

Die Gaserzeuger

Handbuch der Gaserei mit und ohne
Nebenproduktengewinnung

Von

Dipl.-Ing. H. R. Trenkler

Direktor der Deutschen Mondgas- und
Nebenprodukten-G. m. b. H.

Mit 155 Abbildungen im Text
und 75 Zahlentafeln



Berlin
Verlag von Julius Springer
1923

ISBN-13:978-3-642-90478-3 e-ISBN-13:978-3-642-92335-7
DOI: 10.1007/978-3-642-92335-7

Alle Rechte, insbesondere das der
Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.
Copyright 1923 by Julius Springer in Berlin.
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1923

Meinem lieben
VATER
zum siebzigsten Geburtstag
und
meiner verstorbenen
MUTTER
in treuem Gedenken
inniglichst und dankbarst
zugeeignet

Zur Einführung.

Die Gaserzeuger sind ihrer Natur als Hilfseinrichtungen entsprechend in der Literatur mehrfach und teilweise sehr eingehend behandelt worden. Trotzdem hörte ich in der Praxis immer wieder den Wunsch nach einem brauchbaren Handbuch ausgesprochen, und zwar im Verlaufe der letzten Jahre immer mehr, weil sich einerseits das Anwendungsgebiet der Gasfeuerungen immer weiter ausbreitete und andererseits, weil die Bauarten der Gaserzeuger immer zahlreicher wurden. Durch die Frage der Nebenproduktengewinnung ist das Arbeitsgebiet im Laufe der Jahre ein wesentlich erweitertes geworden, und die ältere Buchliteratur genügte daher ihrem Zweck nicht mehr. Die neueren Mitteilungen in der Zeitschriftenliteratur sind dagegen einander vielfach widersprechend.

Es ergaben sich daraus folgende Gesichtspunkte für die Abfassung eines neuen Werkes: Größte Vollständigkeit bei völliger Wahrung der Übersichtlichkeit und kritische Beurteilung der zahlreichen Vorschläge.

Der Betriebsingenieur ist, wie leicht eingesehen werden kann, nicht in der Lage, sich über einzelne Gebiete von Hilfseinrichtungen fortlaufend so genau zu orientieren, als ihm selbst dies manchmal wünschenswert erscheint; zudem kennt er meist nur die Betriebsverhältnisse seines Werkes. Demnach glaubte ich auf Übersichtlichkeit bei der Behandlung des ganzen Stoffes größten Wert legen zu müssen.

Ich habe dazu eine bereits früher von mir gegebene Einteilung der technischen Gasarten benutzt, welche sich bisher sehr bewährt hat. Neben dieser systematischen Einteilung aus chemischen Gesichtspunkten fügte ich als neu hinzu eine Beurteilung der Verfahren auf mechanischer Grundlage. Durch diese Gruppierung der ganzen Verfahren nach verschiedenen Gesichtspunkten hoffe ich die Übersichtlichkeit erreicht zu haben, welche mir notwendig erschien.

Schwerer zu erfüllen war die Forderung nach Vollständigkeit, wenn man nicht den Umfang des Buches über ein gegebenes Maß hinaus anschwellen und die Übersichtlichkeit durch eine allzu große Fülle beeinträchtigen lassen wollte.

Seit mehr als 17 Jahren auf diesem Spezialgebiete tätig, konnte ich leicht diejenigen Bauarten ausscheiden, welche heute noch für den

praktischen Betrieb von Wichtigkeit sind. Alle anderen älteren Bauarten habe ich in einem geschichtlichen Teil zusammengefaßt. Jeder, der sich mit diesem Gebiet beschäftigt hat, kennt die Unzahl von Patenten und Bauarten, von denen meist gar nicht festgestellt werden kann, ob sie über den grünen Tisch hinaus überhaupt nur versuchsweise Anwendung in der Praxis gefunden haben. Trotzdem läßt sich nicht leugnen, daß in diesem Gesamtmaterial ein außerordentlich großer Wert liegt, da ja erfahrungsgemäß oft ein alter Gedanke, der seinerzeit nicht lebensfähig war, erneut Wurzel schlägt und dann zu den überraschendsten Ergebnissen und Umwälzungen führt.

Ich habe mich daher auch auf diesem Gebiet der größten Vollständigkeit befleißigt, mußte aber selbstverständlich langatmige Beschreibungen und Erläuterungen vermeiden. Von den wichtigen Vorschlägen genügt meines Erachtens nach für den Ingenieur die Zeichnung allein. Durch Benennung der in Betracht kommenden Patentschriften ist aber jeder Leser imstande, einer besonderen Frage ohne Schwierigkeit nachzugehen.

Auch in diesem Abschnitt habe ich ähnliche Vorschläge zusammengefaßt, um eine möglichst große Übersichtlichkeit zu wahren. Der Verlauf einzelner Erfindungsgedanken ist trotz der oft sehr mannigfaltigen Formen verfolgt und festgehalten worden. So glaubte ich am besten zu einer kritischen Würdigung zu kommen oder wenigstens die Unterlagen zu geben, die den einzelnen Leser in stand setzen, eine solche Kritik und Beurteilung selbst durchzuführen.

Da das Werk seine Entstehung den Bedürfnissen der Praxis verdankt, habe ich weiter den größten Wert auf die praktischen Ergebnisse mit den verschiedenen Bauarten, auf die Betriebsführung und die bei der Überwachung notwendigen Untersuchungen gelegt. Bezüglich des ersten Punktes mußte auch eine Beschränkung Platz greifen, um nicht aus manchmal nicht ganz einwandfreien Ergebnissen zu falschen Schlüssen zu gelangen. Indem ich aber auf eine große Anzahl der Einzelveröffentlichungen verwies, ist jeder Leser in der Lage, meine Stellungnahme zu überprüfen.

Berlin-Steglitz, im August 1923.

