 11,2	— 12,3	— 13,5	— 14,7	— 15,9	— 17,0	— 18,2
30	— 2,2	— 3,5	— 4,7	— 5,9	— 7,1	— 8,3	— 9,5	— 10,8	— 12,0	— 13,3	— 14,5	— 15,7	— 17,0	— 18,3	— 19,6

Beleuchtungsart		Verbrauch an Brennmaterial, Gramm bzw. Liter bzw. Watt pro Stunde	Kosten der Einheit des Brennmaterials (Kilogramm, Kubikmeter bzw. KW, Verkaufspreis)
Kerzen	Unschlitt . . . . .	12 g	70
	Stearin . . . . .	9 g	170
	Paraffin . . . . .	7 g	90
Lampen	Petroleum . . . . .	45 g	20
Dampfampe	Petroleumfackel . . . . .	3000 g	20
	Schnittbrenner . . . . .	150 Liter	12—20
Steinkohlengas oder Mischgas, 5000 Kal.	Argandbrenner . . . . .	200 "	12—20
	Regenerativbrenner . . . . .	1000 "	12—20
	stehendes Gasglühlicht, älterer Brenner . . . . .	120 "	12—20
	" " neuerer " . . . . .	100 "	12—20
	hängendes Glühlicht . . . . .	100 "	12—20
	Niederdruck-Starklicht . . . . .	700 "	12—20
	Preßgasglühlicht, stehendes . . . . .	800 "	14—25
	" hängendes . . . . .	600 "	14—25
Autopreßgaslampe . . . . .	600 "	12—20	
Ölgas	Zweilochbrenner . . . . .	35 "	30—50
	stehendes Glühlicht . . . . .	45 "	30—50
Blaugas	hängendes " . . . . .	33 "	30—50
	stehendes " . . . . .	35 g	120
Luftgas	stehendes " . . . . .	130 Liter	12—20
	hängendes " . . . . .	130 "	12—20
Acetylen	offene Flamme . . . . .	15 "	150—250
	stehendes Glühlicht . . . . .	15 "	150—250
Wassergas	stehendes Glühlicht . . . . .	150 "	8—16
Glühlicht- lampen	Petroleumglühlicht . . . . .	83 g	20
	Spiritusglühlicht . . . . .	130 g	60
Hochdruck- glühlichtlampen	Petroleum . . . . .	250 g	20
	Spiritus . . . . .	80 g	60
Elektrisches Licht	Kohlenfadenglühlicht . . . . .	50 W	30—60
	Metallfadenglühlicht . . . . .	55 "	30—60
	Bogenlicht, Reinkohle . . . . .	350 "	30—60
	" eingeschlossene Kohlen . . . . .	350 "	30—60
	Flammenbogenlampe, gelb . . . . .	500 "	30—60
	" Alkoholen . . . . .	400 "	30—60
	Quecksilberdampfampe . . . . .	140 "	30—60
	Quarz-Quecksilberdampfampe . . . . .	70 "	30—60
Moore-Licht, pro 1 m Länge . . . . .	75 "	30—60	

Tabelle XXII. Vergleich der Beleuchtungsmittel.

Kosten pro Flammenbrennstunde	Lichtstärke im günstigsten Winkel bei neuen Lampen	Brennstoffverbrauch pro 100 HK max. und Stunde, Gramm, Liter bzw. Watt	Kosten des Brennstoffverbrauches pro 100 HK und Stunde, Gramm, Liter und Watt	Unterhaltungskosten pro 100 HK und Stunde	Gesamtkosten pro 100 HK max. und Stunde	Kohlenverbrauch (abzüglich Koks- gewinnung) pro m <sup>3</sup> bzw. KW	Kohlenverbrauch (abzüglich Koks- gewinnung) pro 100 HK-Stunde	Anlagekosten für städtische Zentralen pro m <sup>3</sup> bzw. KW ohne Verteilungs- netz	Anlagekosten für städtische Zentralen pro 100 HK-Stunde
⌄	HK max.			⌄	⌄	kg	⌄	M	⌄
0,84	1,3	920	64	—	64	—	—	—	—
1,53	1,8	500	85	—	85	—	—	—	—
0,63	1,1	635	57	—	57	—	—	—	—
0,9	15	300	6,0	—	6,0	—	—	—	—
60	2000	150	3,0	0,1	3,1	—	—	—	—
1,8—3,0	15	1000	12,0—20,0	—	12,0—20,0	1,5	1,5	0,25—0,80	25—80
2,4—4,0	24	830	10,0—16,7	—	10,0—16,7	1,5	1,3	0,25—0,80	20—66
12,0—20,0	200	500	6,0—10,0	—	6,0—10,0	1,5	0,8	0,25—0,80	12—40
1,5—2,4	80	150	1,8—3,0	0,1	1,9—3,1	1,5	0,23	0,25—0,80	3,7—12
1,2—2,0	90	110	1,3—2,2	0,1	1,4—2,3	1,5	0,17	0,25—0,80	2,7—9
1,2—2,0	90	110	1,3—2,2	0,1	1,4—2,3	1,5	0,17	0,25—0,80	2,7—9
8,4—14,0	1000	70	0,8—1,4	0,01	0,8—1,4	1,5	0,10	0,25—0,80	1,7—5,6
11,2—20,0	1000	80	1,1—2,0	0,1	1,2—2,1	1,6	0,13	0,25—0,80	2,0—6,4
8,4—15,0	1200	50	0,7—1,3	0,1	0,8—1,4	1,6	0,08	0,25—0,80	1,2—4,0
7,2—12,0	1200	50	0,6—1,2	0,1	0,7—1,3	1,6	0,08	0,25—0,80	1,2—4,0
1,1—1,8	18	195	5,9—9,8	—	5,9—9,8	—	—	0,20—0,60	3,9—12
1,4—2,3	80	56	1,7—2,8	0,1	1,8—2,9	—	—	0,20—0,60	1,1—3,4
1,0—1,7	75	44	2,2—3,7	0,1	2,3—3,8	—	—	0,20—0,60	0,9—2,6
4,2	100	35 g	4,2	0,1	4,3	—	—	—	—
1,6—2,6	70	186	2,2—3,7	0,1	2,2—3,8	—	—	0,30—0,50	5,6—9,3
1,6—2,6	80	162	1,9—3,2	0,1	2,0—3,3	—	—	0,30—0,50	4,8—8,1
2,3—3,7	20	75	11,3—18,8	—	11,3—18,8	32,0	2,3	1,50—2,50	11—19
2,3—3,7	70	21	3,1—5,2	0,1	3,4—5,3	32,0	0,7	1,50—2,50	3,1—5,2
1,2—2,4	100	150	1,2—2,4	0,1	1,3—2,5	0,8	0,12	0,18—0,70	2,7—10,5
1,7	65	128	2,6	0,1	2,7	—	—	—	—
7,8	65	200 g	12,0	0,1	12,1	—	—	—	—
5,0	600	42 g	0,83	0,07	0,9	—	—	—	—
4,8	100	80 g	4,8	0,1	4,9	—	—	—	—
1,5—3,0	16	310	9,3—18,6	0,4	9,7—19,0	2,0	0,6	0,5—1,6	15—50
1,6—3,2	50	110	3,3—6,6	0,2	3,5—6,8	2,0	0,2	0,5—1,6	5,5—18
1,0—2,0	400	90	2,7—5,4	0,5	3,2—5,9	2,0	0,3	0,5—1,6	4,5—14
1,0—2,0	320	109	3,2—6,4	0,1	3,3—6,5	2,0	0,2	0,5—1,6	5,5—17
1,5—3,0	2000	25	0,8—1,5	0,2	1,0—1,7	2,0	0,05	0,5—1,6	1,2—4,0
1,2—2,4	2000	20	0,6—1,2	0,2	0,8—1,4	2,0	0,04	0,5—1,6	1,0—3,2
4,2—8,4	200	40	1,2—2,4	0,3	1,5—2,7	2,0	0,08	0,5—1,6	2,0—6,4
2,1—4,2	200	35	1,1—2,1	0,4	1,5—2,5	2,0	0,07	0,5—1,6	1,7—5,6
2,3—4,5	50	150	4,5—9,0	—	—	2,0	0,3	0,5—1,6	7,5—24

Anlagekosten für städtische Zentralen mit normalem Verteilungsnetz	CO <sub>2</sub> -Entwicklung pro 100 HK max. und Stunde	O <sub>2</sub> -Verbrauch pro 100 HK max. und Stunde	Wärmeentwicklung pro 100 HK max. und Stunde	Wärmestrahlung pro 100 HK max. und Stunde	Ausnutzbarkeit wegen Strahlung
₰	Liter	Liter	Kal.	Kal.	HMK
—	1300	—	—	—	—
—	700	—	—	172	34
—	1000	—	—	—	—
—	475	725	3250	228	36
—	237	362	1625	—	—
35 — 120	510	1060	5000	84—122	67
28 — 100	432	880	4150	115	54
17 — 60	255	530	2500	—	—
5,2— 18	76	159	750	20	264
3,8— 14	66	116	550	—	—
3,8— 14	66	116	550	—	—
2,4— 8,5	36	74	350	—	—
2,8— 9,5	41	85	400	—	—
1,7— 6,0	25	53	200	—	—
1,7— 6,0	25	53	200	—	—
8 — 24	468	442	1950	—	—
2,2— 6,8	134	127	560	—	—
1,8— 5,2	108	100	440	—	—
—	175?	?	—	—	—
13 — 21	74	119	600	—	—
11 — 18	65	104	520	—	—
22 — 38	150	184	1040	—	—
6,2— 10,4	42	52	290	—	—
4,2— 16,3	66	74	450	—	—
—	203	310	1380	—	—
—	183	250	1070	—	—
—	66	—	—	—	—
—	100	—	—	—	—
24 — 77	—	—	268	47	149
8,8— 28	—	—	95	—	—
7,2— 22	—	—	78	—	—
8,8— 26	—	—	94	—	—
1,9— 6,1	—	—	22	—	—
1,6— 4,9	—	—	17	—	—
3,2— 9,8	—	—	34	—	—
2,7— 8,6	—	—	30	—	—
12 — 37	—	—	130	—	—

# Unfallverhütungsvorschriften

der

## Berufsgenossenschaft der Gas- und Wasserwerke.

### I. Kohlengaswerke.

---

#### Vorschriften für Betriebsunternehmer.

(Arbeitgeber).

##### A. Allgemeine Bestimmungen.

1. Das Betreten der Betriebs- und Maschinenräume durch Personen, welche in denselben nicht dienstlich beschäftigt sind, ist nur gegen besondere Erlaubnis gestattet. Der Betriebsunternehmer hat entsprechende Anschläge an oder neben den Türen der genannten Räume an stets sichtbaren Stellen anbringen zu lassen.

2. Dampfkessel, Maschinen und Apparate dürfen nur von zuverlässigen Personen bedient werden, denen die mit dieser Bedienung verbundenen Unfallgefahren hinlänglich bekannt sind.

3. Arbeiter, von denen dem Betriebsunternehmer bekannt ist, daß sie an Krämpfen, Fallsucht und Ohnmachten leiden oder aus anderen Gründen die Herrschaft über ihre Bewegungen zeitweise verlieren, sind vom Betriebe überall da auszuschließen, wo sie anlässlich ihres Leidens erhöhter Gefahr ausgesetzt sind oder eine solche herbeiführen können.

Die Beschäftigung jugendlicher Personen (unter 18 Jahren) an Maschinen- und Kesselanlagen ist verboten.

4. Der Betriebsunternehmer hat in geeigneter Weise Vorsorge zu treffen, daß das Gaswerk und bei größerer Ausdehnung auch die einzelnen Betriebsstellen unter kundiger Aufsicht sind.

5. Der Betriebsunternehmer hat diejenigen Einrichtungen, Vorkehrungen und Hilfsmittel (z. B. Schutzbrillen, Sicherheitslampen), welche zum Schutze der Arbeiter bestimmt sind, in zweckentsprechender Weise herzustellen bzw. anzuschaffen, stets in gutem Zustande zu erhalten und an leicht zugänglicher Stelle aufzubewahren; auch muß er dafür besorgt sein, daß die Arbeiter die ihnen vorgeschriebenen Unfallverhütungsvorschriften befolgen. Das Aufsichtspersonal ist anzuweisen, die Befolgung der Unfallverhütungsvorschriften streng zu überwachen. Auch sind Anschläge mit dem Verbot des Rauchens und des Betretens mit Feuer oder Licht an den Türen der Apparat- und Reinigungsräume, der Gasbehältergebäude und der Räume unter Gasbehältern anzubringen.

Es ist zu empfehlen, einen Rauchhelm mit Luftzuführung durch Gebläse und ferner einen Sauerstoffapparat zur Wiedererweckung betäubter Personen im Gaswerk an leicht zugänglicher Stelle vorrätig zu halten.

Unternehmer von Gaswerken mit mehr als 500000 m<sup>3</sup> jährlicher Gaserzeugung sind zur Beschaffung und Bereithaltung eines Rauchhelmes verpflichtet.

6. Der Betriebsunternehmer hat das Aufsichtspersonal mit Anweisungen über die ersten Hilfeleistungen bei Unfällen und Verletzungen zu versehen und geeignetes Verbandmaterial an jederzeit zugänglicher Stelle vorrätig zu halten.

7. Mängel an Betriebseinrichtungen, welche dem Betriebsunternehmer oder dessen Stellvertreter zur Kenntnis kommen, sind — sofern die Mängel nicht alsbald beseitigt werden können — sogleich in ein besonderes Buch einzutragen. Die Vermerke über getroffene Abhilfe sind demnächst beizufügen.

#### B. Betriebsanlagen.

8. Alle Apparate und Maschinen müssen sicher zugänglich und sicher zu bedienen, die Arbeitsstellen genügend beleuchtet sein.

9. Zugänge zu höher gelegenen Stellen, zu Unterkellerungen, Gruben und Schächten sollen, soweit dies aus Gründen des Betriebszweckes zugänglich ist, durch Treppen mit sicheren Geländern, Steigeisen oder durch eiserne Leitern vermittelt werden. Die Mündungen von Fahrstühlen und Aufzügen, ferner von Kohlenbrechern und Einschüttstellen an Elevatoren müssen sicher geschützt werden.

10. Zur Beseitigung der Absturzgefahr sind hochgelegene Arbeits- und Verkehrsstellen (Retortenöfen, Dampfkessel, Bühnen, Laufwege usw.) durch Umwehrungen zu schützen.

Gruben, Löcher und Einsteiggeschächte sind durch Geländer zu schützen oder durch sichere Abdeckungen zu verschließen; bei zeitweiser Entfernung der letzteren ist gegen das Hineinfallen geeignete Vorsorge zu treffen.

Der Umgang von den Gasbehälter in der Höhe des Wasserspiegels ist zum Schutz gegen Hineingleiten mit einem Geländer zu versehen, sofern der freie Zwischenraum zwischen Bassinwand und Glocke nicht abgedeckt ist und mehr als 25 cm beträgt. Die oberen Umgänge um den Gasbehälter sind sowohl außen als innen mit Geländer zu versehen. Die Decke freistehender Gasbehälter muß an der Außenkante mit einem Geländer versehen sein.

11. Freie Öffnungen, Türen und Fenster in Scheidewänden zwischen Räumen mit freiem Licht oder Feuer (Retortenhaus, Dampfkesselraum, Arbeiterraum usw.) und den angrenzenden Apparaträumen sind unzulässig.

12. Retortenhäuser, Rohrkeller, Gruben und Schächte, Apparat- und Reinigungsräume sowie Gasbehältergebäude müssen durch Schlote oder Öffnungen von ausreichendem Querschnitt gelüftet sein.

13. Feuerungsanlagen, Gasmotore in Apparat- und Reinigungsräumen, in Gasbehältergebäuden und Räumen unter Gasbehältern sind unzulässig.

Jedoch sind Vorkehrungen zu treffen, durch die das Einfrieren verhindert wird. Heizung darf nur mit Wasser oder mit Dampf erfolgen.

14. Bei Inbetriebsetzung von Wasserheizung für Gasbehälter ist darauf zu achten, daß die Umlaufröhren nicht eingefroren sind.

15. In Reinigungs- und Regeneriergebäuden müssen die Heizrohrleitungen so verlegt oder geschützt werden, daß keine Reinigungsmasse auf sie fallen kann.

16. Die Beleuchtung der Apparat- und Reinigungsräume und der Gasbehältergebäude durch offene Flammen darf nur von außen geschehen; letztere sind so anzubringen, daß aus dem Inneren etwa austretende Gasmengen an den offenen Flammen sich nicht entzünden können.

17. Die Beleuchtung der Räume unter Gasbehältern darf nur durch Außenbeleuchtung geschehen.

18. Elektrische Einrichtungen, Leitungen, Glühlampen usw. dürfen in Innenräumen nur dann verwendet werden, wenn sie in ihrer Anlage und Unterhaltung den vom Verbands deutscher Elektrotechniker aufgestellten Vorschriften entsprechen.

19. Elektromotore, Schaltapparate und Sicherungen dürfen in Apparat- und Reinigungsräumen, in Gasbehältergebäuden sowie in Räumen unter Gasbehältern nicht angebracht werden.

Müssen solche Räume in dringenden Fällen mit Licht betreten werden, so darf dies nur mit elektrischen Sicherheitslampen oder mit Sicherheitslampen ge-

schehen, die den nachstehenden Bedingungen entsprechen, in ordnungsmäßigem Zustande zu halten und auf denselben von Zeit zu Zeit zu prüfen sind<sup>1)</sup>).

20. Jede Sicherheitslampe muß mit Einrichtungen versehen sein, die eine vollkommen dichte Verbindung der einzelnen Teile untereinander dauernd gewährleisten.

Der Glaszylinder muß aus gut ausgeglühtem Glase bestehen, die Schnittflächen müssen rechtwinklig zur Achse genau abgeschliffen sein.

Das Netz des Drahtkorbes muß mindestens 144 gleich große Öffnungen auf einen Quadratzentimeter besitzen. Die Drahtstärke des Netzes darf nicht weniger als 0,3 und nicht mehr als 0,4 mm betragen.

Haben die Lampen eine besondere Luftzuführung, so ist diese durch das gleiche Drahtnetz zu schützen.

Elektrische Sicherheitslampen sind vor dem Betreten des betreffenden Raumes einzuschalten.

21. In Ölgasanstalten müssen die Behälter, welche zur Aufnahme und Vorwärmung des zu vergasenden Öles dienen, so aufgestellt und eingerichtet sein, daß eine Gefahr für die Entzündung des Öles nicht besteht. Das Nachfüllen von Öl in solche Behälter soll unter keinen Umständen mittels tragbarer Gefäße erfolgen.

22. Wechselvorrichtungen mit Wasserabschlüssen (sog. nasse Wechsler) sind so einzurichten, daß ein Gasaustritt während des Umsetzens der Wechslerglocke nicht stattfindet.

23. Bei Retorten, welche außer Betrieb gesetzt sind, ist Sorge zu tragen, daß kein Gas aus der Vorlage durch die Steigröhren in die Öfen gelangen kann.

24. In Bewegung befindliche Maschinenteile, deren Nähe gefahrbringend werden kann, sind, soweit es der Betrieb zuläßt, mit schützenden Vorrichtungen zu versehen.

25. Aufzüge müssen so gesichert sein, daß Gegengewichte und Ketten beim Herabfallen keine Personen verletzen können. Hebezeuge sowie Ketten und Tause dürfen nur mit der zulässigen Last beansprucht werden.

26. An Triebwellen sollen Kuppelungen und Stellringe mit versenkten Schrauben versehen sein; vorstehende Köpfe und Keile müssen geschützt werden.

27. Zahnräder sind an gefährlichen Stellen an der Einlaufseite mit Schutzhauben zu versehen.

28. Kreissägen sind, soweit es ihre Bedienung zuläßt, mit Schutzhauben und Spaltkeilen und unter dem Tisch mit Schutzkästen zu versehen. Letzteres gilt auch von Bandsägen.

29. An allen Maschinen sind nach Möglichkeit Selbsttöler anzubringen. Das Schmieren mit der Hand während des Ganges der Maschinen ist nur zulässig, wenn dies ohne Gefahr für den Arbeiter ausführbar ist; erforderlichenfalls sind geeignete Schutzvorrichtungen zur Sicherung des Arbeiters anzubringen oder die Maschinen während des Schmierens stillzustellen.

30. Gebrauchtes und mit Öl getränktes Putzmaterial darf nur an sicheren Orten in eisernen Kästen aufbewahrt werden.

31. Zur Warnung von Personen, welche an Triebwerken aller Art (Maschinen, Aufzügen, Elevatoren, Kohlen- und Koksbrechern, Koks-Sortiereinrichtungen usw.) beschäftigt sind, müssen geeignete Signalvorrichtungen vorhanden sein.

32. Maschinen von 4 und mehr Pferdekräften müssen mit mechanischen Anlaßvorrichtungen versehen sein. Das Antreiben der Schwungräder an solchen Maschinen von Hand ist verboten.

33. Die Lagerung von leicht entzündlichen Stoffen, leicht flüchtigen Kohlenwasserstoffen, Spiritus, Petroleum, Öl usw. ist in sämtlichen Apparat- und Reinigungsräumen und in den Räumen unter Gasbehältern verboten.

34. Das Grundstück des Gaswerkes ist mit einer Einfriedigung zu umgeben, die das Eintreten unbefugter Personen verhindert.

### C. Öffentliche Beleuchtung.

35. Besondere Aufmerksamkeit ist der sicheren Aufstellung und Befestigung von Laternenträgern aller Art (Kandelabern, Wandarmen u. dgl.) zuzuwenden.

<sup>1)</sup> Für Davysche Sicherheitslampen ist der Prüfungsapparat von Friemann u. Wolf, Zwickau i. S., zu empfehlen.

Mauerwerk, Holzteile und bauliche Einrichtungen, an denen Laternenträger angebracht werden sollen, sind vorher auf ihre Festigkeit zu untersuchen.

36. Die Laternenträger sind gegebenenfalls mit Vorrichtungen zum Anlegen oder Einhängen von Leitern zu versehen.

37. Die Leitern der Laternenwärter sollen gegen Rutschen — nötigenfalls oben und unten — gesichert und so beschaffen sein, daß sie den Wärtern bei ihren Arbeiten einen festen Stand bieten.

Bei Verwendung einfacher Leitern sind die Laternenträger mit Vorrichtungen zum sicheren Anlegen oder Einhängen der Leitern zu versehen.

#### D. Transportgeleise.

38. Zu beiden Seiten von Geleisen und Schiebebühnen muß selbst dann, wenn Wagen auf diesem fortbewegt werden, Raum zum gefahrlosen Vorbeigehen oder Stehenbleiben von Personen vorhanden sein.

Unter besonderen Verhältnissen sind für letzteren Zweck auch geeignete Schutzstellen (Nischen) gestattet.

39. Bei hochliegenden Geleisen und Hängebahnen sind außerdem auf beiden Seiten Schutzgeländer überall da anzubringen, wo für Personen eine Gefahr des Herabfallens oder der Verletzung durch in Bewegung befindliche Fahrzeuge besteht.

40. Während des Nachtbetriebes sind die Geleisanlagen genügend zu beleuchten.

41. Freiliegender Karrbohlen sind von genügender Stärke und Breite zu wählen.

#### E. Rohrlegungen.

42. Bei Rohrlegungen sind die Gräben, insoweit es die Bodenbeschaffenheit erfordert, in entsprechender Weise gegen Einstürzen zu sichern. Schwere Röhren u. dgl. sind nur mittels geeigneter Hebezeuge herabzulassen oder herauszuheben, wobei besonders darauf zu achten ist, daß sich unter schwebenden Lasten niemand aufhält. — Arbeiten an Gasleitungen, bei welchen größere Gasausströmungen zu befürchten sind, dürfen nur unter sachverständiger Aufsicht und unter Anwendung geeigneter Vorsichtsmaßregeln vorgenommen werden.

Als solche „geeignete Vorsichtsmaßregeln“ sind zu bezeichnen:

- I. Es sind nur solche Arbeiter zu verwenden, die mit den Arbeiten und den möglichen Gefahren genau vertraut sind. Niemals darf eine solche Arbeit von einem Arbeiter allein ausgeführt werden, sondern es müssen stets ein zweiter oder mehrere hinzugezogen werden.
- II. Während der Arbeit ist Feuer und brennendes Licht von der Arbeitsstelle fernzuhalten. Der Bleikessel soll in größerer Entfernung unter Berücksichtigung der Windrichtung aufgestellt werden, damit etwa ausströmendes Gas sich nicht entzünden kann.
- III. Der Betriebsunternehmer hat dafür zu sorgen, daß alle zur sicheren und schnellen Ausführung der Arbeit erforderlichen Werkzeuge sowie die bei einem etwaigen Gasaustritt zum Abdichten nötigen Materialien vorhanden sind.
- IV. Ehe die Leitung unterbrochen wird, muß bei Rohren über 80 mm Durchmesser das Gas durch Blasen oder andere Vorrichtungen abgesperrt werden. Die offenen Rohrenden und sonstige Ausströmungsstellen sind so lange, als die Arbeit es gestattet, dicht zu verschließen.
- V. Bei umfangreicheren Arbeiten ist folgendes zu beachten:
  - a) Jeder Arbeitskolonne ist ein Meister oder Vorarbeiter beizugeben, der in der Regel nur die Aufsicht führen soll. Diesem liegt die Verantwortung für die sachgemäße Ausführung der Arbeit ob. Er hat vor Beginn der Arbeit sich zu überzeugen, daß die gebotenen Vorsichtsmaßregeln getroffen sind.
  - b) Es ist darauf zu sehen, daß immer genügend Leute und geeignete Hilfsmittel (Leitern, Seile, Gurte usw.) zur Hand sind, um im Notfall die Arbeiter aus dem Graben schaffen zu können. Im Graben sollen sich nicht mehr Arbeiter aufhalten, als gerade nötig sind. Sie sollen sich tunlichst nicht in der Richtung des ausströmenden Gases aufhalten.

- c) Bei besonders tiefen Gräben oder Schächten, oder wenn es sonst geboten erscheint, müssen die Arbeiter angeseilt werden. Der Aufsichtführende muß sich laufend davon überzeugen, daß die in der Tiefe beschäftigten Arbeiter nicht gefährdet sind. Bei länger währenden Arbeiten ist darauf zu achten, daß die Arbeiter sich ablösen und jeweils nur kurze Zeit an der Arbeit bleiben. In schwierigen Fällen empfiehlt es sich, Schutzmasken mit Luftzuführung durch Schlauch (Rauchhelm) zu verwenden. Bei Arbeitsunterbrechung sind offene Gasrohre mit eisernen Kappen oder Stopfen dauernd dicht zu verschließen.

## II. Luftgasfabriken.

1. Die Unfallverhütungsvorschriften für Kohlengaswerke unter I — Vorschriften für Betriebsunternehmer —, genehmigt vom Reichs-Versicherungsamt am 21. März 1908, finden auch auf die Luftgasfabriken<sup>1)</sup> sinngemäße Anwendung.

2. Die zur Anreicherung der Luft dienenden leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffe (Gasolin, Petroleumdestillate u. a. m.) müssen in dichten Gefäßen in feuersicheren Gebäuden mit leichter Bedachung so aufbewahrt werden, daß bei einem Undichtwerden der Gefäße ein Versickern der Flüssigkeit in den Fußboden und ein Austreten derselben aus dem Gebäude heraus ausgeschlossen ist. Solche Gebäude dürfen zu keinem anderen Zwecke benutzt werden und müssen genügend gelüftet und hell sein.

Die in der Nähe des Fußbodens erforderlichen Luftöffnungen müssen mit Sicherheitsdrahtnetzen geschlossen sein.

3. Feste Lagergefäße sind zweckmäßig in die Erde einzugraben und mindestens 1 m hoch mit Erde zu überdecken. Derartig gesicherte Lagergefäße können auch im Freien in mindestens 4 m Entfernung von dem Gaserzeugungsraum untergebracht werden. In besonderen Fällen kann der Genossenschaftsvorstand von der Einhaltung dieser Maße absehen.

4. Die Türen müssen feuersicher sein und nach außen aufschlagen. Sie müssen von außen nur mittels Schlüssels, von innen aber ohne Schlüssel zu öffnen sein.

5. Mit leicht flüchtigen Kohlenwasserstoffen gefüllte Gefäße dürfen nicht unter freiem Himmel gelagert werden. Wenn dies zeitweilig erforderlich wird, sind dieselben vor der Einwirkung der Sonnenstrahlen zu schützen.

6. Die Lagergefäße sowie die Gefäße zum Transport der leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffe müssen aus Stahl- oder Eisenblech hergestellt, vollkommen luft- und wasserdicht und gegen einen inneren Überdruck von  $2\frac{1}{2}$  Atm. widerstandsfähig sein.

7. Die Lagergefäße zum Aufbewahren größerer Mengen leichtflüchtiger Kohlenwasserstoffe müssen mit einem Füllrohr, einem Rohr zur Ausgleichung des Luftdruckes im Gefäße, einem Entnahmerohr und unter Berücksichtigung der Bestimmung in Abs. 4 dieser Ziffer einer Vorrichtung zum Erkennen des Vorrats an Flüssigkeit versehen sein. Das Entnahmerohr darf auch zum Füllen dienen.

Diese Rohre und Vorrichtungen müssen mit dichtschießenden Hähnen ausgerüstet sein, an denen zu erkennen ist, ob sie offen oder geschlossen sind.

Das Füllrohr bzw. das Entnahmerohr muß bis auf den Boden des Gefäßes reichen. Die Entnahme darf nur von oben durch das vorbezeichnete Rohr geschehen.

Die Anbringung von Öffnungen zu Entnahme-, Entleerungs- oder anderen Zwecken am Boden oder an den Seitenwänden der Gefäße unterhalb des höchsten möglichen Flüssigkeitsstandes ist unstatthaft.

8. Das Luftdruckausgleichsrohr muß über Dach geführt und an seiner Mündung ins Freie mit Sicherheitsdrahtnetzen ausgefüllt sein.

9. Im Gaserzeugungsraum darf an leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffen nicht mehr, als der Tagesbedarf erfordert, lagern.

10. Die Erzeugung von Luftgas darf nur in besonderen Gebäuden, welche nur diesem Zwecke dienen, stattfinden.

<sup>1)</sup> Unter Luftgasfabriken sind nur solche zu verstehen, die das Luftgas käuflich abgeben.

In diesen Gebäuden dürfen sich bewohnte Räume nicht befinden. Als bewohnte Räume gelten solche, in welchen Menschen wohnen, öfter sich aufhalten oder verkehren, sofern sie nicht im Betriebe beschäftigt sind.

11. Sämtliche Räume in dem Erzeugungsgebäude müssen genügend gelüftet und hell sein. Es sind Vorkehrungen zu treffen, daß die Räume frostfrei bleiben. Heizung darf nur mit Wasser oder mit Dampf erfolgen.

An den innerhalb des Raumes befindlichen Schornsteinen dürfen keinerlei Öffnungen sich befinden.

12. In allen Räumen, in denen die selbsttätige Lüftung nicht ausreicht, um reine Luft zu erhalten, muß die Lüftung durch mechanische Vorrichtungen bewirkt werden. Diese sind so einzurichten, daß sie von außen gehandhabt werden können.

13. Die zur Erzeugung von Luftgas dienenden Apparate dürfen nur in durchaus feuersicheren, reichlich gelüfteten und reichlich mit Tageslicht versehenen Räumen aufgestellt werden.

Die am Fußboden erforderlichen Luftöffnungen müssen mit Sicherheitsdrahtnetzen geschlossen sein.

Die Türen müssen feuersicher sein und nach außen aufschlagen. Die Bedachung muß leicht sein.

Von diesen Räumen müssen die Räume für Maschinen, die mit Feuerungen versehen sind, oder für Apparate, an denen elektrische Funkenbildungen (Elektromotoren) vorkommen können, durch dichte feuersichere Wände ohne Tür- und Fensteröffnungen abgetrennt sein. Müssen durch diese Wände Transmissionswellen hindurchgeführt werden, so sind diese an den Durchdringungsstellen entsprechend abzudichten.

14. Werden zur Bewegung der Luft für Bereitung des Luftgases hängende Gewichte angewendet, so müssen diese in ihren Fallbahnen sicher geschützt sein.

15. Die zur Aufbewahrung der leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffe sowie die zur Erzeugung und Aufbewahrung von Luftgas dienenden Räume dürfen nur mittels zuverlässig gegen das Gebäude abgeschlossener Außenbeleuchtung erhellt werden. Stehen diese Räume mit anderen Räumen durch Türen oder Fenster in Verbindung, so dürfen auch diese Räume keine offenen Flammen oder Feuerungen enthalten.

Gasmotoren, Elektromotoren, Schaltapparate und Sicherungen dürfen in solchen Räumen nicht angebracht werden.

16. Elektrische Einrichtungen, Leitungen, Glühlampen usw. dürfen in Innenräumen nur dann verwendet werden, wenn sie in ihrer Anlage und Unterhaltung den vom Verbands Deutscher Elektrotechniker aufgestellten Vorschriften entsprechen.

Müssen in dringenden Fällen die Räume mit Licht betreten werden, so darf dies nur mit Sicherheitslampen geschehen, die den nachstehenden Bedingungen entsprechen, in ordnungsmäßigem Zustande zu halten und auf denselben von Zeit zu Zeit zu prüfen sind<sup>1)</sup>.

Jede Sicherheitslampe muß mit Einrichtungen versehen sein, die eine vollkommen dichte Verbindung der einzelnen Teile untereinander dauernd gewährleisten.

Der Glaszylinder muß aus gut ausgeglühtem Glase bestehen, die Schnittflächen müssen rechtwinklig zur Achse genau abgeschliffen sein.

Das Netz des Drahtkorbes muß mindestens 144 gleich große Öffnungen auf einen Quadratzentimeter besitzen. Die Drahtstärke des Netzes darf nicht weniger als 0,3 und nicht mehr als 0,4 mm betragen.

Haben die Lampen eine besondere Luftzuführung, so ist diese durch das gleiche Drahtnetz zu schützen.

Elektrische Sicherheitslampen sind vor dem Betreten des betreffenden Raumes einzuschalten.

17. Das Füllen der Aufbewahrungsgefäße sowie das Überleiten der leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffe aus diesen Gefäßen in die Verbrauchsbehälter darf nur bei Tagesbeleuchtung und nur durch dichte, geschlossene Rohrleitungen geschehen.

18. Im Lagerraum und in den Räumen zur Erzeugung des Luftgases ist stets eine hinreichende Menge trockenen, feinkörnigen Sandes zum Auffangen etwa aus-

<sup>1)</sup> Für Davysche Sicherheitslampen ist der Prüfungsapparat von Friemann u. Wolf, Zwickau i. S., zu empfehlen.

laufender Mengen leichtflüchtiger Kohlenwasserstoffe sowie zum Abreiben oder Trocknen feuchtgewordener Stellen an Gefäßen oder Apparaten vorrätig zu halten.

Sand, der mit leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffen getränkt ist, ist sofort zu entfernen.

19. In Verbindung mit dem Gasbehälter ist ein Druckmesser anzubringen, an welchem der in dem Behälter vorhandene Druck jederzeit ersichtlich ist.

20. Freistehende Gasbehälter sind in mindestens 4 m Entfernung von Grundstücksgrenzen und Gebäuden zu errichten.

Nicht freistehende Behälter dürfen nur in besonderen, von den übrigen Betriebsräumen durch Brandmauern getrennten und von außen zugängigen, gut gelüfteten Räumen aufgestellt werden.

Es sind Vorkehrungen zu treffen, durch die das Einfrieren der Gasbehälter mit Sicherheit vermieden wird. Heizung darf nur mit Wasser oder mit Dampf erfolgen.

21. Das Grundstück der Luftgasfabrik ist mit einer Einfriedigung zu versehen, die das Eintreten unbefugter Personen verhindert.

### III. Acetylenfabriken.

1. Die Unfallverhütungsvorschriften für Kohlegaswerke unter I — Vorschriften für Betriebsunternehmer —, genehmigt vom Reichs-Versicherungsamt am 21. März 1908, finden auch auf die Acetylenfabriken<sup>1)</sup> sinngemäße Anwendung.

2. Für etwaige Nebenbetriebe zur Verflüssigung von Acetylen sowie bei Verwendung flüssigen Acetylens finden die Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie Anwendung.

3. Das Carbid darf nur über Erde in trockenen, hellen, genügend gelüfteten Räumen gelagert werden, die von anderen Räumen durch massive, mindestens 30 cm überragende Brandmauern oder massive öfFnungslose Gewölbe getrennt sind.

Die Brandmauer darf durch feuerfeste Türen durchbrochen und durch eine Wellblechwand ersetzt werden, wenn der Abstand bis zum nächsten Gebäude mindestens 5 m beträgt. Eine Brandmauer ist nicht erforderlich, wenn der Abstand mindestens 10 m beträgt.

Die Türen müssen feuersicher sein und nach außen aufschlagen. Sie müssen von außen nur mittels Schlüssels, von innen aber ohne Schlüssel zu öffnen sein. Die Mitlagerung leicht brennbarer oder explosiver Gegenstände ist verboten.

4. Die Lagerung von Carbid im Freien ist in den in Punkt 5 vorgeschriebenen, wasserdicht verschlossenen Gefäßen in einer Entfernung von mindestens 10 m von Gebäuden gestattet. Die Lagerstätte ist auf allen Seiten in einem Abstände von mindestens 4 m mit einem Zaune oder Drahtgitter zu versehen. Der Raum zwischen Lager und Umwehrung ist von brennbaren Gegenständen freizuhalten.

Das Carbid ist auf einer Bühne zu lagern, von deren Unterkante bis zum Erdboden ein freier Zwischenraum von mindestens 20 cm vorhanden ist.

Das Carbid ist durch ein Schutzdach oder durch wasserdichte Planen zu schützen.

Der Lagerplatz muß an jedem Zugange mit einer leicht sichtbaren Warnungstafel versehen sein, welche die Aufschrift trägt:

„Carbid, gefährlich,  
wenn nicht trocken gehalten“.

5. Das Carbid ist zum Schutz gegen Feuchtigkeit in wasserdicht verschlossenen, ausreichend feuersicheren Metallgefäßen aufzubewahren. Ein Verpackungsgefäß darf immer erst dann geöffnet werden, wenn der Inhalt des vorher benutzten mindestens bis auf etwa ein Drittel aufgebraucht ist.

Geöffnete Carbidgefäße sind mit wasserdicht schließenden oder übergreifenden, feuersicheren und wasserundurchlässigen Deckeln verdeckt zu halten.

Die Anwendung von Entlötungsapparaten zum Öffnen verlöteter Büchsen ist verboten.

<sup>1)</sup> Unter Acetylenfabriken sind nur solche zu verstehen, welche das Acetylen käuflich abgeben.

6. Die Gefäße zur Aufbewahrung von Carbid müssen die Aufschrift tragen:

„Carbid, gefährlich,  
wenn nicht trocken gehalten.“

7. Die Vorschriften über die Lagerung von Carbid sind in den Lagerräumen sichtbar anzubringen.

8. Im Apparatraum selbst dürfen nicht mehr als 500 kg Carbid aufbewahrt werden.

Eine etwaige Heizung darf nur durch Einrichtungen geschehen, bei denen auch im Falle der Beschädigung der Eintritt von Wasser in den Lagerraum und der Zutritt etwa entwickelten Acetylen zu offenem Feuer oder hochoverhitzten Gegenständen ausgeschlossen ist.

Die Vorschriften der Punkte 16 und 17 finden auch auf Carbidlager entsprechende Anwendung.

9. Die Zerkleinerung des Carbids muß mit möglichster Vermeidung von Staubeentwicklung erfolgen.

Die Arbeiter sind während dieser Beschäftigung mit Respiratoren und Schutzbrillen zu versehen.

Personen, von denen dem Arbeitgeber bekannt ist, daß sie herz- oder lungenkrank sind, dürfen bei diesen Arbeiten nicht beschäftigt werden.

10. Je eine genaue Beschreibung und Schnittzeichnung der Apparate und je eine Anweisung über ihre Behandlung sind im Apparatraum an einer in die Augen fallenden Stelle anzuschlagen. Das gleiche gilt von einer wesentlichen Veränderung der Apparate und ihrer Behandlung.

11. Die Herstellung und Aufbewahrung von Acetylgas darf nicht in oder unter Räumen erfolgen, die zum Aufenthalt von Menschen bestimmt sind. Die Gasentwickler und Gasbehälter dürfen nur in Räumen aufgestellt werden, welche mit leichter Bedachung versehen und von Wohnräumen, von Scheunen oder von Ställen durch eine Brandmauer (öffnungslose massive Mauer) oder einen Abstand von wenigstens 5 m getrennt sind. Die Einziehung einer leichten, mit Hilfe schlechter Wärmeleiter hergestellten Zwischendecke ist gestattet.

12. Im Freien aufgestellte Apparate und Gasbehälter müssen wenigstens 5 m von Baulichkeiten jeder Art und von Grundstücksgrenzen entfernt sein.

13. Feststehende Entwicklungsapparate dürfen nicht im Freien aufgestellt werden, sofern sie nicht nur für den Sommerbetrieb dienen.

14. Die Apparaträume müssen nach außen aufschlagende feuersichere Türen besitzen, welche entweder unmittelbar ins Freie oder in solche Räume führen, in denen sich kein offenes Feuer befindet und die nicht mit Licht betreten werden, sie müssen hell, geräumig und gut gelüftet sein.

15. Es sind Vorkehrungen zu treffen, daß die Apparaträume und der Gasbehälter frostfrei bleiben.

Heizung darf nur durch Wasser oder Dampf oder durch andere Einrichtungen geschehen, bei denen auch im Falle der Beschädigung die Bildung von Funken oder das Glühendwerden sowie der Zutritt von Acetylen zu offenem Feuer oder hochoverhitzten Gegenständen ausgeschlossen ist.

Von der Feuerstätte für die Heizung müssen die Apparaträume durch Brandmauern getrennt sein.

16. Die künstliche Beleuchtung der Apparaträume darf nur von außen erfolgen. Sie ist vor einem dicht schließenden Fenster, das nicht geöffnet werden kann, wenn möglich in einer türfreien Wand anzubringen. Befindet sich in derselben Wand mit diesem Fenster eine Tür oder ein zu öffnendes Fenster, so ist elektrisches Glühlicht in doppelten, durch ein Drahtnetz geschützten Birnen mit Außenschaltung und guter Isolierung der Leitung anzuwenden. Wird zur Beleuchtung Acetylen verwendet, so muß daneben eine andere, den vorstehenden Bestimmungen entsprechende Beleuchtung betriebsbereit vorhanden sein.

17. Die Apparaträume dürfen für andere Zwecke nicht verwendet und von Unbefugten nicht betreten werden. Das Betreten dieser Räume mit Licht, sowie das Rauchen in ihnen ist verboten. Diese Verbote sind an den Türen deutlich sichtbar zu machen. Die Verwendung der Davyschen Sicherheitslampen ist hier

verboten. Die Verwendung elektrischer Sicherheitslampen ist zulässig, sofern diese außerhalb der Räume der Anstalt eingeschaltet werden.

18. Die Entlüftung der Apparaträume hat durch genügend weite, im höchsten Punkte dieser Räume aufzusetzende Rohre zu geschehen. Die Entlüftungsrohre der Räume sind bis über das Dach derart ins Freie zu führen, daß die abziehenden Gase und Dünste weder in geschlossene Räume, noch in Kamine gelangen können.

In allen Räumen, in denen die selbsttätige Lüftung nicht ausreicht, um reine Luft zu erhalten, muß die Lüftung durch mechanische Vorrichtungen bewirkt werden. Diese sind so einzurichten, daß sie von außen gehandhabt werden können.

19. Bei der Herstellung von Acetylgas muß das Wasser stets in reichlichem Überschuß vorhanden sein.

20. Die Apparate müssen in allen Teilen so hergestellt sein, daß sie gegen Formenveränderung und Durchrosten widerstandsfähig sind und dauernd gasdicht bleiben.

21. In den Apparaten und Gasleitungen dürfen keine aus Kupfer bestehenden Teile angebracht sein. Die Verwendung von Messing ist zulässig.

22. Die Apparate müssen so eingerichtet sein, daß sie entweder eine vollständige Entlüftung gestatten oder das Entweichen des Gasluftgemisches in ausreichendem Maße ermöglichen. Sie müssen ferner so eingerichtet sein, daß ein Überdruck von mehr als  $\frac{1}{2}$  Atm. und im Entwickler eine Erhitzung über  $100^{\circ}$  C ausgeschlossen bleibt. Ferner müssen Vorrichtungen zur Entfernung von Verunreinigungen (Phosphorwasserstoff, Ammoniak u. dgl.) vorhanden sein.

23. Das Zurücktreten von Gas aus dem Gasbehälter in den Entwickler muß durch einen Wasserabschluß verhindert sein.

24. Die Leitungen müssen bis zu einem Überdruck von  $\frac{1}{10}$  Atm. vollkommen dicht und im übrigen unter Beobachtung derselben Vorsichtsmaßregeln wie die Steinkohlengasleitungen gelegt sein.

25. Der Gasbehälter muß mit einem Abzugsrohre versehen sein, welches das Abströmen des sich nachentwickelnden Gases gestattet, sobald der Gasbehälter nicht mehr aufnahmefähig ist.

Dieses Abzugsrohr muß von mindestens gleicher Weite wie das Gaszuführungsrohr sein und ist bis über das Dach derart ins Freie zu führen, daß die abziehenden Gase und Dünste weder in geschlossene Räume, noch in Kamine gelangen können.

26. In Verbindung mit dem Gasbehälter ist ein Druckmesser anzubringen, an welchem der in dem Behälter vorhandene Druck jederzeit ersichtlich ist.

27. Die Überwachung und Bedienung der Apparate darf nur durch zuverlässige, mit der Einrichtung und dem Betriebe vertraute Personen erfolgen.

28. Die Ableitung des Kalkschlammes aus den Entwicklern ist durch geschlossene Leitungen oder durch einen Kanal mit dichter Abdeckung derart zu bewirken, daß ein Rücktreten von Acetylgas in die Betriebsräume ausgeschlossen ist.

Die Kalkschlammgruben sind sicher abzudecken.

29. Das Grundstück der Acetylgasfabrik ist mit einer Einfriedigung zu umgeben, die das Eintreten unbefugter Personen verhindert.

## IV. Wassergasfabriken.

### sowie Wassergas- und Generatorgasanlagen (Sauggas-, Kraftgas-, Halbwassergas-, Dowsongasanlagen) als Nebenbetriebe von Gas- und Wasserwerken.

1. Die Unfallverhütungsvorschriften für Kohlengaswerke unter I — Vorschriften für Betriebsunternehmer —, genehmigt vom Reichs-Versicherungsamt am 21. März 1908, finden auch auf die Wassergasfabriken<sup>1)</sup> sowie auf die im Nebenbetriebe befindlichen Wassergas- und Generatorgasanlagen (Sauggas-, Kraftgas-, Halbwassergas-, Dowsongasanlagen) sinngemäße Anwendung.

2. Die zur Aufbesserung des Gases dienenden leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffe (Benzol, Gazine, Carburine, Carburierbenzol, Benzin, Gasolin usw.) müssen in

<sup>1)</sup> Unter Wassergasfabriken sind nur solche zu verstehen, welche das Wassergas allein oder gemischt käuflich abgeben.

dichten Metallgefäßen in feuersicheren Gebäuden mit leichter Bedachung so aufbewahrt werden, daß bei einem Undichtwerden der Gefäße ein Versickern der Flüssigkeit in den Fußboden und ein Austreten aus dem Gebäude heraus ausgeschlossen ist. Solche Gebäude dürfen zu keinem anderen Zweck benutzt werden und müssen genügend gelüftet und hell sein. Die in der Nähe des Fußbodens erforderlichen Luftöffnungen müssen mit Sicherheitsdrahtnetzen geschlossen sein.

3. Feste Lagergefäße sind zweckmäßig in die Erde einzugraben und mindestens 1 m hoch mit Erde zu überdecken. Derartig gesicherte Lagergefäße können auch im Freien, in mindestens 4 m Entfernung von Gebäuden untergebracht werden. In besonderen Fällen kann der Genossenschaftsvorstand von der Einhaltung dieser Maße absehen.

4. Mit leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffen gefüllte Gefäße dürfen nicht unter freiem Himmel gelagert werden. Wenn dies zeitweilig erforderlich wird, sind dieselben vor der Einwirkung der Sonnenstrahlen zu schützen. Die Lagergefäße, sowie die Gefäße zum Transport der leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffe müssen aus Stahl- oder Eisenblech hergestellt, vollkommen luft- und wasserdicht und gegen einen inneren Überdruck von  $2\frac{1}{2}$  Atm. widerstandsfähig sein. Die Lagergefäße zum Aufbewahren größerer Mengen leichtflüchtiger Kohlenwasserstoffe müssen mit einem Füllrohr, einem Rohr zur Ausgleichung des Luft- oder Gasdrucks im Gefäße, einem Entnahmerohr und einer Vorrichtung zum Erkennen des Vorrats an Flüssigkeit versehen sein. Das Entnahmerohr darf auch zum Füllen dienen. Diese Rohre und Vorrichtungen müssen mit dichtschießenden Hähnen ausgerüstet sein, an denen zu erkennen ist, ob sie offen oder geschlossen sind.

5. Das Füllrohr bzw. Entnahmerohr muß bis auf den Boden des Gefäßes reichen. Die Entnahme darf nur von oben durch das vorbezeichnete Rohr geschehen. Die Anbringung von Entnahme- oder Entleerungsvorrichtungen am Boden der Gefäße ist unstatthaft. Die Behälter müssen entweder unter Gasdruck stehen, oder es muß ein über Dach geführtes Luftdruckausgleichsrohr vorhanden sein, welches an seiner Mündung ins Freie mit Sicherheitsdrahtnetzen umhüllt ist.

6. Hochsiedende Öle über  $150^{\circ}\text{C}$  Siedepunkt dürfen auch im Freien in eisernen Tanks gelagert werden; dieselben müssen derart unwallt oder umbaut sein, daß bei etwaigem Auslaufen das Öl sich nicht ausbreiten kann, sondern innerhalb der Grube verbleibt. Die Entnahme des Öles darf nur durch geschlossene eiserne Röhren und Apparate erfolgen. Die Entnahmestelle darf unten am Tank angebracht sein. Die Tanks dürfen oben in Verbindung mit der Luft stehen, doch sind diese Öffnungen durch engmaschiges Drahtnetz zu schließen. Im Freien stehende Tanks müssen mit Blitzableiter versehen sein.

7. Etwaige Heizung eines Lagergebäudes oder Behälters darf nur durch Dampf oder Wasser bewirkt werden.

8. Das Umfüllen flüssiger Kohlenwasserstoffe von einem Behälter in einen anderen darf nur bei Tagesbeleuchtung geschehen.

Jede künstliche Beleuchtung — auch Außenbeleuchtung — der Lagerräume für flüssige Kohlenwasserstoffe sowie das Betreten der Räume mit Feuer oder Licht irgend welcher Art und das Rauchen in ihnen ist streng verboten. Verbotsaufschriften sind an geeigneter Stelle anzubringen.

9. Bei Verwendung leichtflüchtiger Kohlenwasserstoffe ist im Lagerraum und Verdampfungsraum trockener Sand zum Aufsaugen etwa auslaufender Kohlenwasserstoffe vorrätig zu halten. Mit Kohlenwasserstoffen getränkter Sand ist sofort zu entfernen.

10. Die Türen müssen feuersicher sein und nach außen aufschlagen. Sie müssen von außen nur mittels Schlüssels, von innen aber ohne Schlüssel zu öffnen sein. Aus jedem Keller- und Erdgeschoßraum muß mindestens eine Tür unmittelbar ins Freie führen.

11. Die zur Erzeugung von Wassergas und Generatorgas dienenden Apparate, welche mit Feuerungen versehen sind, wie die Generatoren, die etwa zugehörigen Dampfkessel usw., dürfen entweder nur im Freien oder in durchaus feuersicheren, reichlich gelüfteten und reichlich mit Tageslicht versehenen Räumen aufgestellt werden. In denselben Räumen dürfen nur die zugehörigen Maschinen und Gebläse und die geschlossenen Kühlapparate, Wäscher, Sauger und die Gasmesser stehen.

Dagegen müssen diejenigen Apparate, welche Deckel mit Wasserverschluß haben oder während des Betriebes der Generatoren zeitweise geöffnet werden müssen, wie z. B. die Reinigerkästen, Teerausscheider, Druckregler, Umlaufregler usw., entweder in besonderen Gebäuden oder in solchen Räumen untergebracht werden, welche durch massive, gemauerte Wände vom Generatorraume getrennt sind.

In Wassergasfabriken sind Türen und Fenster in diesen Wänden nicht zulässig.

12. Sämtliche Betriebsgebäude für Wassergasfabriken dürfen außer der Kelleranlage nur eine Geschoßteilung enthalten. Sie müssen mit einer wenig Widerstand bietenden Bedachung versehen sein und dürfen mit bewohnten Räumen nicht in Verbindung stehen.

Als bewohnte Räume gelten solche, in welchen Menschen wohnen, öfter sich aufhalten oder verkehren, sofern sie nicht im Betriebe beschäftigt sind.

Sämtliche Betriebsräume, auch Keller und begehbare Rohrkanäle müssen genügend gelüftet und hell sein.

13. Die Beleuchtung der Räume, in denen Apparate stehen, welche Deckel mit Wasserverschluß haben (z. B. Reinigerkästen, Teerausscheider, Druckregler, Umlaufregler), durch Flammen darf nur durch zuverlässig gegen das Gebäude abgeschlossene Außenbeleuchtung geschehen.

14. Stehen Gebläse, Motoren, Pumpen, geschlossene Kühlapparate, Wäscher, Sauger und Gasmesser nicht in demselben Raume mit den Erzeugungsapparaten von Wassergas und Generatorgas, sondern in abgetrennten Räumen, so sind Vorkehrungen zu treffen, daß diese Räume frostfrei bleiben.

15. Heizung darf nur durch Wasser oder durch Dampf erfolgen. Diese Räume dürfen nur durch zuverlässig gegen das Gebäude abgeschlossene Außenbeleuchtung erhellt werden, die so anzubringen ist, daß aus dem Inneren etwa austretende Gasmengen an den offenen Flammen sich nicht entzünden können.

Gasmotoren, Elektromotoren, Schaltapparate und Sicherungen dürfen in solchen Räumen nicht angebracht werden.

16. Elektrische Einrichtungen, Leitungen, Glühlampen usw dürfen in Innenräumen nur dann verwandt werden, wenn sie in ihrer Anlage und Unterhaltung den vom Verbands Deutscher Elektrotechniker aufgestellten Vorschriften entsprechen.

Müssen in dringenden Fällen die Räume mit Licht betreten werden, so darf dies nur mit elektrischen Sicherheitslampen oder mit Sicherheitslampen geschehen, die den nachstehenden Bedingungen entsprechen, in ordnungsmäßigem Zustande zu halten und auf denselben von Zeit zu Zeit zu prüfen sind<sup>1)</sup>.

Jede Sicherheitslampe muß mit Einrichtungen versehen sein, die eine vollkommen dichte Verbindung der einzelnen Teile untereinander dauernd gewährleisten.

Der Glaszylinder muß aus gut ausgeglühtem Glas bestehen, die Schnittflächen müssen rechtwinklig zur Achse genau abgeschliffen sein.

Das Netz des Drahtkorbes muß mindestens 144 gleich große Öffnungen auf einen Quadratcentimeter besitzen. Die Drahtstärke des Netzes darf nicht weniger als 0,3 und nicht mehr als 0,4 mm betragen.

Haben die Lampen besondere Luftzuführung, so ist diese durch das gleiche Drahtnetz zu schützen.

Elektrische Sicherheitslampen sind vor dem Betreten des betreffenden Raumes einzuschalten.

17. Die Apparate zur Erzeugung von Wassergas sind mit Sicherheitsauslässen zu versehen, die sich selbsttätig öffnen, ehe der Druck der Wasserverschlüsse erreicht ist.

Das aus diesen Sicherheitsauslässen entweichende Gas muß durch Entlüftungsröhre unmittelbar ins Freie geführt werden.

Die Entlüftungsröhre dieser Sicherheitsauslässe und der Räume sind bis über das Dach des Apparaterumes und, sofern Zugbehinderungen oder Gefährdungen der Nachbarschaft in Frage kommen können, bis über die Dächer etwaiger Nachbargebäude emporzuführen.

<sup>1)</sup> Für Davysche Sicherheitslampen ist der Prüfungsapparat von Friemann u. Wolf, Zwickau i. Sa., zu empfehlen.

18. In allen Räumen, in denen die selbsttätige Lüftung nicht ausreicht, um reine Luft zu erhalten, muß die Lüftung durch mechanische Vorrichtungen bewirkt werden. Diese sind so einzurichten, daß sie auch von außen gehandhabt werden können.

19. Zur Verhütung von Explosionsgefahr während des Wechsels oder Stillstellens der Apparate sind Vorkehrungen oder Anordnungen zu treffen, welche die Bildung von Explosionsgemischen in den Apparaten oder abgesperrten Rohrleitungen verhindern.

Die Gas-, Wasch- und Reinigungsapparate sind mit Druckmessern zu versehen.

20. Die Beschickung des zur Anreicherung des Gases mit schweren Kohlenwasserstoffen bestimmten Apparates darf nur mittels geschlossener Rohrleitung aus im Freien oder an geschützter Stelle liegenden Metallgefäßen erfolgen.

21. Gasbehälter sind im Freien oder in gut gelüfteten Räumen aufzustellen. Stehen letztere mit anderen Räumen im Zusammenhang, so müssen sie von diesen durch Brandmauern geschieden sein, auch dürfen sich darüber keine anderen Räume befinden.

Freistehende Gasbehälter sind in mindestens 4 m Entfernung von Grundstücksgrenzen oder Gebäuden zu errichten.

Es sind Vorkehrungen zu treffen, durch die das Einfrieren der Gasbehälter mit Sicherheit vermieden wird. Heizung darf nur mit Wasser oder mit Dampf erfolgen.

22. Maschinen von 4 und mehr Pferdekräften müssen mit mechanischen Anlaufvorrichtungen versehen sein. Das Antreiben der Schwungräder an solchen Maschinen von Hand ist verboten.

23. Gebrauchtes und mit Öl getränktes Putzmaterial darf nur an sicheren Orten in eisernen Kästen aufbewahrt werden.

24. In Kohlengasanstalten dürfen die Wassergaserzeuger mit Vorlagen, Kühlern und Wäschern in dem Retortenhause frei aufgestellt werden, wenn für besondere Abzugsvorrichtungen genügend gesorgt ist.

25. Das Grundstück der Wassergasfabrik ist mit einer Einfriedigung zu umgeben, die das Eintreten unbefugter Personen verhindert, sofern die Anlage nicht einen Teil einer eingefriedigten Gasanstalt bildet.

## Vorschriften über die Einrichtung von Sauggasanlagen.

Erlaß des preußischen Ministers für Handel und Gewerbe  
vom 20. Juni 1904.

1. Die Vorrichtungen zur Darstellung und Reinigung des Sauggases und die Gasmaschinen (Motoren) sind in mindestens 3,5 m, bei Maschinen über 50 PS in mindestens 4 m hohen, hellen Räumen aufzustellen, welche reichlich und in solcher Art gelüftet sind, daß eine Ansammlung von Gasen darin ausgeschlossen ist. Diese Räume dürfen zu keinem anderen Zweck benutzt werden. Es ist zulässig, die gesamte Kraftanlage in einem einzigen Raume unterzubringen.

2. In Kellerräumen ist die Aufstellung nur dann zulässig, wenn die Keller-sole nicht tiefer als 2 m unter der benachbarten Bodenoberfläche liegt.

3. Ein unmittelbarer Zusammenhang dieser Betriebsräume mit Wohnräumen ist nicht zulässig. Auch ist das Eindringen von heißer Luft oder Dünsten aus der Kraftanlage in darüber- oder danebenliegende Wohn- oder Arbeitsräume zu verhüten.

4. Die Betriebsräume der Kraftanlage müssen so groß bemessen sein, daß die einzelnen Apparate, Motoren und sonstigen Betriebseinrichtungen von allen Seiten bequem und sicher erreicht und bedient werden können. Insbesondere sind die Rohrleitungen so zu verlegen, daß durch sie der Verkehr und die Zugänglichkeit der Apparate und Maschinen nicht beeinträchtigt wird.

5. Die Beschickung der Gaserzeuger (Vergaser oder Generatoren) muß bequem und ohne Unfallgefahr (von besonderen Bühnen oder festen Treppen oder Leitern) geschehen können. Es ist dafür zu sorgen, daß durch die Füllöffnungen Verbrennungsprodukte in den Betriebsraum nicht entweichen können.

6. Die während der Anheizperiode oder während des Stillstandes der Gasmaschine entstehenden Verbrennungsprodukte des Gaserzeugers sind durch ein genügend weites und dichtes Rohr bis über die Dachfirst der benachbarten Gebäude hinauszuführen. Getrennt von diesen sind die Auspuffgase der Gasmaschine durch ein besonderes eisernes Rohr ebenso und in solcher Weise abzuführen, daß die Nachbarschaft durch Geräusch nicht belästigt wird.

7. Es sind Einrichtungen zu treffen, welche während der Anheizperiode und während des Stillstandes der Maschinen den Eintritt von Gasen aus dem Gaserzeuger in die Kühl- und Reinigungsapparate (Wäscher, Reiniger u. dgl.) verhindern.

8. Ebenso sind Vorkehrungen zu schaffen, welche bei Fehlzündungen oder bei anderen Störungen den Rücktritt von Explosionsgasen aus der Gasmaschine in die Gasleitungen, sowie Explosionen in der Auspuffleitung unmöglich machen.

9. Ferner sind Vorkehrungen zu treffen, welche die Belästigungen während des Reinigens (Ascheziehens, Ausschlackens) der Gaserzeugerfeuerung auf ein Mindestmaß herabdrücken. Gebotenenfalls sind die heißen Dämpfe und Gase an den Räumungsöffnungen abzufangen und fortzuleiten.

10. Die Gaswasch- und Reinigungsapparate sind mit Vorkehrungen auszustatten, welche den jeweiligen Druck erkennen lassen.

11. Die bei der Reinigung des Gases fallenden Abwässer sind so zu behandeln, daß sie geruchlos und völlig neutral abfließen, ebenso sind die Rückstände so zu beseitigen, daß Belästigungen der Nachbarschaft vermieden werden.

12. Die Entlüftungseinrichtungen dürfen weder das Bedienungspersonal durch lästigen Zug, noch die Nachbarschaft durch Geräusche oder auf andere Weise behelligen.

13. Die Gaserzeuger sind, wenn sie durch strahlende Hitze belästigen würden, in geeigneter Weise zu verkleiden. Auch sind die Auspuffrohrleitungen, soweit sie innerhalb der Betriebsräume liegen, zu kühlen oder wirksam zu isolieren.

14. Die Gas- und sonstigen Maschinen sind so zu fundieren und die mechanischen Kraftleitungen so anzuordnen, daß die Nachbarschaft nicht durch Erschütterungen belästigt wird.

15. Bei Eintritt der Dunkelheit ist für angemessene Beleuchtung zu sorgen.

16. Den Forderungen des Unfallschutzes ist Rechnung zu tragen.

17. Für die Arbeiter ist Sitzgelegenheit und Wascheinrichtung vorzusehen.

18. Wo mit der Kraftanlage eine Akkumulatorenanlage verbunden ist, sind die Akkumulatorenräume von allen anderen Betriebsräumen zu trennen und gut zu lüften. Zur künstlichen Beleuchtung der Akkumulatorenräume darf nur elektrisches Glühlicht mit besonderer Schutzglocke oder äußerer Beleuchtung verwendet werden.

19. Durch die vorstehenden Gesichtspunkte werden etwa schon bestehende ortspolizeiliche Bau- oder sonstige Vorschriften nicht berührt.

## Namen- und Ortsregister.

- |   |  |  |
|---|--|--|
| <p><b>A</b>achener Stahlwaren-<br/>fabrik, A.-G. 1089.<br/>Aarts 779, 812.<br/>Achtermann 629.<br/>Ackermann 738, 740, 741.<br/>Adams 723.<br/>Agram 396.<br/>Ahrens 965, 967.<br/>A.-G. für Gas und Elektri-<br/>zität in Cöln 977, 978.<br/>A.-G. für Selsbeleuchtung<br/>978.<br/>A.-G. für Wasserleitungen,<br/>Beleuchtungs- und Hei-<br/>zungsanlagen 776.<br/>Albrecht 269, 439, 1084.<br/>Allard 1008.<br/>Allner 84, 85, 235, 455,<br/>541, 545, 546, 547, 664.<br/>Altmayer 55, 315, 928,<br/>942.<br/>Amberger 216.<br/>Amé Pictet 307.<br/>Amsterdam 1088.<br/>Andree 401, 872.<br/>Angström 36.<br/>Anzböck 985, 1053, 1088.<br/>Argand 2.<br/>Armstrong 275, 1055.<br/>Arndt 201, 238, 255.<br/>Arnold 339.<br/>Arol 379.<br/>Asbeck 974.<br/>Ascher 1055.<br/>Assmann 150.<br/>Atchison Topeca- and<br/>Santa-Fé-Eisenbahn 302.<br/>Audouin 417.<br/>Auer von Welsbach 776,<br/>947, 1001, 1039.<br/>Aufhäuser 278.<br/>Augsburg, Nürnberger<br/>Maschinenfabrik 546,<br/>737, 761.<br/>Aumund 295.<br/>Avogadro 41.</p> | <p><b>B</b>adische Anilin- u. Soda-<br/>fabrik 779.<br/>Bäcker 341, 361.<br/>Balling 108.<br/>Baltimore 657.<br/>Bamag 383, 386, 388, 397,<br/>398, 470, 518, 523, 525,<br/>551, 615, 883, 976, 1032.<br/>Bannow 147.<br/>Banthner 388.<br/>Barber 440.<br/>Barigazzo 719.<br/>Barmen 657.<br/>Barth 438, 652.<br/>Baudouin 204, 503, 1033.<br/>Bauer 77, 108.<br/>Baumann 634.<br/>Bayer 437, 653.<br/>Bayer, Alexander 241.<br/>Bayer, Farbenfabriken<br/>779.<br/>Beale 532.<br/>Beasley 127.<br/>Becher 3.<br/>Bechstein 101.<br/>Beck 279, 280, 543.<br/>Becker 100, 459.<br/>Bedford 930.<br/>Bedson 484.<br/>Behl 529, 1010.<br/>Behnke 295.<br/>Beielstein 578, 1059.<br/>Beilly 361.<br/>Bell 328, 1018.<br/>Bencke 602, 745, 980, 1038.<br/>Benninghoff 373, 374, 375,<br/>376.<br/>Benz 758.<br/>Bergedorf 719.<br/>Bergen 581.<br/>Berlin 375, 396, 898, 910,<br/>916.<br/>Berlin-Anhaltische Ma-<br/>schinenbau-Aktienges.<br/>188 (s. auch Bamag).<br/>Berndt 965.</p> | <p>Bertelsmann 479, 624, 632,<br/>682, 971, 1011, 1016,<br/>1021, 1022, 1025, 1031,<br/>1058.<br/>Berthelot 50, 54, 55, 129,<br/>130, 287, 328, 668, 693.<br/>Bessin 566, 636.<br/>Betlar 550.<br/>Bettega 985.<br/>Beyling 705.<br/>Bian 769.<br/>Bielefeld 779.<br/>Bielitz 718.<br/>Biggs 931.<br/>Birch-Hirschfeld 1050.<br/>Birchholz 571, 945.<br/>Bird 900.<br/>Birmingham 1060.<br/>Bitterfeld 935, 936.<br/>Blackmann u. Co. 975, 980.<br/>Blass 774, 827, 850.<br/>Blau 89, 681.<br/>Blennard 488.<br/>Bloch 1012, 1015, 1018,<br/>1021.<br/>Blochmann 5.<br/>Blondel 1023.<br/>Blum 376, 435, 566, 586,<br/>588, 589, 592, 593, 937,<br/>1053.<br/>Böhm 373, 374, 919, 956,<br/>987, 994, 997, 1039.<br/>Boehm 693.<br/>Börnstein 288, 307.<br/>Bössner 373, 374, 375, 446,<br/>447, 922.<br/>Bollinx 758.<br/>Boltzmann 33, 34, 90, 104.<br/>Bolz 359, 377, 415, 925.<br/>Bone 61, 62, 73, 307, 733,<br/>930, 953.<br/>Bonet 994, 995.<br/>Bopp 540.<br/>Borbeck 657.<br/>Borchardt 574.<br/>Bornemouth 363.</p> |
|---|--|--|

- Borrmann 429.  
 Bose 949.  
 Boston 657.  
 Boudouard 291, 328, 722,  
     808, 809, 949.  
 Bouguer 157.  
 Boutillier 761.  
 Bouvier 587.  
 Boyle-Gay-Lussac 51.  
 Boyle-Mariotte 106.  
 Bradbury 127.  
 Brähler 76.  
 Brandt 429, 1087.  
 Braun 100, 101, 104.  
 Breisig 848, 850.  
 Bremen 779.  
 Bremer 7.  
 Brennecke 573.  
 Breuille 758.  
 Briner 507.  
 Brodhun 137, 152, 161, 162,  
     165, 167, 168, 170, 171,  
     174, 175, 180.  
 Broni 778.  
 Brooks 321.  
 Brouwers, de 353, 378, 386,  
     387, 389, 398, 399, 563.  
 Browditsch 486.  
 Brunk 553, 554.  
 Brunner 766.  
 Bryan 131.  
 Buchwald 85.  
 Budde 579.  
 Bueb 6, 310, 352, 353, 354,  
     359, 361, 368, 377, 400,  
     437, 440, 442, 453.  
 Bühne 577.  
 Bünte 1040.  
 Bünz 291.  
 Bürgerhoff 386.  
 Buhe 1035.  
 Bullier 6, 693.  
 Bunck 216.  
 Bunsen 12, 77, 78, 87, 159,  
     256, 267.  
 Bunte, H. 63, 65, 75, 80,  
     226, 227, 231, 249, 251,  
     266, 273, 290, 303, 309,  
     349, 410, 437, 444, 446,  
     452, 736, 915, 927, 928,  
     942, 948, 951, 952, 955,  
     967, 976.  
 Bunte, K. 311, 340, 436,  
     540, 544, 1076.  
 Burckhardt 519.  
 Burgemeister 430, 719,  
     1033.  
 Burgess 216, 305, 309.  
 Burkheiser 479, 481, 554.  
 Burnley 363.  
 Busch 689, 1053.  
 Bussmann 1043.  
 Butzke 1037.  
**Callendar** 101.  
 Carbonium - Gesellschaft  
     944.  
 Carnegie 1055.  
 Caro 699, 739, 767.  
 Caron 328.  
 Carpenter 265, 317, 456,  
     919.  
 Casaubon 109, 111, 949.  
 Casteggio 778.  
 Catier 758.  
 Cederkreutz 267.  
 Cerofirm-Gesellschaft 989.  
 Cervenka 965.  
 Chander 822.  
 Chandler 570, 571.  
 Chardonnet 989.  
 Charles 227.  
 Charlottenburg 898, 916.  
 Chatelier, Le 54, 58, 76,  
     99, 100, 102, 103, 126,  
     272, 713.  
 Chicago 592.  
 Chimay 778.  
 Christoff 1089.  
 Church 542.  
 Clamond 947.  
 Claus 444, 487.  
 Clayton 4.  
 Clegg 4, 380, 410, 509,  
     567.  
 Clement 723.  
 Clipperfield 980.  
 Clouth 579.  
 Clowes 272.  
 Cöln 295.  
 Cohen 1056.  
 Cohn 8, 9.  
 Colman 406, 408.  
 Colmann-Smith 269.  
 Colombo 544.  
 Company du gaz de Lyon  
     941.  
 Congrève 5.  
 Connor 1021.  
 Conroy 157.  
 Constam 279, 280, 283, 288,  
     308, 309.  
 Cooper 487, 552, 554, 1048.  
 Coppée 661.  
 Coquillion 250.  
 Cornu 103.  
 Coronado 581.  
 Corsepius 179.  
 Coste u. Pownay 996, 997.  
 Court 61.  
 Coutell 937.  
 Covard 57, 930.  
 Cowan 626.  
 Coze 6, 350.  
 Cramer 1060.  
 Cremer 340.  
 Cripps-Niemann 568.  
 Croissant 974.  
 Cross Bevan & Beadle 990.  
 Crossley 621, 758.  
 Cruickshanks 947.  
 Cudell 1089.  
 Cuttler 779, 894.  
 Czako 719.  
 Czernowitz 778.  
**Dalen** 522.  
 Daniel 263.  
 Dannert 779, 899.  
 Danubia 626.  
 Darch 1022.  
 Darling 131.  
 Darmstadt 605.  
 Davey 758.  
 Davidson 359, 375, 377, 540.  
 Davis 280, 291.  
 Davy 113, 116, 118, 693,  
     1121.  
 Deau 543, 889.  
 Debruck 356, 913, 920, 922.  
 De Friese u. Co. 1058.  
 Deleuil 144.  
 Delion-Lepeu 758.  
 Dellwik 723, 778, 779, 782,  
     787, 788, 809, 810, 811,  
     812, 835, 843, 844, 845,  
     893, 894, 938.  
 Denayrouze 952, 953.  
 Dennis 263.  
 Dennstedt 291.  
 Dermett, Mc 24.  
 Deschamps 758, 761.  
 Dessau 377, 535.  
 Detlikon 1089.  
 Deutsche Continental-Gas-  
     beleuchtungsgesellschaft  
     5, 455.  
 Deutsche Gasglühlichtge-  
     sellschaft 980.  
 Deutscher Verein der Gas-  
     und Wasserfachmänner  
     995.  
 Deutzer Gasmotorenfabrik  
     737, 753, 759, 1089.  
 Dierfeld 1090, 1091.  
 Dieterici 50.  
 Dingler 85, 277, 284.  
 Dixon 57, 65.  
 Döbelstein 293.  
 Dobert 1035.