H. R. Trenkler.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung. Definition, Abgrenzung, Einteilungsmöglichkeiten, Sprachliches	1
I. Die festen Brennstoffe	10
1. Entstehung und Lagerung	10
2. Chemische Zusammensetzung und Bildungsvorgänge	15
3. Einteilung der natürlichen Brennstoffe und Verhalten der- selben	24
4. Der Heizwert der Brennstoffe	33
5. Verhalten der Brennstoffe bei der Entgasung.	37
6. Die künstlichen Brennstoffe.	43
II. Die chemischen Grundlagen der Vergasung.	47
1. Allgemeines	47
2. Luftgas	51
3. Halbgas, Dampfgase	56
4. Regenerationsgase	68
5. Wassergas	72
6. Oxygase	78
7. Ölgase, Edelgase u. dgl.	79
8. Einfluß der Destillationsgase auf die Zusammensetzung. Weitere Zusammenhänge	86
III. Die technischen Grundlagen der Vergasung	92
1. Das Brennstoffbett	92
2. Die Rückstände und deren Entfernung	99
3. Die Zuführung der Reaktionsgase	103
4. Die Abführung der erzeugten Gase	106
5. Zuführung des Brennstoffes.	112
6. Mechanische Beeinflussung der Beschickung	124
IV. Bauarten der Gaserzeuger.	135
1. Geschichtliche Entwicklung des Gaserzeugerbaues.	135
2. Beschreibung gebräuchlicher Bauarten	154
a) Planrostgaserzeuger	154
b) Treppenrostgaserzeuger	159
c) Rostlose Gaserzeuger	162
d) Schlackenschmelzgaserzeuger	165
e) Gaserzeuger mit Windhauben und Wasserbad	167
f) Drehrostgaserzeuger	172
g) Gaserzeuger mit selbsttätigen Stochwerkzeugen	185
h) Wassergaserzeuger, Doppelgaserzeuger, Dampfkesselgas- erzeuger	194

	Seite
3. Betriebsergebnisse einzelner Bauarten und Verfahren	203
a) Allgemeines	203
b) Vergasung aschenreicher Brennstoffe	214
c) Vergasung wasserreicher Brennstoffe	218
d) Vergasung feinkörniger Brennstoffe	220
e) Vergasung von Rohbraunkohle	225
V. Aufbau der Gesamtanlagen	231
1. Anordnung der Gaserzeuger mit Nebeneinrichtungen	231
2. Brennstofflagerung und Förderung	239
3. Aschenabfuhr	243
VI. Reinigung der Gase und Nebenproduktengewinnung	245
1. Gründe der Reinigung und grundsätzliche Verfahren	245
2. Die Gewinnung von Teer, insbesondere Urteer	250
a) Die chemischen Grundlagen	250
b) Aufbau einfacher Reinigungsanlagen	252
c) Anlagen zur Urteergewinnung	254
d) Wärmewirtschaftliche Betrachtungen zur Urteergewinnung	271
e) Geldwirtschaftliche Hinweise	279
3. Die Gewinnung der Stickstoffnebenprodukte	282
a) Die chemischen Grundlagen der Stickstoffumsetzung	282
b) Anlagen zur Ammoniakgewinnung	288
c) Nebenproduktengaserei für Kraftzwecke	299
d) Wirtschaftlichkeit der Ammoniakgewinnung	308
4. Bestrebungen zur Ausnutzung des Brennstoffschwefels	309
VII. Betriebsführung	311
1. Messungen im Betriebe	311
2. Die chemischen Untersuchungsmethoden	332
a) Feste Brennstoffe	332
b) Gasuntersuchung	337
3. Aufstellung der Stoff- und Wärmebilanz	348
4. Folgerungen	358
VIII. Anhang	368
1. Namenverzeichnis	368
a) Autoren	368
b) Erfinder und ausführende Firmen	370
2. Patentverzeichnis	373
Ausländische Patente	375
3. Sachverzeichnis	375

Berichtigungen.

Seite	Zeile	1 v. u. lies I	statt II.
41	3	o. „ II	„ I.
51	9	„ „ „ 3,31	„ 3,11.
83	22	„ „ „ CO ₂	„ O ₂ .
85	2	„ „ „ 4300	„ 3100.
86	1	„ „ „ bei der	„ der bei.
285	14	„ „ „ Ammonsulfat	„ Ammoniak.

Einleitung.

Gaserzeuger sind Einrichtungen zum Zweck oder mit dem Ziel der restlosen Überführung fester Brennstoffe in brennbare Gase. Wenn wir diese Definition betrachten, so ergibt sich als Abgrenzung gegenüber verwandten Gebieten und Apparaten folgende. Die Herstellung muß brennbare Gase betreffen, so daß nicht nur die Verbrennung ausgeschaltet ist, welche Abgase ergibt, sondern auch diejenigen Verfahren, welche eine andere Verwertung der Brennstoffe anstreben, selbst wenn dabei brennbare Gase als Nebenprodukte auftreten. Es ist dies gekennzeichnet durch die Betonung des Zweckes. Andererseits können außer Gas auch Nebenprodukte gewonnen werden. Die Einrichtungen für die Entgasung bzw. die Kokerei und Schwelerei, sind keine Gaserzeuger. Auch ist die Herstellung brennbarer Gase aus flüssigen Brennstoffen nicht Gegenstand der Vergasung, obwohl man diese Einrichtungen Vergaser nennt, weil es sich meist nur um eine Verdampfung der flüssigen Brennstoffe oder um eine einfache Zersetzung handelt. In diese Gruppe gehören die Ölgasanstalten sowie die Einrichtungen für die Karburierung von brennbaren Gasen, welche sich ähnlicher Einrichtungen wie die Gaserzeuger bedienen, und welche daher kurz erwähnt werden sollen.