Döbereiner 1036.  
 Doesbourgh 900, 943.  
 Doherty 745.  
 Donkin 131.  
 Donovan 772.  
 Dortmund 908.  
 Dosch 643.  
 Doss 719.  
 Dott 484.  
 Dougal 484.  
 Dougan 485.  
 Dow 182.  
 Dowson 734, 1089.  
 Dowus 543, 889.  
 Draper 30, 35.  
 Drehschmidt 175, 215, 235,  
 250, 267, 269, 354, 355,  
 357, 364, 381, 920, 965,  
 969, 985, 995, 1015, 1044,  
 1045.  
 Drescher 672.  
 Drory 5, 270, 357, 377, 388,  
 406, 417, 420.  
 Drossbach 948.  
 Drumond 24, 773, 946.  
 Drysdale 19.  
 Dubochet 660.  
 Duckham 361.  
 Ducrsetet 102.  
 Dürr 201.  
 Dürrgoy 942.  
 Duff 755.  
 Duke 1037.  
 Dulong 108.  
 Duluth 657.  
 Dunker 758.  
 Dunnington 287.  
 Dupasquier 266.  
 Duplex 626.  
**E**belmen 660.  
 Echinard 544.  
 Eckhardt 202, 240, 241.  
 Edinbourgh 971.  
 Edler 1013.  
 Egy 334.  
 Ehrich 962, 965, 969, 980,  
 985, 993.  
 Eisele 587, 605, 1079.  
 Eisenach 386.  
 Eitle 383, 398.  
 Eitner 63, 166, 952.  
 Elberfeld 779, 842, 908,  
 990.  
 Ellery 438.  
 Elliot 463.  
 Elster 158, 188, 193, 195,  
 200, 457, 510, 513, 518,  
 519, 535, 538, 625, 626,  
 630, 633.

Emden 35.  
 Engelking 373, 374, 375.  
 Engels 581.  
 Enke 593.  
 Erdmann 263, 944.  
 Eschebach 1083.  
 Eschka 286.  
 Essen 657.  
 Europäische Wassergas-  
 A.-G. 808, 834, 837.  
 Everett 656, 657.  
 Evertsbusch 777.  
 Eycken 934, 935.  
**F**abre 653.  
 Fähnrich 5.  
 Fahnehjelm 775, 776, 947.  
 Fahrenheim 126, 127.  
 Farbenfabriken Bayer  
 779.  
 Farkas 965, 1006.  
 Fattinger 1039.  
 Faugé 761.  
 Fehlmann 268, 487, 488.  
 Feilitzsch 399.  
 Feist 589.  
 Feith 613.  
 Feld 421, 435, 441, 442,  
 443, 459, 463, 464, 479,  
 481, 482, 483.  
 Feldmann 36.  
 Ferrini 108.  
 Ferrum 779, 908, 909.  
 Féry 104, 127, 949, 954.  
 Fessenden 292.  
 Fichet 761.  
 Fides-Aldrige 387.  
 Fielner 280, 291.  
 Finkener 280.  
 Fischbach 270, 1070.  
 Fischer 76, 274, 275, 276,  
 277, 283, 287, 576, 733.  
 Fitzner 779.  
 Fleischer 7, 778, 808, 809,  
 811, 812, 835, 843.  
 Fleischhauer 429, 518.  
 Flemming 140.  
 Fliegner 571.  
 Flürscheim 529.  
 Förster 588, 614, 656, 657,  
 1057.  
 Förtsch 358, 359.  
 Fontana 772.  
 Forshaw 953.  
 Foucault 157.  
 Fouché 1059.  
 Foulis 379.  
 Fränkel 513, 703.  
 Francke 550, 551, 582, 593,  
 692.

François 660.  
 Frankenthal 6, 383, 385,  
 386, 487, 488, 636, 739,  
 767, 941, 942, 944.  
 Frankland 822, 1047.  
 Franklin 822.  
 Fraunhofer 31.  
 Freiburg 1057, 1090.  
 Freitag 1043.  
 Fresenius 267, 287.  
 Fresnel 1008, 1018.  
 Freytag 1011.  
 Friedmann 1059.  
 Friedrichshafen 944.  
 Friemann 1116; 1121.  
 Fritzsche 1030.  
 Fürth 552, 659.  
 Funk 452, 484, 486.  
 Fuss 1040.  
**G**ässler 373, 374, 376.  
 Gair 269.  
 Galizische Naphta-Pro-  
 duktingesellschaft 720.  
 Gall 562.  
 Galley 1056, 1061, 1063.  
 Gareis 519, 532.  
 Gary 334.  
 Gascho 1033.  
 Gaslight and Cocke Co.  
 302.  
 Gatehouse 709.  
 Gaulis 1029.  
 Gavrian 547.  
 Gay-Lussac 107.  
 Gedel 447.  
 Geipert 78, 104, 289, 290,  
 341, 343, 355, 358, 359,  
 435, 920.  
 Geißler 7, 25, 96, 139, 140.  
 Geitmann 1079.  
 Gellendien 383.  
 Gelsenkirchen 657.  
 Gennevilliers 299, 300.  
 Genty 755.  
 Genzken 515.  
 Geppert 604.  
 Gerdes 713, 1029.  
 Gerhard 543.  
 Gerum 216.  
 Geyer 434.  
 Gill 439.  
 Gillard 947.  
 Gilpin 137.  
 Gjedde 614.  
 Glaser 965.  
 Glasgow 808, 809, 810, 812.  
 Glass 974.  
 Glovers 361, 372.  
 Glower-West 364.

Gmelin-Kraut 214.  
 Göckel 225, 235.  
 Göhde 579.  
 Göhrum 293, 346, 352, 390,  
 396, 397, 399, 542, 985,  
 1032, 1035.  
 Göpfert 598.  
 Görger 1003.  
 Goethe 1.  
 Goldschmidt 70.  
 Gordon u. de Freytas 987.  
 Gorlitzer 1006, 1007.  
 Goutal 280.  
 Graefe 121, 887, 898.  
 Grätz 962, 965, 969, 980,  
 985, 993.  
 Grätzin 975.  
 Granger 6, 774, 891.  
 Grau 36.  
 Grellert 1067.  
 Griesheim-Elektron 466,  
 935, 936, 945.  
 Grix 1037, 1038.  
 Grossmann 386.  
 Grothe 451.  
 Grüner 328.  
 Gruner 277.  
 Güldner 758.  
 Gülich 258, 393, 600.  
 Guntz 328.  
**Haag** 441.  
 Haaren 482.  
 Haas 630, 634.  
 Haber 46, 76, 77, 85, 235,  
 262, 263, 307, 540, 602,  
 603, 604, 668, 767.  
 Haenlein 931.  
 Haensch 103.  
 Hagen 211, 593.  
 Hahn 230, 262, 439, 513,  
 536.  
 Halbmayr 983.  
 Hales 3.  
 Hall 486.  
 Hallock 682, 684.  
 Halon 450.  
 Halske 105.  
 Hamburg 295, 297, 779, 911.  
 Hardin 263, 268.  
 Hare 693.  
 Harper 603.  
 Harrison 1011, 1018, 1022.  
 Hartmann 100, 101, 104,  
 216.  
 Hase 655.  
 Haskins 723.  
 Hasse 409.  
 Hasse-Didier 345, 379.  
 Hasse-Vacherot 349.

Hausding 740.  
 Hauser 1055.  
 Haver 665.  
 Haydn 1022.  
 Heatfield 719.  
 Hechert 376.  
 Hefner 134.  
 Hefner-Alteneck 144.  
 Heidelberg 779, 908.  
 Heike 1058.  
 Heinecke 1060.  
 Heinz 229.  
 Heise 1083.  
 Helck 348, 453.  
 Helfers 668.  
 Helmholtz 71, 75.  
 Helsingfors 882.  
 Heltai 374, 376.  
 Hempel 205, 213, 214, 218,  
 220, 223, 227, 228, 234,  
 247, 248, 264, 266, 267,  
 269, 271, 272, 549, 665,  
 669, 779.  
 Heneberg 192.  
 Henfrey 4.  
 Henseling 928, 941.  
 Hepp 388.  
 Herlisheim 1006.  
 Hermann 157, 299.  
 Hermansen 336.  
 Herring 361, 1025, 1026.  
 Herschel 22.  
 Hertz 22.  
 Herzfeld 1058.  
 Hessenbruch 589.  
 Heurtey 761.  
 Heussler 1061, 1063, 1074,  
 1086, 1087.  
 Heynold 441.  
 Hildebrandt 993.  
 Hilgenstock 420, 553, 554.  
 Hill 487.  
 Hille 758.  
 Hilt 277.  
 Himmel 1001, 1033.  
 Hinmann 131, 262.  
 Hinrichsen 278, 280, 293.  
 Hirschsohn 100.  
 Hirzel 668, 670.  
 Hodsmann 77.  
 Hofmann 267.  
 Hohensee 252.  
 Holborn 99, 105.  
 Hole 602.  
 Holmes 434.  
 Holzwardt 1089.  
 Hood 485.  
 Horn 372, 377.  
 Horygarda 1058.  
 Houben 1071, 1086.

Houston 174.  
 Hovine-Breuille 758.  
 Hralowsky 1023.  
 Hudler 203-, 341.  
 Hübner 670.  
 Hünecke 687.  
 Humphrey 755, 808, 809,  
 810, 812, 1090, 1091.  
 Humphrey u. Glasgow 6,  
 779, 891, 894.  
 Hunt 450, 485.  
 Hurdelbrink 482.  
 Hyde 24.  
 Hydroapparate-Bauanstalt  
 640.  
 Hythe 900, 931.  
**Ibbsbüren** 778.  
 Ihering, v. 54, 69, 277, 725,  
 736, 737, 744, 750, 755,  
 758, 761, 762, 763, 768,  
 778, 841.  
 Illig 396, 399.  
 Imhof 1089.  
 Immenkötter 114.  
 Imperial Continental Gas-  
 Assoc. 5.  
 Indianapolis 657.  
 Innsbruck 375, 376, 984.  
 Intze 423, 491, 492, 493.  
 Isaria 626.  
**Jacob, Gebrüder** 612.  
 Jacobi 323.  
 Jacoby 722, 928.  
 Jäckel 399.  
 Jäger 471, 472, 523, 571.  
 Jahoda 327, 723, 724, 778,  
 782, 798, 801, 973, 974.  
 Jakob 1040.  
 Jaubert 936.  
 Jobard 774.  
 Jodlbauer 464.  
 Jörger 605.  
 John 30, 823, 949.  
 Johnson 591.  
 Joly 158.  
 Jona 977.  
 Jonas 961.  
 Jones 372.  
 Jorissen 269.  
 Joule 944.  
 Jüptner, v. 33, 60, 97, 100,  
 101, 651, 652, 653, 664,  
 677, 739, 742, 778, 811.  
 Junkers 111, 112, 114, 120,  
 121, 126, 131, 638, 639,  
 667, 1075.  
 Justh 7.  
**Käfer** 373, 374, 375.  
 Kaeser 595.

- Kämpfe, v. 361.  
 Kahlbaum 777.  
 Kaiser 522, 878.  
 Kalbfuß 502, 605, 666.  
 Kalle u. Co. 216.  
 Kamerlingh-Onnes 944.  
 Karger 975.  
 Karlsruhe 544.  
 Kaskee 24.  
 Keith 975, 980.  
 Keith u. Blackmann Co.  
   1042.  
 Kelbe 253.  
 Keller 587, 612, 613, 706,  
   1003, 1050.  
 Kempewerk 1058.  
 Kennelly 174.  
 Kerl 108.  
 Kerpely 747, 754, 755.  
 Kerris 348.  
 Kershaw 278.  
 Kestner 196.  
 Kilchmann 1034.  
 Killing 484, 948, 949.  
 King 195.  
 Kipp 703.  
 Kirchhoff 27, 28, 29, 30,  
   31, 35, 951.  
 Kirkham 773.  
 Kirsch 1058.  
 Kiss Osármás 719.  
 Kjeldahl 464, 465.  
 Klatte 983, 985.  
 Klebert 1009.  
 Klinghammer 96.  
 Klinkerfuß 1032.  
 Klönne 295, 371, 377, 378,  
   410, 411, 432, 436, 437,  
   469.  
 Knadt 775.  
 Knapp 975, 978.  
 Knappich 694, 706, 715,  
   1003, 1059.  
 Knoblauch 5.  
 Knoch 372.  
 Knublauch 440, 463, 465.  
 Knüpfer 631.  
 Kobbert 294, 295, 355, 364,  
   435, 533, 555, 635, 659,  
   881, 915, 917, 920, 923,  
   1029, 1036, 1057, 1088.  
 Koch 718.  
 Kölnische Maschinen-A.-G.  
   586.  
 Königsberg 292, 295, 482,  
   635, 779, 911, 917, 1056.  
 Körting 12, 294, 295, 302,  
   313, 314, 345, 354, 355,  
   356, 357, 358, 359, 368,  
   399, 400, 506, 532, 533,  
   546, 585, 590, 733, 734,  
   739, 757, 758, 761, 920.  
 Körting, A.-G. 1089.  
 Kohler 613, 614.  
 Kolbe 283, 288, 308, 309.  
 Kolliger 287.  
 Koppers 359, 370, 371, 372,  
   375, 377, 553, 661, 662,  
   663, 754.  
 Kordt 294.  
 Kraft 750.  
 Kramers 452, 779, 812, 846,  
   965.  
 Krassa 602, 603.  
 Kratky 1024.  
 Krause 373, 374, 375, 387,  
   479.  
 Kreisinger 334.  
 Krell 196, 197, 643.  
 Krell, jun. 643.  
 Kröhnke 573.  
 Kroeker 130.  
 Kromschröder 633.  
 Kropf 616, 954, 1061, 1064,  
   1070, 1076.  
 Krüss 143, 147, 157, 159,  
   162, 165, 175, 179, 181,  
   249, 1015, 1017, 1018.  
 Kubierschky 429.  
 Kuckuk 588, 718, 1090.  
 Kühling 253.  
 Kuntz-Krause 269.  
 Kunze 55.  
 Kurlbaum 31, 32, 105, 140.  
 Kurz 192.  
 Kutzbach 548.  
 Kuzel 7.  
**L**adenburg 77.  
 Lafourie 1003.  
 Lambert 131, 157, 158,  
   252, 271.  
 Laming 445, 446, 458.  
 Lampadius 5.  
 Lancauchez 740.  
 Landolt-Börnstein 50, 55,  
   70, 700, 927, 937.  
 Landsberg 674.  
 Lang 376, 584.  
 Langbein 129.  
 Lange 957, 1042, 1089.  
 Langen 670.  
 Langer 818, 941.  
 Langlet 127, 129.  
 Langley 15, 18, 37.  
 Langsingk 1020.  
 Laperent 275.  
 LARGERON 194.  
 Leather 363, 665, 667.  
 Lebedew 22.  
 Lebeis 961, 971, 978, 984,  
   985.  
 Lebon 4.  
 Le Chatelier 949.  
 Lechomette 361.  
 Lecomte 270, 1070.  
 Ledig 432, 433, 434, 518.  
 Leeds 1056.  
 Lees 487.  
 Leimbach 38.  
 Leipzig 376, 396.  
 Leisse 344, 357, 358.  
 Lempelius 1054, 1092.  
 Lenoir 1088.  
 Lenze 571, 593.  
 Leonardí 937.  
 Leopoldau 372.  
 Leroy 934, 935.  
 Lessing 369, 372.  
 Leuch 5.  
 Lewes 85, 295, 884, 919,  
   949, 1048, 1056.  
 Lewinson 1010.  
 Lewis 131.  
 Leyboldt 440, 441, 460,  
   567, 580, 583, 836, 917.  
 Liberty 175.  
 Licht 505.  
 Lichtenberg 589.  
 Liebenthal 36, 138, 141,  
   144, 147, 150, 177, 1013,  
   1021.  
 Lieckfeld 1089.  
 Liese 604.  
 Lietke 981, 982.  
 Limborsch von der Mersch  
   216.  
 Linde 944.  
 Linder 317.  
 Livesey 444.  
 Llewellyn Prices 677.  
 Lloyd 131.  
 Lock-Wood 591.  
 Löwe 262.  
 Löwenstein 981.  
 London 182, 1055.  
 Loos 653.  
 Lorie 719.  
 Louis 668.  
 Love 6.  
 Lowe 774, 779, 891.  
 Lubberger 549.  
 Lue 487.  
 Lückcrath 975.  
 Lürmann 278, 593, 658, 768.  
 Lukas 976, 980.  
 Lummer 1, 18, 29, 31, 32,  
   33, 34, 37, 90, 140, 153,  
   161, 162, 164, 165, 168,  
   171, 180.

Lund 357.  
 Lunge 221, 252, 267, 668.  
 Lunge-Köhler 548.  
 Lurtignon 50.  
 Luther 758.  
 Lux 121, 189, 204, 212,  
 254, 255, 256, 458, 459,  
 529, 676, 948, 1015.  
**M**acbeth 997.  
 Mac Cartley 263.  
 Mackenzie 1026.  
 Mackinney 182.  
 Magdeburg 887.  
 Mahler 77, 129, 130, 280,  
 287, 308, 312, 321.  
 Mailhe 929.  
 Mainz (Gasmesserfabrik)  
 536.  
 Malam 632.  
 Mallard 54, 58, 272.  
 Maluquer 544.  
 Manne-mann 967, 968,  
 1106.  
 Maréchal 1013, 1015.  
 Margate 635.  
 Mariendorf 295.  
 Marienhütte, A.-G. 1089.  
 Marion 720.  
 Mariott 406, 625, 883.  
 Marischka 754.  
 Markus 6, 685.  
 Marsh 630, 639.  
 Marten 164, 169, 175.  
 Martin 361, 592, 687.  
 Mash 90.  
 Mathews 4.  
 Matignon 70.  
 Matwins 486, 488.  
 Maul 977.  
 Mauriceau 269.  
 Mausers 1058.  
 Mayer 55, 75, 83, 268, 279,  
 315, 323, 487, 488, 650,  
 722, 928, 941, 942, 951,  
 953, 967, 976, 995.  
 Meiers 295, 296.  
 Menzel 898.  
 Merz 447, 667, 941.  
 Messinger 636, 1026, 1055,  
 1060, 1077, 1083, 1055.  
 Mesuré 102.  
 Metzger 1032, 1033.  
 Meunier 60.  
 Meurer 1074, 1079, 1080,  
 1081, 1084, 1087, 1088.  
 Meuschen 719.  
 Meyer 486, 745, 1032, 1034,  
 1035.  
 Michel 383, 984.

Mittelstenseid 1040.  
 Möllers 278, 398, 541.  
 Mohr 253, 278.  
 Moissan 6, 693, 694, 702.  
 Monasch 134.  
 Mond u. Co. 739, 766, 818,  
 941.  
 Mons 27.  
 Mont Cenis 553.  
 Montgolfier 932.  
 Moor 7, 23, 554.  
 Morgan 755.  
 Moritz 934.  
 Morse 105.  
 Muchall 999.  
 Muck 279, 280.  
 Mülheim 657, 1057.  
 Müller 210, 269, 357, 439,  
 502, 519, 525, 545, 586,  
 664, 668, 994, 995.  
 München 377, 396.  
 Muencke 208.  
 Murdoch 4, 142, 772.  
 Muthmann 71.  
**N**achtweh 397.  
 Nadrowski 977.  
 Naef 229.  
 Nägel 546.  
 Narbonne 772, 947.  
 Nasse 274, 278.  
 Naumann 40.  
 Nauss 42, 460.  
 Nernst 7, 23, 76, 949.  
 Nestler 598.  
 Neungamme 719.  
 Neuhäusel 778.  
 Neurdenburg 676, 901, 943.  
 Newberry 272.  
 Newbigging 364.  
 New Brunswick 657.  
 Nichols 22, 142, 156, 948.  
 Nicol 102, 103.  
 Niemann 502.  
 Niermayer 268.  
 Niesky 1090.  
 Nine Elms 362.  
 Nisiolowsky-Gawin 1010,  
 1015, 1023, 1024.  
 Nouël 102.  
 Novak 1037, 1038.  
 Nowo Usensk 719.  
 Nuschei 974.  
 Nußbaum 1048, 1055.  
**O**derberg 778.  
 Oechelhäuser, v. 5, 263,  
 428, 668, 931, 942, 945.  
 Öhlmann 613.

Örlikon 933.  
 Österr. Gasbeleuchtungs-  
 gesellschaft 5.  
 Offerhaus 207.  
 Ohm 600.  
 Olschewsky 229.  
 Onslow 975.  
 Orloff 930.  
 Orsat 227, 229, 230, 231,  
 233.  
 Ost 270.  
 Osterfelde 777.  
 Othmer 1018, 1047, 1048,  
 1049.  
 Ott 109, 288, 289, 290, 311,  
 354, 356.  
 Otto, Dr. C. 280.  
 Otto 553, 661.  
 Ovitz 291, 293.  
**P**aal 216.  
 Pagenstecher 361.  
 Paget 320.  
 Pannertz 270, 436, 438, 439.  
 Parker 305.  
 Parr 126, 130, 131, 293.  
 Pary 373, 374, 746.  
 Paschen 36.  
 Paterson 140, 152.  
 Paulus 157.  
 Pausinger 616.  
 Paxmann u. Co. 758.  
 Pechelbronn 719.  
 Peifer 887.  
 Peischer 359, 371, 373, 374,  
 375, 376, 423, 611, 613,  
 625, 651, 984.  
 Pelouze 4, 417.  
 Pensky 666.  
 Perl 1037.  
 Perrisini 413.  
 Perrodil 707, 708.  
 Petavel 139, 140.  
 Peters 130, 354, 370, 372,  
 661.  
 Petit 50.  
 Petsch 582, 583.  
 Pettau 777, 778, 852.  
 Pettenkofer 651, 652, 1047  
 Petterson-Palmquist 235,  
 251.  
 Pfeiffer 230, 231, 249, 263,  
 960, 974.  
 Pfücke 513, 529.  
 Pfordten 213.  
 Pforzheim 779, 907.  
 Pfudel 533, 553.  
 Pharos 1008.  
 Picke 775.  
 Pickel 4.

- Pictet 987.  
 Pier 55.  
 Pierson 755, 758.  
 Pietra Mala 719.  
 Pintsch 241, 261, 336, 515,  
 536, 550, 638, 671, 674,  
 683, 756, 775, 777, 779,  
 1003, 1005, 1006, 1036.  
 Pippig 487.  
 Pirano 778.  
 Pitot 640.  
 Plainfield 657.  
 Plaissetty 989.  
 Planck 34.  
 Plauen 400, 908.  
 Pleyer 121.  
 Pohlig 300.  
 Pohmer 294, 295, 344, 345,  
 545.  
 Pole 568, 570, 571.  
 Pole-Monnier 945.  
 Poncza 545.  
 Porges 1077.  
 Porter 219, 293.  
 Posen 908.  
 Post 229.  
 Powel 660.  
 Prantl 643.  
 Prasch 715, 1006, 1007.  
 Prechtl 5.  
 Prenger 293, 294, 353, 354,  
 357, 370, 559.  
 Presser 1026.  
 Preuner 938.  
 Princep 97.  
 Puchalla 898.  
 Purkinje 17, 167, 174.  
  
**Q**uaglio 773.  
 Quincke 818.  
 Quinquet 2.  
  
**R**ace 267, 485.  
 Radkersburg 778.  
 Ramseyer 307.  
 Rateau 533.  
 Rathenau 698.  
 Rathenow 1088.  
 Rauch 373, 374, 375, 376.  
 Raupp 121, 457.  
 Rayleigh 262.  
 Recknagel 643.  
 Reinhard 373, 374, 1042.  
 Reinhardt 375.  
 Reiss 971.  
 Reissig 653.  
 Reitmayer 779, 789, 846,  
 865.  
 Remmler 1040.  
  
 Reutter 415, 432, 540, 564,  
 896.  
 Reynold 570.  
 Rhodau 464.  
 Rice 175.  
 Richard 202.  
 Richter 1090.  
 Rideal 1047.  
 Ridschoten, van 386.  
 Riedinger und Blau 681.  
 Riedl 589, 932, 944, 945.  
 Riegl 388.  
 Riemann 373, 375, 376.  
 Ries 6, 367, 370, 396.  
 Righi 22.  
 Rincker 676, 900, 943.  
 Ritschie 157.  
 Rixdorf 375, 376.  
 Roberts 937.  
 Robin 994.  
 Roche 623.  
 Rochleder 285.  
 Rochlitzer 383.  
 Röch 1061, 1068, 1071, 1073.  
 Rödenböck 1025, 1029, 1061,  
 1083, 1087.  
 Röhrich 358.  
 Rogers 1055.  
 Rohl 605.  
 Roland 131.  
 Rombach 631.  
 Rood 175.  
 Roots 533.  
 Rosenfels 1037, 1041.  
 Rositz 487.  
 Ross 267, 485, 665, 667,  
 668.  
 Rosskothen 1043.  
 Rossum du Chatel, v. 898.  
 Rostin 1034.  
 Rothgießer 975.  
 Rothmund 942.  
 Rott 928.  
 Rottenmann 1006.  
 Rousseau 178.  
 Rubens 22, 31, 950.  
 Rubner 1049.  
 Rüdorff 159, 234, 284.  
 Rumford 158.  
 Rummens 361.  
 Runge 274.  
 Russel 561, 836, 951.  
 Rutten 269, 345, 352, 410,  
 436, 437, 615.  
 Rzeszow 778.  
  
**S**abatier 927, 928.  
 Sachse 1030.  
 Sackur 942.  
 Salomon 485.  
  
 Salzenberg 436, 975.  
 Samoylowicz 668.  
 Samtleben 483, 488.  
 Saulmann 1036.  
 Schäfer 14, 321, 335, 348,  
 367, 406, 413, 415, 461,  
 464, 568, 572, 575, 592,  
 613, 635, 646, 1019, 1047,  
 1055, 1088, 1090.  
 Schäffer 613.  
 Schanz 20, 21, 1049, 1050.  
 Scheidhauf 71.  
 Scheithauer 677.  
 Scheller 886.  
 Schertel 719.  
 Scheurer 196.  
 Scheuss-Cool 491.  
 Schiedam 386.  
 Schiele 5.  
 Schill 789.  
 Schilling 256, 257, 258,  
 337, 349, 567, 588, 630,  
 1023, 1024, 1058, 1067,  
 1079, 1084, 1090.  
 Schirmer-Richter 633.  
 Schläpfer 280, 288, 309.  
 Schlagdenhaufen 328.  
 Schlegel 589.  
 Schlegelmilch 587.  
 Schleicher 541.  
 Schlemming 394.  
 Schloßhof 778.  
 Schmidt 103, 441, 917.  
 Schmiedt 77, 86, 472, 473,  
 953.  
 Schneider 542, 623, 631.  
 Schnorrenberg 525.  
 Schöne 1068, 1079, 1081,  
 1082, 1083.  
 Scholz 969, 980, 984, 985,  
 986, 1025, 1049, 1050.  
 Schomburg 1088.  
 Schondorff 276.  
 Schott 92.  
 Schreiber 85.  
 Schreiber 263, 334, 655.  
 Schuchardt 965.  
 Schuckert u. Co. 934, 936.  
 Schück 946.  
 Schüll 541.  
 Schütte 550, 664, 1035.  
 Schützenberger 328.  
 Schuhmacher 196.  
 Schultz 682.  
 Schulz 775.  
 Schulze 1058.  
 Schumann 494, 1024.  
 Schuster 486.  
 Schwabing 1079.  
 Schwackhöfer 108.

- Schwarzkopf 1033.  
 Schweizer 340, 741.  
 Searle 333.  
 Seeger 1060.  
 Seeliger 1021.  
 Seger 197.  
 Seidel 548.  
 Selas 1040.  
 Selligue 774.  
 Senderens 927.  
 Sengers 542.  
 Sensenschmidt 994, 995.  
 Seraing 660.  
 Settle-Padfield 361.  
 Sheffield Gaslight Comp.  
 601.  
 Siegener Stanz- u. Hammer-  
 werke 579.  
 Siemens, Friedrich 217,  
 1002.  
 Siemens, v. 101, 105, 140,  
 174, 1029, 1055, 1071,  
 1077, 1083, 1085, 1086.  
 Simmering 494, 593, 636.  
 Simon 644.  
 Simpson 307, 578.  
 Sinell 533.  
 Siningh 372.  
 Siry, Lizars & Co. 597.  
 Sommerfeld 631, 640.  
 Sommerville 268.  
 South-Suburban & Co. 636.  
 Spaleck 1061, 1068, 1075.  
 Spiegl 667.  
 Spitta 156.  
 Spitzer 1003, 1006, 1007.  
 Sprung 150.  
 Stack 640.  
 Stammer 328.  
 Staus 736.  
 Stavorinus 444, 481.  
 St. Claire Deville 75, 309,  
 328, 650, 884, 918, 953.  
 St. Diego 581.  
 Steil 715.  
 Steilberg 975, 978, 979.  
 Steinicke 969.  
 Steinle 92.  
 Steinmetz 19.  
 Stern 987.  
 Steuernagel 432, 466, 475,  
 531.  
 Stigler 155, 167.  
 Stinnes 872.  
 Stockhausen 20, 21, 1025,  
 1026, 1049, 1050.  
 Stoecker 121.  
 Stolzenberg 263.  
 Stone 5, 1002.  
 Storl 400.
- Strache 6, 122, 139, 282,  
 303, 327, 376, 723, 798,  
 801, 824, 836, 841, 920,  
 925, 954, 973, 1056.  
 Strohmeier 391.  
 Strong 773, 790.  
 Stuckert 262.  
 Stut 675.  
 Stuttgart 396, 563, 983,  
 985.  
 Süßmann 80.  
 Sulzer 546.  
 Sumpner 179, 1021.  
 Superior 657.  
 Sweet 1017.  
 Swetz 576.  
 Swindon 900, 931.  
 Sziget 719.
- T**aczak 279, 280, 293.  
 Tailless Fuel Syndicate 307.  
 Talbot 758.  
 Tasche 653.  
 Taylor 263, 663, 758.  
 Teichel 75, 951, 967, 976.  
 Tenkhoff 348.  
 Tenner 696.  
 Teodorowicz 387, 887.  
 Terhaerst 303, 337, 346,  
 356, 364, 381, 914, 920,  
 921, 922, 923.  
 Terneden 458.  
 Tesla 7.  
 Tessié du Motay 947.  
 Teulon 361.  
 Teune 267.  
 Thau 397.  
 Theissen 421, 744.  
 Thiele 383.  
 Thieme 294.  
 Thim 961.  
 Thörner 247.  
 Thomas 644.  
 Thompson 140.  
 Thomson 50, 131.  
 Thornycroft u. Co. 758.  
 Thorp 92, 631.  
 Thovert 181.  
 Thyssen u. Co. 775, 1106.  
 Tieftrunk 269.  
 Tissandier 937.  
 Töpler 211.  
 Tollen 462.  
 Tonacz 612.  
 Tormin 974.  
 Towe 961.  
 Trachmann 487.  
 Traser 543, 667.  
 Traubel 716.  
 Trautmann 980.
- Trautwein 356, 381, 920,  
 922, 923.  
 Trebb 472, 577.  
 Trees 611.  
 Trenton 657.  
 Trier 779.  
 Tschoffen, v. 5.  
 Tucker 1059.  
 Tuft 175.  
 Tumlirz 31, 36.  
 Turk-Maly 758.  
 Tusche 194.  
 Tysoe 465.
- U**bbelohde 251, 252, 667.  
 Uber 968.  
 Uhersko 1006.  
 Uhlig 543.  
 Ulbricht 179.  
 Ulzer 974.  
 Ungerhofer 185.  
 Uppenborn 1015, 1017,  
 1024.  
 Utrecht 901.
- V**arrentrapp 290.  
 Vedsyssel 719.  
 Veitmayer 1008.  
 Verdier 104, 361.  
 Verein der österreichischen  
 Gas- und Wasserfach-  
 männer 147, 165, 166,  
 598.  
 Vernon-Harcourt 152, 486.  
 Versuchsanstalt für Gas-  
 beleuchtung 147.  
 Viehoff 410.  
 Vieweg 634.  
 Violle 139, 140, 145, 153.  
 Voeger 19, 20, 21.  
 Vogel 267, 271.  
 Voigt 55, 522, 733.
- W**agner-Fischer 725, 736.  
 Waldram 1022.  
 Wall u. Co. 900, 931.  
 Walter 344, 372.  
 Wanner 103, 104, 342.  
 Wareham 554.  
 Waring 943.  
 Warner 626.  
 Warsteiner Gruben- und  
 Hüttenwerke 775.  
 Warsteiner Tropfstein-  
 höhlen 947.  
 Wasserbillig 778.  
 Watson 4.  
 Weber 35, 167, 168, 1010,  
 1013.

- Webster, John 4.  
 Weck 478, 538.  
 Wedding 37, 767, 768, 966,  
 980, 1045, 1051.  
 Weichardt 1047.  
 Weimar 375.  
 Wein 269.  
 Weinbeer 1023, 1052.  
 Weinhold 101.  
 Weinland 253.  
 Weiss 296, 301, 355, 356,  
 357, 359.  
 Weißkopf 345, 356, 357, 358,  
 359.  
 Wellard 623, 626.  
 Welsbach, Dr. C., Auer, v.  
 5, 6, 7, 9, 24.  
 Wendt 1041, 1042.  
 Wenham 1002.  
 Wenzel 293, 294, 295.  
 Wernecke 668, 669.  
 Western United Gas and  
 Electric Comp. 590.  
 Weyrich 2.
- Wharton 292.  
 Wheatstone 31.  
 Wheeler 216, 291, 293, 305,  
 309, 733.  
 White u. Travser 951, 952.  
 Wiborg 96, 97, 777.  
 Widdel 387.  
 Wiedemann 55.  
 Wielandt 723.  
 Wien 5, 29, 33, 99, 372,  
 375, 898, 916.  
 Wien-Simmering 375, 468,  
 474, 910.  
 Wightrick 543, 667.  
 Wild 131.  
 Wilhelmi 211.  
 Williams 275.  
 Willinger 1007.  
 Will-Varrentrapp 549.  
 Wilson 61, 693, 697, 702,  
 1070, 1089.  
 Wilton 554.  
 Winkler 205, 209, 213, 215,  
 221, 223, 233, 247, 249,
- 250, 251, 253, 263, 265,  
 269, 270, 271.  
 Winsor 4, 5.  
 Winter 985, 1055.  
 Winzler 4.  
 Wislicenus 270.  
 Witt 1045.  
 Witzeck 461, 486, 488.  
 Wobbe 121, 1023, 1080,  
 1082, 1083.  
 Wöhler 693.  
 Wolf 965, 1116, 1121.  
 Wolfram 292, 410, 428, 436,  
 440, 441, 444, 482.  
 Wolter 900, 943.  
 Woodall 361, 363, 364.  
 Woodall-Duckham 380.  
 Woodall-Moon 996.  
 Woodwell 22.  
 Worstall 212.  
 Woulf 234, 235.  
 Wunderlich 1001, 1040.  
 Wurtz, A. 822.  
 Wurtz, Prof. H. 823.