Es bleibt nun in erster Linie klarzustellen, was man unter Vergasung im Gegensatz zur Entgasung versteht; beide Begriffe werden recht oft in der technischen Literatur nicht ganz richtig angewendet, weil man dieselben unter den Begriff Gasherstellung zusammenfassen kann. Die Entgasung betrifft die Abspaltung jener leicht zersetzlichen Teile der natürlichen Brennstoffe, die bei einer Erwärmung derselben ohne jegliche Luft- oder besser Sauerstoffzufuhr (in irgendwelcher Form) vor sich geht. Es sind dies die unter dem Sammelbegriff Bitumen (daher bituminöse Brennstoffe) gemeinten Bestandteile der Brennstoffe, welche sich schon bei einer gelinden Erwärmung als Bitumen im engeren Sinn (Teer) abtreiben lassen; tatsächlich geht dabei aber ein ziemlich erheblicher Spaltungsvorgang vor sich, und als dessen Ergebnis bildet sich neben dem Teer auch Gas und Wasserdampf. Man kann nun diese Gasbildung durch geeignete Maßnahmen unterstützen

und ist dieser Arbeitsweg derjenige, welcher die Städte mit ihrem Leuchtgas und Heizgas versorgt. Es verbleibt bei diesem Vorgang aber die Hauptmenge des im Brennstoff enthaltenen Kohlenstoffs mit geringen Beimengungen anderer Stoffe und dem ursprünglich vorhandenen Aschengehalt als Rückstand, Koks oder Halbkoks usw. (vgl. S. 37 ff.), der sich auch bei einer wesentlich gesteigerten Temperatur nicht in Gasform überführen läßt, solange nicht reaktionsfähige Gase (Sauerstoff oder Wasserstoff, Luft bzw. Wasserdampf) mit ihm zusammengebracht werden.

Letzteren Vorgang nun, die vollständige Auflösung eines Brennstoffes unter Zufuhr von Luft oder Wasserdampf bzw. anderen reaktionsfähigen Gasen unter Rücklassung der Asche allein im festen Zustand nennt man Vergasung. Sowohl bei der Verwendung von Luft als auch von Wasserdampf und Kohlensäure ist der reaktionsfähige Teil der Sauerstoff und versteht man gewöhnlich nur diesen Vorgang unter Vergasung, obwohl ja auch Wasserstoff oder andere Gase als Umsetzungsmittel in Frage kommen könnten; vereinzelt hat man sich mit dieser Aufgabe schon beschäftigt, aber technisch hat sie bis jetzt eine wesentliche Bedeutung nicht erlangt. Meist bilden sich dabei flüssige Brennstoffe (Kohlenwasserstoffe), weshalb diese Verfahren als ein Grenzgebiet zwischen Vergasung und Verflüssigung gelten können. Schließlich wäre noch der Weg in Berücksichtigung zu ziehen, daß man nicht die rohen Brennstoffe zur Gasherstellung auf dem Wege der Vergasung verwendet, sondern daraus hergestellte Zwischenprodukte. Mit der gegebenen Definition fallen diese Verfahren nicht unter die Vergasung, obwohl sie eine große Ähnlichkeit besitzen, und sollen auch diese Abarten ergänzend behandelt werden (vgl. S. 83, 85).

Die chemisch-technischen Grundlagen der Verfahren werden im Abschnitt II eingehend dargelegt. Um aber von vornherein einen Überblick über die kennzeichnenden Unterschiede der auf allen erwähnten Wegen hergestellten Gase zu geben, möge nachstehend eine Einteilung der technischen Gasarten angeführt sein, soweit sie als Brenngase, also zur Heizwirkung oder Krafterzeugung, in Frage kommen. Neben diesen technischen Gasarten finden ja nur in seltenen Fällen für den erwähnten Zweck Abfallgase der chemischen Industrie Verwendung, die dann meist irgendeiner der angeführten Gasarten ähneln, soweit es sich nicht um mehr oder weniger reine gasförmige Verbindungen handelt. Weiter finden zu diesem Zweck auch Naturgase Anwendung; auch diese verdanken meist festen oder flüssigen Brennstoffen ihre Entstehung und sind daher in der Regel den Destillationsgasen verwandt. Hierher gehören: Erdgase, Sumpfgase, Grubengase, Schlagwetter, Ausbläser u. dgl., von denen aber erstere allein in größeren Mengen vorkommen und daher technisch verwertet werden.

Die technisch hergestellten Gasarten lassen sich übersichtlich gemäß Zahlentafel 1 einteilen.

Zahlentafel 1. Einteilung der technischen Gasarten.

Gruppe	Art	Abart
A. Reichgase	a) Schwelgase	—
B. Armgase	b) Kokereigase	Koksofengas, Leuchtgas
	a) Luftgase	Siemensgas, Hochofengas
	b) Halbgase	Sauggas
	c) Dampfgase	Mondgas
	d) Regenerationsgase	reg. Essengas, reg. Hochofengas, reg. Kalkofengas
C. Vollgase	a) Wassergase	—
	b) Doppelgase	Doppelgas nach Strache, Tri- gas, Leuwasgas
D. Ölgase	c) Oxygase	—
	a) Sattgase	Pentairgas, Benoidgas, Aerogengas, Blaugas
E. Edelgase	b) Karbogase	karb. Wassergas, Ölteergas
	—	Azetylen

Die Zusammensetzung der wichtigsten und bekanntesten Arten der ersten drei Gruppen ist in Zahlentafel 2 wiedergegeben und sei hierzu folgendes ausgeführt:

Die Zusammensetzung wird naturgemäß je nach dem angewandten Brennstoff in weiten Grenzen schwanken, doch ersieht man aus der Aufstellung, daß die Reichgase etwa 4000—7000 Kal., die Vollgase 2000—3000 Kal. und die Armgase 750—1500 Kal. Heizwert je cbm aufweisen. Die anderen zwei Gruppen haben keine bestimmten Grenzen, da die Zusammensetzung je nach dem angewendeten Verfahrenweg und dem Brennstoff in weitem Umfang schwankt; deren Zusammensetzung ist für die Einteilung nicht kennzeichnend.

A. **Reichgase** sind aus festen Brennstoffen durch Destillation unter Luftabschluß gewonnen, daher gekennzeichnet durch den Mangel an Stickstoff (praktisch freilich begrenzt) und geringen Gehalt an Sauerstoffverbindungen (nur dem Sauerstoffgehalt der Brennstoffe entsprechend), in der Hauptsache aus Kohlenwasserstoffen und je nach der Temperatur des Destillationsvorgangs aus mehr oder weniger Wasserstoff bestehend. Man kann unterscheiden:

a) Schwelgase; bei niedriger Temperatur (unter 500°) gewonnen, vorwiegend aus Kohlenwasserstoffen bestehend.

b) Kokereigase; bei hoher Temperatur gewonnen, daher reich an Wasserstoff. Unterarten sind je nach dem Brennstoff zu bezeichnen oder durch besondere Führung des Vorgangs bedingt. So ist das Leuchtgas nur als Abart zu betrachten.

Zahlentafel 2. Durchschnittliche Zusammensetzung, Heizwerte und Ausbeuten technischer Gasarten.

Gruppe	Gasart	Mittlere Zusammensetzung						Unterer Heizwert Kal./cbm	Spez. Gew. Luft = 1	Unterer Heizwert Kal./kg	Ausbeute aus		Wärme aus 1 kg Stein- kohle Kal./kg
		CO ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₄	H ₂	N ₂				Stein- kohle	Koks	
Reichgase	Schmelgas aus Steinkohle .	3	7	48	13	27	2	6900	0,58	9100	100	—	700 ¹⁾
	Leuchtgas	2	8	32	4	51	3	5000	0,40	9700	340	—	1700 ¹⁾
	Koksofengas	2	8	29	4	50	7	4800	0,42	8800	320	—	1550 ¹⁾
Vollgase	Wassergas	5	42	0,5	—	49	3	2600	0,52	3900	—	1400	4250 ²⁾
	Doppelgas	7	28	8	0,6	45	11	2800	0,56	3900	1500	—	4200
	Luftgas	5	23	3	0,2	6	62	1140	0,92	960	4000	—	4550
Arm-gase	Hochofengas	8	28	—	—	4	60	950	0,99	750	Nebenprodukt		
	Sauggas	7	22	0,5	—	18	52	1180	0,83	1100	—	3200	4350 ²⁾
	Halbgas (Generatorgas) .	3	28	3	0,2	12	54	1450	0,86	1300	3750	—	5500
	Mondgas	16	12	4	0,3	25	43	1400	0,82	1325	4000	—	5500

¹⁾ Hierbei verbleibt der Hauptteil des Heizwertes als Rückstand (Koks oder Halbkoks).

²⁾ Unter Annahme von 700 kg Koks aus 1000 kg Kohle und Einrechnung von 1700 Kal. je kg für diese Umwandlung.

B. Arm- oder Schwachgase sind aus festen Brennstoffen durch Vergasung gewonnen. Dieser Vorgang ist dabei als ein einheitlicher gedacht, der ohne Wärmezufuhr durchgeführt sein muß. Er geht bei Zuführung von Luft in beschränktem und regelbarem Maße vor sich, unter Bildung von Kohlenoxyd und Kohlendioxyd aus dem Kohlenstoff des Brennstoffes; hierbei wird ein Teil von Wärme frei, der, falls er nicht zu anderen Zwecken von vornherein bestimmt ist oder als fühlbare Wärme im Gase verbleibt, zur Zersetzung von Wasserdampf benutzt wird, um einerseits heizkräftigen Wasserstoff im Gas anzureichern und andererseits den Sauerstoffbedarf aus der Luft (der stets Stickstoffballast mit sich bringt) möglichst zu verringern. Einen ähnlichen Erfolg könnte man erzielen, wenn man anstatt Wasserdampf Kohlendioxyd der Vergasungsluft beimengt, welches beim Zusammentreffen mit dem glühenden Kohlenstoff des Brennstoffes zu Kohlenoxyd reduziert wird.

Die Armgase sind durch einen erheblichen Stickstoffgehalt (40—60%) gekennzeichnet und führen wechselnde Mengen von Kohlenoxyd, Kohlendioxyd und Wasserstoff; ist der Ausgangsbrennstoff ein ursprüngliches Material (also kein Koks oder anderes Destillationsprodukt), so enthält das Gas einen Anteil an den Kohlenwasserstoffen (und Wasserstoff) des Destillationsgases. Als Unterteilung ergibt sich nach dem Gesagten:

a) Luftgase; bei der Zuführung von Luft allein gebildet, sind gekennzeichnet durch hohe fühlbare Wärme und niedrigen Wasserstoffgehalt:

b) Halbgase; bei der Zuführung von Luft mit wenig Dampf (bis 600 g je cbm) gewonnen. Diese Bezeichnung erinnert an die früher gebräuchliche: Halbwassergas und ist sowohl für den Vorgang als auch für das erzeugte Gas (halb Stickstoffballast) kennzeichnend; es ist der Bezeichnung Generatorgas schlechweg vorzuziehen.

c) Dampfgase; das bekannteste ist das nach dem Erfinder als Mondgas bezeichnete; sie entstehen bei Zuführung von viel Wasserdampf (über 600 g je cbm Luft) mit der Vergasungsluft und sind gekennzeichnet durch hohen Wasserstoff- und Kohlensäuregehalt.

d) Regenerationsgase; bei Zuführung von Luft und Kohlendioxyd anstatt Dampf gewonnen. Meist versuchte man dazu Abgase zu verwenden und spricht von regeneriertem Essengas. Da man dabei einen hohen Stickstoffballast einbringt, hat sich das Verfahren nicht bewährt. Man hat dasselbe auch zur Anreicherung von Hochofengas und zur Ausnutzung der Abgase von Kalkbrennöfen u. dgl. empfohlen.

C. Vollgase. Aus festen Brennstoffen durch Vergasung mit Wasserdampf allein und unter Wärmezufuhr gewonnen. Die Vollgase sind gekennzeichnet durch den Mangel an Stickstoff; die brennbaren Bestandteile sind vornehmlich Kohlenoxyd und Wasserstoff; werden ursprüngliche

Brennstoffe als Ausgangsstoff genommen, so sind außerdem Destillationsgase beigemischt. Diese letzteren Verfahren sind als eine Kombination des Wassergasverfahrens mit einem Verkokungs- oder Verschmelungsverfahren zu bezeichnen und liefern daher ein reicheres Gas, welches sich bereits den Reichgasen nähert. Wir können daher unterscheiden:

a) Wassergase; verkokte Brennstoffe sind der Ausgangsstoff, Kohlenwasserstoffe fehlen. Abarten sind nicht bekannt, auch die Zusammensetzung schwankt wenig, da sowohl die Analyse des Ausgangsstoffes als der Reaktionsverlauf eindeutig sind.

b) Doppelgase; natürliche Brennstoffe bilden den Ausgangsstoff.