## Sachregister.

- A**blendung falschen Lichtes 166.  
Abbohren des Rohrnetzes 597.  
Abbrennen, Formen und Härten der Glühkörper 994.  
Abendgas und Tagesgas 630.  
Abgase, Abkühlung 1062; Analyse 342; Ableitung ins Freie 1067; Temperatur bei Wassergasanlagen 906.  
Abgasventil der Type E mit geringer Bauhöhe 830.  
Abgasventile der Wassergasgeneratoren 830; hydraulische 831.  
Abhitzeöfen von Koppers 662.  
Abhorchen bei Undichtheiten 617.  
Abklingen der Strahlung 71.  
Abkühlung der Flammen durch feste Körper 88.  
Ableuchten 618.  
Abriecken bei Undichtheiten 617.  
Absaugen der Gase beim Füllen der Koksöfen 663.  
Abschlußstöpfe 587.  
Abschneiden der Gußrohre 582.  
Abseifen bei Undichtheiten 617.  
Absoluter Druck und Überdruck 183.  
Absolut schwarze Körper 27; als Lichteinheit 141; Spektrum 31.  
Absorption, Analyse 216; auswählende 26; bei Gasanalyse 212; des  $CS_2$  durch Holzkohle 488, Emission und Strahlungsgesetze 25; in festen Stoffen 252; in Flüssigkeiten 252; in  $MnO_2$  267; von  $H_2$  216; von CO durch Calciumcarbid, Franks Verfahren 942; Schwächung durch 156; und Strahlung der Gase 31.  
Absorptionsfarben 27.  
Absorptionsmittel für  $CS_2$  488.  
Absorptionspipetten für feste Stoffe 224; für zusammengesetzte 225.  
Absorptionsvermögen für langwellige Strahlen 26; und Emissionsvermögen 25.  
Absorptionswärme, Gasuntersuchung mittels 262.  
Absperren von in Betrieb stehenden Leitungen 586.  
Absperrvorrichtungen 536.  
Abstichcarbid und Blockcarbid 696.  
Abtreibeapparat 549.  
Abwässer, Behandlung der 550.  
Abzugsschlote 560.  
Acagin 710.  
Acetylen 693; Acetylene dissous 716; Acetylenegas, Anwendung und Verkaufspreis 715; für Waggonbeleuchtung 1007; Eigenschaften des 711; Entzündungsgeschwindigkeit des 713; Flammentemperatur 711; flüssiges 714; Gasbehälter für 710; Geruch des 711; Geschichte des 693; Gefahren 694; Giftigkeit 714; Glühlichtbrenner 1002; Polymerisation des 307; durch Erhitzung und Zersetzung bei 701; Polymerisation der Erzeugung 701; Reinigung 711; Synthese von 930; und Luftgas, Vergleich zwischen 716; und Ölgas, Explosionsfähigkeit der Gemische von 713; Verbrennung des 714; Verunreinigung und Zusammensetzung 709; Waggonbeleuchtung mit Blaugas und 1007; Ölgasgemisch 1005; Wasserstoffherzeugung aus 943; Zersetzung des 712; Zersetzungstemperatur 70.  
Acetylenapparate, Bedingungen für gute 701.  
Acetylenbrenner, Billwiller 1002.  
Acetylenentwicklung, Dämpfung der 701.  
Acetylenentwickler, Einteilung der 702; erforderliche Wassermenge 701; freierwerdende Wärme bei 700; Hera-Prometheus 705.  
Acetylenflamme, Leuchtkraft der — und andere Kohlenwasserstoffe 715.  
Acetylenkupfer, Bildung von 713.  
Adiathermane, thermochroische Körper 26.  
Ärmere Gase unter höherem Druck, Vorteile der Verteilung 976.  
Aerogenluftgasapparate 689.  
Aerostat zur Luftregulierung beim Hängelicht 970.  
Alarmdruckmesser 193.  
Albedo der reflektierenden Flächen 1021.  
Alkalien, Notwendigkeit der Gegenwart von — bei der Reinigung 447.

- Allgemeine Bestimmungen für Kohlengaswerke 1111.
- Ammonik 547; Analyse, Bearbeitung und Verwertung 540; Bestimmung des löslichen in Reinigungsmasse 464; Gewinnung des 549; Bindung mit Schwefelsäure 426; und Cyanentwicklung 315; und Cyanverbindungen im Wassergas 814; und Teer in uncarburiertem Wassergas 821; Zersetzung des 315.
- Ammoniakbestimmung im Ammoniumsulfat 552.
- Ammoniakfabrik 562.
- Ammoniakgewinnung beim Halbwassergasverfahren 742.
- Ammoniakgruben, Größe der Teer- und 422.
- Ammoniaksalze, Zersetzlichkeit der 426.
- Ammoniakwasser, Darstellung von konzentriertem 550; -gruben und Teer 422.
- Ammoniumsulfat, Erzeugung von 551; Untersuchung 552.
- Ammoniumsulfide, Bindung des  $CS_2$  durch 487.
- Analysenapparate, Wichtigkeit registrierender 237.
- Anbohrungen und Zuleitungen 584; unter Druck 584.
- Anemometer 639.
- Anheizen und Austrocknen der Retortenöfen 339.
- Anlagekapital bei verschiedenen Beleuchtungsarten 1053.
- Anlagekosten 557.
- Anlage- und Betriebskosten und Zusammensetzung des Ballongases aus Steinhohlengas 943.
- Ansaugkammer der Gasglühlichtbrenner 957.
- Ansaugung des Gases 203.
- Anschlußdichte durch Automaten, Vermehrung der 635; Steigerung der und Herabsetzung des Gaspreises 1054.
- Anstrich 608.
- Anthrazit, Halbwassergas aus 736.
- Antifluktuatoren 513.
- Antiklampe 2.
- Anwendung des Gases, die erste 3.
- Anzeigefehler, zulässige bei Gasmessern 637.
- Appoltofen 660.
- Arbeitsaufwand beim Schlacken der Generatoren 869.
- Arbeitslöhne beim Kammerofenbetrieb 375.
- Argandbrenner 1002.
- Argands Hohldocht 2.
- Armgas und Reichgas 655.
- Arsenwasserstoffe aus technischem Wasserstoff, Entfernung der 937.
- Aschenbestimmung, Ungenauigkeit der 286.
- Aschengehalt der Kohle 286.
- Askania, Gasfernzünder 1031; Luftdruckzünder 1030.
- Aspiratoren 207.
- Atmosphäre, metrische 183; Wassersäule und Quecksilbersäule 183.
- Atmosphärischer Druck, normaler 182.
- Atomgewichte 1108.
- Auer-C-Brenner 959; Gasverbrauch und Lichtstärke 960.
- Auermetalle, Entzündungstemperatur der 1039; I. und II. 1039; Bearbeitung 1039.
- Aufbewahrungs- und Transportgefäße für Gasproben 219.
- Aufhängehöhe der Laternen 1001; günstigste der Lichtquellen 1014; für Lichtquellen eingeschlossener Räume 1022.
- Aufhängeringe, Prüfung der 993, für Hängelichtkörper von Ehrich und Graetz 993.
- Auflagerbänke bei Gasbehältern 498.
- Aufnahmevermögen, Bestimmung des — von Reinigungsmasse für  $H_2S$  461.
- Aufspeicherung des Gases 489; und Messung 404.
- Aufstellungsort der Hausgasmesser 630.
- Auftauschraube bei Laternenhähen 999.
- Auftrieb eines Gases 931; der warmen Luft 932.
- Ausbeute, Eigenschaften und Zusammensetzung des Teeres 541.
- Ausbrennen des Graphits 347.
- Ausbrennvorrichtungen 347.
- Ausdehnung, angenommene und Gesetzmäßigkeit der 90.
- Ausflußmenge aus Rohrleitungen, stündliche 1100.
- Ausgangsrohre der Gasbehälter 501.
- Ausgasung des Kokes 305.
- Ausgebrauchte Reinigungsmasse, Untersuchung 462.
- Ausgleichstücke, Burgmannmuffe 405.
- Ausnutzung der Heizwirkung 12.
- Außenbeleuchtung, Hängelicht für 971.
- Außenlampen, Lichtstärke und Gasverbrauch der 972.
- Außerbetriebsetzung von Gasbehältern 506.
- Ausstezeit und Temperatur in Vertikalöfen 353.
- Ausstoßmaschine für Koksöfen 662.
- Austrocknen und Anheizen der Retortenöfen 339.
- Auswaschung von  $H_2S$  und  $NH_3$ , Felds Reinigungsverfahren zur 482.
- Autocarburation von Lewes 919.
- Automaten, Hebung des Gasverbrauches durch 635; durchschnittliche Jahresabgabe pro 636.
- Automatische druckgebende Regler 516.
- Automatische Bahn 516; automatische Zündung mit Hilfe von Selenzellen 1009.

- Autopreßgaslampe von Liedke 981; Gasverbrauch der 983.
- Ba(OH)<sub>2</sub>**, Bestimmung von CO<sub>2</sub> durch 253.
- Backen mit Gas, Einrichtungen zum Braten und 1083.
- Backfähigkeit, Schlammgehalt der Kohle 291.
- Ballonfüllstationen 944.
- Ballon, Gasverlust der 945; Füllung im Felde 945; Stoffe, Penetration der 946.
- Ballongase, Allgemeines und Geschichtliches über — und Wasserstoff 931; aus Steinkohlengas, Anlage- und Betriebskosten und Zusammensetzung des 943; Verbrauch in Deutschland 932.
- Barometerstand, Korrektur auf 0° 1099.
- Bassins, Bleche, Berechnung der 492; gemauerte oder betonierte und schmiedeeiserner 491; Konstruktion, Gasbehälter 491; mit verringerter Wasserfüllung 491.
- Baumwollgarn 988.
- Behälter, Dimensionen nach den Gasbehälternormalien 496; Druck 498; Gang, Kontrolle des 505, Glocken, Armaturen der 496; Glocken, teleskopierte 496; Größe und Betriebspausen in Ölgaswerken 677; Konstruktionen, statische Berechnung für 502; ohne Wasserabschluß von Baudouin 503.
- Behälterstandzeiger 502.
- Beheizung der Gasbehälter 506.
- Beleuchtung, Anlagen, selbständige mit uncarburiertem Wassergas 873; Arten, Entwicklung der 2; Leistung für 1 *M* Verkaufspreis bei verschiedenen 1053; Leistung pro 1 *M* Anlagekapital bei verschiedenen 1053; Aufsuchung des Punktes geringster 1017; Bedingungen einer guten 1; Blendung durch ungleichmäßige 1050; Gleichmäßigkeitsgrad 1015; von Plätzen 1017; kleinster Orte 274.
- Beleuchtungsfläche, graphische Darstellung der Lichtverteilung durch die 1015.
- Beleuchtungskörper, Befestigung der Rohre und 609.
- Beleuchtungsmesser von Houston und Kenelly 174; von Martens 170.
- Beleuchtungsmittel, Betriebssicherheit verschiedener 1047; Erwärmung der Luft bei verschiedenen 1049; Erzeugungskosten und Verkaufspreis 1052; Feuer- und Explosionsgefahr bei verschiedenen 1051; Gefährlichkeit 1051; hygienischer Vergleich der 1110, Vergleich der 1110; Vergleich in technischer Beziehung 1043; Verunreinigungen der Zimmerluft 1047; Verwendung zu anderen Zwecken 1046; wirtschaftlicher Vergleich 1052.
- Beleuchtungsstärke 132; Berechnung 1012; bei Innenbeleuchtung 1020; bei mehreren Lichtquellen 1014; Beurteilung der Straßenbeleuchtung nach horizontaler oder vertikaler 1015; Cohns Forderung für die 8; graphische Methoden zur Bestimmung 1013; Rechentafeln von Bertelsmann für 1016; zweckmäßige 1010.
- Beleuchtungstechnik, Ziele der 1.
- Benoidluftgasapparate 689.
- Benzin, gleichmäßige Verdampfung des 686; Lagerung 687; spezifisches Gewicht, Tension und Siedepunkt 686; Zufuhr zu den Luftgasapparaten 689.
- Benzindämpfe, Explosionsfähigkeit 685.
- Benzol, Bestimmung 263; Dampfdruck desselben im Teer 318; Gewinnung aus dem Gas 318; Gewinnung aus Koksöfen 659; Luftgas 687.
- Benzolcarburiertes Wassergas, Leuchtkraft 883.
- Bestrahlung unter beliebigem Einfallswinkel 133.
- Betriebsanlagen in Kohlengaswerken, Unfallverhütung bei 1112.
- Betriebskosten und Anlagekosten 377; für uncarburiertes Wassergas 867.
- Betriebsrohre der Ölgaswerke 677.
- Bildungswärme des Wassergases 800.
- Bituminöses Brennmaterial, Halbwassergas aus 734.
- Blaugas 680; Eigenschaften und Bestandteile 682; Erzeugung des flüssigen 681; Einrichtungen für stabile Flammen 683; Inhalt der Flaschen 682; Leuchtkraft, Brenndauer und Kosten, Seebeleuchtung mit 1008; Straßenbeleuchtung und sonstige Anwendung 684; Waggonbeleuchtung mit Acetylen und 1007.
- Bleicarbonat, Prüfung mit 266.
- Bleidraht und Riffelblei zur Muffendichtung 577.
- Blei, Muffendichtung mit 577.
- Bleipapier, Empfindlichkeit des 265.
- Bleiwolle von Bühne 577.
- Blenden, Schwächung durch 156.
- Blendung durch Differenzen der Beleuchtung 21; durch unruhige Lichtquellen 1050; durch ungleichmäßige Beleuchtung 1050; durch Wechsel der Beleuchtungsstärken 21; Vermeidung derselben bei Innenbeleuchtung 1023.
- Blitzableiter an Gasbehältern 503; an Gasleitungen, Anschluß von 606.
- Blitzfeuer 1008.
- Blockcarbid und Abstichecarbid 696.
- Blutlaugensalz, direkte Bildung von 444.
- Bogenlichteinheit von Thomson 140.
- Bombe, Berthelots kalorimetrische 128.
- Bougie decimal 144.

- Brände, Verhinderung 294.  
 Braunkohle, Halbwassergas aus 738; Gas 635; Straches Wassergasgenerator zur Vergasung von 852; Typen 277.  
 Braybrenner 1002.  
 Brennbare Gase und Sauerstoffgehalt, Flammenprobe auf 272.  
 Brennbarkeit des Kokes 392.  
 Brenner der Gasheizöfen 1068; die ersten 5; für Gasglühlicht 954; für selbstleuchtende Flammen 1002; Konstruktionen für stehendes Gasglühlicht 959; Laternen und Kandelaber 997; und Verbrauchapparate für das Gaswerk, Instandhaltung der 1093.  
 Brennerkopf der Glühlichtbrenner 958.  
 Brennmaterial für uncarburiertes Wassergas 867; Verbrauch desselben für verschiedene Lichtquellen 1044.  
 Brutkasten 624.  
 Bügeleisen, Erhitzer mit Druckluft 1087; mit Innen- und Außenheizung 1087.  
 Bürette von Bunte 223; mit Einschnürung zur genauen Ablesung 218.  
 Bürstenwäscher, System Holmes 434.  
 Bunsenbrenner 77; Arbeitsweise 80; Bestandteile 78; der Gaskocher 1079; Geräusch des 87; ungenügende Mischung 87; verbesserte Form 79; Zurückschlagen 80.  
 Bunsenflamme, Temperatur in der 85.  
 Bypassklappe 535.
- Calcium, Chlormagnesium 629; Wasserzersetzung durch 936.  
 Calciumcarbid, Eigenschaften 698; Erzeugung 695; Franks Verfahren der Absorption von CO durch 942; Geschichte des Acetyls und des 693; jährlicher Verbrauch 694; Verpackung 698; Verunreinigungen 698; Wertbestimmung 699; Zersetzung desselben mit Wasser 700; Zersetzung, vollkommene 701.  
 Calciumhydrür, Wasserzersetzung durch 936.  
 Carbidbüchsen, Öffnen 699.  
 Carbidöfen, verschiedene Typen 696; von Rathenau 698; von Tenner 696; von Wilson 697.  
 Carburatation des Gases 647; des Wassergases 881; des Wassergases mit Rohöl 888; heiße 885.  
 Carburationsmittel, Berechnung des Zusatzes an 886.  
 Carburationsverfahren, andere 899; von Dannert 900.  
 Carburiertes Wassergas, Vergleich der Mischgasbetriebe mit uncarburiertem und 913; Einführung durch Lowe und Granger 774; Waschung und Teerscheidung beim 896.
- Carburierung des Wassergases in den Steinkohlengasretorten 884.  
 Carcellampe 143.  
 Carcellmeter und Candlefoot 134.  
 Cer, Eisenlegierung von Auer v. Welsbach 1039; Ursachen der günstigsten Beeinflussung des Thornglühkörpers durch geringe Cermengen 950; Salze, Darstellung der 988; Einfluß des — auf Lichtfarbe und Lichtstärke des Glühkörpers 991.  
 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CS<sub>2</sub>, Bestimmung von — im Gase 265.  
 C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, H<sub>2</sub>O, C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>, Gehalt des Gases an 409.  
 Chameroirohre 574.  
 Chemische Strahlung 71; Vorgänge bei der Reinigung mit Eisenhydroxyd 446; Wirkung der Strahlen 15.  
 Chlorcalcium 629.  
 Chlormagnesium 629.  
 Chromchlorür 213.  
 CN-Beseitigung, Vollkommenheit der 444; Bestimmung 269, Gehalt im Gase, Nachteile 440; Prüfung des Gases auf 442.  
 C, N, H, Bestimmung in der Kohle 287.  
 CO<sub>2</sub>-Absorption 212, Atmosphäre, Lagerung in 295.  
 CO, Absorption von 215; Bestimmung durch Verpuffung 249; durch Calciumcarbid, Franks Verfahren der Absorption von 942; Gehalt aus dem CO<sub>2</sub>-Gehalt des Generatorgases, Berechnung des 721; in der Luft 270; Gleichgewicht bei der Reduktion durch H<sub>2</sub> 928; theoretisch erreichbare Wassergasmenge beim Warmblasen auf 781; und CO<sub>2</sub>, Verbrennung zu 322; und H<sub>2</sub>, Umsetzung von 941.  
 CO<sub>2</sub>-Bildung und Temperatur des Generators 722; Einfluß des Druckes im Wassergasgenerator auf die Dampfzersetzung und 797; Einfluß der Temperatur und Dampfgeschwindigkeit im Wassergasgenerator auf die 798; beim Warmblasen der Wassergasgeneratoren 782.  
 CO-Gleichgewicht, CO-Gehalt, graphische Ermittlung in Verbrennungsgasen 66; Gehalt der Verbrennungsgase, maximaler 66; CO-Gehalt der Zimmerluft durch Gasheizöfen, Steigerung des 1068.  
 Compoundventilatoren für Wassergasanlagen 857.  
 COS-Bildung 452.  
 Cozeofen 350.  
 Crossleytrommel 621.  
 CS<sub>2</sub>, Bestimmung 267; Bestimmung als xanthogensaures Cu 267; Bestimmung durch Überführung in H<sub>2</sub>S 267; Bestimmung in Triäthylphosphin 267; Bildung 483; Bindung durch Ammoniakulfide 487; Verfahren zur pyrogenen Zer-

- setzung des 487; Zersetzung durch Wasserdampf oder Metalloxyde 486.
- C und H, Bestimmung im Koks 283.
- Cyan, Absorption, chemische Vorgänge bei der 459; Bestimmung in der Reinigungsmasse nach Feld 463; Knublauch 463; nach Schäfer 464; Einfluß der Temperatur 316; Entwicklung 315; Gehalt der ausgebrauchten Reinigungsmasse 459; Schlamm, Gewinn aus dem 443; Verbindungen im Wassergas 814; Verteilung im Rohgas 440; Verunreinigungen von Naphtalin und Cyan, Wäscher 444; Wäsche von Bueb 441; Wäscher 441.
- Dachpappenfabrikation** 547.
- Dampfdruck des Benzols im Teer 318; des Naphtalins 319.
- Dampfgeschwindigkeit, Einfluß derselben im Wassergasgenerator auf die Dampferzeugung 797.
- Dampfheizung 506.
- Dampflampe 2.
- Dampfmaschinenbetrieb, Dampfverbrauch der Wassergasanlagen mit 860.
- Dampfschlußmelder, Vorzüge der Wassergaserzeugung mit Hilfe des 910; für Wassergasanlagen 903.
- Dampfspannung und Dissoziation 96.
- Dampfstrahlinjektoren, Verwendung der — zur Halbwassergaserzeugung 734.
- Dauerflammen, Zündflammen für Fernzündler 1036.
- Dauerprüfung auf  $H_2S$ -Gehalt des Gases 457.
- Deckenbeleuchtung, Abführung der Gase bei 1024.
- Deckmitteln, Untersuchung von — für Rohre 603.
- Defraudation, Sicherung gegen 631.
- Delkadüse 957.
- Dellwicks Warmblaseverfahren 810.
- Densograph 258.
- Destillation der Gaseöle, fraktionierte 667; der Kohle im Vakuum 307; des Teeres 542; Wärmebilanz der trockenen 321.
- Destillationsgase, Umwandlung derselben in Wasserstoff 654; aus anderen festen Brennstoffen 644.
- Diaphragmaverfahren der Wasserstoffherzeugung 933.
- Diathermane Körper 26.
- Dichte, Gewichte, Heizwert und Heizgase, Zusammensetzung 1099; — und Festigkeit des Koks 391.
- Dichtprobe an verlegten Rohrsträngen 583; Einfluß der Temperaturänderungen auf die 584; Täuschungen bei der 610.
- Dichtung der Reinigerdeckel, trockene 463.
- Differentialmanometer 186.
- Strache, Gasbeleuchtung.
- Diffuse Beleuchtung, Einfluß der Beschmutzung 1024.
- Dimensionen der Schmiederohre 608.
- Dissoziation 44; Dampfspannung und 96; der  $CO_2$  und des  $H_2O$ -Dampfes 324.
- Doppelaspirator 208.
- Doppelte Brennzonen, Generatoren mit 759.
- Doppelgasverfahren (Mischgasgenerator) 924.
- Doppelgeneratoren der Gasmotorenfabrik Deutz 759; zur Wassergaserzeugung 894.
- Doppelheizgasradiator von Siemens 1074.
- Doppel- oder Wechselzählwerk für Leucht- und Heizgase, Gasmesser mit 629.
- Doppeltarif und Einheitsgaspreis 1092.
- Doppelüberhitzer-Wassergasgenerator von Humphrey und Glasgow 891.
- Dowsongas, Mischgas 726.
- Drahtnetz, Schutzwirkung des 61, 88.
- Drehschmidts Gestell 175; Pt-Kapillare 251.
- Dreiflügeliger Exhaustor 532.
- Dreiwegventile 538; Schaltung der Reiniger mit 476.
- Druckdifferenz, Geschwindigkeitsmesser durch 640; Registrator von Eckardt 202; trockene Regler 515.
- Druck, Einfluß desselben 324; in verschiedenen Behälterstellungen, Veränderung des 498; Messung des 182; und Sauggasgeneratoren, Vorteile und Nachteile 747.
- Druckgasanlagen der Gasmotorenfabrik Deutz 753; Beispiele von 753.
- Druckgasgeneratoren, Konstruktionen von 755; Druckerzeugung bei 748.
- Druckgeber von Bamag mit Doppelsitzventil 519; von Elster 518; von Fleischhauer 518; von Ledig 518; Müller 520.
- Druckhöhe in der Vorlage 530.
- Druckmesser, einfachste 184.
- Druckregelung, Notwendigkeit 507; Voigts Hilfsregler für genaue 522.
- Druckregistrator 194.
- Druckregler, Wesen der 507.
- Druckschreiber 194.
- Druckverhältnisse in Hängelichtbrenner 966; im Rohrnetz und Nachprüfung derselben 573.
- Druckverlust 567; Prüfung auf 637; Registratoren 195; Verringerung des — im Reiniger 469.
- Druckwellenfernzündler, Vorteile 1035.
- Druckwellenzünder der Bamag 1033; Betätigung der Ventile durch elektrischen Strom 1036; Kontrolle des Rohrnetzes durch die 1036; mit Schwimmglocken 1034; mit sekundärer Kraftquelle 1034; Prüfung des Rohrnetzes vor Einführung der 1035; von Himmel und von Gascho

- 1033; von Kilchmann und von Rostin 1034; von Müller und von Zickwolff 1034; von Pintsch für Innenbeleuchtung 1036.
- Druckwellenzündung, Einfluß von Höhenunterschieden 1032; Gasbehälterdruck für 1035; Sturmdüse bei der 1032; Zündmittel bei der 1032.
- D-Schieber der Europäischen Wassergas-A.-G. 834.
- Düker 580.
- Düse des Gasglühlichtbrenners 956; des Hängelichtbrenners, Schutz vor den Verbrennungsgasen der 964.
- Durchgang, Kontrolle des freien 608.
- Durchgangsventile 538.
- Durchschlagszündung 999.
- Durchschnittsprobe bei Reinigermassen, Entnahme der 462.
- Durchsichtige, undurchsichtige und farbige Körper 26.
- Duplextrommel 623.
- Dynamische Manometer 202; Zugmesser 203.
- Edelgase** 40.
- Eichkolben 637; von Junkers 638.
- Eichtisch 637.
- Eichung der Gasmesser 636.
- Einbau der Formstücke 337
- Einlochbrenner 1002.
- Einschenkelige Manometer 184; Ablesung an 188; von Lux 189.
- Einschraubtiefe der Rohre 608.
- Einwurfapparate, automatische 706.
- Einwurfssystem 704.
- Eisenbeton, Gasbehälterbassins aus 491.
- Eisencarbonyl im Wassergas 817.
- Eisenhydroxyd, chemische Vorgänge bei der Reinigung mit 446.
- Eisenoxyd als Katalysator, Einwirkung von Wasserdampf auf Kohlenoxyd mit 940.
- Eisenverbindung im Wassergas, Bestimmung und Entstehungsnachweis 818.
- Eisen und Schwefelsäure, Wasserstoff aus 937; Zersetzung von Wasserdampf 937.
- Elektrische Beleuchtung, Fortschritte der 7; Fernzündung für Schaufensterbeleuchtung, Bedingungen betreffs 1041; Gasfernzündler 1041; Glühlampen als Vergleichslichtquellen 153; Auftreten des elektrischen Lichtes 5; elektrischer Strom, Vergleich des Kochens mit Gas und 1084; elektrischer Strom, Betätigung der Ventile durch 1036; elektrische Waggonbeleuchtung und deren Vergleich mit Ölgasbeleuchtung 1006.
- Elektrizität, Verhältnis der Kosten von Gas und 1054; elektrische Werke, Koksverwendung in städtischen 401.
- Elektrohängebahnen 300; in Plauen 400.
- Elektrolytischer Wasserstoff als Nebenprodukt 935; Erzeugung 932.
- Elektromotor, Anwendungsgebiet des Gasmotors und Kostenvergleich mit dem 1090; für den Gebläseantrieb der Wassergasanlagen 862.
- Elementaranalyse der Gasöle 667.
- Emissions- und Absorptionsvermögen 25.
- Emissionswinkeln, Strahlungen nach verschiedenen 137.
- Empfindlichkeit des Auges 17.
- Energie der leuchtenden und nichtleuchtenden Strahlung 32; Maximum, Lage des 33; elektrischer Strom 132.
- Entfernungsgesetze 132; bei unendlich großen leuchtenden Flächen 138; günstigste für die Vertikalbeleuchtung 1014.
- Entgasung, Dauer der 311; fraktionierte 655; der Kohle 302; erforderliche Temperatur zur 309; erforderliche Wärmemenge zur 308; kontinuierliche 301; Nutzeffekt 303; Öfen zur — der Kohle 332; Qualität des Gases während der 317.
- Entladebrücke 299.
- Entleuchtung der Flamme durch indifferente Gase 85.
- Entnahme der Gasproben 205.
- Entteuerung großer Gasmengen 420.
- Entzündbarkeit von Gasflammen 64.
- Entzündung, Einfluß fester Körper auf die 57; in engen Rohren 61.
- Entzündungsbereich 63.
- Entzündungsgeschwindigkeit 58; verschiedener Gase 60.
- Entzündungstemperatur 56; der Auermetalle 1039; und Explosionsbereich des Acetylens 111; verschiedener Gase 57.
- Erdaushub 576.
- Erdbock der Kandelaber 1001.
- Erdstromkommission, Vorschriften für Neuanlagen von Straßenbahnen 603.
- Erhellung 133.
- Erwärmung, Störungen der Regenerierung bei zu starker 451.
- Erzeugungskosten und Verkaufspreise verschiedener Beleuchtungsmittel 1052.
- Etagenwäscher von Ledig 43.
- Euphosglas, Schutz vor ultravioletten Strahlen 1050.
- Exhaustor, dreiflügeliger 532; Betrieb, Überwachung des 366; von Beale 532.
- Experimentiergasmesser 222, 637; Aufstellung 638.
- Explosion, Begriff 63; Bereich 63; Gefahr bei verschiedenen Beleuchtungsmitteln 1051; Gefahr bei verschiedenen Gasen 1051; Gefahr beim Wassergas 823; Gefahr bei Wassergasgeneratoren, Sicherheitsvorschriften 833.

- Explosionsfähigkeit der Gemische von Acetylen und Ölgas 713; von Benzindämpfen 685.
- Explosionsgrenzen 63; des Ölgases 679; obere und untere 63; verschiedener Gase 63.
- Explosionspipetten von Hempel 247.
- Explosionswellen 62.
- Fackeln** 2.
- Fahrradlaternen und Lampen für Bergwerke 705.
- Farben des künstlichen Lichtes 9; komplementäre 16; Kontraste 22; Spektrum 15; Vergleich verschiedener Lichtquellen 181; Wert künstlicher Lichtquellen 181.
- Farbstoffe für Manometerflüssigkeiten 185.
- Ferndruckleitungen 588; Anlage von 1093; Dimensionierung der 589.
- Ferndruckwellengeber Bamag 525; der Apparate-Vertriebsgesellschaft Wilmersdorf 526.
- Fernleitungen, Gebläse für 529; Wichtigkeit der 588.
- Fernversorgungsanlagen 589; Behälter, automatischer Abschluß bei 594; Eignung verschiedener Lichtquellen zur 1046; mit und ohne Behälter 588.
- Fernzündler, Gasdruckwellen-1031; „Rapid“ 1041; pneumatischer von Siemens 1029.
- Ferrocyan und Rhodangehalt in der Reinigungsmasse 465.
- Feste Stoffe, Absorptionspipetten für 224; Verbrennungswärme 52.
- Festigkeit des Kokes 391, 402; Prüfung 392.
- Fettfleck, Ersatz des 161; Photometer von Bunsen 159.
- Feuchte in der Reinigungsmasse, Bestimmung der groben 460.
- Feuchtigkeitsgehalt 285.
- Feueregefährlichkeit der Gasöle, Prüfung auf 667.
- Feuer, Kennung des — im Seezeichen 1008, und Explosionsgefahr bei verschiedenen Beleuchtungsmitteln 1051.
- Feuersteine, Wirkungsweise 1038.
- Feuerungsmaterial 343.
- Fischschwanzbrenner 1002.
- Fixieren des Glühkörperkopfes 992.
- Flachbrenner 1002.
- Flächen, Entfernungsgesetz bei unendlich großen leuchtenden 138; leuchtende Linien und 137.
- Flächenhelle der Lichtquellen 10; einiger Lichtquellen 1026.
- Flamme 71; Begleiterscheinung der Verbrennung in der 75; Bogenlampe 7; Definition der 71; Einheiten 39; Erscheinung 73; Grenzen 73; leuchtende 39, 73; Probe auf brennbare Gase und Sauerstoffgehalt 272; relative Bewegung der — gegenüber dem Gasstrom 72; Spaltung 84; Strahlung 74; Strahlung und Strahlung der Heizflächen 1069; Temperatur 76.
- Flammenhöhe der Hefnerlampe, Einstellung der 149.
- Flammenkegel, Gasgemisch zwischen den beiden 84; Höhe des inneren 83; innere und äußere 82; Reaktions-Isochore des Wassergasgleichgewichtes zwischen den 85.
- Flammenoberfläche und Flammenvolumen 75.
- Flammpunkt der Gasöle 666.
- Flammenregler von Flürscheim, Behl und Sugg 528; von Pflücke mit Quecksilberventil 529; Wert der — für Gasglühlicht 529.
- Flammentemperatur, Bedeutung der 648; des Acetylens 711; Einfluß auf das Gasglühlicht 951.
- Flammentheorie von Lewes 74.
- Flammenvolumen 941; Einfluß der Primärluft auf Temperatur und 86.
- Flammenzahl, Größenangabe nach — bei Gasmesser 628.
- Flanschenrohre, Dichtung der 580.
- Flaschenmanometer 184.
- Flimmeräquivalent oder Flimmerwerte 175.
- Flimmerphotometer 175.
- Flügelradgasmesser (Rotamesser) 639.
- Flügelradmesser, Vor- und Nachteile 640.
- Flüssige Brennstoffe, Junkers Kalorimeter für 120.
- Flüssigkeiten, Absorption in 252.
- Flugasche 330.
- Fluidaufnahme des Glühkörpers und Auspressen 991.
- Fluoreszenz 24.
- Förderbänder 301.
- Formeln, zur Berechnung des Heizwertes aus der Elementaranalyse der Kohlen 109; für Rohrleitungen von Pole, Jäger, Birckholz und Fliegner 571.
- Formen und Härten der Glühkörper 994.
- Formstücke, Gewichtstabelle für 1107; Gewichtstabelle für gußeiserne Flanschenformstücke 1106; Normalien für gußeiserne Rohre und 1102.
- Fortschritte im Ofenbetriebe 380.
- Fraktionierte Entgasung 655.
- Frankolin 710.
- Freistehende Behälter und umbaute 490.
- Frischlufkanäle bei Gasheizöfen 1067.
- Frostsichere Füllflüssigkeiten 629; Sperrflüssigkeiten für Druckregler 512.
- Führungsarten, Anwendung derselben bei Gasbehältern 501.

- Führungsgerüst 499.  
 Führungsrollen 500.  
 Füllflüssigkeiten, frostsichere 629.  
 Füllgefäße und Füllwagen für Wassergasgeneratoren 830.  
 Füllöfen und Zentralheizung mit Koksfeuerung 402.  
 Füllöffnungen und Fülltrichter an Wassergasgeneratoren 828.  
 Füllvorrichtung für Schräg- und Vertikalretorten 387.  
 Fundamentmauerwerk, Durchbruch durch 585.
- Gasabsatz**, Entwicklung 14; in England 14; Mittel zur Hebung 1092; volkswirtschaftlicher Wert der Hebung des 1092.  
 Gasanalyse-Apparate, selbsttätige 237; besondere Methoden der Gasanalyse durch Verbrennung 246; Gasentnahmestellen für 206; technische 205; volumetrische 211.  
 Gasanalysenraum, Lage des 217.  
 Gasanzeigegeräte mit Platinmohr 616.  
 Gasarten 644.  
 Gasausbeute aus Gasölen 673; in Kammerofenbetrieb 374; Verminderung von Heizwert und 292.  
 Gasautomaten 635; Aufstellung von 1093; besondere Einrichtung bei 636; Wirkungsweise 636.  
 Gasbadeöfen 1085; der Zentralwerkstatt Dessau 1086; Führung der Abgase bei 1086; Sicherheitshähne bei Heißwasserapparaten und 1087; von Houben 1086; von Siemens 1085.  
 Gasbehälter, Anstrich 503; Anwendung der beiden Führungsarten 501; Auflagerbänkchen 498; Außerbetriebsetzung 506; Beheizung 506; Blitzableiter 503; Dacheckring 495; Füllung mit Wasser 495; Glocken 495; Glocken als Aspirator, -Glocken, Wesen der 490; Größe 489; Größe bei Halbwassergasanlagen 752; -Haut 495; Inbetriebsetzung 505; Normalien, Behälterdimensionen 496; Reparaturen an 506; -Typen 490; Zubehörteile 502.  
 Gasbehälterbassins, aus Eisenbeton 491; gemauerte, betonierte oder schmiedeeiserne 491; Konstruktion 491; mit veringierter Wasserfüllung 491; zulässige Neigung 495.  
 Gasbehälterdruck für Druckwellenzündung 1035.  
 Gasbeleuchtung, Anwendung 997; die erste in Wien 5; Wichtigkeit der Schaffung geeigneter Zündvorrichtungen für die 1028.
- Gasbestandteile, Leuchtkraft der 647.  
 Gasbezug, Erleichterung des 1092.  
 Gasbügeleisenhitzer 1087.  
 Gasbüretten von Winkler 221.  
 Gasdampfgemisch, Eigenwärme 801.  
 Gasdruckzündler 1030; pneumatischer 1029; Gasdruckfernmelder 204.  
 Gasdurchgang, Schätzung desselben 573; durch Rohre und Öffnungen 571; und Dichtheit der Verbrauchsapparate, Prüfung auf freien 611.  
 Gaseinströmung in die Keller, Müllers Sicherung gegen 586.  
 Gasentnahme 205; Stellen für Gasanalysen 206.  
 Gasentwicklungsapparat, Wesen des Kippischen 702; Verlauf der 314.  
 Gaseperiode beim Wassergasprozeß, Nutzeffekt der 802.  
 Gaserzeugung, Fortschritte der 6.  
 Gasfernzünder, Rosenfelds elektrischer 1041; „Seneta“, elektrischer von Seidel 1042; Typen der elektrischen 1041.  
 Gasfernzündung, Uhrwerkschalter für Treppenhaus, Zentralschalter 1042.  
 Gasfeuerung für technische Zwecke 1057; für Krematorien 1060; in der Industrie 1058.  
 Gasgehalt, Feststellung desselben mit dem Gasoskop 617.  
 Gasgemische, Entzündung trockener 65.  
 Gasgeneratoren 745.  
 Gasgeschwindigkeitsmessung 639.  
 Gasgesellschaft, die erste 4.  
 Gasglocken oder Gasmesser, Verlustbestimmung durch 584.  
 Gasglühlicht 5, 946; Beleuchtung, Fortschritte 7; Brennerkonstruktionen für stehendes 959; Einfluß der Flammentemperatur auf das 951; Einfluß des Wassergaszusatzes auf die Leuchtkraft 916; Flammen, Einfluß der Primärluft auf die 952; Geschichte und Theorie 946; hemisphärische und sphärische Lichtstärke 1016; hängendes (Invertlicht), katalytische Theorie von Killing 948; Lichtverteilungskurven (Polarkurven) des hängenden und stehenden 1016; Lochzylinder für 959; Strahlungstheorie 949; unter Verwendung von Sauerstoff 986; Theorie 948; Verbesserungen der Gewebe und Brenner für 947; Vorläufer 946; Waggonbeleuchtung mit 1005.  
 Gasglühlichtbrenner, Bestandteile des stehenden 956; das Wesen 954; der Zylinder 958; die Ansaugkammer 957; die Düse 956; die erste Ausbildung des 955; die Galerie 958; Regulierdüsen 956; Vorwärmung der Luft beim stehenden 959; Zündflamme für 962.