c) Oxygase; so sollen die Gase bezeichnet werden, welche man unter Anwendung von Wasserdampf neben möglichst reinem Sauerstoff erzeugen kann. Da der Stickstoffballast fehlt, werden sie in ihrer Zusammensetzung den Vollgasen ziemlich entsprechen. Da bei gleichzeitiger Zufuhr von Sauerstoff eine erhebliche Wärmemenge frei wird, könnte ein solches Verfahren kontinuierlich durchgeführt werden. Andererseits ist man an eine Beimengung von Wasserdampf nicht gebunden; wegen der hohen Reaktionstemperatur wird man diesen aber kaum entbehren können, um Verschlackungen zu vermeiden, wenn man nicht anstatt desselben Kohlensäure beimengt. Letzterer Weg wäre für eine Regenerierung hochwertiger Abfallgase (z. B. von chemischen Prozessen) denkbar. Dieses Verfahren wird man wohl nur dann anwenden, wenn Sauerstoff oder wenigstens angereicherte Luft als Nebenprodukt eines anderen Verfahrens zur Verfügung steht; da die Herstellung dieser Reaktionsgase in einem besonderen Prozeß vor sich geht, kann man diese Verfahren auch unter E einreihen.

D. **Ölgase**; aus flüssigen Brennstoffen erzeugt. Wir können nach dem Gewinnungsvorgang unterscheiden:

a) **Sattgase**; durch Vergasung bzw. Verdampfung in Luft gewonnen, also durch eine Sättigung dieser mit den verdampften Kohlenwasserstoffen, daher auch der Name. Hierher gehören das sogenannte Luftgas oder Pentairgas und gewisse Abarten von Ölgas alter Art, sodann Aerogengas, Benoidgas, Blaugas u. dgl.

b) **Karbogase**; durch Vergasung bzw. Verdampfung in anderen Gasströmen gewonnen. Hierher gehört das karburierte Wassergas, die meisten Ölgase alter Art und Ölteergase (auch Fettgase genannt). Meist wird Wassergas als Grundgas gewählt, es kann aber selbstverständlich jedes technische Gas in Frage kommen; andererseits auch Abfallgase chemisch-technischer Prozesse, wie Kohlenoxyd und Wasserstoff, letzterer besonders zur Herstellung von leichten Gasen zur Luftschiffahrt.

E. **Edelgase**; durch angeschaltete Prozesse aus anderen technischen Gasarten oder mittels vorgeschalteter Prozesse gewonnen. Diese Ver-

fahren dürften in Zukunft erhöhte Bedeutung erlangen. Eine genauere Einteilung läßt sich jetzt noch nicht aufstellen. Hierher würden die Gase der Verfahren von Elworthy, Sabatier, Bedford u. a. gehören, welche auf die Gewinnung eines methanreichen Gases hinzielen. Auch die Herstellung von kohlenoxydreichen bzw. wasserstoffreichen Gasen fällt hierunter; desgleichen die Entfernung von Kohlendioxyd aus technischen Gasen, wie z. B. bei Hochofengas durchgeführt und für Mondgas vorgeschlagen. Andererseits könnte man auch hier die Verfahren eingliedern, die mit angereicherter Luft oder Sauerstoff geführt werden (z. B. mit Wasserdampf gemischt zur Herstellung von Vollgasen aus festen Brennstoffen denkbar), da die Anreicherung der Vergasungsluft oder die Gewinnung von Sauerstoff als ein vorgeschalteter Prozeß aufzufassen ist.

Als letzte Abart wäre hier der Weg zu erwähnen, Gas aus künstlichen kohlenstoffhaltigen Stoffen, also nicht rohen oder verkokten Brennstoffen, zu erzeugen. Das wesentlichste Verfahren, welches hier in Frage kommt, ist die Herstellung von Azetylen.

Als Vergasungsvorgänge sind nach dem eingangs Gesagten die Verfahren zur Herstellung von Armgas und Vollgas anzusehen. Diese finden auch die größte Anwendung, und die Herstellung von Ölgasen aus flüssigen Brennstoffen, sowie diejenige von Edelgasen tritt wesentlich zurück; da man sich dabei aber ähnlicher Einrichtungen bedient und gewisse Zusammenhänge bestehen, faßt man diese Verfahren meist als Abarten der Vergasung auf, weshalb sie auch im vorliegenden Buch kurz mitbehandelt werden sollen. Dagegen werden die Verfahren der Entgasung nicht in den Rahmen mit einbezogen und wird sich das Notwendigste darüber beim Verhalten der Brennstoffe einfügen lassen.

Die Einteilung der Verfahren ergibt sich nach der vorstehenden Einteilung der Gasarten unmittelbar. Andererseits haben aber nicht nur die chemischen Vorgänge Bedeutung, sondern auch die technischen Bedingungen spielen eine wesentliche Rolle. Auch danach könnte man die Verfahren unterteilen, z. B. nach Art der Zufuhr des Brennstoffes und der reagierenden Gase, nach Art der Abfuhr der Rückstände und Ableitung des erzeugten Gases, sowie Zweckbestimmung der Gase u. a. m.

Für die Einteilung der Gaserzeuger würde sich die Einteilung nach den technischen Grundlagen teilweise günstiger erweisen, als eine Einteilung nach dem chemischen Verfahren; aber auch hier sind es so viel verschiedene Gesichtspunkte, daß man einen brauchbaren Überblick nicht bekommt. Daher ergibt sich als günstigste Einteilung diejenige nach Bauarten; die entscheidende Rolle spielen dabei natürlich die technischen Behandlungsweisen, während die Ausführung der einzelnen Bestandteile meist nur eine untergeordnete Bedeutung hat. Es wird daher auf eine strenge Einteilung der Bauarten kein Wert gelegt, sondern

eine geschichtliche Entwicklung der Bauarten und eine Beschreibung der wichtigsten und typischsten Bauarten gegeben.

Hinsichtlich der Bestimmung des Gases versuchte man zeitweise eine strenge Unterscheidung in Heizgas und Kraftgas durchzuführen. Im Laufe der Entwicklung ist diese Trennlinie immer mehr verschwunden und hat heute keinerlei Berechtigung mehr. Die Reinigung des Gases für Kraftzwecke bzw. die Gewinnung von Nebenprodukten dabei, die mehr und mehr auch für Heizgase in Anwendung kommt, bildet nur eine Ergänzung der eigentlichen Gaserzeugung und ist daher zusammenfassend behandelt.