- Gashähne als Abschlußorgane bei Zündvorrichtungen 1028.
- Gasheizöfen, Aufstellung 1067; automatische Wärmeregler 1077; Bemessung der Heizflächen 1068; Bestimmung des Nutzeffektes 1075; Brenner 1068; Frischluftkanäle 1067; Konstruktion 1068; Material 1068; Methoden der Strahlungsmessung 1070; mit Wärmestrahlung 1069; Nutzeffekt der — in England und am Kontinent 1076; Schornsteine 1067; Strahlung 1076; Typen 1069; Unterbrechungen im Abzug 1064; Zuleitungsröhre 1068.
- Gasheizung 12, 1060; Bedingungen einer guten 1061; Bedingungen für die Einführung 1056; Ergänzung der Zentralheizungen 1074; für Kirchen 1074; Geschirrspülmaschinen 1083; Heißwasserspender und Warmwasserversorgung 1086; Porges Temperaturregler 1077; vermeintliche Trockenheit der Zimmerluft 1064; vorteilhafte Anwendung 1074; Vorzüge und Nachteile 1060.
- Gasheizwertzahl 290; Bestimmung mit dem Explosionskalorimeter 281.
- Gasindustrie und Luftschiffahrt 946.
- Gaskalorimeter von Junkers 110; von Gräfe 120; von Parr 126; von Raupp 121; von Strache 122, 125; von Wobbe 121.
- Gaskamine, Anordnung der Heizflächen 1072; mit Glühsubstanzen 1072.
- Gaskochapparate, Bedingungen für gute 1079.
- Gaskocher, Bunsenbrenner der 1079; Einfluß des Kochtopfes auf die Wirkung 1079; Kontrolle durch die Gaswerke 1080; Konstruktion 1081; Material der 1079; mit Bügeleisen, kombinierte 1087; Prüfung 1080; Wärmebilanz beim 1082; Zündflammen für 1083; Zündung, automatische von Siemens 1083.
- Gaskohlen, Zusammensetzung 303.
- Gaskonzession in Deutschland und Österreich, die erste 5.
- Gasmesser 584, 618; Anschluß der 607; Bezeichnung 618; Danubia 626; Eichung 636; Einfluß der Höhe des Wasserspiegels 622; für hohe Drucke 631; mit automatischer Umschaltung von Haas 630; mit gleichbleibendem Wasserspiegel 625; nasse und trockene 613, 619; Stützen 631; von Kromschröder, Pintsch, Elster, Haas, Schirmer-Richter 633.
- Gasmessertrommeln, Umdrehungszahl 626.
- Gasmotor, erster, von Lenoir 1088; Geschichtliches 1088; Kostenvergleich mit dem Elektromotor und Anwendungsgebiet 1090; Zündung 1090.
- Gasnormale Lösung 253.
- Gasöfen, Abkühlung der Abgase, Wasserabscheidung 1062; Anwendung von Strahlungskörpern zur Förderung der Heizgeschwindigkeit 1071; Ermittlung des Luftzusatzes zur Vermeidung der Wasserabscheidung 1063; mit Luftheizung (Zirkulationsheizung) 1073; Nutzeffekt 1061; Wärmeübertragung durch die Heizflächen 1063; zum Backen 1059.
- Gasöle 665; Aufspeicherung 670; Elementaranalyse 667; Flammpunkt 666; fraktionierte Destillation 667; Gefrierpunkt 667; Heizwertbestimmung 667; Heizwertzahl 668; Kreosotgehalt 667; Lichtbrechung 667; Probevergasung 669; Prüfung auf Feuergefährlichkeit 667; spezifisches Gewicht 666; Untersuchung 666; Wasserbestimmung 667; Wertbestimmung 668; Wertzahl 720.
- Gasolingenwinning aus Naturgas 720.
- Gasometer, Bezeichnung 618.
- Gasoskop 259; Feststellung des Gasgehaltes mit dem 617; Prüfung mit 598.
- Gaspipetten von Hempel 223.
- Gaspreis, Steigerung der Anschlußdichte und Herabsetzung des 1054.
- Gasproben, Entnahme 205.
- Gasprüfer von Göhrum 210; von Pintsch 241.
- Gaspumpe von Humphrey 1090.
- Gasqualität bei hochgelegenen Gaswerken 651; Schwankungen der 365.
- Gasradiator mit veränderlicher Heizfläche von Meurer 1074.
- Gasrefraktometer und Interferometer 262.
- Gasrohre, Normalien 575.
- Gassauger, Anwendung 531; Injektoren als 532; rotierende Gebläse als 532; Schmiering 532; und Gebläse 529.
- Gasschieber 536.
- Gasselbstzünder von Grix 1038; katalytische Zündung (Pillenzündung) 1036.
- Gasstrom, Form der Flamme und des 71; Geschwindigkeit im Reiniger 466; relative Bewegung der Flamme gegenüber dem 72; Teilung im Reiniger 466.
- Gastheorie als Grundlage der Thermometer-Skalenteilung 90.
- Gasthermometer 94.
- Gastransportwagen 1003.
- Gasturbinen von Imhof und von Holzward 1089.
- Gas und Elektrizität, Verhältnis der Kosten 1054.
- Gasuntersuchung mittels der Absorptionswärme 262.
- Gasverbrauch durch den Automaten 635; Kontrolle der Apparate 1093; pro Einwohner 555.

- Gasverwendung, Ratschlagserteilung für die 1093.
- Gasvolumen, Reduktion auf den Normalzustand 51, 106.
- Gasvolumeter von Lunge 221.
- Gaswäsche (s. a. Wäscher) 424; theoretische Grundlage 424.
- Gaswäscher von Feld 435; von Kubierschky 429; Reaktion des N im Buebschen 443.
- Gaswagen von Lux 254.
- Gas-Warmwasserheizung 1078.
- Gaswasser, Bestandteile und Untersuchung 548.
- Gaswerksanlagen und Gaswerksgebäude 554.
- Gaswerksapparate, Reihenfolge und Größe der 558.
- Gaswerkseinrichtungen 403.
- Gaszusammensetzung während der Entgasung 320.
- Gebäude 559; einer größeren Gaswerksanlage, Anordnung der 563; Wassergasanlagen für Beleuchtung einzelner 876.
- Gebläse 529; als Gassauger 532; Antrieb der Wassergasanlagen 862; für Wassergasanlagen 858; Kraftbedarf derselben für Wassergasanlagen 860; Wirkung des Gefälles und Wassersäcke in Rohrleitungen 609.
- Gebläseflamme und Wassergasflamme für technische Zwecke 1060.
- Gebläseluft, Trocknung 688.
- Gefrierpunkt der Gasöle 667.
- Gegenstromprinzip 411; Anwendung 425.
- Gelbbrenner, Blaubrenner 1068.
- Generatoren, Arbeitsaufwand beim Schlacken 869; Dellwicks Ansicht über das Warmblasen 722; Einfluß der Windgeschwindigkeit 723; Einfluß der Zusammensetzung des Brennmaterials 725; Feuerung 344; Feuerung, Vor- und Nachteile 346; Größe des Dampfkessels für Halbwassergasanlagen 749; Kegelrost 747; Messung des Dampfzusatzes 748; mit doppelter Brennzone der Gasmotorenfabrik Deutz 759; mit doppelter Brennzone von Körting 761; mit Teerverbrennung von Strache und Skodawerke 761; Nutzeffekt der Vergasung von Kohle 735; Ölgaszusammensetzung 676; ohne Rost 747; Temperaturen 725; Unterscheidung der neueren Wassergasverfahren nach der Generator Temperatur 809; Unterteil 746; von Siemens 746; von Kerpely 754; Vorlage 749.
- Generatorgas aus Koks 736; aus Wassergasanlagen zur Kesselheizung 839; aus Steinkohle 737; Berechnung des CO-Gehaltes aus dem CO<sub>2</sub>-Gehalt 721; Entstehung 721; Erzeugung, Nutzeffekt 726; Kanäle 345; Prozeß 324; Kieselsäure im 750; und Halbwassergas aus verschiedenen Brennmaterialien 736; Verunreinigungen 329; Zusammensetzung 325, 725.
- Gesamtammoniak in der Reinigungsmasse, Bestimmung 464.
- Gesamtheizwert der Kohle 284.
- Gesamtkohlenstoffgehalt des Gases 283.
- Gesamtschwefel 268; Bestimmung 286; Gehalt des Gases 283.
- Gesamtstickstoffgehalt in der Reinigungsmasse 464.
- Gesamtstrahlung, Bestimmung 36.
- Geschirrspülmaschinen mit Gasheizung 1083.
- Geschliffene Gläser, Lichtverteilung durch 1023.
- Geschweißte Rohre 574.
- Geschwindigkeits- und Volummesser 619.
- Gewicht des Wasserdampfes 1095; der Gase 1099; Tabelle für Wassertöpfe 1106.
- Gewichtsmotore für Luftgas 688.
- Gewichtstürme für Luftgasanlagen 688.
- Gichtgase 767; Motorentrieb mit 1089.
- Giftigkeit des Wassergases 822.
- Glanz 134; der Lichtquellen 21; Messung 182.
- Glasbearbeitung 881.
- Gleichgewicht, chemisches 45; gestörtes 45.
- Gleichgewichtskonstante 45.
- Gleichheit und Kontrast, Vergleichkörper für — von Lummer-Brodhun 163.
- Gleichmäßigkeitsgrad der Beleuchtung 1015.
- Gleichmäßigkeitskoeffizient bei der Innenbeleuchtung 1025.
- Glockenmanometer 199.
- Glocken, Prüfung der 504.
- Glockenverfahren bei der Wasserstofferzeugung 934.
- Glühdrahtzündung 1042.
- Glühfarben 102; Tabelle der 102.
- Glühkörper 987; Abbrennen 993; Abbrennmaschinen 994; Aufhängung 958; Auspressen und Fluidaufnahme 991; Dauerproben 996; Einfluß der Fadenstärke auf die Leuchtkraft 954; Fabrikation und Rohmaterial 987; Formen und Härten 993; Garn 988; Gewebe für autoforme 991; Gewebeherstellung 990; Gewebewaschung 990; Härtemittel 997; Kollodieren, Härten und Formen 994; Magnesiaringe für Hängelicht 993; Prüfung auf Festigkeit 995; Prüfung auf Leuchtkraft 996; Schüttelmaschinen von Drehschmidt 995; selbstzündende 1038; Stempelung 993; Temperaturgefälle zwischen Flamme und 952; und Zylinderersparnis bei zentraler Zündung der Straßenlampen 1036; Verfahren der

- Elberfelder Kunstseidefabrik 990; Verhalten des Thoriumoxyds und des Cer-  
oxyds 948; Verpackung, Aufbewahrung  
und Prüfung 995; Versuche mit Wasser-  
gas und Auerschen 776.
- Glühkörperkopf, Fixieren und Nähen  
992.
- Glühlampeneinheit 141; der Vereinigten  
Staaten 153.
- Glühlichtbrenner 958; Einfluß der Gas-  
qualität auf den 954; Einregulierung  
der — für Mischgas 914; für uncarburiertes  
Wassergas 972; Mischrohr 957.
- Glühlicht, Verhältnis zwischen Heizwert  
und Leuchtkraft des Gases 953.
- Glühsubstanzen 24; Gaskamine mit 1072.
- Glühwürmchen 25.
- Glycerin 629.
- Gnomzündler 1041.
- Gobobrenner 960.
- Graetzinbrenner 967.
- Grammkalorie 105.
- Grammmolekül, Mol 43.
- Graphische, Bestimmung der Rohrdimen-  
sionen 569; Ermittlung der mittleren  
sphärischen Lichtstärke 177; Ermittlung  
des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes in Verbrennungsgasen  
66.
- Graphitausscheidung 347.
- Graphitbildung in Ölgasretorten 673.
- Graphitentfernung 347.
- Graphitpyrometer 93.
- Graue Körper 27; absolut 27.
- Grauglut 17; Beginn der 35.
- Grundstück, Wahl 557.
- Gruppeneinteilung der Kohle nach Hilt  
und nach Gruner 277.
- Gürtellinsen, Parabolspiegel und Linsen  
für Leuchtfeuer 1008.
- Gummidichtung 578; Anwendung 579.
- Gummischläuche, Gefährlichkeit der 612.
- Gußeiserne Formstücke, Gewicht der 1103;  
Gewichtstabelle für Formstücke und  
Flanschen 1106; Normalientabelle für  
Rohre 1104.
- Gußrohre, Abschneiden 582.
- Guß- und Schmiedeeisen, Unterschied in  
der Verwendung 573.
- H**albwassergasanlagen, Größe des Dampf-  
kessels 749; Größe des Gasbehälters 752;  
Verunreinigungen des Skrubberwassers  
750.
- Halbwassergas aus Anthrazit 736; aus  
Braunkohle 738; aus bituminösem Brenn-  
material 734; aus Holz 740; aus Holz-  
abfällen 741; aus Koks 737; aus Pflanzen-  
abfällen 741; aus Steinkohle 738; aus  
Torf 739; Enternung der Kieselsäure 751;  
und Generatorgas aus verschiedenen
- Brennmaterialien 736; Kieselsäure im  
750; Mondgas, Generatorgas 720; Moto-  
renbetrieb mit 1089; Teerausscheidung  
743; Theissenreiniger für 744; Ursprung  
des Methans im 738; -verfahren, Ge-  
winnung des Ammoniaks beim 742;  
Waschung desselben 749; aus Kohlen,  
Zusammensetzung 735.
- Halbwassergaserzeugung, Regelung 752;  
Verwendung der Dampfstrahlinjektoren  
734.
- Halbwassergasgeneratoren 749; Leistung  
und Rostfläche 742; Teerzersetzung in  
744.
- Halbwassergasprozeß, Dampfverbrauch  
beim 733; Deckung der Wärmeverluste  
729; direkte Sulfatgewinnung beim 743;  
der ideale 728; Nutzeffekt beim idealen  
728; Nutzeffekt des praktischen 731;  
unter Verwendung von Sauerstoff 727;  
Teergewinnung 743; Theorie 726; Ver-  
ringerung der Wärmeverluste beim 732;  
Wärmebilanz 732; Wärmegleichgewicht  
727; Wärmetönungen 727.
- H-Bestimmung im Koks 283.
- H,C,N-Bestimmung in der Kohle 287.
- $\text{H}_2$ , CO,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2$ -Bestimmung durch  
Verpuffung 249.
- Hängebahnen, Kokstransport in 399; mit  
Seilbetrieb und Elektrohängebahnen 300.
- Hängelicht, Aerostat zur Luftregulierung  
beim 970; Auftriebsverhältnisse 963; für  
Außenbeleuchtung 971; Einfluß der  
Vorwärmung 967; Einführung durch  
Ehrich und Graetz 965; Entwickelung  
965; Schutz der Düse vor den Ver-  
brennungsgasen 964; technische Schwie-  
rigkeiten beim 963; unvollkommene  
Verbrennung beim 964; Widerstand des  
Mischrohres 964.
- Hängelichtbrenner 967; aus Hartporzellan  
(Geppinlicht) 969; das Mannesmann-  
patent 965; der Deutschen Gasglühlicht-  
A.-G. 968; Druckverhältnisse 966; Grund-  
sätze der Konstruktion 967; mit seitlicher  
Düse von Bamag 969; mit und ohne  
Zugzylinder 967; von Berndt und Cer-  
venka und von Farkas 965; Zünd-  
flammen beim 971.
- Hängelichtdüsen, Schutz vor Ver-  
schmutzung 964.
- Hängelichtglühkörper, Aufhängering von  
Ehrich und Graetz 993; Aufhängung  
992; Magnesiaringe 993; die Spinne 992.
- Hängelichtkandelaber 1001; Meisterzündler  
für 1037.
- Härtemittel für Glühkörper 997.
- Halbdiffuse Beleuchtung 1024.
- Halbgeneratoren 364.
- Halbgeneratoröfen 349.

- Halbzylinderschwimmer, Anwendung des Elsterschen 626; von Elster 190; Manometertafel mit 191.  
 Handelscarbid 699.  
 Handlademaschinen 382.  
 Handlademulde 382.  
 Haupthähne 613.  
 Haupthahn, Kontrollvorrichtung beim 614; Schließen des 613.  
 Hauptleitungen und Zuleitungen 567.  
 Hauptrohrleitungen, oberirdische 575.  
 Hausgaseinrichtungen, kostenlose 1093.  
 Hausgasleitungen, Undichtheiten und deren Auffindung 617; Verstopfungen 617.  
 Hausgasmesser, Aufstellungsort 630; bei Ölgasanlagen 677; Material 624; Schimmerventil bei 624.  
 Haushalt, das Gas in der Küche und im 1078.  
 Hausinstallationen 606; Tabelle der Rohrweiten 1101; Zerstörung durch Starkströme 605.  
 Hebevorrichtungen 432; für die Reinigerdeckel 473.  
 Hebung größerer Koksmengen 400.  
 Hefnerkerze 145.  
 Hefnerlampe 145; Behandlung 148; Beschaffung des Amylacetates 147; der Docht der 147; Einfluß der Atmosphäre 150, 151; Gebrauchsanweisung 147; Korrektur der Lichtstärke 1109; Krüss' optisches Flammenmaß 146; Unruhe der Flamme 149.  
 Hefnermeterkerze 134.  
 Heißcarburatation, Wassergasgeneratoren für Ölcarburatation 891.  
 Heißwasserapparate, Sicherheitshähne bei Gasbadeöfen 1087.  
 Heißwasserspender und Warmwasserversorgung mit Gasheizung 1086.  
 Heizeffektmesser, Ados 238.  
 Heizen, Verwendung des Wassergases zum Kochen und 879.  
 Heizflächen bei Gasheizöfen, Bemessung der 1068; bei Gaskaminen 1072; Einfluß der 314; der Vergasungsräume 377; Wärmeübertragung bei Gasöfen 1063.  
 Heizgase, Zusammensetzung, Dichte, Gewichte, Heizwert 1099.  
 Heizgas im Haushalt 1088.  
 Heizgasverteilung 1055; Bedeutung 1055; Konsumsteigerung durch die 1055.  
 Heizgeschwindigkeit von Gasöfen, Anwendung von Strahlungskörpern 1071.  
 Heizkraftnorm, Ersatz der Leuchtkraftnorm durch die 648.  
 Heizung des Reinigerraumes 468.  
 Heizwert, Bedeutung 648; -bestimmung 287; von Gasen in Berthelot-Mahlers Bombe 130; der Gasöle 667; Bestimmung aus dem Luftbedarf 109; Formeln zur Berechnung aus der Elementaranalyse der Kohlen 109; von Gasen aus der Analyse, Berechnung des 108; von Gasgemischen, Berechnung, Mischungsregel 128; Gleichhaltung durch Wassergaszusatz 651; der Kohlen 109; oberer und unterer 50; Regelung im Mischgase durch wechselnde Carburatation 916; Vereinbarung über die Angabe des 108; und Leuchtkraft des Gases im Glühlicht 650, 953; Verminderung von Gasausbeute und 292; des Gases verschiedener Städte 649; -zahl der Gasöle 668; -zahl der Gasöle, Einfluß des Wasserstoffgehaltes auf die 669; und Leuchtwertzahl 311; obere und untere 311; zulässige Schwankungen 649.  
 Heizwirkung, Ausnutzung der 12; durch Lufterwärmung oder durch Strahlung 1069.  
 Hemisphärische und sphärische Lichtstärke 135.  
 Hempels Gasbürette 218.  
 Heratol 710.  
 Herdfeuer 2.  
 Herkuleszünder 1041.  
 Heulbojen und Schallsignale 1009.  
 Hilfsregler für genaue Druckregelung von Voigt 522.  
 Hochbehälter für Teer und Ammoniak 423.  
 Hochdruck-Gasversorgung ohne Behälter 590; -leitungen 590; Regler für 523; -regler 591; Bamag 523.  
 Hochlicht, Innenbeleuchtung mit direktem 1024.  
 Hochofengas, Bestandteile 767; Erhöhung des Heizwertes 770; Kühlung 769; Menge 768; regenerierte Verbrennungsgase 767; -reiniger von Bian 769; Reinigung 768; Zusammensetzung 768; Zusammensetzung des Staubes aus 770.  
 Hochofengasbildung (Gichtgas) 767.  
 Hochreiniger 473.  
 Hochspannungsflamme 70.  
 Höhenunterschiede bei Druckwellenzündung 1032.  
 $H_2O$ ,  $C_{10}H_8$ ,  $C_6H_6$ , Gehalt des Gases 409.  
 Hohe Drucke, erweiterte Polesche Formel für 571.  
 Hohldocht, Argands 2.  
 Hohlkopfbrenner 1002.  
 Holophangläser 1023.  
 Holzabfälle, Halbwassergas aus 741.  
 Holzdestillation, Einfluß der Temperatur 652; Nebenprodukte 652.  
 Holz, Entgasung 321.  
 Holzgas 651; Zusammensetzung 652.  
 Holzhorden 428.  
 Holzkohle, Matwings Absorption des  $CS_2$  durch 488.

- Holzvergasung, Generator von Riché 759.  
 Holzwolle als Füllmaterial 429.  
 Hordenanordnung von Jäger 471.  
 Horizontalbeleuchtung 1012; Kurven gleicher (Isoluxkurven) 1014; Tabelle zur Ermittlung der 1013; Webers Kurventafel zur Ermittlung der 1013.  
 Horizontalgeneratoröfen, Betriebsresultate der 352.  
 Horizontalkammeröfen 371.  
 Horizontalöfen mit 6 m-Retorten 352.  
 H<sub>2</sub>S, Bestimmung 265; Bestimmung des Aufnahmevermögens von Reinigermasse 461; Bestimmung, quantitative von Bunte 266; Bestimmung, quantitative mit Cadmiumacetat 267; Bestimmung in C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 267; Bestimmung als Schwefelsäure 267; CS<sub>2</sub>-Bestimmung durch Überführung in 267; und NH<sub>3</sub>, Felds Reinigungsverfahren zur Auswaschung von 482; -Gehalt des Gases, Dauerprüfung 457; -Gehalt des Gases 283; -Gehalt, Schädlichkeit 445; Prüfung auf 265.  
 H<sub>2</sub> Umsetzung mit CO 941.  
 Hydraulische Ventile 538; Wechsler 478.  
 Hydrinen, Petroleumbenzin, Gasolin, Rohstoffe der Luftgaserzeugung 685.  
 Hygiene der Beleuchtung, Französische Kommission zum Studium der 1027; Gasbeleuchtung 1042.  
 Hygienischer Vergleich der Beleuchtungsmittel 1047.  
 Hygrometer 271.
- I**mmediatanalyse (Rohanalyse) 280.  
 Imperialzündler 1042.  
 Imprägnierung des Calciumcarbids 698.  
 Indirekte Beleuchtung, Praktische Zahlenwerte 1042.  
 Induktionszündler, elektrische 1040.  
 Industrie, Anwendung der Gasfeuerung in der 1058.  
 Industrielle Verwendung des Wassergases 880.  
 Injektoren als Gassauger 532.  
 Injektorregler von Dahlen 522.  
 Inkandescenzbeleuchtung, Übergang zur 24.  
 Innenbeleuchtung, Berechnung der Lichtstärke aus der geforderten Beleuchtungsstärke 1020; Berücksichtigung der Reflexion der Wände 1019; Einfluß verschiedenfarbiger Anstriche und Tapeten 1021; Gleichmäßigkeitskoeffizient 1025; Kontrollmessung der Lichtverteilung 1025; Lichtverteilung 1018; mit direktem Hochlicht 1024; Nachteile zu geringer 1018; Notwendigkeit gleichmäßiger 1018; Pintschs Druckwellenzünder für 1036; Vermeidung der Blendung 1023; Wärme-
- wirkung der Lichtquellen 1027; Wirkung der ultravioletten Strahlen 1027; zulässige Wärmestrahlung 1027; zulässiger Glanz 1026.  
 Innenleitungen, Dimensionierung 609; Prüfung 609; Rohmaterial 607.  
 Integrierende Photometer von Krüss 179.  
 Interferenzphotometer von Lummer 164.  
 Interferometer, Gasrefraktometer 262.  
 Internationale Vereinbarungen über die Lichteinheiten 154.  
 Intzebehälter 492.  
 Invertbrenner 961; -licht, hängendes Gasglühlicht 962.  
 Isaria-Zählerwerke, Kontrollgasmesser der 630.  
 Isolierung der Öfen 339.  
 Isoluxkurven, Kurven gleicher Horizontalbeleuchtung 1014.
- J**alousieskrubber 429.  
 Jodpentoxydmethode zur CO-Bestimmung 270.
- K**alklicht, Anwendung des Wassergases für Drummondsches 773; von Drummond 5, 946.  
 Kalkreinigung 485.  
 Kalorie, Einheit der Wärmemenge 105.  
 Kalorimeter (siehe auch Gaskalorimeter) 111; registrierendes von Beasley 127; von Fahrenheit 126; thermoelektrisches von Ferry 127; für feste Stoffe 128; für flüssige Brennstoffe von Junkers 120; für kleine Gasmengen von Stöcker und Rothenbach 121; von Junkers 110, 111; registrierendes 126; nach Berthelot-Mahler 129; neue Form des Junkerschen 119; von Parr 130; von Strache 122.  
 Kalorimetrie 105.  
 Kalorimetrische Bombe von Berthelot-Mahler 128; Temperaturbestimmung 101.  
 Kalte Lichter, Temperaturleuchten und 24.  
 Kammerbetrieb, Bedingungen 366; Gang der Entgasung 367.  
 Kammern, schräge, horizontale und vertikale 368.  
 Kammerofenbetrieb, Arbeitslöhne beim 375; Gasausbeute 374; Resultate 374; Vorteile 367.  
 Kammeröfen 365; Anlagekosten von 375; Bedienung 370; im Freien 375; Löschtürme 396; Münchener 369; Platzbedarf 376; Temperatur in 376; und Koksöfen, Unterschied 365.  
 Kammerwände, Dichtigkeit 366.  
 Kandelaber und Laternen 997; Erdbock 1001; für Hängelicht 1001; und Wandarme 1000.

- Kapillarität, Ablesefehler wegen 187.  
 Kasten, Regenerierung im 450.  
 Katalysator, Einwirkung auf die Generatorgasbildung 328.  
 Katalysatoren 46.  
 Katalytische Zündung (Pillenzündung) 1036; Theorie des Gasglühlichtes von Killing 948.  
 Kathodenstrahlen 25.  
 Kegelrost bei Generatoren 747.  
 Kenotoxin 104, 1047.  
 10-Kerzen-Pentanlampe 152.  
 Kesselfeuerung 402; mit Teer 545.  
 Kennspan 2.  
 Kieselsäure im Wassergas 816; im Generator- und Halbwassergas 750; im Halbwassergas 751; -pulver aus dem Wassergas, Zusammensetzung 817.  
 Kinetische Gastheorie als Grundlage der Thermometerskala 90.  
 Kippvorrichtung 431.  
 Kirchhoffs Gesetze 28; Konstante des — Satzes 30.  
 Kitt für Steigerrohr und Retortenmundstücke 405.  
 Kitton 547.  
 Kleine Gaswerke, Anordnung der Apparate in 565.  
 Kleinmotoren für Gas 1089.  
 Kletterzündung für Straßenlaternen, Durchschlagzündung 999.  
 Kochbrenner mit innerer Luftzufuhr von Wobbe 1082.  
 Kochen mit Gas und elektrischem Strom, Vergleich 1084; mit Gas, Vorteile des 1078; Kochen und Heizen, Verwendung des Wassergases 879.  
 Kochgas 12.  
 Kochplatten, geschlossene 1081.  
 Kochtöpfe, Einfluß auf die Gaskocher 1079.  
 Körperfarben bei farbiger Beleuchtung 27.  
 Kohlen als Rohmaterial der Gaserzeugung 272; Entgasung der Kohle und Vergasung des Kohlenstoffs 302; Formeln zur Berechnung des Heizwertes aus der Elementaranalyse 109; Heizwert 109; spez. Gew. der 284; und Kokslager 561; Nutzeffekt der Vergasung im Generator 735; Untersuchung der 278; Verhalten beim Erhitzen 304.  
 Kohlenbrände, Entstehung der 294.  
 Kohlenbrecher, Schüttgrube und 300.  
 Kohlenbunker für Franckes Lademaschine 386.  
 Kohlengaswerke 1111; allgemeine Bestimmungen für 1111; Betriebsanlagen in 1112; öffentliche Beleuchtung in 1113; Rohrlegungen in 1114; Transportgeleise in 1114.  
 Kohlenlager, gedeckte und offene 293; Schütthöhe in 294.  
 Kohlenoxydeisen im Wassergas 817.  
 Kohlenoxydes, spez. Wärme des Stickstoffs, Sauerstoffs und 54; Zerfall des 48, 327.  
 Kohlenoxyd, Methanbildung aus Wasserstoff und 929; Umsetzung mit Wasserstoff 940.  
 Kohlensäuregehalt des Wassergases 813.  
 Kohlensäure, Schädlichkeit der durch Verbrennung oder Atmung entstandenen 104; Reduktion der 47.  
 Kohlensorten, Vorkommen und Einteilung 272; zur Gaserzeugung 273; Zusammensetzung der 276.  
 Kohlenstoff aus Kohlenwasserstoffen 70; Berechnung des im Generator verbrannten 721; Bestimmung im Teer 543; Verbrennung 41; Verbrennungstemperatur in Luft 68; Verbrennungstemperatur im Sauerstoff 88; und Wasserstoff, Methanbildung aus 929; unvollständige Verbrennung 322; spez. Wärme 55; Vergasung durch Wasserdampf 330.  
 Kohlenstoffausscheidung in der Flamme 24, 73.  
 Kohlenstoffverbrauch beim Gasen im Wassergasgenerator 802.  
 Kohlenstoffvergasung 302, 322.  
 Kohlentransport 295.  
 Kohlen- und Kokslager 561.  
 Kohlenuntersuchung, Wert der 278.  
 Kohlenvergasung im Wassergasgenerator, System Strache, Type E 853.  
 Kohlenvorräte der Erde und deren Dauer 274.  
 Kohlenwasserstoffe, Absorption der schweren 212; Ausscheidung von Kohlenstoff aus 70; Einfluß der Temperatur auf die gasförmigen 306; Leuchtkraft der Acetylen- und anderen 715; Trennung der schweren 263; unvollkommene Verbrennung von 48; Wasserstofferzeugung durch Zersetzung von 942.  
 Koks, Ausgasung des 305; Behandlung des 390; Generatorgas aus 736; Qualität 390; Qualität bei Kammeröfen 376; Vergasung 401; Verwendung 401; Zusammensetzung 392.  
 Koksausbeute 390; beim Mischgasbetrieb in der Vertikalretorte 922; und Härte des Kokses 289.  
 Koksfeuerung, Füllöfen und Zentralheizung mit 402.  
 Kokslager und Kohlenlager 561.  
 Kokslöschrinne von de Brouwer 397; von Eitle 398.  
 Kokslöschturm 393.  
 Kokslöschvorrichtung 393.

- Koksöfen, Absaugen der Gase beim Füllen der 663; Benzolgewinnung in 659; Entwicklung der 660; in Gaswerken 659; liegende 660; von Coppée und Otto 661; von Koppers 662; Unterschied zwischen Kammeröfen und 365.
- Koksöfengas 654; als Zusatz 658; Städteversorgung mit 657; und Steinkohlengas 654; -versorgung 658; -verwertung 656; -zusatz, Vorteile und Nachteile 659; Zusammensetzung 656.
- Koksöfen von François 660.
- Koksporösität, Bestimmung der 391.
- Koksrinne, Nachteile der 399.
- Koksrückstand, Qualität 308; Verhalten 275.
- Kokstransport 390; in Hängebahnen 399; nach Bamag-Marshall 398; nach Storl 400; von Illigs 399; Vorrichtungen zur Bedienung der Lagerplätze 400.
- Koks- und Ölpreise 915; und Ölverbrauch für ölcaburiertes Wassergas 897.
- Koksverbrauch bei Generatorfeuerung 345; bei Rostfeuerung 344.
- Koksziehhacken 388.
- Kolbengassauger von Gareis 532.
- Kolloidales Palladium 216.
- Komplementäre Farben 16.
- Kompression, Kraftbedarf für die 593.
- Kompressoren zur Preßgaserzeugung 977.
- Kondensate 320.
- Kondenstöpfe und Absperrvorrichtungen in den Zuleitungen 607.
- Konstanthalten der Temperatur 217; des Niveaus in der Vorlage 406; des Nullpunktes, Vorrichtungen zum 190; von Druck und Feuchtigkeit 217.
- Konsumsteigerung durch die Heizgasverteilung 1057; Konsumregler 527.
- Kontinuierliche Entgasung 364; Vorteile und Nachteile 361.
- Kontraktion, Bestimmung von Wasserstoff aus der 248.
- Kontrast, Lummer-Brodhuns Vergleichkörper für Gleichheit und 163.
- Kontrastphotometer 158.
- Kontrollgasmesser 630.
- Kontrollmessung der Lichtverteilung bei Innenbeleuchtung 1025.
- Konversionskoeffizient, sphärischer Reduktionsfaktor 135.
- Konzentriertes Ammoniakwasser 550.
- Kopfflächen 575.
- Korrekturen beim Junkerschen Kalorimeter 113, 118.
- Krematorien mit Gasfeuerung 1060.
- Kresotgehalt der Gasöle 667.
- Kreuzschlitzdüse 957.
- Kreuzventile, Eckventile 538.
- Kubizierapparate 636.
- Küche, das Gas in der 1078.
- Kugelfüllung für Standardwäscher von Zschokke 435.
- Kugelphotometer von Ulbricht 179.
- Kühler 409; Kontrolle der Temperaturen 416.
- Kühlflächen für Luftkühler, Berechnung 413; bei Wasserkühlern, Berechnung 415.
- Kühlring für Wassergasgeneratoren von Blass 827.
- Kühlung durch Luft und Wasserkühler, allmähliche 414; und Reinigung des Ölgases 676; im Steigerrohr 410; Zweck der 409.
- Kühlwirkung, Regelung der 411.
- Kunstseidenglühkörper 989; der Cerofirm-Gesellschaft 989; nach dem Chardonnetverfahren 989; nach dem Patent von Plaissetty 989; -verfahren von Gross, Beran & Beadle (Viskoseverfahren) 990; Vorzüge der 990.
- Kupferchlorür, ammoniakalisches 215.
- Kupferchlorürlösung, Salzsäure 215.
- Kurventafel zur Ermittlung der Horizontalbeleuchtung von Weber 1013.
- Kurve von Rousseau 178.
- L**ademaschine, Bamag 386; de Brouwer 387; von Francke 384; mit motorischem Antrieb 386; Zwilling von Eitle 383.
- Lademulden, zweiteilige 383.
- Lade- und Ziehmaschinen 382.
- Ladung der Retorten 346.
- Lagerbeschickung 302.
- Lagerbestand, notwendiger 291.
- Lagerung und Transport der Kohle 291.
- Lagerverluste der Kohle 291.
- Lagerzeit, Einfluß der 312.
- Lamingsche Masse 445.
- Lampen für Bergwerke und Fahrradlaterne 705.
- Langflammige Verbrennung 342.
- Langsame Verbrennung 249.
- Langwellige Strahlen 22; Absorptionsvermögen für 26.
- Laternen, Aufhängehöhe der 1001; -Fernzündler, Anforderungen an gute 1035; -hähne, Anordnung der Zündflamme 999; Auftauschraube 999; schattenlose 998; sechseckige (sechsscheinige) 997; viereckige (vierscheinige) 997; Zuleitungen 585; und Kandelaber 997; -hähne und -zündung 999; Zweck und Form der 997.
- Leicht-Mittel und Schweröle, Bestimmung 543.
- Leinbachs Beziehungen 38.
- Leitungen, Gefälle 576.

- Lenkballons, Verwendung des Wasserstoffs für 932.  
 Leuchtfeuer, Parapolspiegel für 1008; Ölgasbrenner für 1009.  
 Leuchtgas, flüssiges 681; komprimiertes (transportables Gas) 680.  
 Leuchtkraft des Glühlichtes, Verhältnis zum Heizwert des Gases 953; der Gasbestandteile 647; der Glühkörper, Einfluß der Fadenstärke auf die 954; -norm. Ersatz durch die Heizkraftnorm 648; und Heizkraft des Gases 647; des Gases im Gasglühlicht, Zusammenhang mit dem Heizwert 650; offener Ölgasflammen 680; Veränderung der 314.  
 Leuchttürme, Lichtweite und Tragweite 1008.  
 Leuchtwertzahl der Gasöle 668; und Heizwertzahl 311.  
 Lichtäquivalent, mechanisches 18.  
 Lichtbedürfnis, Entwicklung 8.  
 Lichtbrechung der Gasöle 667.  
 Licht, das Wesen des 9; Farbe des künstlichen 9; Messung der Unruhe des 1026; Wärmeäquivalent des 36.  
 Lichteinheiten 138; Arten der 139; Bedingungen guter 139; Internationale Vereinbarungen über die 154; und photometrische Grundbegriffe 131.  
 Lichteffect bei Preßgasbeleuchtung 974.  
 Lichtempfindung 14.  
 Lichterzeugung, Mittel zur 23.  
 Lichtgeber, Lichtträger und inaktive Bestandteile 646.  
 Lichtquellen, Anlagekosten 1053.  
 Lichtstärke 133; Berechnung aus der geforderten Beleuchtung bei Innenbeleuchtung 1020; des Gasglühlichtes, hemisphärische und sphärische 1016; pro  $1 \text{ mm}^2$  bei verschiedenen Temperaturen 35; Regulierung der 1045; Steigerung mit der Temperatur 34; von  $1 \text{ mm}^2$  der Sonnenoberfläche 35.  
 Lichtstrom 133.  
 Lichtträger, Lichtgeber und inaktive Bestandteile 646.  
 Lichtverteilung 1010; bei Innenbeleuchtung 1018; bei Moorelicht 1045; bei verschiedenen Lichtquellen 1044; durch geschliffene Gläser 1023; Forderung betreffs der 10; graphische Darstellung durch die Beleuchtungsfläche 1015; im Inneren 11; Kurven, Polarkurven des hängenden und stehenden Gasglühlichtes 1016; Wichtigkeit der Messung von Beleuchtung und 1010.  
 Lichtwirkung und chemische Wirkung der Strahlen 15.  
 Lochzylinder für Gasglühlicht 959.  
 Löhne 376.  
 Löschung des Kokes 393.  
 Löschvorrichtung von Schlemming 394.  
 Löslichkeit der Gase in der Sperrflüssigkeit 209; des Naphtalins 436.  
 Lösungstension und Partialdruck 425.  
 Luftbedarf bei der Verbrennung 43; bei Regenerierung 448; Casaubons Methode der Bestimmung des 110; der Gase, Verbrennungswärme 52; des Ölgases 679.  
 Lufterwärmung, Heizwirkung durch Strahlung oder 1069.  
 Luftgas 679; Anwendung und Kosten 691; aus Benzol 687; Bedingungen zur Erzielung eines gleichmäßigen 686; Geschichte 685; Zusammensetzung und Eigenschaften 687; Gewichtsmotoren für 688; Vergleich mit Acetylen 716.  
 Luftgasanlagen 688; Beispiel einer vollständigen 692; Gasdruck in Luftgasanlagen 692; Gebläse für 689; Kraftbedarf 688; Motore für 688; Reserveapparate 692.  
 Luftgasapparate, Beispiel eines 690; Benzinzufuhr 689; Bezeichnung der 685; Typen der 689; Verdampfer der 690.  
 Luftgaserzeugung, Wesen der 684.  
 Luftgasfabriken 1115.  
 Luftgehalt der Gasproben 211; im Gase, gefährlicher 64.  
 Luftheizung, Vorzüge der Beheizung mittels Strahlung 1070; Zirkulationsheizung 1073.  
 Luftkühler 411; Berechnung der Kühlflächen 413.  
 Luftprüfer von Lambrecht 253.  
 Luftregulierung beim Hängelicht, Aerostat 970.  
 Luftschiffahrt, Zusammenwirken von Gasindustrie und 946.  
 Luftthermometer, Gasthermometer 94; von Wiborgh 95.  
 Luft, Verunreinigungen der 40; Wasserdampfgehalt der 40.  
 Luftzusatz 450; Größe des 451; Stelle des 453; Vorrichtungen für den 453.  
 Lukasstarklichtlampe 980.  
 Lumen 133.  
 Lumineszenz und Fluoreszenz 24; Theorie von Nichols und Droßbach 948.  
 Lunarlicht von Frankenthal 5.  
 Lunette pyrometrique 102.  
 Lux 133; oder Hefner-Lux 134.  
 Luxmasse 458; Mischung mit Raseneisenerz 459; Vor- und Nachteile 458.  
 Magnesiaglühkörper von Clamond und Fahnehjelm 947.  
 Magnesiakämme, Beleuchtung mit Wasser gas durch Fahnehjelm 775.  
 Magnesiaringe für Hängelichtglühkörper 993.

- Mannesmannrohre 574.  
 Manometer 182; Arten der 186; dynamische 202; einschenkliche 184, 188; Farbstoffe für 185; Leitungen 205; Lux, Maximal- und Minimal- 204; mit konstantem Nullpunkt 188; multiplizierende 195; schwere und leichte Flüssigkeiten 185; von Scheurer-Kestner und Schuhmacher 196.  
 Manometerschwimmer, Ungerhofsers 185.  
 Manometertafeln mit einschenklichen Manometern 189.  
 Maschinelles Kohlen- und Kokstransport 297.  
 Maßanalytische Methoden 252.  
 Massereiniger in Wassergasanlagen 865.  
 Maße und Meßinstrumente 89.  
 Mauerkanäle für Rohrleitungen 608.  
 Mauerwerk bei Retortenöfen, Erneuerung 365.  
 Maximal- und Minimalmanometer 204.  
 Mechanisches Lichtäquivalent 18.  
 Mehrfachschalter, Uhrwerkschalter für Treppenhaus-Gasfernzündung, Zentralschalter 1022.  
 Membranregler 528.  
 Meniskus, Ablesung 209; Einfluß des 187.  
 Messung großer Gasmengen 222; und Aufspeicherung des Gases 404.  
 Meßinstrumente, Maße und 89.  
 Metallfadenglühlampe 7.  
 Metalloxyde als Reinigungsmittel 445; Flasche, Verdampfung 330.  
 Metallpyrometer 93.  
 Metallzündung, Bedingungen für die 1039.  
 Meteordruckwellenzünder 1033.  
 Meterkerze 134.  
 Methanbildung aus Kohlenstoff und Wasserstoff 929; aus Wasserstoff und Kohlenoxyd (Wassergas) 929; durch Zersetzung organischer Substanzen 930.  
 Methan, Eigenschaften und Entstehung 927; Ursprung des im Halbwassergas enthaltenen 736; Darstellung im Laboratorium 927; Sumpfgas 931; Synthesen des 927.  
 Methangehalt des Wassergases 814.  
 Methangleichgewichte, Untersuchung über die 928.  
 Methanquelle, Naturgas als 931.  
 Methanwassergas, Carburation des Wassergases mit Teer 900.  
 Mikrobrenner 961.  
 Mikromanometer 196.  
 Milchglasphotometer 174.  
 Milleniumbrenner 979.  
 Milleniumlicht von Knapp und Steilberg 975.  
 Milleniumpreßgas, Regler 978.  
 Mindestbeleuchtung für Innenräume 1011; für Straßen 1011.  
 Mineralölpreise, Mineralölzölle 664.  
 Minimal- und Maximalmanometer 204.  
 Mischfarben 15.  
 Mischgas, Berechnung des Wassergaszusatzes 912; die ersten Anwendungen 911; Einfluß der Heizwertnorm auf die Rentabilität 915; Koksausbeute beim — in der Vertikalretorte 922; Unterfeuerung beim — in der Vertikalretorte 921; mit uncarburiertem Wassergas 912; Vorteile besonderer Wassergasanlagen 923; Vorzüge des 911; Einfluß des CO<sub>2</sub>-Gehalts auf die Leuchtkraft 919; Einregulierung der Glühlichtbrenner 914; Regelung des Heizwertes durch wechselnde Carburation 916; Messung der Leuchtkraft der offenen Flamme 919.  
 Mischgasbetriebe, Berechnung des Heizwertes des zuzusetzenden Wassergases 915.  
 Mischgaserzeugung, Anlagekosten der Vertikalretorten für 922; Dampferzeugung bei der nassen Vergasung 920; durch nasse Entgasung in den Vertikalretorten 920; im Schachtofen nach Young 926; Gesamtkosten der — im Vertikalofen 923; Kosten des Dampfes für die Vertikalretorte 922; Nürnberger Arbeitsweise 914.  
 Mischgasgenerator, das Doppelgasverfahren 924.  
 Mischgassystem, Einfluß der Koks- und Ölpreise auf die Wahl 915.  
 Mischrohr der Glühlichtbrenner 957.  
 Mischungsregel, Berechnung des Heizwertes von Gasgemischen 128.  
 Mittlere hemisphärische Lichtstärke 178; Bestimmung der — horizontalen Lichtstärke 175; Berechnung der — sphärischen Lichtstärke 177; graphische Ermittlung der — sphärischen Lichtstärke 177.  
 Molekulargewicht, mittleres 264.  
 Molekularvolumen 43.  
 Monazitsand, Zusammensetzung 987.  
 Mondgas 763; Generatorgas, Halbwassergas 720; Zusammensetzung 766.  
 Mondgasgenerator 763.  
 Mondgasgeneratoren, Torfverwertung 767.  
 Mondgasprozeß, Nutzeffekt 766.  
 Mondgasverfahren, Mengenverhältnisse und Temperaturen beim 765; Wesen 763.  
 Mondgaszentrale in Winnington 766.  
 Mondlicht 9, 1010.  
 Moorelicht 25; Lichtverteilung beim 1045.  
 Mortontüren 403; Schmierung der 404.  
 Motorentrieb für die Luftgasanlagen 688; mit Halbwassergas, Gichtgas, Großgasmotoren und Sauggasmotoren 1089.  
 Motor, Gasverbrauch im 1090.  
 Muffendichtung, Bleidraht und Riffelblei 577; mit Blei 577.

- Muffenstahlrohre 1106; Dimensionen 1108.  
 Müll- und Schlammvergasung 653.  
 Multiplexzünder 1041.  
 Multiplikator, Elster 195; King 195.
- N**achtarbeit, Entfall der 368.  
 Naphtalin 319; Abscheidung 319; Aufnahmevermögen des Waschöles für 438; Ausscheidung 436; Dampfdruck 319; Eigenschaften 435; Löslichkeit 436; Zersetzung 319.  
 Naphtalinausscheidung durch Xylol, Entfernung von 439.  
 Naphtalinbestimmung 269.  
 Naphtalingehalt, Untersuchung der Waschöle auf 439.  
 Naphtalinwäsche 435; mittels Teerölen 437.  
 Naphtalinwäscher 439; Verunreinigung von Cyan- und 444; von Bueb 437.  
 Naphtalinwaschmittel, Teer als 547; Vertikalofenteer als 438; Wassergasteer als 438.  
 Naphtalinwaschöl, Verbrauch an 439.  
 Naßbetrieb, Meinungen für und gegen den 355; Wassergaserzeugung in der Vertikalretorte 355.  
 Nasse Gasmesser, Prinzip 620; und trockene Gasmesser 619; Vergasung 355.  
 Naturgas 717; als Methanquelle 931; Ansichten über die Entstehung 717; erste Anwendung 718; Gasolingerwinning aus 720; Zusammensetzung 720.  
 Naturgasfelder 718.  
 Naturgasleitungen in Amerika 718.  
 Naturgasquellen in Europa 718.  
 N<sub>2</sub>, Bestimmung von H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> durch Verpuffung 249.  
 N, C, H, Bestimmung von 287.  
 Nebenprodukte, Wert der 540.  
 Nebenwirkung der Lichtquellen 11.  
 Netzhaut, Stäbchen und Zapfen 16.  
 NH<sub>3</sub>-Bestimmung 269.  
 Nickel-Kohlenstoff-Pyrometer von Hirschsohn 100.  
 Niederdruckstarklichtlampen 985.  
 Niveaugefäß von Kurz, Ritschel und Henneberg 192.  
 Normalbeleuchtung 1012.  
 Normalbrenner für Gase 182.  
 Normalkerze 142.  
 Normalphotometer des deutschen Vereins 165.  
 Normalprofile 833.  
 Notroststäbe, gekühlte 344; Schlacken der Wassergasgeneratoren 825.  
 Nullpunkt, Vorrichtung zum Konstanthalten des 190.
- <sub>2</sub>-Absorption 213.  
 Oberflächenverbrennung, Bones 61.  
 Oberlichtbeleuchtung 1025.  
 Oberluftregler 341.  
 Öfen, Aufstellung der — im Freien 560; Bestandteile der 335; Münchener 349; zur Entgasung der Kohlen 332.  
 Ofenhäuser 560.  
 Ofenhülsen 335.  
 Ofenkonstruktionen 348.  
 Ofenreparaturen 364.  
 Ofensysteme, Vergleiche der verschiedenen 376.  
 Ofensystem, Wahl des 381.  
 Ofentypen 334.  
 Ökonograph 239.  
 Ökonometer, Arndts 255.  
 Ölcarburation, Wassergasgenerator für 694; die heiße Carburation 885; zweckmäßige Temperaturen 889; Wassergasgeneratoren für Heißcarburation 891; Verhältnis der Kosten der — und uncarburierten Wassergases 899.  
 Ölcarburiertes Wassergas, Heizwert 886; Koks- und Ölverbrauch 897; Kosten 898; Leuchtkraft 886; Mischgasbetrieb mit 913; Reinigung 885; Verwendung 901; Zusammensetzung 887.  
 Öle, Eignung der — zur Gaserzeugung 665.  
 Ölgas 663; Eigenschaften des 679; Einführung zur Waggonbeleuchtung 1003; Entstehung und Verwendung 663; Kompression und Sammelbehälter 1003; Schwefelgehalt 679; Seebeleuchtung mit — oder Blaugas 1008; von Drescher 672; von Pintsch 671; Wasserstoffgewinnung aus — nach Rincker und Wolter 943; Betriebspausen und Behältergröße 677; Zusammensetzung 677; Explosionsfähigkeit der Gemische von Acetylen und 713.  
 Ölgasanlagen, Hausgasmesser bei 677; normaler Druck in 680.  
 Ölgasapparat von Rincker und Wolter 676.  
 Ölgasbeleuchtung und elektrische Beleuchtung in Waggons 1006.  
 Ölgasbrenner für Leuchtfeuer 1009.  
 Ölgaserzeugung in Koksgeneratoren 676; Rohstoffe zur 664; aus Abfallstoffen 664.  
 Ölgasgenerator Pintsch 674; Stuts 675.  
 Ölgasglühlicht für Bojenbeleuchtung 1009; hängendes — für Waggonbeleuchtung 1006; Leuchtkraft 680.  
 Ölgasinvertlampen, Gasverbrauch und Lichtstärke 1006.  
 Ölgasretorten, Beurteilung der Temperatur 673; Graphitbildung 673; Teerbildung 673.  
 Ölpreise, Einfluß auf die Wahl des Mischgassystems 913.  
 Ölverbrauch für ölcarburiertes Wassergas 897.

- Ölvergasung, chemische Vorgänge 665; in Generatoren 674; Öfen zur 670.
- Orsobrenner 960.
- Omnialampe 1001.
- Optisches Flammenmaß von Krüss 143; für Hefnerlampen 146.
- Orsatapparat 228; für genaue Bestimmungen 231; Verbesserung des 229.
- P**alladium, kolloidales 216.
- Palladiumchlorürprobe 598.
- Parfümierung des Wassergases 821; Apparate zur 865.
- Parfümierungsverfahren von Strache und Reitmayer 866.
- Parabolspiegel und Linsen für Leuchtfeuer, Gürtellinsen und Scheinwerfer 1008.
- Partialdruck und Lösungstension 425.
- $\text{PdCl}_2$  271.
- Penetration der Ballonstoffe 946.
- Pentairluftgasapparate 689.
- Pentanlampe 152.
- Permanente Gase, spezifische Wärme 53.
- Petroleum 2.
- Petroleumäther, Gasolin, Hydrinin, Rohstoffe der Luftgaserzeugung 685.
- Petroleumbenzin, Gasolin, Hydrinin, Rohstoffe der Luftgaserzeugung 685.
- Pflanzenabfälle, Halbwassergas aus 741.
- Pharoslicht 983.
- $\text{PH}_3$ -Bestimmung 269.
- Phenylhydrazin, Samtlebens  $\text{CS}_2$ -Absorption in 488.
- Phosphor 214.
- Photometer, Arten der 164; neue Ausführungen des Brodhunschen 171, 172; für Beleuchtungsmessungen 167; der Gas Referees 158; integrierendes, von Krüss 179; von Weber 167.
- Photometerbank 165; -bänke, Länge der 167; -kopf von Martens 164; -würfel 162.
- Photometrie 154.
- Photometrische Größen, Dimensionen der 137; und Einheiten 135; Grundbegriffe 131; Vergleichskörper 157.
- Physiologischer Proportionalitätsfaktor 37.
- Pipetten, Verschuß der 224.
- Platineinheit von Lummer und Kurlbaum 140; von Petavel 140; von Siemens 140; Schwierigkeiten bei der Violleschen 139.
- Platinfeuerzeug, Döbereiners 1037.
- Platingas in Narbonne 772.
- Platinlicht, Gillards 947.
- Platinmohr, Gasanzeigeapparate mit 616; -pillen nach Duke 1037.
- Platinnickel-Pyrometer von Hartmann und Braun 100.
- Plancks Spektralgleichung 34.
- Plätze, Beleuchtung 1017.
- Platzhelligkeit, Bestimmung 168.
- Pneumatischer Zünder und Askania-Luftdruckzünder 1030; Zündung, Vorzüge der 1030.
- Pneumometer, Anzeigen, Tabelle der 644; vereinfachtes 643; von Krell 643.
- Polarkurve, Konstruktion der 177; Lichtverteilungskurven des hängenden und stehenden Gasglühlichtes 1016.
- Polarisation, Schwächung durch 155.
- Poles Formel 568; für hohe Drucke, Lenze-Jägers erweiterte Formel 581.
- Polymerisation des Acetylens 307; durch Erhitzung 713; und Zersetzung bei der Erzeugung 701.
- Porosität und Raumgewicht der Kohle 285.
- Preßgasbeleuchtung, Ausdehnung der 975; Ursachen des verstärkten Lichteffectes 974.
- Preßgasbrenner 979; der deutschen Gasglühlicht-A.-G. 980; von Ehrich und Graetz 980; hängende 980; Lichtstärke und Gasverbrauch stehender 979; -druck, Regelung 978; -düsen, Reinigung der 984; -erzeugung, Kompressoren 977; Motoren und Kraftbedarf 976; oder Luftgasansaugung, Problem der Ausnutzung der Abhitze zur 980; -glühkörper, doppelte 992; -lampe der James Keith & Blackmann Co. 980; -lampen, Abbrennen der der Glühkörper in den 984; Zündung 984; -Systeme, die neueren 975; und andere Starklichtlampen 974; Preßluftbeleuchtung, Vergleich zwischen 985; und Preßluft, Leitungen für 984.
- Preßgas, elektrische Zünder 1042; für technische Zwecke 1060; Glühkörper 979; Rotgießer und Salzenberg 975.
- Preßluftbeleuchtung 983; -lampen, Gasverbrauch der 983; der deutschen Gasglühlicht-A.-G. 983.
- Primäre Verbrennung 82.
- Primärluftzufuhr der Gasglühlichtflammen 952.
- Primär- und Sekundärluft 82.
- Prinzeps Legierungen 97.
- Privat-Konsumenten an Preßgasleitungen 984.
- Probeheizungen 287.
- Propaganda für die Verwendung des Gases 1044.
- Probenahme 278.
- Proberohre im Straßenkörper 597.
- Probevergasung 288, 668; Einfluß der Temperatur auf die 669; der Gasöle nach Hempel 669; Temperatur bei der 289; Werneckes Apparat zur 668; Wertbestimmung nach der 290.

- Produktionsleitungen der Wassergasanlagen 863; -registrator 904.
- Profilierung der Oberfläche der Reinigungsmasse 468.
- Psychrometrische Differenz 271.
- Publikum, fortlaufende Aufklärung des 1094.
- Pupillengröße, Veränderung der 21.
- Puratylen 710.
- Purkinjes Phänomen 167.
- Pyrogallol 213.
- Pyrogene Zersetzung der Kohlenwasserstoffe 306; Zersetzungen des  $CS_2$  487.
- Pyrometer von Kurlbaum und von Morse 105; von Wanner 103.
- Pyrometrie 89.
- Qualität** des Gases, Bedeutung der gleichbleibenden 649; der Kohle 275.
- Quecksilbersäule, Atmosphäre, Wasserdruck 183; Umrechnung auf mm Wassersäule 1095.
- Quecksilberthermometer 91; mit Stickstofffüllung 92.
- Quecksilberventile 540; Pflückes Flammenregler mit 529.
- Quinquets Lampenzylinder 2.
- Radial- und Tangentialführung** 501.
- Radiator-Gasheizöfen 1074.
- Raseneisenerz 458.
- Rauchbelästigung 1056; -gasprüfer von Eckardt 240; -gase, Sammelkanäle 338; -gasschieber 338.
- Rauch, Schädlichkeit des 1055.
- Raumgewicht und Porosität der Kohle 285.
- Raumkühler von Klönne 410.
- Räumliche Lichtverteilung 135.
- Reaktionsgeschwindigkeit 45; -isochore des Wassergleichgewichtes 85; -strahlung, chemische Strahlung 71; -wärme 331.
- Rechentafeln für Beleuchtungsstärken von Bertelsmann 1016.
- Rechlaterne 999.
- Reduktion der  $CO_2$  durch  $H_2$  330; der Gasvolumina 107, 1096.
- Reduktionsfaktor, sphärischer 135; -gasmesser von Thorp und Marsh und von Elster 630; -material zur Wasserstoff-erzeugung 939; -ofen der Internationalen Wasserstoffgesellschaft 939.
- Reflektierende Flächen, das Albedo 1021.
- Reflektoren bei Innenbeleuchtung 1022.
- Reflektorkamine 1072; -öfen, Untersuchung 1066.
- Reflexion der Wände, Berechnung der Innenbeleuchtung 1019.
- Reflexionsvermögen 28.
- Regeneration bei Ölgasöfen 672; nach Pintsch-Hermansen 336.
- Regenerativbrenner 1002; -kammeröfen von Koppers 373; -koksofen von Koppers 661.
- Regeneratoren, Anwendung für Wassergas 773; Sekundärluftzufuhr 793; Theorie 790; bei Wassergasapparaten 792.
- Regenerierung, Einfluß der Temperatur bei der 448; Erwärmung bei der 448; Farbenänderung bei der 449; im Kasten 450; Luftbedarf 448; Raum für die 561.
- Registrierender Analysenapparat, Wichtigkeit 237.
- Regler, Jägers Anordnung 523; der Apparate - Vertriebs - Gesellschaft Wilmersdorf 513; von Dahlen 522; trockene 513; von Elster 513; von Gareis 519; von Hahn 536; für Hochdruckleitungen 523; für hohe Drucke 512; mit Gasdruckbelastung oberhalb der Glocke 513; mit Quecksilberabschluß 512; Wasserbelastung 509.
- Regulierdüse der Dessauer Zentralwerkstatt 947; für den Gasglühlichtbrenner 956.
- Regulierung der Lichtstärke bei verschiedenen Lichtquellen 1045.
- Reibzünder 1039.
- Reichgas und Armgas 655.
- Reihenfolge und Größe der Gaswerksapparate 558.
- Reiniger 466; -anlagen, Schaltvorrichtungen 475; Beschickung 453; -deckel, Hebevorrichtungen 473; Lufteinlaß 474; Niederhaltung 474; trockene Dichtung 468; im Freien 562; Konstruktion 467; mit einfachen Gasschiebern, Schaltung der 478; mit geteiltem Gasstrom 469; mit geteiltem Gasstrom, Bamag 470; mit umgekehrtem Gasstrom 468; mit Umschaltung auf geteilten Strom von Klönne 469; Schaltung der 454; Verringerung des Druckverlustes 469.
- Reinigerhäuser 561.
- Reinigerkästen, Anzahl 453.
- Reinigung 444; Gang des Gases zwecks 404; des Ölgases 676.
- Reinigungsmasse, Aufnahmevermögen 457; Behandlung 456; Bestimmung der groben Feuchte 460; Bestimmung des Aufnahmevermögens für  $H_2S$  461; Bestimmung des Eisengehaltes 461; Bestimmung des Gesamtammoniaks 464; Bestimmung des Hydratwassers 460; Bestimmung des Schwefels 462; Cyangehalt der ausgebrauchten 459; Entnahme der Durchschnittsprobe 462; Extrahieren des Schwefels 466; Kennzeichen einer guten 460; Schwankungen der Zusammensetzung 462; Untersuchung ausgebrauchter 462; Untersuchung neuer 460; Verarbeitung ausgebrauchter 465; Verhält-

- nis des Ferrocyans zum Rhodangehalt 465; Wahl der 458; Wiederverwendung ausgebrauchter 465; Zusammensetzung ausgebrauchter 465; Zusammensetzung verschiedener 461.
- Reinigungsmittel, Metalloxyde als 445; Prüfung 456; -verfahren von Burkheiser 480; neuerer 479; von Pippig und Trachmann 487; -verschlüsse 407; von Feld 481.
- Reinkohle 281.
- Reinkoks 280.
- Reklamemittel, gute Straßenbeleuchtung als 1094.
- Reserveapparate 558.
- Retorten, Anzahl 335; Beheizung 335; -füllung 313; Ladung 346; -mundstücke 405; von Murdoch 332; zur Wasserstoff-erzeugung aus Steinkohlengas 942.
- Retortenöfen 332; Austrocknen und Anheizen 339; Bau 335.
- Reutterkühler 415; als Gaswäscher 432.
- Rezipienten, Waggonbehälter 100.
- Rhodan in der Reinigungsmasse 464; -Bestimmung im Ammoniumsulfat 552.
- Riechmittel für Wassergas 777.
- Riechrohreinlagen, ständige Überwachungsrohre 599.
- Riffelblei zur Muffendichtung und Bleidraht 577.
- Ringluftkühler 411.
- Röhrenkühler 411.
- Röntgenstrahlen 25,
- Rohanalyse, Immediatanalyse 280.
- Rohgas, Zusammensetzung 317.
- Rohöl, Vergasung von 666; Carburation des Wassergases mit 888.
- Rohrbrüche, Erkennung 594; -dimensionen, graphische Bestimmung 569; tabellari-sche Bestimmung 570.
- Rohre, Anordnung der 609; und Beleuch-tungskörper, Befestigung 609; Prüfung 574; Schutz auf elektrischem Wege 604; Verlegung 580.
- Rohrgräben 575; Füllmaterial 576; -kanäle, gemeinsame 576; -legungen in Kohlen-gaswerken 1114.
- Rohrleitungen 567; Anschluß und Ab-trennen 582; Berechnung 567; elektro-lytische Zerstörung 601; Gefälle und Wassersäcke 609; Material 573; Mauer-kanäle 608; Störungen und ihre Beseiti-gung 594; Verstopfungen 599.
- Rohrnetz, Abbohren 597; Anlage 587; Druckverhältnisse 573; Kontrolle 1036; -pläne 588; Prüfung 1035.
- Rohrpläne 594.
- Rohrstränge, Prüfung an verlegten 583; Umlegung 581.
- Rohstrumpf, Imprägnierung 991.
- Strache, Gasbeleuchtung.
- Rostfeuerung 343; Koksverbrauch 344.
- Rostöfen 348; Anwendungsgrenzen 346.
- Rostschutz für Schmiederohre 574.
- Rotamesser 641; Abhängigkeit vom spezi-fischen Gewicht 641; Anwendung 642.
- Rotarymesser, Flügelradmesser 639.
- Rotglut, Beginn der 35.
- Rotierende, abdichtende Gebläse für Wasser-gasanlagen 858; Wäscher (Standard-wäscher) 433.
- Rüböl-Waggonbeleuchtung von Lafourie 1003.
- Rußgehalt der Luft 270.
- S**ägemehlreiniger für Wassergas 864.
- Salpetersäurebildung bei der Verbrennung 130.
- Sammelkanal der Rauchgase 338.
- Sand und Ton in der Reinigungsmasse 461.
- Sattel- und Steigerohr 405.
- Sauerstoffbedarf der Gase 44; Gasglüh-licht 986; -gehalt, Flammenprobe auf brennbare Gase und 272; -probe, quali-tative 270; spezifische Wärme 54; und Luftbedarf bei der Verbrennung 43; -verbrauch verschiedener Leuchtflammen 1048.
- Sauggasanlagen, Beispiele 756; Konstruk-tionen 758; Versuche an 763; Vor-schriften betreffs Errichtung von 762; Vorschriften über die Einrichtung von 1122.
- Sauggasgeneratoren 755; und Druckgas-generatoren 747; -motoren 1089.
- Sauggas, Waschung und Reinigung 755.
- Saugwirkung, Regelung 533.
- Schachtofen nach Young, Mischgaserzeu-gung 926.
- Schädlichkeit ultravioletter Strahlen 20; ungleichmäßiger Beleuchtung 21.
- Schallsignale und Heulbojen 1009.
- Schaltvorrichtungen der Reinigeranlagen 475.
- Schamotte, Ersatz bei Generatoren, Kosten des 869; Qualität 333; Retorten 332; Wärmeleitfähigkeit der 334.
- Schattenlose runde Laternen 998.
- Schattenphotometer von Lambert 157.
- Schauenfensterbeleuchtung, Bedingungen be-treffend elektrische Fernzündung 1041.
- Scheinwerfer, Parabolspiegel und Linsen für 1008.
- Schieberstellungen, Sicherheitsregler gegen falsche 525.
- Schieber mit steigender Spindel 537.
- Schlacke, Entfernung der 344; Zusammen-setzung 392.
- Schlacken bei Generatoren ohne Rost 826; der Generatoren ohne Arbeitsaufwand

- 869; der Wassergasgeneratoren mit Hilfe von Notroststäben 825.  
 Schlammgehalt der Kohle 291; -vergasung 741; und Müllvergasung 653.  
 Schlauchhähne an der Wand 613; und Sicherheitshähne 612.  
 Schlauchsicherungen 612.  
 Schmelzpunkt, Temperaturbestimmung nach dem 97; -temperatur des Kalk-Kohle-Gemisches 695.  
 Schmelz- und Siedepunkt einiger Substanzen 98.  
 Schmiedeeiserne Behälterbassins 491.  
 Schmiederohre, Dimensionen der 608.  
 Schmiederohrmuffen, Dichtung 608.  
 Schnellschlußschieber 537.  
 Schnellwassererhitzer von Schöne 1082.  
 Schnittbrenner 1002.  
 Schöpfgasmesser 626.  
 Schornsteinquerschnitt 338.  
 Schornsteinsteine der Gasheizöfen 1067; Führung der Rohre durch Mauern, Kanäle und 609.  
 Schräge Retorten 350.  
 Schrägkammeröfen 368; von Klönne und Koppers 370; von Ries 369.  
 Schräg liegendes Manometer von Scheurer-Kestner und Schuhmacher 196.  
 Schrägretortenofen, Vorteile 351.  
 Schrägretorten und Vertikalretorten, Füllvorrichtung 387.  
 Schüttelrinnen 301.  
 Schüttgrube und Kohlenbrecher 300.  
 Schütthöhe in Kohlenlagern 294.  
 Schwächungsmethoden der Photometrie 155.  
 Schwarzer Körper, absolut 27.  
 Schwefelgehalt des gereinigten Gases 483; des gereinigten Gases, zulässiger 651; Schädlichkeit 483; des Ölgases 679.  
 Schwefelkohlenstoff, Entfernung 483; im Wassergas 815.  
 Schwefelprober 266.  
 Schwefelsäureapparat in Wassergasanlagen 866.  
 Schwefel, verbrennlicher 287.  
 Schwefelwasserstoff, Beseitigung 446; Entwicklung 314; Erwärmung bei der Bindung von 446; -gehalt des Wassergases 815.  
 Schweflige Säure in den Verbrennungsprodukten 1048.  
 Schweißbrenner von Keller und Knappich 1059.  
 Schweißen, autogenes 1059; mit Wassergas 880.  
 Sechseckige Laternen 997.  
 Seebeleuchtung mit Ölgas oder Blaugas 1008; und Waggonbeleuchtung 1003.  
 Segerkegel 97.  
 Sehen bei geringer Helligkeit 16.  
 Sehschärfe 174.  
 Sehweite, deutliche 1.  
 Seitenbeleuchtung 1025.  
 Sekundäre Verbrennung 82.  
 Sekundärluft, Verhältnis zwischen Primär- und 81; -zufuhr zu den Regeneratoren 793.  
 Selas - Beleuchtung 983; -gasverdichter, Regler 978; -licht, Gasverbrauch 984.  
 Selbstdichtende Türen 375.  
 Selbstentzündlichkeit der Kohle 293; Untersuchung 290.  
 Selbstleuchtende Flammen 1002.  
 Selenzellen, automatische Zündung 1009.  
 Senksystem von Keller u. Knappich 706.  
 Settle-Padfieldretorte 361.  
 Sicherheits-Abschlußventil von Bamag 615; -hähne bei Gasbadeöfen und Heißwasserapparaten 1087; -laternen 566; -regler gegen falsche Schieberstellungen 525; -regler von Schnorrenberg 525; -schlauchhahn 612; -ventile, automatische Ausschaltung bei Fernleitungen 594; -vorrichtungen gegen Gasausströmungen 615; -vorschriften 566; -vorschriften gegen Explosionsgefahr bei Wassergasgeneratoren 833.  
 Sicherung gegen Gaseinströmung in die Keller 586.  
 Sichtbare Strahlen 14.  
 Siedepunkte der Benzine, spez. Gewicht, Tension 686; einiger Substanzen und Schmelzpunkte 98.  
 Signallaternen 586.  
 Siliciumverbindungen in Wassergas 816.  
 Skrubber, Wäscher 424, 427; -wasser bei Halbwassergasanlagen, Verunreinigungen 750; mit Koksfüllung 427; für Wassergas 863.  
 SO<sub>2</sub> in der Luft 270.  
 Sonnenoberfläche, Lichtstärke von 1 mm<sup>2</sup> 35.  
 Sonnenzünder 1041.  
 Sonne, Temperatur der 33.  
 Spannungsdifferenz, unschädliche bei elektrischen Bahnen 601.  
 Spannung, Gewicht und Tension des Wasserdampfes 1095.  
 Sparbrenner, Invertbrenner 961.  
 Spektralfarben der Lichtquellen 20; Wirkung verschiedener 18.  
 Spektralgleichung von Planck 34.  
 Spektrophotometer 180; von Krüss 181; von Lummer-Brodhun 180; von Thovert 181.  
 Spektrum des absolut schwarzen Körpers 31; Farbe des 15.  
 Sperrflüssigkeiten für Druckregler, frostsichere 512; Löslichkeit der Gase 209.  
 Spezifisches Gewicht, Berechnung auf trockenen Zustand 257; Einfluß bei

- Rohrleitungen 571; Bestimmung 254; der Gasöle 666; des Ölgases 679; des Teeres, Bestimmung 542.
- Spezifische Wärme 52; der wichtigsten Gase, mittlere 1099.
- Sphärischer Reduktionsfaktor oder Konversionskoeffizient 135.
- Sphärische und hemisphärische Lichtstärke 135.
- Spiegelkoeffizient, Bestimmung 177.
- Spiegelvorrichtung von Krüss 176; von Martens 175; von Rüdorff 159.
- Spindel, Schieber mit steigender 537.
- Spinne des Hängelichtglühkörpers 992.
- Spiritus und Xyloldampf zur Beseitigung von Verstopfungen 600.
- Springende und schleichende Ziffern bei Gasmessern 628.
- Stäbchenseher 17.
- Stäbchen und Zapfen, Organe der Netzhaut 16.
- Städteversorgung mit Koksofengas 657.
- Städte von 2000 bis 6000 Einwohnern, Wassergasanlagen für 874.
- Städtische Rohrnetze, Berechnung 573.
- Standardwäscher, rotierende Wäscher 433; Vorzüge 434; Zschokkes Kugelfüllung 435.
- Starklicht, Beleuchtung 976; -lampenniederdruck 985; und Preßgaslampen 974.
- Starkströme, Zerstörung von Hausinstallationen durch 605.
- Stationsdruckregler mit Wasserbelastung von Elster 510.
- Stationsgasmesser 622.
- Statische Berechnung für Behälterkonstruktionen 502.
- Statischer Meßapparat von Helck für Luftzusatz 453.
- Staub, Entfernung aus Gasen 421; -reiniger für Wassergas 421.
- Stearinkerze 143.
- Steigerrohre der Ölgasöfen 673; Kühlung 410.
- Steigerrohrverstopfungen 408.
- Steigerung der spezifischen Wärme mit der Temperatur 53.
- Steinkohle, Generator für 737, 852; Halbwassergas aus 738.
- Steinkohlengas 2; Anlage, Betriebskosten und Zusammensetzung des Ballongases aus 943; Ballongasverbrauch in Deutschland 932; Bestandteile 646; Definition der Bezeichnung 644; Wasserstoffherzeugung aus 942; Leuchtkraft 647; -retorten, Carburierung des Wassergases in den 884; uncarburiertes Wassergas als Zusatz zum 872; und Destillationsgas aus anderen festen Brennstoffen 644; Unterschiede in der Erzeugung von Koks-  
ofengas 654; wasserlösliche Bestandteile 425; Zusammensetzung 645.
- Steinkohlentypen 276.
- Sternbrenner von Schöne 1081.
- Sterne, Beleuchtung durch 1010.
- Stickoxydbildung bei der Verbrennung 247.
- Stickoxyd und Ozon, Bildung 76; bei Verbrennung des Cyans 1048.
- Stickstofffüllung, Quecksilberthermometer mit 92.
- Stickstoffgehalt des Wassergases 813.
- Stickstoff, spez. Wärme 54; Verteilung des 317.
- Stoßmaschine von de Brouwer 389; und Lademaschinen Fiddes-Aldrige 388.
- Strahlende Energie 14.
- Strahlen verschiedener Wellenlänge 137.
- Strahlungsgesetze 30; als Grundlage der Temperaturskala 93; Emission und Absorption 25; Stephan-Boltzmann 33.
- Strahlungskörper zur Förderung der Heizgeschwindigkeit 1071.
- Strahlungsmessung 31; bei Gasheizöfen 1070.
- Strahlungspsychrometer 101.
- Strahlungstheorie des Gasglühlichtes 949.
- Strahlung und Absorption der Gase 31; der Metalle 32; Heizwirkung durch Lufterwärmung oder durch 1069; in geschlossenen Gefäßen 30.
- Straßenbahnen, Vorschriften der vereinigten Erdstromkommission für Neuanlagen von 603.
- Straßenbeleuchtung als Reklamemittel 1094; als Bedingung zur Erzielung gleichmäßiger 1018; erste 1; mit Blaugas 684; horizontale oder vertikale Beleuchtungsstärke 1015; Normalien zur Beurteilung 1018.
- Straßendecke 576.
- Straßenlampe, Ersparnis an Glühkörpern und Zylindern bei zentraler Zündung 1036.
- Straßenlaternen, Anordnung 1017; Durchschlagszündung, Kletterzündung 999; Verhältnis zwischen Abstand und Höhe 1017.
- Straßen, Mindestbeleuchtung 1011.
- Straßenphotometer 170; Eichung des Brodhunschen 173.
- Straßenteuerung 547.
- Straßenüberspannungen 1001.
- Stromübergang aus kombinierten Beleuchtungskörpern 605.
- Sturmdüse bei der Druckwellenzündung 1032.
- Sulfatgewinnung, Coopers CO<sub>2</sub>-Verfahren zur 554; direkte, beim Halbwassergasprozeß 743; direkte 552.