Nach dem Gesagten ergibt sich zwanglos die Gruppierung des ganzen Stoffes, der sich neben der Erläuterung der Verfahren und Behandlung der Bauarten auch auf die Nebeneinrichtungen von Gaserzeugeranlagen und Betriebsfragen erstreckt.

Es sei an dieser Stelle gestattet, eine kurze Bemerkung nichttechnischer Natur einzufügen. Da der Vorgang als Vergasung bezeichnet wird, wäre die beste und treffendste Bezeichnung für die Einrichtungen dazu: Vergaser. Dieses Wort ist aber bereits für die Überführung flüssiger Brennstoffe in gas-(dampf-)förmigen Zustand benutzt und allgemein gebräuchlich, wie z. B. bei den Vergasern der Automobil- und Flugzeugmotore usw. Obwohl es sich dort eigentlich um eine Verdampfung handelt und die Anwendung des Wortes sinnwidrig ist, erscheint es aussichtslos, diesen Sprachgebrauch richtigzustellen. Andererseits ist das Wort „Gaserzeuger“ als ein bereits zusammengesetztes Wort nicht geeignet zur Bildung weiterer zusammengesetzter Hauptwörter, weil diese zu lang und somit nicht nur schwerfällig, sondern auch leicht unverständlich werden. So sehr es daher zu begrüßen ist, daß sich endlich das Wort „Gaserzeuger“ an Stelle des älteren Wortes „Generator“, welches noch mehr zu Mißdeutungen und Mißverständnissen Anlaß gegeben hat, eingebürgert hat, so wäre es doch anzustreben, es durch ein kürzeres, kennzeichnenderes Wort zu ersetzen. „Gaserzeuger“ ist vollständig analog aufgebaut wie das englische „gas-producer“ und das französische „gazogène“. Im Englischen läßt man einfach das „Gas“ weg, da die Bezeichnung „producer“ für andere Einrichtungen kaum angewandt wird; im Französischen liegt kein zusammengesetztes, sondern ein abgeleitetes Wort vor; eine Anwendung des Ausdrucks „Erzeuger“ als gekürztes Wort empfiehlt sich leider im Deutschen nicht, dagegen könnte man sehr gut das Wort „Gaser“ gebrauchen, das sich sowohl als eine Verkürzung von „Vergaser“ als auch von „Gaserzeuger“ bezeichnen läßt.

Eine andere Schwerfälligkeit im Sprachgebrauch entsteht dadurch, daß wir den technischen Begriff „Vergasung“ ganz allgemein auch für die praktische Durchführung anwenden. Es ist sonst üblich, in dieser

Hinsicht Unterschiede zu machen, weil man dadurch Ausdrücke schafft, die ihrerseits wieder die Anwendbarkeit zur Bildung von zusammengesetzten Wörtern haben. So unterscheiden wir zwischen Verkoken bzw. Verkokung und Kokerei, Verschwelung und Schwelerei. Es entspricht nun dem Sprachgebrauch, zu sagen: Nebenproduktenkokerei (für eine Kokerei mit Nebenproduktengewinnung), während man für den gleichen Begriff nicht sagen könnte: Nebenproduktenverkokung, denn das bedeutete eine Verkokung von Nebenprodukten. So ist das sinnwidrige Wort „Nebenproduktenvergasung“ entstanden, welches man nur durch den langatmigen Ausdruck „Vergasung mit Gewinnung der Nebenprodukte“ ersetzen kann. Alles das liegt an der Silbe „Ver“. Wäre es nicht zweckmäßig, auch in dieser Beziehung anderen Bildungen zu folgen und das kurze treffende Wort „Gaserei“ einzuführen? Wir könnten dann, um nur einige Beispiele hervorzugreifen, an Stelle der in Klammern gesetzten umständlichen Ausdrücke kurz sagen: Luftgaserei (Vergasung mit Luftzuführung), Dampfgaserei (Herstellung von Wassergas), Gleichstromgaserei (Vergasung im Gleichstrom von Gas und Brennstoff), Schwelgaserei (Vergasung mit vorheriger Abschwelung des Brennstoffes) usw. Alle diese Zusammensetzungen sind ohne weiteres noch zu weiterer Kennzeichnung nochmals zusammensetzen, wie z. B. Gleichstrom-Dampfgaserei, Gleichstrom-Torfgaserei usw. Die gleichen Wortbildungen ergeben sich auch für das Wort „Gaser“, z. B. Drehrost-Dampfgaser (statt Drehrostgaserzeuger für Wassergasherstellung) usw.

Ich halte diese Weiterbildung des Sprachgebrauches bei der umfangreichen Entwicklung der Gaserei für empfehlenswert und habe deshalb mehrfach die neuen Ausdrücke neben den alten verwendet, um langsam eine Umstellung des Gehörs und der Gewohnheit einzuleiten.

I. Die festen Brennstoffe.

1. Entstehung und Lagerung.

Die in der Natur vorkommenden Brennstoffe sind fester, flüssiger und gasförmiger Natur. Feste Brennstoffe sind keineswegs alle brennbaren Gesteine (Mineralien kann man dieselben berechtigterweise überhaupt nicht nennen), sondern nur diejenigen, welche von Lebewesen abstammen und welche in solchen Mengen vorkommen, daß sie einer Nutzung zu Heizzwecken zugeführt werden können. Brennbare Gesteine und Mineralien, die nicht zu den Brennstoffen zählen, sind beispielsweise: Bernstein, Graphit, Diamant, Schwefel usw.; auch Erdwachs, Asphalt u. dgl. sind keine Brennstoffe, stehen diesen aber außerordentlich nahe, weil sie brennbare Gesteine organischer Herkunft sind. Man nennt die brennbaren Gesteine Kaustobiolithe (Brennen — Leben — Stein) und teilt sie nach Potonié¹⁾ in:

a) Sapropelithe, Faulschlammgesteine, welche aus Anhäufung abgestorbener, alter Wasserorganismen, sowohl Tieren als auch Pflanzen (Algen) bzw. deren Resten entstanden und daher durch einen hohen Gehalt an Abbauprodukten der Fett- und Eiweißstoffe ausgezeichnet sind.

b) Humusgesteine, die aus Landpflanzen entstanden sind, also vornehmlich Abbauprodukte der Zellulose aufweisen.

c) Liptobiolithe, d. i. harz- und wachsartige Gesteine, die meist unzersetzt oder wenig zersetzt aus den Harzen und ähnlichen Abfallstoffen der Pflanzen entstanden sind.