- Sumpfgas, Methan 927.  
 Syriusluftgasapparat 689.
- T**ageslichtbeleuchtung im Freien 1010; im Zimmer 9; im Inneren 1011.  
 Tages- und Abendgas 630.  
 Talbots Gesetz 156.  
 Tangentialführung 501.  
 Taschengasmesser 641.  
 Technische Gasanalyse 205.  
 Technische Verwendung des Gases 1057.  
 Teleskopierte Behälterglocken 496; Gasbehälter, Druck in 499.  
 Tellerventile, Eckventile und Kreuzventile 538.  
 Thermoelektrisches Teleskop Ferys 104.  
 Teer 320, 541; -ablauf 416; -abscheidung aus dem Halbwassergas 743; als Naphtalinwaschmittel 547; Bestimmung des Kohlenstoffs im 543; -bildung bei der heißen Carburatation des Wassergases 889; -bildung in Ölgasretorten 673; Anwendung 543; Ausbeute, Eigenschaften und Zusammensetzung 541; Destillation 542; und Ammoniakbearbeitung, Analyse und Verwertung 540; Untersuchung 542; Verwendung zum Motorenbetrieb 546; -feuerung 544; -dämpfe, Zersetzung 305; -gehalt 269; -gehalts, Nachteile des 417; -gewinnung beim Halbwassergasprozeß 743; Kesselfeuerung mit 545; Carburatation des Wassergases (Methanwasser-gasanlagen) 900; -öle für Naphtalin-wäsche 437; -probenahme 542; -probe, qualitative 269; -prober von Drory 270; -scheidegrube 422; -scheider, Kontrolle des Ganges 420, -scheider von Drory 419; -scheider von Pelouze u. Audouin 418; -scheider und Staubreiniger 416; -scheider, Wesen 417; -scheidung beim carburierten Wassergase 896; -scheidung durch Zentrifugieren 420; -schieber Drorys 406; -schleuder 424; -tröpfchen, Ausscheidung der 416; und Ammoniak-gruben, Größe 422; und Ammoniak im uncarburierten Wassergase 821; und Ammoniak, Hochbehälter 423; und Ammoniakwassergruben 422; -verbrennung in Generatoren 761; -verdickungen und deren Verhinderung 408; -vergasung 544; Wassergasapparat von Rincker und Wolter 901; -zersetzung, Generatoren mit 759; -zersetzung in Halbwassergasgeneratoren 744.  
 Temperatur, Begriff 89; Beobachtung 295; Bestimmung aus der Intensität der roten Strahlen 103; Bestimmung aus der Wellenlänge des Energiemaximums 34; Bestimmung, Gesetzmäßigkeiten zur 91; Bestimmung, kalorimetrische 101; Be-stimmung nach dem Schmelzpunkt 97; -gefälle und Wärmetransmission 412; in Vertikalöfen 353; Kontrolle an Kühlern 416; -messungen 342; -regler für Gas-heizung 1077; -skala 90; -steigerung der Lichtquelle 9; -zunahme, Steigerung des Lichteffektes 19.  
 Tensionsverringierung durch chemische Bindung 426.  
 Thalpotasimeter 96.  
 Taupunktkurve 1062.  
 Theissenreiniger 421.  
 Theorie des Generatorgasprozesses 327.  
 Thermische Nachwirkung 92.  
 Thermoelektrisches Kalorimeter 127.  
 Thermoelektrizität 98.  
 Thermometerskalen 90.  
 Thermophon Wiborghs 97.  
 Thorglühkörper 950.  
 Thoriumoxyd und Ceroxyd, Untersuchungen über die Strahlung von 949; im Glühkörper 948.  
 Thoriumsalze und Cersalze, Reindarstellung 988.  
 Tiegeflüchtigkeit 280.  
 Ton in Reinigungsmasse 461.  
 Torfgas 653; Halbwassergas aus Torf 739; -verwertung in Mondgasgeneratoren 767.  
 Totalnutzeffekt des Wassergasprozesses 806.  
 Totalreflektor 1023.  
 Tourenregler der Gasmesserfabrik Mainz 536; Pintsch 536.  
 Transmissionskoeffizient 412.  
 Transportables Gas (komprimiertes Leuchtgas) 680.  
 Transport der Kohle 291; des Kokeses 396; -einrichtungen, Anordnung 297; -kosten 296; -gefäße für Gasproben 219.  
 Treppenhausgasfernzündung 1042.  
 Treppenrostgeneratoren 345.  
 Tresserkuppelung 579.  
 Triäthylphosphin  $CS_2$ , Bestimmung mit 267.  
 Trikotgewebe für Glühkörper 990.  
 Trockene Druckdifferenzregler 515; Gas-messer 619; Gasmesser, Bedingungen für gutes Arbeiten 633; Gasmesser, Verwen-dung 634; Gasmesser, Vor- und Nachteile 634.  
 Trockenheit der Zimmerluft bei Gas-heizung 1064.  
 Trockener Gasmesser 634.  
 Trockenes Gas, Reduktion auf 106.  
 Trockene Vorlagen 409.  
 Trockenmanometer von Jules Richard 202.  
 Tropfvorrichtung Zschokkes für Wäscher 430.  
 Turbokompressoren 533.  
 Turmkühler der Bamag 410.

- Überdruck** und absoluter Druck 183.  
**Überlauf**, Kings — bei Gasmessern 622.  
**Überschwemmungssystem** 730.  
**Überwachungsrohre**, ständige (Riechrohr-einlagen) 591.  
**Uhrwerkschalter** für Treppenhausbeleuchtung 1042.  
**Ultrarote Strahlen** 15.  
**Ultraviolette Strahlen** 14; bei Innenbeleuchtung 1027; im Sonnenlicht 21; Licht, Schädlichkeit 20, 1049; Schutz vor —, Euphosglas 1050.  
**Umdrehungszahl** der Gasmessertrommeln 626.  
**Umlaufregler** 535.  
**Umrechnung** der Gasvolumen auf 0° und 760 mm 51; prozentueller Abzug zur — der Volumina 1097.  
**Umrechnungsfaktor** zur Reduktion des Volumens 1096.  
**Umschalter**, hydraulischer — für Wassergasgeneratoren 834.  
**Umschaltung**, tägliche, bei Reinigern 455.  
**Uncarburisiertes Wassergas** in Europa 774; in Königsberg 778; Schwierigkeiten der ausschließlichen Verteilung 779; selbständige Beleuchtungsanlagen 873; Vergleich der Mischgasbetriebe mit carburiertem Wassergas 913; Verhältnis der Kosten zum ölcarburierten Wassergas 899; Verwendung 872; Vorteile der Beleuchtung 878.  
**Undichtheiten**, Aufsuchung von 597; Berechnung aus dem Druckverlust 583; Beseitigung 343; Beseitigung bei Retortenöfen 364; der Hausgasleitungen und deren Auffindung 617; des äußeren Mauerwerkes bei Öfen 343; Erkennung von 342; Ermittlung der Größe 597.  
**Undurchsichtige**, durchsichtige, farbige Körper 26.  
**Unfallverhütungsvorschriften** 1111.  
**Ungleichmäßige Beleuchtung**, Schädlichkeit 21.  
**Ungleichmäßigkeiten** im Gasverbrauch 556.  
**Unterdruck** 183; Vermeidung in Gasbehältern 498.  
**Unterfeuerung** beim Kammerofenbetriebe 374; -ofen von Otto 661.  
**Unterhaltungskosten** verschiedener Lichtquellen 1052.  
**Untertauchsystem** nach Illig zur Koks-löschung 396.  
**Unter- und Oberluft** 340.  
**Unvollkommene Verbrennung** 47.  
**Unvollständige Verbrennung** des Kohlenstoffs 322.  
**Ventile**, entlastete 509.  
**Ventilwechsler**, Weckscher 538.  
**Verbandsformel** 109; korrigierte 109.  
**Verblockung** der Ventile von Wassergasgeneratoren 836.  
**Verbrauchsapparate**, Hähne 611; Instandhaltung 1093; Prüfung auf freien Gasdurchgang und Dichtheit 611; Verbindung mit der Leitung 611.  
**Verbrennungsgase**, regenerierte 757; Regeneration der 771.  
**Verbrennungsprozeß** 39.  
**Verbrennungstemperatur** 67; verschiedener Gase 76.  
**Verbrennungswärme** 49; des Wasserstoffs 49; fester Stoffe 52; Messung der 105; und Luftbedarf 52; Änderung mit der Temperatur 52; Unterscheidung der Gase nach der — (kalorimetrische Gasanalyse) 265; Verhältnis der Wärmestrahlung zur 75.  
**Verbrennung**, unvollkommene — beim Hängelicht 964; der Gase 42; des Wasserstoffs 42; Gasanalyse durch 246; mit CuO 251; mit Pt 249; mit Pt-Draht 250; Schädlichkeit der Kohlensäure 1047.  
**Verdampfer** der Luftgasapparate 690.  
**Verdampfung**, gleichmäßige des Benzins 686.  
**Verdrängerapparat** für Luftgas 708.  
**Vereinsparaffinkerze** 143.  
**Vergasung** des Kohlenstoffs durch Wasserdampf 330; der Kohle im Laboratorium 288.  
**Vergasungsräume** und Heizflächen 377.  
**Vergasungstemperatur**, Einfluß auf die Zusammensetzung des Ölgases 678.  
**Vergleichskörper**, Lummer-Brodhuns 161, 163; photometrische 157; von Joly und Elster 158.  
**Vergleichslichtquellen**, elektrische Glühlampen als 153.  
**Vergleichsmanometer** bei der Wassergaserzeugung 902.  
**Vergiftungsgefahr** bei verschiedenen Gasen 1051.  
**Verkaufspreise** und Erzeugungskosten verschiedener Beleuchtungsmittel 1052.  
**Verkoksprobe** 279.  
**Verpuffung** 247.  
**Verschuß**, gasdichter 403.  
**Verstopfung** der Hausgasleitungen 617; der Rohrleitungen 599; in Wäschern, Vermeidung und Beseitigung 436.  
**Versuchsgasanstalten** 289, 562.  
**Vertikalbeleuchtung**, günstigste Entfernung für die 1014.  
**Vertikalbeleuchtungsstärke** 1013.  
**Vertikalkammeröfen** von Klönne, Horn, Knoch, Glover und, Jones 373.  
**Vertikalöfen**, Anlagekosten der 359; Bedienung der 357.

- Vertikalofenbetrieb, Löhne beim 359; Resultate des 358; Vorteile 356.
- Vertikalofen, Bolz 360; Bueb 352; für kleine Werke 355; Gesamtkosten der Mischgaserzeugung im 923; Körtings 18er 354; -konstruktionen 361; -teer als Naphtalinwaschmittel 438; Unterfeuerung 359; Vorläufer 361.
- Vertikalretorte, Entgasung in der 354; Anlagekosten der — für Mischgaserzeugung 923; Koksausbeute beim Mischgasbetriebe 923; Kosten des Dampfes für die Mischgaserzeugung 922; Mischgaserzeugung durch nasse Entgasung 920; Unterfeuerung beim Mischgasbetriebe 921; Vergleiche mit Kammeröfen 380.
- Verunreinigungen der Gase, Bestimmung 269; der Luft 11; des Generatorgases 329.
- Vierscheinige Laternen 997.
- Viertaktmotor 1089.
- Volkswirtschaftliche Vorteile der Koks- ofengasverwertung 656; Wert der Hebung des Gasabsatzes 1092.
- Vollgeneratoröfen 349.
- Voll- und Halbgeneratoröfen 346.
- Volumen- und Geschwindigkeitsmesser 619.
- Volumetrische Gasanalyse 211.
- Volumina, Reduktion der 1096.
- Volumveränderung bei der Verbrennung 41.
- Vordruckregler 523.
- Vorkommen der Kohle 273.
- Vorlagen 404; trockenere 409.
- Vorschriften der vereinigten Erdstromkommission 603.
- Vorwort 1.
- W**äscher (siehe auch Skrubber) 424; -einlagen 428; -größe 430; von Klönne 432; -konstruktion 427; Wasserzufuhr 430; Vermeidung und Beseitigung von Verstopfungen 435.
- Wachskerze 2.
- Waggonbeleuchtung, Acetylen dissous für 1007; Anwendung des Gasglühlichtes zur 1005; Einführung des Ölgases zur 1003; Einrichtung 1004; die erste 1003; hängendes Ölgasglühlicht für 1006; LaFouries Rüböl- 1003; mit Acetylen-Ölgasgemisch 1005; mit Blaugas und Acetylen 1007; mit Gas, übertriebene Ansichten über die Gefahren 1006; Schädigung des Auges durch unzureichende 1007.
- Waggonregler 515.
- Waggons, Entnahme der Kohle aus 298.
- Walratkerze, die englische 142.
- Wandarme und Kandelaber 1000.
- Warmblasegase, Verwertung 787.
- Warmblasen der Wassergasgeneratoren 782; in den Apparaten der Europäischen Wassergas A.-G. 786; Einfluß der Wärmeverteilung auf den Nutzeffekt 788; Nutzeffekt des 783.
- Warmblaseverfahren, das Dellwik-Fleischersche 778; für Wassergas, Kirkhams 773; irrümliche Ansichten über das Dellwiksche 810; von Reitmayer 789.
- Wärme, Äquivalent des Lichtes 36; Ausdehnung der Gase 337; spezifische 52; -bilanz der trockenen Destillation 321; -bilanz eines Gaskochers 1082; -einheit, englische 105; -entwicklung 11; -erzeugung, Mittel zur 23; -gleichgewicht beim Halbwassergasprozeß 727; -leitung 97; -leitungsvermögen des Brennmaterials 725; Licht- und chemische Wirkung der Strahlen 15; -menge, zur Entgasung erforderliche 308; -regler bei Gasheizöfen 1077.
- Warme Kondensation 410; Einfluß der 436.
- Wärmestrahlung bei Innenbeleuchtung 1027; Gasheizöfen mit 1069; verschiedener Lichtquellen 1049.
- Wärmetönung 49; verschiedener Reaktionen 50.
- Wärmetransmission, Temperaturgefälle und 412.
- Wärmeverluste im Halbwassergasprozeß 730.
- Wärmezustände 89.
- Warmwasserbereitung in der Küche 1083.
- Warmwasserheizung 506.
- Warmwasserversorgung mit Gasheizung, Heißwasserspender 1086.
- Waschflaschen 252.
- Waschöle, Untersuchung auf Naphtalin- gehalt 439; Bedingung guter Naphtalin- 438; für Naphtalin, Aufnahmevermögen 438.
- Waschung des Gases mit Teer 420.
- Wasseraufnahmevermögen des Kokes 391.
- Wasserbelastung, Regler mit 509.
- Wasserbestimmung im Teer 542; in Ammoniakulfat 552; in Gasölen 667.
- Wasserdampf, Bestimmung durch Überführung in  $C_2H_2$  271; Spannung, Tension und Gewicht 1095; spezifische Wärme 54.
- Wasserdampfgehalt der Luft 40; Bestimmung 271.
- Wasserfüllung der Gasbehälter 491, 495.
- Wassergas 772; Ammoniak- und Cyanverbindungen im 814; Anwendung für Drummondsches Kalklicht 773; Apparate zur Parfümierung 865; Ausbeute beim Mischgasbetrieb mit uncarburiertem 912; Beleuchtung mit Fahnehjelm Magnesiakämmen 775; Betriebskosten für uncarburiertes 867; Brennmaterial

- für uncarburiertes 881; Bildungswärme 800; Carburation mit Rohöl 888; Carburation mit Teer (Methanwassergasanlagen) 900; Carburation in den Steinkohlengasretorten 884; die ersten Versuche mit — und Auerschen Glühkörpern 776; die erste Zusatzanlage mit uncarburiertem — in Königsberg 778; die heiße Carburation (Ölcarburation) 885; Einführung des carburierten — durch Lowe und Granger 774; Einführung des carburierten — durch Blass in Europa 774; Entfernung der Kieselsäure 816; Entstehung, Nachweis und Bestimmung der Eisenverbindung im 818; Erhöhung des Heizwertes durch Einleiten in die Vorlage 919; Eisen-carbonyl (Kohlenoxydeisen) im 817; Formel für die Verbrennungswärme 802; Gehalt an unzersetztem Dampf 799; Geschichte 772; Giftigkeit 822; Glühlichtbrenner für uncarburiertes 972; Heizwert des ölcarburierten 886; kalte Carburation (Benzolcarburation) 882; Kohlensäuregehalt 813; Koks- und Ölverbrauch für ölcarburiertes 897; Kosten der Reinigung 869; Kosten des ölcarburierten 898; Leuchtkraft des benzolcarburierten 883; Leuchtkraft des ölcarburierten 886; mechanische Verunreinigungen 813; Methangehalt 814; Mischgasbetrieb mit ölcarburiertem 913; Parfümierung 821; Reinigung 863; Reinigung des ölcarburierten 331; Sägemehltreiniger 864; Sauerstoffgehalt 814; Schwefelkohlenstoff im 815; Schwefelsäurereiniger 829; Siliciumverbindungen 816; Staubreiniger 421; Stickstoffgehalt 813; Teerbildung bei der heißen Carburation 889; Teer und Ammoniak im uncarburierten 821; Verhältnis der Kosten des ölcarburierten und uncarburierten 899; Versuche zur Entfernung des CO 823; Verunreinigungen und deren Entfernung 813; Verwendung für industrielle Zwecke 880; Verwendung des ölcarburierten 901; Verwendung des uncarburierten 872; Verwendung zum Löten und zur Glasbearbeitung 881; Vorteile der Beleuchtung mit uncarburiertem 878; Zusammensetzung des Kieselsäurepulvers 817; Zusammensetzung des 822; Zusammensetzung des ölcarburierten 887.
- Wassergasanlagen im allgemeinen Krankenhaus in Wien 777; in der Nervenheilstation von Dr. Kahlbaum 777; Kraftbedarf der Gebläse 860; Massereiniger 865; Verwendung des Generatorgases zur Kesselheizung 839; Verzinsung und Amortisation 872; zur Beleuchtung kleinster Orte 873; Zentrifugalgebläse für 857.
- Wassergasapparate, Übelstände der Regeneratoren 792; zur Darstellung von uncarburiertem 824; von ölcarburiertem 891.
- Wassergasbrenner, Vorteile 878.
- Wassergaserzeugung, Arbeitslöhne 868; Doppelgeneratoren zur 894; in der Type E 855; in der Vertikalretorte (Naßbetrieb) 355; Probeflamme bei der 894; Regelung der 902; Vergleichsmanometer bei der 902; Vorzüge der — mit Hilfe des Dampfschlußmelders 910.
- Wassergasfabriken 1119.
- Wassergasflamme für technische Zwecke 1060.
- Wassergasgeneratoren, Abgasventile 830; Abkühlung beim Gasen 890; Beanspruchung 824; besondere Konstruktionen 837; Blass' Kühlring 827; CO<sub>2</sub>-Bildung beim Warmblasen 782; Dampferzeugung durch die Abhitze 848; Dampfzufuhr 836; Dellwiks Verfahren des Warmblasens 787; Dellwik-Fleischers 845; Dellwik-Fleischers — für Ölcarburation 894; der Europäischen Wassergas-A.-G. 838; Einfluß der Dampfgeschwindigkeit 797; Einfluß der Temperatur und Dampfgeschwindigkeit auf die CO<sub>2</sub>-Bildung 798; Einfluß des Druckes auf die Dampferzeugung und CO<sub>2</sub>-Bildung 797; Füllgefäße und Füllwagen für 830; Füllöffnungen und Fülltrichter 828; für Ölcarburation (Heißcarburation) 891; Gleichgewicht und Dampferzeugung in 794; Kohlenstoffverbrauch beim Gasen 802; Kosten des Schamotteersatzes 869; Sicherheitsvorrichtungen gegen Explosionsgefahr 833; Straches Verdampfer für 858; zur Vergasung von Steinkohlen und Braunkohlen (Type B) 852; Stundenleistung pro m<sup>2</sup> freier Querschnittsfläche 824; System Strache (Type E) für Kohlenvergasung und 853; Temperatur des entweichenden Gasdampfgemisches 799; Umschaltung von Wind und Gas 833; Unterteil 825; Verblockung der Ventile 836; von Cuttler 894; von Humphrey und Glasgow 891; von Kramers und Aarts 846; von Lowe und Granger 891; von Reitmayer 846; Strache (Type A) 840; Warmblasen 782; Wärmebilanz eines rationell betriebenen 808; Windumschaltung am Dellwik-Fleischerschen 835; Schlacken mit Hilfe von Notroststäben 825.
- Wassergasgleichgewicht 48.
- Wassergasglühlichtbeleuchtung, Erfolge in Österreich 778; erste Einführung in

- Radkersburg 776; Mißerfolge der — in Deutschland 777.
- Wassergasheizzentralen, Versuche mit — in Amerika 773.
- Wassergasmenge, theoretisch erreichbare 781.
- Wassergasprozeß 331; Abhängigkeit des Totalnutzeffektes von der Temperatur 806; Einfluß der Richtung des Dampfstromes auf den 811; Einfluß des Gegenstromprinzips auf den Nutzeffekt 807; Nutzeffekt der Gaseperiode beim 802; Theorie 780; Totalnutzeffekt 805; Wärmetönungen 780.
- Wassergasreaktion, Felice Fontanas Entdeckung der 772.
- Wassergasteer als Naphtalinwaschmittel 438; Zusammensetzung und Verwendung 889.
- Wassergasverfahren, Auftreten der — von Humphrey, Glasgow, Dannert, Reitmayer, Kramers und Aarts 779, 812; Unterscheidung der neueren — nach der Generatortemperatur 809.
- Wassergaszentralen in Pettau nach System Strache 777; für Glasbearbeitung in Nordböhmen 876.
- Wassergaszusatzanlagen, Erfolge 778; Vorzüge 901.
- Wassergaszusatz, Einfluß auf die Leuchtkraft des Gasglühlichtes 916; Gleichhaltung des Heizwertes 651.
- Wasserkühler 413; allmähliche Kühlung durch Luft und 414; Berechnung der Kühlflächen 415.
- Wassersäcke und Gefälle in Rohrleitungen 609.
- Wassersäule, Umrechnung von mm — in mm Quecksilbersäule 1095; Druckmasse: Atmosphäre, Wassersäule, Quecksilbersäule 183.
- Wasserstoff, Abscheidung aus Wassergas nach Frank 944; elektrolytischer — als Nebenprodukt 935; aus Eisen und Schwefelsäure 937; aus gelöschtem Kalk und Eisenspänen 936; Ballongase 931; Bestimmung von — aus der Kontraktion 248; Entfernung des Arsenwasserstoffs 937; aus Silicium und Natronlauge 936; aus Eisen und Schwefelsäure 937; Erzeugung 932; Aufspeicherung für Luftschifferzwecke 945; disponibler — in Brennmaterialien 65; Herstellung flüssigen — nach Kamerlingh-Onnes 944; Kompression in Flaschen 945; Methanbildung aus Kohlenstoff und 929; Methanbildung aus Kohlenoxyd und — (Wassergas) 929; spezifische Wärme 55; Umsetzung von Kohlenoxyd in 940; ursprüngliche Verwendung von — zur Ballonfüllung 932; Verbrennungswärme 49; Verbrennung 42; Verbrennungstemperatur in Sauerstoff 69; Verwendung für Lenkballons 932; Verunreinigungen des aus Wasserdampf und Eisen erzeugten 938.
- Wasserstofferzeugung aus Acetylen 943; aus Metallen und Säuren 936; aus Steinkohlengas in Retorten 942; Diaphragmaverfahren 933; durch Zersetzung von Kohlenwasserstoffen 942; eisenoxydhaltiges Reduktionsmaterial 939; elektrolytische 932; im Generator nach Strache 939; Glockenverfahren 934.
- Wasserstoffgas-Transportwagen 945.
- Wasserstoffgehalt, Einfluß auf die Heizwertzahl der Gasöle 669; Korrekturen für Zündung, Salpetersäurebildung und — des Sauerstoffs 130.
- Wasserstoffgewinnung aus Ölgas nach Rinker und Wolter 943.
- Wasserstoffthermometer 95.
- Wasserstoffverfahren von Lane und von der Int. Wasserstoffgesellschaft 908.
- Wassertassen der Reiniger 586.
- Wassertöpfe 586; Gewichtstabelle 1106; Material 590; mit selbsttätigem Ablauf 587.
- Wasserverdunstung 626.
- Wasserzersetzung durch Calciumhydrür 936; durch Metalle 936.
- Wechselschalter und Zeitschalter der Askania-Gasfernzünder 1031.
- Wechselzählwerk, Gasmesser- für Leucht- und Heizgas 629.
- Wechsler, hydraulische 478.
- Weißer Flächen, Erhellung 134.
- Weißer Körper, absolut 27.
- Weißes Licht, nutzbarer Anteil an 181; Gehalt verschiedener Lichtquellen an 1043.
- Wellenbewegung des Äthers 14.
- Wellenlänge, Temperaturbestimmung aus der — des Energiemaximums 34.
- Wertbestimmung der Gasöle 668; nach der Probevergasung 290.
- Wertzahl der Gasöle 668; nach Ross 668.
- Widerstandspyrometer 100.
- Wiederverwendung ausgebrauchter Reinigungsmasse 465.
- Windgeschwindigkeit in Generatoren 723.
- Wippdächer 560.
- Wirkungsgrad, Vergleich verschiedener Lichtquellen 1043.
- Wirkungswert 36.
- Wirtschaftlicher Vergleich der Beleuchtungsmittel 1052.
- Wobbrenner 1081.
- Wölbassin der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg 494.

- X**antogensaures Cu,  $\text{CS}_2$ -Bestimmung 267.  
 Xyloidampf, Beseitigung des Naphtalins durch 600.  
 Xylol, Entfernung von Naphtalinausscheidungen 439.  
 Xyloverdampfer, transportable 600.
- Z**apfen, Organe der Netzhaut 16.  
 Zehnkugelrohr 252.  
 Zeigerablesung bei Gasmessern 627.  
 Zentralgeneratoranlagen, Vorteile von 374.  
 Zentralheizungen, Ergänzung durch Gasheizung 1074; und Füllöfen mit Koksfeuerung 402.  
 Zentralschalter für Treppenhaus, Gasfernzündung 1042.  
 Zentralwechsler von Weck 478.  
 Zentrifugalventilatoren als Gassauger 533.  
 Zentrifugieren, Teerscheidung durch 420.  
 Zersetzung, pyrogene — der Kohlenwasserstoffe 306.  
 Zerstäubevorrichtung von Burgemeister 430.  
 Zerstreungslinsen, Schwächung durch 156.  
 Ziehen des Koks 388.  
 Ziehmaschinen und Lademaschinen 382.  
 Zifferblätter, Ablesen der 627; mit Angabe der Geldsumme für verbrauchtes Gas 628.  
 Zimmerluft, Steigerung des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes durch Gasheizöfen 1068; Verunreinigung bei verschiedenen Beleuchtungsmitteln 1047.  
 Zinksalze, Felds Reinigungsverfahren mit 481.  
 Zirkonlicht, Tessié du Motay 947.  
 Zirkulationsheizung, Gasöfen mit Luftheizung 1073.  
 Zugmanometer, Arndt 201; von Dürr 201.  
 Zugmesser, dynamischer 203; Hudlers 203; Seegers 197.  
 Zug, Messung 343.  
 Zugzylinder bei den stehenden Gasglühlichtbrennern 958; Hängelichtbrenner mit und ohne 967.  
 Zulaufsystem 703.
- Zuleitungen und Anbohrungen 584; und Hauptleitungen 567; zu Laternen und Häusern 585; Weite der 606.  
 Zünddrähte, Dicke der 1038.  
 Zünder, Fiat-Lux' 1037; Meisters — für Hängelicht 1037; Sachsés pneumatischer — und Askania-Luftdruckzünder 1030.  
 Zündflamme, Anordnung an Laternenhähen 999; bei Hängelichtbrennern 971; Dauerflamme für Fernzünder 1036; für Gasglühlichtbrenner 962; Nachteile 1036.  
 Zündmittel bei der Druckwellenzündung 1032.  
 Zündpille, automatische Vorrichtung, um die — den Abgasen zu entziehen 1037; Haltbarkeit 1037; Schutz durch Drahtnetze und Glimmerplättchen 1037; Umstände, welche die Wirksamkeit fördern oder hindern 1037; Verbesserung durch Perl und Novak 1037.  
 Zündquellen, Volumen der 65.  
 Zünduhren 1028; Antrieb des Uhrwerkes durch das Gas 1029; Vor- und Nachteile 1029; Zündung bei Verwendung von 1029.  
 Zündung des Gases 1036; katalytische (Pillenzündung) 1036; und Löschung mit zwei verschiedenen hohen Druckwellen 1033.  
 Zündvorrichtungen 1028; Einteilung der 1028; Förderung der Einrichtung von — durch die Gaswerke 1093; Instandhaltung durch die Gaswerke 1094; mit gewöhnlichen Gashähnen als Abschlußorgan 1028; Wichtigkeit der Schaffung geeigneter — für die Gasbeleuchtung 1028.  
 Zusammensetzung des Ballongases aus Steinkohlengas 943; der Luft 40; des Teeres 541; der Kohle 309; der Reinigungsmasse 462.  
 Zusatzkohle 303.  
 Zweischenkelige Manometer 184.  
 Zylinder 958, 967; Ersparnis an — und Glühkörpern bei zentraler Zündung der Straßenlampen 1036.