Der Anteil tierischer Organismen bei der Bildung der festen Brennstoffe tritt gegenüber dem Anteil der Pflanzen zurück, diese sind vornehmlich die Ursprungsstoffe derselben und sind daher auch getötete Pflanzen, insbesondere Holz- und Abfallstoffe von anderweitig verarbeiteten Pflanzen natürliche Brennstoffe, ebenso wie auch rezente

¹⁾ Potonié: Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe überhaupt. 5. Aufl. Berlin: Borngräber 1910; ferner Kukuk: Unsere Kohlen. Teubner 1913 und Muck-Hinrichsen-Taczak: Die Chemie der Kohle. 3. Aufl. Leipzig: Engelmann 1916. S. 38 ff.

Torfbildungen als Brennstoffe gelten können, sobald sie so weit getrocknet sind, daß sie brennbare Eigenschaften aufweisen.

Die oben gegebene Einteilung der Kaustobiolithe steht in strengem Zusammenhang mit den Vorgängen, die nach dem Absterben der Pflanzen vor sich gehen und wobei man hauptsächlich vier Vorgänge unterscheidet: Verwesung, Vermoderung, Vertorfung und Fäulnis. Diese Prozesse sind übersichtlich in Zahlentafel 3 (nach Muck, 3. Aufl. S. 39) gekennzeichnet.

Besonders wesentlich ist der sogenannte Inkohlungsprozeß bei der Vermoderung und Vertorfung. Bei demselben werden wegen der Anwesenheit von geringen Sauerstoffmengen fortdauernd Gase abgespalten, und daß dieser Vorgang auch in den bereits als ein Fertiges angesprochenen Kohlen noch weiter vor sich geht, beweist das Vorhandensein der Grubengase und der in den Kohlen eingeschlossenen Gasbestandteile. Wir können daher in der Hauptsache Torflager bzw. ähnliche Bildungen als das Ausgangsmaterial für die Bildung der Kohlen betrachten.

Die Entstehung der Torfmoore kann man sich ungefähr wie folgt denken. In ruhigen Gewässern sieht man oft grüne, schleimige Oberflächenhäute, die aus algenartigen, zum Teil in Fäulnis übergegangenen Stoffen bestehen und die bei genügender Dicke zu Boden sinken, zahlreiche mikroskopische Lebewesen (Schweborganismen) mit sich reißend. So entsteht der Faulschlamm, der oft eine Dicke von mehreren Metern erreicht. Meist in Verbindung damit, aber auch stellenweise unabhängig davon, dringt in solchen stehenden Gewässern das Sumpfröhricht und andere Wasserpflanzen von den Uferändern aus vor. Die Reste der absterbenden Pflanzen sinken zu Boden, der sich dadurch immer mehr und mehr mit torflichen Bestandteilen anreichert. Währt dieser Vorgang lange genug, so „erblindet“ das ganze Gewässer, indem es sich nach und nach in ein schlammiges Land verwandelt. Auf diesem Torfboden ist eine eigentliche Vegetation nicht mehr möglich; es siedeln sich die kennzeichnenden Moorpflanzen an (Sphagneen, Torfmoos u. dgl.), welche nach und nach demselben Vertorfungsprozeß unterliegen. An dem Übergang dieser beiden Schichten kann man häufig auch Baumreste finden, insbesondere von Birke, Erle und Kiefer. Man unterscheidet demgemäß bei den Mooren meist folgende Schichten:

1. Niederungsmoor von Schilf- und Sumpfpflanzen herrührend, meist gut vermodert,
2. Übergangsschicht mit Baumrückständen,
3. Hochmoorschichten von Sphagneen, Torfmoos u. dgl. herrührend.

Man findet daher wohl stellenweise reine Niederungsmoore, aber keine reinen Hochmoore; letztere bauen sich stets auf den gedrückten Schichten der Niederungsmoore auf.

Zahlentafel 3. Arten der Kohlenbildung nach Potonié.

	Bezeichnung des Vorganges	Verhalten des O ₂	Verhalten des H ₂ O	Es handelt sich kurz:	Entstehende Gesteine			
Prozesse, denen besonders Land- und Sumpfpflanzen ausgesetzt sind:	Verwesung	bei voller Gegenwart von O ₂	und Vorhandensein von Feuchtigkeit	um eine vollständige Oxydation	Es bleiben keine brennbaren C-haltigen Produkte zurück, unter Umständen höchstens Liptobolithe aus den Harzresten u. dgl.			
	Vermoderung	bei Gegenwart von weniger O ₂		Inkohlung	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td data-bbox="470 1058 588 1146">Moder</td> <td data-bbox="470 1146 588 1534">Humus</td> </tr> <tr> <td data-bbox="588 1058 705 1146">Feste Verbindungen, die C-reiche Kohlenwasserstoffe ergeben</td> <td data-bbox="588 1146 705 1534">Torf</td> </tr> </table>	Moder	Humus	Feste Verbindungen, die C-reiche Kohlenwasserstoffe ergeben
	Moder	Humus						
Feste Verbindungen, die C-reiche Kohlenwasserstoffe ergeben	Torf							
Vertorfung	zunächst bei Gegenwart, sodann bei Abschluß von O ₂	zunächst bei Gegenwart von Feuchtigkeit, sodann in stagnierendem H ₂ O	wesentlich um Destillationen, Reaktionen	Bituminierung	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td data-bbox="470 1058 588 1146">Feste Verbindungen, die C-ärmere (H-reichere) Kohlenwasserstoffe liefern</td> <td data-bbox="470 1146 588 1534">Sapropel</td> </tr> </table>	Feste Verbindungen, die C-ärmere (H-reichere) Kohlenwasserstoffe liefern	Sapropel	
Feste Verbindungen, die C-ärmere (H-reichere) Kohlenwasserstoffe liefern	Sapropel							
Fäulnis	bei Abschluß von O ₂	in stagnierendem H ₂ O						
Prozeß, dem besonders die echten Wasserorganismen ausgesetzt sind:								