## Berichtigungen.

---

- Seite 18, Zeile 1 statt mm/mg lies „mm . mg“.
- „ 51, „ 4 von unten lies  $V_0 = \frac{P}{760} \cdot \frac{273}{T} \cdot V =$
- „ 52, „ 3 statt Holz lies „Holzkohle“.
- „ 97, Fußnote 3 „Seigerkegel werden allerdings auch von der Königlichen Porzellan-Manufaktur hergestellt, den Alleinvertrieb hat jedoch das Chemische Laboratorium für Tonindustrie in Berlin NW, Dreyestraße 4“.
- „ 98, statt 1150 bis 1700° C lies „600 bis 2000° C“.
- „ 105, Zeile 10 von unten statt 0,891 Kal. lies „8,90 Kal.“.
- „ 108, „ 2 und 3 von unten statt  $H -$  lies  $\left(H - \frac{0}{8}\right)$ .
- „ 114, „ 7 von unten statt Wassers lies „Gasmessers“.
- „ 117, „ 12 statt  $w_e$  lies „ $w_e'$ “.
- „ 125, „ 21 ist hinzuzufügen: „In neuester Zeit werden jedoch die Kalorimeter auf die erste Anzeige geeicht, weil man die Wartezeit durch Bestreichen der Gefäße mit Äther abkürzen kann“.
- „ 191, Fig. 88, „Der Mittelpunkt des Halbkreises soll den Buchstaben O erhalten“.
- „ 215, Zeile 16 statt Kupferoxychlorid lies „basisches Kupferchlorid“.
- „ 222, „ 12 nach „werden“ soll neuer Absatz beginnen.
- „ 231, „ 16 von unten statt vier lies „fünf“.
- „ 244, „ 20 statt d lies „c“.
- „ 254, „ 3 von unten statt Nullpunkt lies „Punkt 1,000“.
- „ 305, „ 15 statt Vergasung lies „Entgasung“.
- „ 306, Tabelle, letzte Zeile statt  $\text{CH}_2$  lies „ $\text{CH}_4$ “.
- „ 321, Zeile 8 von unten statt  $\text{cm}^3$  lies „ $\text{m}^3$ “.
- „ 568, „ 10 statt 9,1 lies „9,81“.
- „ 736, Vor den letzten Absatz: „Koks und zwar“ usw. ist eine 2. zu setzen.
-

*Ankündigungen  
empfehlenswerter Firmen*

*Zusammengestellt unter Verant-  
wortlichkeit der Verlagshandlung*

*Strache  
Gasbeleuchtung und Gasindustrie*

# Alphabetisches Verzeichnis der Inserenten

---

	Seite
Bessin & Co., Max, Gasapparate-Fabrik, Berlin . . . . .	14
Blaugas-Patentgesellschaft m. b. H., Augsburg . . . . .	18
Bleiindustrie-Aktiengesellschaft, vorm. Jung & Lindig, Freiberg i. S. . . . .	4
Central-Werkstatt Dessau, Spezialfabrik für Gasapparate, Dessau . . . . .	9
Cohn, S. H., Farben- und Lackfabriken, Berlin-Neukölln . . . . .	7
Dessauer Vertical-Ofen-Gesellschaft m. b. H., Berlin . . . . .	9
Deutsche Blaugas-Gesellschaft m. b. H., Augsburg . . . . .	18
Eitle, C., Stuttgart . . . . .	10
Enke, Carl, Spezialfabrik für Pumpen usw., Schkeuditz . . . . .	3
Fleischer, Johannes, Gießen . . . . .	15
Gasmesserfabrik Mainz Elster & Co. . . . .	15
Hempel, M., Bau von Gas-, Wasser- und Kanalisationswerken, Westend . . . . .	22
Kaempfe, Gebrüder, G. m. b. H., Chamotte-Fabriken, Eisenberg, S.-A. . . . .	20
Klönne, August, Gasapparate- und Gasbehälter-Bauanstalt, Dortmund . . . . .	21
König, C. B., Fabrik für Feuerwehrartikel, Altona (Elbe) . . . . .	19
Kromschröder, G., Fabrik für trockene Gasmesser, Osnabrück . . . . .	10
Laboratorium für Tonindustrie, Chemisches, und Tonindustrie-Zeitung, Prof. Dr. H. Seger & E. Cramer, G. m. b. H., Berlin . . . . .	6
Lechner & Co., J., Fabrik elektrischer Spezialapparate, Frankfurt a. M. . . . .	12
Lux, Friedrich, G. m. b. H., Ludwigshafen a. Rh. . . . .	14
Mitteldeutsche Eisen-Handelsgesellschaft m. b. H., Magdeburg . . . . .	6
Otto & Co., Dr. C., G. m. b. H., Dahlhausen a. d. Ruhr . . . . .	13
Pintsch, Julius, Aktiengesellschaft, Berlin . . . . .	5
Schaeffer & Oehlmann, G. m. b. H., Berlin . . . . .	17
Schlösser, Carl, Metallwarenfabrik, Potsdam . . . . .	20
Stadelmann & Co., Jean, Specksteingasbrennerfabrik, Nürnberg . . . . .	11
Stockhausen Kautschukwerke, G. m. b. H., Crefeld am Rhein . . . . .	12
Stotz, A., Eisengießerei und Maschinenfabrik, Stuttgart . . . . .	8
Thiem & Töwe, Maschinenfabrik, Halle a. S. . . . .	7
Vereinigte Chamottefabriken vorm. C. Kulmiz, G. m. b. H., Saarau (Preuß.-Schlesien) . . . . .	16
Vieweg & Sohn, Friedr., Verlagshandlung, Braunschweig . . . . .	19
Witkowitz Bergbau- und Eisenhütten-Gewerkschaft, Witkowitz . . . . .	17

---

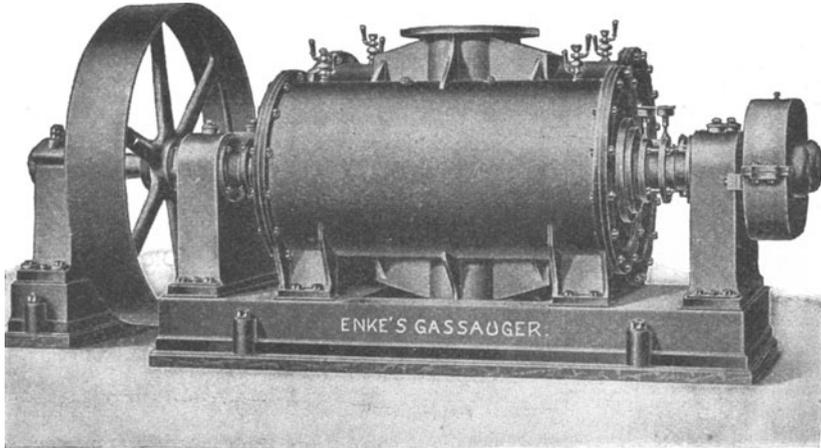
# Enke's Gas-Gebläse

für Druckdifferenzen bis 3 m Wassersäule

Vorzüglich geeignet sowohl zum Absaugen  
der Gase aus den Retorten als auch für

**Gas-Fernversorgungen und zum Absaugen von Naturgasen**

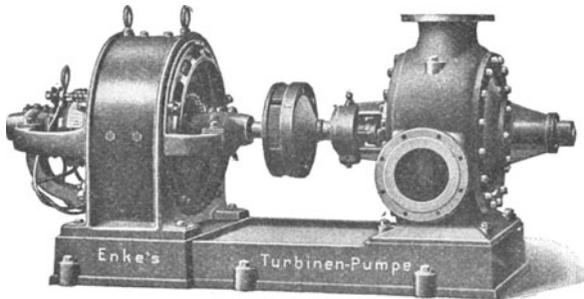
Zeugnisse über 18jähr. ununterbroch. Betrieb ohne Reparatur



## Enke's Turbinen- Rotations- Plunger- Pumpen für alle Flüssigkeiten

**Unerreicht** in bezug auf **absolute Betriebssicherheit, vereinfachte Bedienung, lange Lebensdauer, Nutzeffekt.** Hunderte von Zeugnissen über Tag- und Nachtbetrieb bis zu 22 Jahren

Über 10000 Pumpen meiner Systeme im Betrieb!



**Carl Enke, Schkeuditz-Leipzig 67**  
Spezialfabrik für Pumpen und Gebläsemaschinen.

# Ribbonite-Riffelblei

nach patentiertem Verfahren hergestellt \* Auslandspatente erteilt

**Beste kalte Weichbleidichtung für Muffenrohre**

**Riffelblei** ist leicht anwendbar und sofort gebrauchsfertig

**Riffelblei** genügt allen Ansprüchen und ist auf höchsten Druck geprüft

**Riffelblei** eignet sich zur Herstellung von Dichtungen in jeder Lage, auch unter Wasser

**Riffelblei** bröckelt nicht ab

**Riffelblei erspart** einen Arbeiter (den Bleischmelzer)  
Heizmaterial  
Schmelzofen u. Schmelzlöffel  
Ton zum Einformen und  
schließt Materialverlust durch  
Oxydbildung beim Schmelzen usw. aus

**Riffelblei** wird erheblich weniger gebraucht als Muldenblei, mithin bedeutende Materialersparnis

**Riffelblei** ist das relativ billigste und im Gebrauch vorteilhafteste Dichtungsmittel für Gas- u. Wasserröhren

## Bleiindustrie-Aktiengesellschaft

vorm. Jung & Lindig

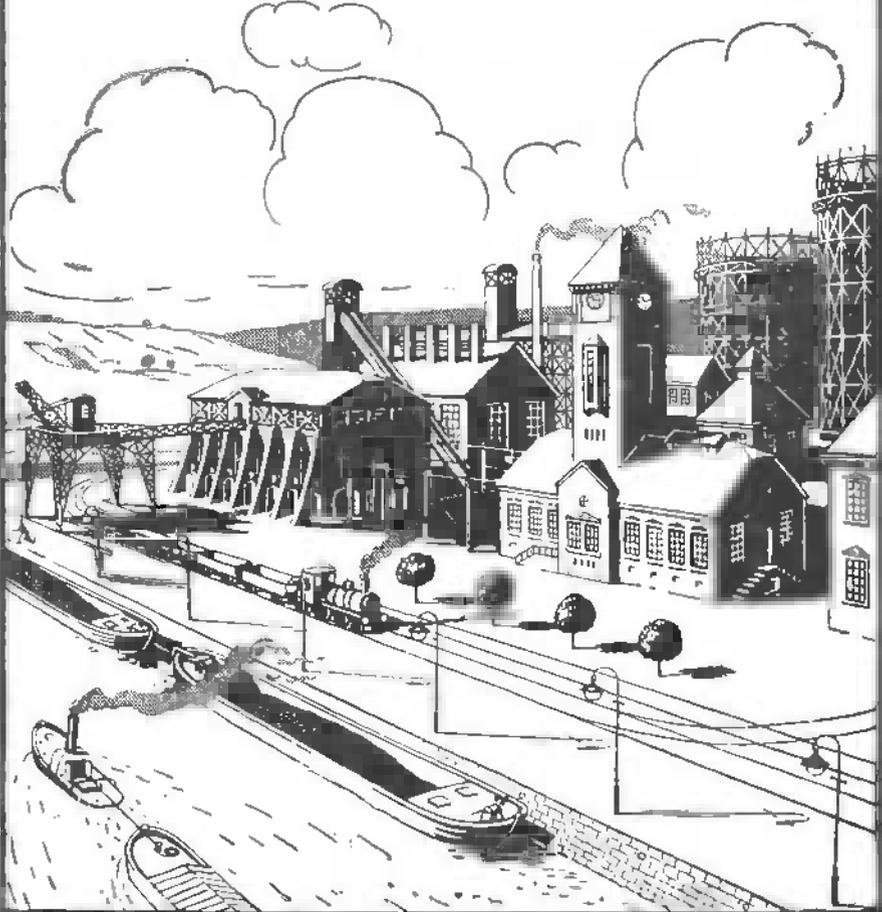
Eidelstedt - Hamburg

**Freiberg i. Sachsen**

Friedrichshütte O.-S.

Offerten, Muster und Drucksachen auf Wunsch

# Julius Pintsch A.G. Berlin



## Vollständige Gasanstalten

für Steinkohlengas \* Wassergas \* Ölgas  
Neu · Um · und Erweiterungsbauten mit  
Gebäuden, Gasbehältern  
u. Stadtnetzen

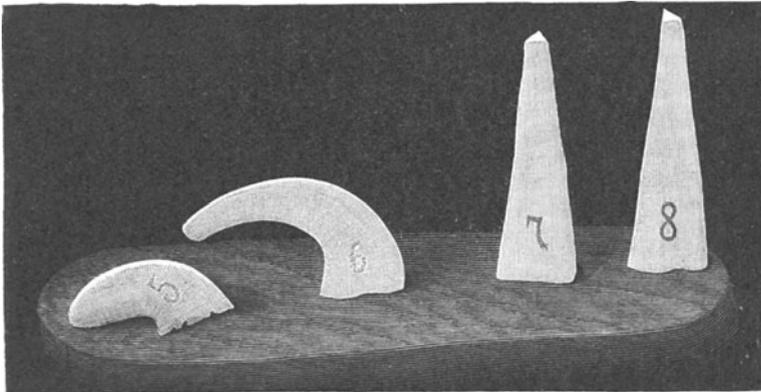
# Mitteldeutsche Eisen-Handelsgesellschaft m. b. H.

Kontor: Kronprinzenstr.14 **Magdeburg** Lager: Buckau, Freiestr.36  
Fernspr. 233, 1019, 2613 Fernspr. 1654

Telegr.-Adr.: Eisenhandel

## Abteilung: Röhren

Schmiedeeiserne Gasröhren,  
Gasrohrverbindungsstücke, Rohrhaken etc.  
Gußeiserne Muffendruckröhren u. Flanschenröhren,  
Stahlmuffenröhren, asphaltiert und bejuted,  
Bleiröhren, Bleitrapse, Bleibogen,  
gußeiserne emaillierte Badewannen, Ausgußbecken.



## Segerkegel

zur Temperaturbestimmung in Öfen und Feuerungs-Anlagen aller Art.

**Chemisches Laboratorium für Tonindustrie**

Prof. Dr. H. Seger & E. Cramer, G. m. b. H.

**BERLIN NW 21, Dreysestraße 54.**

**Benoid-Gaserzeuger.** Ersatz für Kohlendgas auf dem Lande.

**„Hydrobenoid“.** Automatischer Wasserversorger. Ersatz für städtische Wasserleitung auf dem Lande.

**Motoren für Gas und flüssige Brennstoffe.**

**Motoren mit Dynamo, Pumpen u. Gebläse** gekuppelt, auch fahrbar.

**Gebläse für Lötzwecke, Laboratorien, Plättereien etc.**

**Mikrobrenner.** Kleinster Gasbrenner!

**Thiem & Töwe, Maschinenfabrik, Halle a. S. 80.**

*20 goldene Medaillen außer zahlreichen anderen Auszeichnungen.  
Lieferanten in- und ausländischer Behörden.*

# GASOMETER-VERNIN

=====  
Gesetzlich  
=====



=====  
geschützt!  
=====

**Wetterbeständige Rostschutzfarbe für Gasometer-Anstriche**

**Eisenvernin** gesetzlich geschützt

anerkannt bester Schutz gegen Rost, blei- u. giftfrei — wetterbeständig

**Farben und Lacke**

für jeden Spezial-Zweck

**S. H. COHN, Farben- und Lack-Fabriken, Berlin-Neukölln**  
Köllnische Allee 44—48

und Badener Mühle bei Gießen

Gegründet 1796

Referenzen zu Diensten

Lieferant vieler staatlicher u. städtischer Behörden sowie der grössten Industrie-Werke

# A. Stotz, Stuttgart 74

Gegründet 1860

750 Arbeiter

---

## **Transport-Anlagen** für Massengüter jeder Art

Kohlen-

Koks- und Schlacken-Transportanlagen  
Sortier-Anlagen, Lese- u. Förder-Bänder

Becherwerke

Conveyors, Hängebahnen

Transportschnecken

Kratzer-Transporteure

Beste Referenzen = Kataloge und Projekte auf Verlangen

---

## **Zerlegbare Treib-Ketten** „ **Stahlbolzen-**

Kettenräder

Schmiedeeiserne Laschen-Ketten

Schleif- u. Kratzer-Ketten, Gallsche Ketten

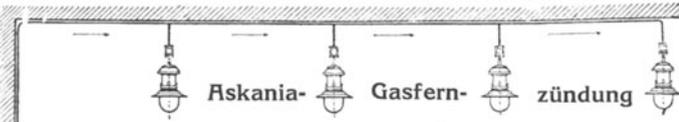
---

**Älteste deutsche Kettenfabrik**

---

## **Temper-, Temperstahl- und Grau-Guß**

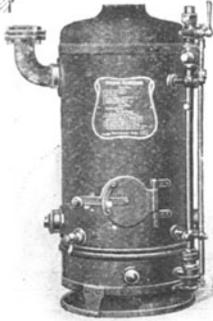
# Central-Werkstatt, Dessau 59



für Innen-, Außen- u. Treppenhaus-Beleuchtung,  
 von jeder Stelle ein- und ausschaltbar wie elektrisches Licht.

liefert:  
 Gasmesser,  
 Gasautomaten,  
 Gas-Koch- und  
 Heizapparate,  
 Warmwasser-  
 apparate  
 „Askania-Therme“,  
 Askania-  
 Gasfernzündungen

Dosenhahn



Askania-Warmwasser-Heizkessel  
 mit Gasfeuerung



Gasautomat.  
 Kataloge auf Verlangen kostenlos.



Warmwasser-  
 Apparat  
 „Askania-Therme“.

## Dessauer Vertical-Ofen-Gesellschaft m. b. H. Berlin W 35

# Dessauer Vertikal-Öfen

das verbreitetste

# Vertikalofen-System

Prämiert auf der Weltausstellung in Brüssel 1911  
 mit dem Großen Preis und Ehrendiplom

## **C. Eitle Maschinenfabrik Stuttgart**

### **Fabrikationsprogramm:**

**Koksbrecher, -Aufbereitungs- und Sortieranlagen  
Kohlenbrecher, -Aufbereitungs- und Sortieranlagen  
Sortiermaschinen**

**Koks-Lösch- und Förderanlagen D. R.-P.**

### **Ofenhaus-Maschinen:**

Ladeapparate für Handbetrieb D. R.-P.

Ladeapparate für elektrischen Betrieb D. R.-P.

Ziehmaschinen für Hand- u. elektrischen Betrieb D. R.-P.

Stoßmaschinen D. R.-P.

Stoß- u. Lademaschinen für Handbetrieb D. R.-P.

Stoß- u. Lademaschinen für elektrischen Betrieb D. R.-P.

### **Hartzerkleinerung:**

Schamotte-, Schlackenbrecher usw

**Förderanlagen für Massengüter, Kesselhausbekohlungen**

USW

## **G. Kromschröder, Osnabrück**

**Fabrik für trockene Gasmesser und Automaten**

empfiehlt

### **Gasautomaten**

**neuester Konstruktion von  
hervorragend stabiler Bauart  
u. größter Betriebssicherheit**

Zweigfabriken und Reparaturwerkstätten in Danzig, Ketterhagergasse 4, Fernspr. 1998; Stuttgart; Gutenbergstraße 40, Fernspr. 4487; Breslau VI, Westendstraße 90, Fernspr. 8774; Zwolle (Holland); Brüssel, 43, rue de la Poste; Barcelona, Calle de Balmes 47; Buenos Aires, Calle Corrientes 3946



Nr. 866a



Nr. 877



Nr. 2027



Nr. 1063

# Jean Stadelmann & Co.

Postscheck-Konto Nürnberg  
Nr. 3840

## Nürnberg

Telegramm-Adresse:  
Thurnauer, Nürnberg



Nr. 16

*Betrieb I. Untere Turnstr. 10/12. Telephon 1095*

## Specksteingasbrennerfabrik



Nr. 23

## Speckstein

- Acetylenbrenner
- Kohlengasbrenner
- Ölgasbrenner
- Wassergasbrenner
- Isolierringe
- Siebkopfplatten
- Zündköpfchen

für  
Glühlicht-  
brenner



Nr. 10



Nr. 25



Nr. 6

*Betrieb II. Peterstr. 19. Telephon 3929*

## Stecolithisolatorenfabrik

## Stecolith

- Zündkerzenisolatoren
- Schalträdchen
- Fassungsringe
- Widerstandspulen
- Klemmbretter
- Sicherungsringe



Nr. 97/1



**Stockhausen Kautschukwerke** G. m. b. H.  
**CREFELD am Rhein**

**Gasschläuche** 

für **technischen**  
 und **häuslichen Gebrauch**

aus **Elastolin** D. R.-P. a., Auslandspatente

**Größte Haltbarkeit!**

Werden von Gas nicht brüchig  
 wie Kautschukschläuche

**Garantiert gasdicht!**

Eisengarn- und Baumwollumspinnung \* Drahtspirale

*Billiger als Kautschukschläuche! Man verlange Offerte.*

**INHALTSFERNMELDE-APPARATE**  
 für  
**GASBEHÄLTER**

Wassersandsfernmelde-Apparate  
 für Reservoirs, Klärbecken, Talsperren  
 etc



Elektrische  
 Wächterkontrolluhren

Personalkontrolluhren

Fern-Kontaktzähl- u.  
 Registrierwerke

Registrierwerke  
 für Wassermesser

Fernmelde-  
 u. Registrierapparate

für alle  
 Flüssigkeitsbehälter

**J. LECHNER & CO., FRANKFURT am Main**

# **Dr. C. Otto & Comp.**

G. m. b. H.

**Dahlhausen a. d. Ruhr.**

---

**Fabrik feuerfester Produkte.  
Bau vollständiger Gasanstalten,  
Kokereien und Benzolfabriken.**



**Der  
Ottosche  
Großkammerofen  
mit wahlweiser Beheizung  
durch Stark- und Schwach-Gas  
ist für den Gaswerksbetrieb  
der vollendetste und  
wirtschaftlichste  
Gaserzeuger.**



Friedrich **Lux** G.m.b.H.

## Die Luxsche Gasreinigungsmasse

(alkalisiertes Eisenoxydhydrat)

reinigt bis zur doppelten Menge Gas und bedarf hierzu nur der Hälfte und noch weniger Regenerationen wie Rasenerz

————— Luxsche Gaswage —————

Luxsche einschenkelige Zug- u. Druckmesser  
Balkoms kalorimetrischer Rechenschieber

◀ LUDWIGSHAFEN AM RHEIN ▶

## Max Bessin & Co.

Gasapparate-Fabrik  
Berlin NO. 18, Höchste Str. 4

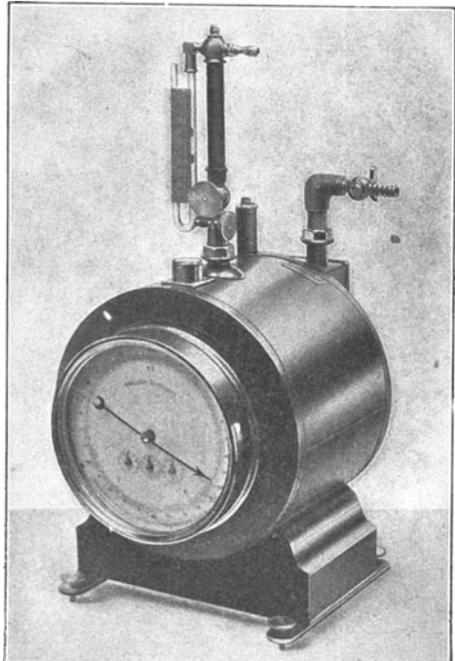


Experimentier- und  
Kontroll-  
Gasmesser

sorgfältigster Ausführung

Nasse und trockene  
Gasmesser  
u. Münzgasmesser

Gas- **Druckregler**  
**Druckschreiber**  
**Druckmesser**



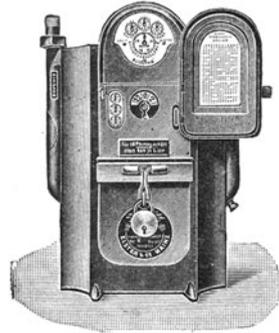
## **Trockene E. Haas'sche Patent- Gasmesser und Gasautomaten**



sowie sonstige

**Gas-  
apparate**

liefern



### **Gasmesserfabrik Mainz Elster & Co.**

**Rotterdam**

Brüssel

**Mainz**

**Luzern**

Mailand

# **Gasdruckregler**

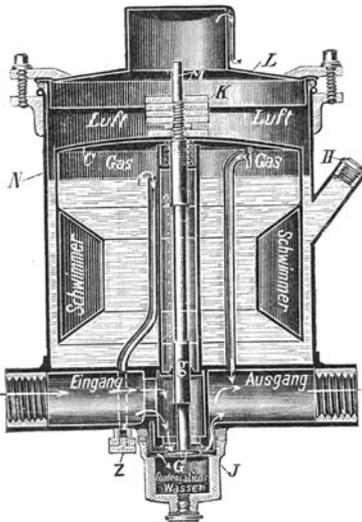
für

**Gasmotoren**  $\equiv$   
**Beleuchtungs- und**  
**Heizungs-Anlagen**  
**für alle Gasarten**

baut als langjährige Spezialität

## **Johannes Fleischer** **Gießen**

Preislisten gratis u. franko



# Vereinigte Chamottefabriken

vormals **C. Kulmiz**, G. m. b. H.

Stammfabrik **Saarau** (Preuß.-Schlesien)

Filialfabriken: **Markt-Redwitz** (Bayern), **Halbstadt** (Böhmen)

*Auf zahlreichen Ausstellungen prämiert*

---

## Chamottewaren

jeder Art, zu Rost- u. Generator-Feuerungen

---

## Fassonsteine, Chamotte-Retorten

### Bau von Retortenöfen

nach bewährten Systemen mit Armatur fertig

ausgeführt

Stellen auf Wunsch Ofenzeichnungen und geübte Ofenmaurer  
zur Verfügung



*Jährliche Leistungsfähigkeit ca. 120 Millionen Kilo geformte  
gebrannte Chamottewaren*

**Beschäftigen zurzeit 1500 Arbeiter**

---

*Telegramm-Adresse: Feuerfest. Fernsprech-Amt Saarau Nr. 4 u. 9  
Fernsprech-Amt Markt-Redwitz Nr. 24. Fernsprech-Amt Halbstadt Nr. 1*

# Schaeffer & Gehlmann G. m. b. H.

Berlin N. 4

Chausseestr. 46-48

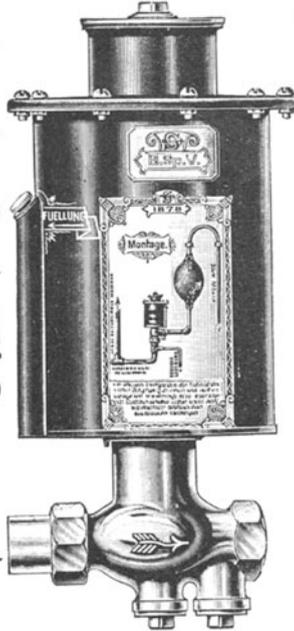
Ständig gleichmäßiger  
Druck  
wird erzielt durch das

## Berliner Speise-Ventil

(Gasdruck-Regulator)

für

Gasmotoren,  
Beleuchtungs-,  
Koch- u. Heizungs-  
Anlagen.



Da unsere  
Spezialfüllung den  
Apparat vor etwaiger  
Oxydation schützt, so  
ist eine unbegrenzte  
Dauerhaftigkeit  
gewährleistet \*

Unsere Spezialfüllung  
gefriert nicht, selbst  
bei 20° C, verdunstet  
nicht in den heißesten  
Räumen.

Ca. 26000 Apparate in  
Betrieb.

# Witkowitz Bergbau- und Eisenhütten-Gewerkschaft

## Witkowitz in Mähren

**Roheisen** als Gießerei-, Puddlings- und Stahlorheisen; Hämatit, Ferromangan, Ferrosilizium etc.

**Eisengußware:** Rohre für Wasser-, Dampf- und Gasleitungen, Maschinen- und Bauguß, gußeiserne Säulen etc. Grauguß- u. Hartguß-Walzen, -Platten etc.

**Stahlfassonguß** aus Martin- oder Tiegelstahl und aus Manganstahl: Gußstücke jeder geeigneten Konstruktion und Größe in zweckentsprechender Härte u. Zähigkeit, sauber u. dicht. Spezialartikel: Lokomotiv- u. Waggonräder. Manganstahl: Herzstücke, div. Weichteile, Brechbacken für Steinbrecher, Steinhütten etc.

**Schmiedestücke** aus Martin-, Nickel- und Spezialstahl, wie: Maschinenwellen bis zu den größten Dimensionen sowie Maschinentelle jeder Art.

**Schiffbaumaterial:** Schiffsschrauben, Ruder, Anker, Vorder- und Hintersteven, Kurbel- und Tunnelwellen, Propellerwellen.

**Kriegsmaterial** für Kriegsschiffe, Küsten- und Landbefestigung, wie: Panzerplatten, Panzerbleche, Schutzschilde, Panzertürme, Geschützrohre, Lafetten, Geschosse, Torpedo-Luftreservoir, Lanzierrohre etc.

**Eisenbahnbedarfsartikel:** Lokomotiv- und Waggonräderpaare, geschmiedete u. gegossene Waggonradscheiben, Radreifen u. Achsen für Lokomotiven u. Waggons etc. Komplette Geleisanlagen, Wechsel und Kreuzungen, Drehscheiben, Schiebebühnen, Kasten- u. Kippwagen für Grubenbahnen, Wasserstationseinrichtungen etc.

**Walzware:** Stab- und Fassoneisen, Bau- und Waggonträger, Stabstahl, Stahlbleche, Schiffsbleche, Kesselbleche, Reservoirbleche, Strips für Rohrfabrikation etc., Eisenbahn-, Straßenbahn- und Grubenschienen aus Martinstahl, Blöcke, Knüppel etc.

**Rohre** aus Flußstahl, Flußeisen, Schweißblech, stumpf- und patentgeschweißt sowie nahtlos, Fittings, Fassonstücke etc., Rohrmaste.

**Blechwaren:** a) mittels Wassergas geschweißte, b) elektrisch geschweißte, Fässer für Benzin, Petroleum etc., c) Blechschmiedearbeiten aller Art, d) maschinell gepreßte Blechwaren aller Art für Kriegsbedarf, Eisenbahnbedarf etc., Kesselböden, Böden für Destillierblasen, Zellulosekocher, Garbekesselplatten, Hochdruck- u. Turbinenleitungsrohre, Wellrohre System Fox und Morison etc.

**Dampfkessel, besondere Spezialität Wasserröhrenkessel Patent Garbe, Überhitzer, Reservoir, Gasbehälter etc.**

**Eiserne Brücken und Hochbau-Eisenkonstruktionen.**

**Maschinenbau** mit besonderer Berücksichtigung des Gasmotorenbaues für Koks- und Hochofengas; Fördermaschinen, Kompressoren, Ventilatoren, Druckluftlokomotiv-Anlagen, kompl. Aufbereitungs-Anlagen etc.

**Bohrwerkzeuge** aller Art, Bohrmeißel, Rettungsgestänge etc. **Kompl. Einrichtungen für Berg- und Hüttenwerke, Koksanstalten, Gasanstalten etc.**

**Schamottewaren** für Kesseleinmauerung, Schweiß- und Glühöfen, Martinöfen etc.

Arbeiterzahl: In den Eisensteingruben und Hüttenwerken 21500, in den Kohlengruben und Koksanstalten 10000, zusammen 31500.

Anfragen beliebe man zu richten an die

**Zentraldirektion in Witkowitz-Eisenwerk, Mähren,**  
oder an die  
**Kommerzielle Direktion in Wien, I., Fichtegasse 10.**

# DEUTSCHE BLAU-GAS-GESELLSCHAFT MBH AUGSBURG

**BLAU-GAS** (FLÜSSIGES VERSAND-FÄHIGES LEUCHTGAS)  
ANLAGEN ZUR

## BELEUCHTUNG

ZUM KOCHEN, HEIZEN UND ZU TECHNISCHEN ZWECKEN

IDEALSTER ERSATZ FÜR GAS AUS CENTRALEN

Apparat für 10 Flammen à 50 HK M.295—ohne jede Nachforderung

50 Hefnerkerzen 2½ Pfg. pro Std. Totalbetriebskosten

EINZIGES KLEINGASANLAGENSYSTEM OHNE BEHÖRDLICHE AUFLAGEN

KEIN EINFRIEREN! — KEINE WARTUNG!

Man verlange Prospekte und Kostenvorschläge!

Briefadresse: Augsburg 9 Postfach 7.



# BLAU-GAS

Blaugas-Patent-Gesellschaft m. b. H.  
Augsburg 9.

## LIZENZEN

für alle Staaten.

vollständige

## FABRIKEINRICHTUNGEN

zur Erzeugung flüssigen Leuchtgas.

Tochterfabriken:

<b>Wien</b> : Act-Ges.d.Wien-Floridsdörfer-Mineralölfabrik.	<b>Matanzas</b> : Bieugas Company of Cuba.
<b>Budapest</b> : Heuffel Sandor	<b>Portland (Maine)</b> : Eastern Blaugas-Company.
<b>Bukarest</b> : Societate Anonymă Română Blaugas.	<b>St.Paul (Minn.)</b> : Northwestern Blaugas-Company.
<b>St.Petersburg</b> : Russische Aktien-Gesellschaft Blaugas.	<b>Omaha (Nebr.)</b> : Nebraska Blaugas-Company.
<b>Kopenhagen</b> : Skandinavisk Blaugas Syndikat A. S.	<b>Washington D.C.</b> : Chesapeake Blaugas-Company.
<b>New-York</b> : Blaugas Company of America.	<b>Kansas City (Mo.)</b> : Southwestern Blaugas Company.
Atlantic Blaugas-Company	<b>Louisville (Ky)</b> : Southern Blaugas-Company
<b>Montreal</b> : Blaugas Company of Canada.	<b>Denver (Col)</b> : Rocky Mountains Blaugas Company.

Stammhaus: Deutsche Blaugasgesellschaft m. b. H. Augsburg.



**Atmungs-Apparat „König“  
mit Sprecheinrichtung.**

## Rauchschut- u. Atmungs-Apparate „Original König“

ermöglichen dauerndes Arbeiten in den giftigsten Gasen und Dämpfen und werden infolge ihrer großen Brauchbarkeit von den Staatlichen Aufsichtsbehörden zur Anschaffung empfohlen!

Alleiniger Fabrikant:  
**C. B. König-Altona** (Elbe)  
Fabrik für Feuerwehr-Artikel.

Internationale Hygiene-Ausstellung Dresden 1911:  
**Goldene Medaille!**

Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig

- Eckardt**, Betriebsingenieur, Arthur, **Die Gasmachine**, insonderheit die Viertakt-Gasmachine, ihre Untersuchung auf Wirtschaftlichkeit und Leistung und Beschreibung der dazu nötigen Instrumente. Mit 63 Abbildungen im Text und auf zwei Tafeln. *M* 2,50.
- Hempel**, Prof. Dr. Walther, **Gasanalytische Methoden**. 4. Auflage. Mit 167 eingedruckten Abbildungen. 1913. *M* 11,—, in Lnwd. *M* 12,—.
- Jäger**, Prof. Dr. G., **Die Fortschritte der kinetischen Gastheorie**. Mit 8 Abbild. *M* 3,50, in Lnwd. *M* 4,10.
- Konen**, Prof. Dr. H., **Das Leuchten der Gase und Dämpfe** mit besonderer Berücksichtigung der Gesetzmäßigkeiten in Spektren. Mit 33 Abbildungen im Text und einer Tafel. 1913. *M* 12,50, in Lnwd. *M* 13,50.
- Kuonen**, Prof. Dr. J. P., **Die Zustandsgleichung der Gase und Flüssigkeiten und die Kontinuitätstheorie**. Mit 9 Abbild. *M* 6,50, in Lnwd. *M* 7,10.
- Schmidt**, Ingenieur Fr., **Die Leuchtgaszerzeugung** und die moderne Gasbeleuchtung (Preßgasbeleuchtung usw.). Mit 63 Abbild. *M* 2,50, in Lnwd. *M* 3,20.
- Travers**, Prof. Dr. Morris W., **Experimentelle Untersuchung von Gasen**. Mit einem Vorwort von Sir William Ramsay, K. C. B. Deutsch von Dr. Tadeusz Estreicher. Nach der englischen Auflage vom Verfasser unter Mitwirkung des Übersetzers neu bearbeitet und erweitert. Mit einer Tafel und 144 Abbildungen. *M* 9,—, in Lnwd. *M* 10,—.
- Wernicke**, A., **Flüssigkeiten und Gase**. 3. völlig umgearbeitete Auflage. Von Dozent Richard Vater. Mit 234 Abbild. *M* 5,—, in Lnwd. *M* 5,60.

~~~~~ Durch alle Buchhandlungen zu beziehen ~~~~~

**Gebr. Kaempfe G. m. b. H.**  
**Chamottefabriken ❖ Eisenberg (S.-A.)**

liefern seit langen Jahren als Spezialität

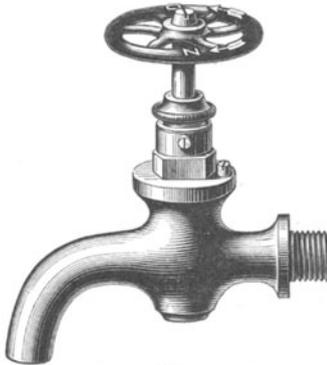
**Retorten und Schamotten**

≡ für Retortenöfen ≡

und übernehmen die betriebsfertige Herstellung  
von

**Retortenöfen bewährter Konstruktionen**  
nach den verschiedenen Systemen

*Ingenieurbesuch auf Wunsch — Zahlreiche Referenzen auch in Österreich*



**Gas-, Wasser- und**  
**Dampfleitungsarmaturen**

in nur betriebssicherer Qualität  
und sauberster Ausführung

Man verlange Sonderangebote



.....  
**Carl Schlösser, Potsdam**

# KLÖNNE

## Gaswerksbau

Sämtliche Einzelkonstruktionen.

Spezialitäten:

**Klönne-Retortenöfen**

**Klönne-Kammeröfen**

**Klönne-Gasbehälter**

**Klönne-Gasreiniger**

**Klönne-Gaskühler**

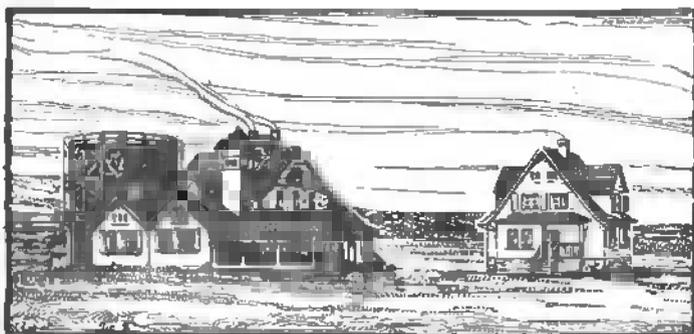
**Klönne-Transportband**

**Klönne-Hochbehälter**

Ca. 260 Beamte u. 2000 Arbeiter

# Aug. Klönne

## Dortmund





Gasanstalt Wittenau bei Berlin. Tagesleistung 7500—15000—30000 cbm

# M. Hempel

Ebereschentallee 13/17

Westend-Berlin



○○○○○○ Fabrik ○○○○○○

Seegefeld-Berlin

Geegründet 1886

**Bau vollständiger**

**Gaswerke · Gasbehälter · Gasapparate**

Kühler nach eigenem und Reutterschem System

Ofenarmaturen · Teervorlagen

Gassauger · Ammoniak- und Naphtalinwascher

Reiniger · Transportvorrichtungen

Dampfkessel · Dachkonstruktionen

Ladevorrichtungen mit einfacher und geteilter Mulde

Anlagen für Gaswasserverarbeitung

(verdichtetes Gaswasser, Sulfat, Salmiakgeist)

Retortenöfen

*Entwürfe, Anschläge, Ingenieurbesuch kostenlos*