Dieser ganze Vorgang spielt sich stellenweise vor unseren Augen ab. Wir können denselben genau verfolgen, und dieses Studium gab die Grundlage für die Entstehungstheorie der Kohle. Nimmt man die Bildung der Kohlen im Sinne der Torfbildung an, so ist damit auch die Frage beantwortet, ob die Kohlenflöze autochthon, d. i. bodeneigen sind, oder im Gegensatz dazu allochthon, d. i. bodenfremd. Für die Mehrzahl der Lager ist die Bildung der Kohlen aus den Pflanzen an dem Orte ihrer Lagerung sicher, und die früher viel vertretene Schwemmttheorie (Deltatheorie von Fayol, 1887, von Fritschs Schwemmttheorie 1889, auch Potonié neigte anfänglich dieser Anschauung zu, 1908), kann nur für wenige Vorkommen in Frage kommen, obwohl sie auch für diese nicht immer erwiesen erscheint. Die vielfach vorkommenden Zwischenlager von Ton- und anderen Gesteinschichten beweisen keineswegs eine Unterwasserbildung, und selbst eine solche würde für die Allochthonie keinen Beweis geben, ebensowenig wie die oft unregelmäßige Lagerung, der höhere Aschengehalt mancher Kohlenflöze und der Mangel an aufrecht stehenden Stämmen. Man muß sich dabei vor Augen halten, daß in den Lagern unter dem Einfluß des Gebirgsdruckes, der damit und infolge der dabei vor sich gehenden Umsetzungen eintretenden Erwärmung und ähnlicher Begleiterscheinungen eine weitgehende Umwandlung der Kohle bedingt ist, daß aber das Urmaterial für die verschiedenen Kohlenarten gemäß den jeweiligen klimatischen und örtlichen Bedingungen sehr stark wechseln kann bzw. sicher gewechselt hat. Stets mußte es aber bei den Kohlenlagern, die nicht aus Mooren, sondern aus Urwäldern entstanden sind, ein ozeanisches, jahreszeitloses Klima sein. Dieses Teilgebiet der Steinkohlenforschung hat besonders Donath¹⁾ auf Grund umfassender Untersuchungen klargestellt und kommt dabei zu dem Schluß, daß Braun- und Steinkohle durchaus, zumindest in der überwiegenden Anzahl von Typen, vollständig voneinander verschieden sind, daher erstere aus anderem Ausgangsmaterial entstammt als letztere und auch nicht bei längerer Dauer des Inkohlungsprozesses oder bei Kontaktmetamorphose in Steinkohle übergehen kann. Die Schlüsse Donaths sind zwar vielleicht zu weitgehend, da insbesondere bei der Kontaktmetamorphose²⁾ in Berührung mit später eingedrungenen vulkanischen Gesteinen Umwandlungen der Kohle im Sinne der geologischen Altersreihe:

¹⁾ Donath und Lißner: Kohle und Erdöl. Stuttgart: Enke 1920 und ältere Schriften des erstgenannten Verfassers.

²⁾ Simmersbach: Kokschemie. 2. Aufl. Berlin: Julius Springer 1914 und Buchner: Lagerungsverhältnisse und die basaltische Kontaktmetamorphose der Braunkohle des Hohen Westerwaldes. Heidelberg: Winter 1920.

Torf	Rezente Bildung
Lignit	Alluvium, Dilluvium
Braunkohle	Tertiär
Steinkohle	} Karbon (einzelne Lager tertiär)
Anthrazit	
Graphit	Devon (Urgestein)

einwandfrei festgestellt worden sind. Man kann jedoch als sicher annehmen, daß das Ausgangsmaterial in den verschiedenen geologischen Zeitaltern ein wesentlich verschiedenes war. Über die bei diesen Umwandlungen sich abspielenden Vorgänge wird noch im nächsten Abschnitt mehr zu sagen sein.

Der in der Natur vorkommende flüssige Brennstoff wird Erdöl (auch Rohpetroleum, Rohöl usw.) genannt. Die Zusammensetzung schwankt auch hierbei in gewissen Grenzen, doch sind es stets flüssige Kohlenwasserstoffe. Auch hierfür hat man früher, wie bei der Kohle, eine Bildung aus anorganischen Stoffen angenommen, welche Ansicht erst durch die Versuche Englers bzw. die Engler-Höfersche Theorie¹⁾ endgültig abgetan wurde. Nach dieser ist das Erdöl in der Hauptsache aus den Fett- und Eiweißstoffen untergegangener tierischer und pflanzlicher Lebewesen — von letzteren besonders fett- und wachshaltiger — entstanden, nachdem die übrigen organischen Bestandteile derselben durch Fäulnis und Verwesung sich zersetzt hatten und für welche Bildungen je nach den verschiedenen Bedingungen des Druckes und der Temperatur lange Zeitperioden verschiedener Dauer notwendig waren. Die Zellulose der Pflanzen ebenso wie die Mineralkohlen können kein Erdöl bilden. Die organischen Reste mußten bald von der Luft abgeschlossen worden sein, um eine vollständige Verwesung zu verhindern. Die aus Kalziumkarbonat gebildeten Gerüste der Tierleichen wurden durch die beim Ölbildungsprozeß entstandene CO₂ zerstört, soweit sie noch vorhanden waren. Jedenfalls sind die teilweise zusammenfallenden Vorkommen von Kohle und Öl (besonders fälschlich von Pennsylvanien behauptet) ursächlich in keinem Zusammenhang. Als Beweis kann das seltene Auftreten von Erdöl — selbst in Spuren — in Steinkohlenflözen gelten. Die oft, allerdings nur in geringeren Mengen, gefundenen wachsartigen Stoffe der Kohlenflöze, wie Bergtalg, Hatchettin, Asphalt u. dgl. sind Ausschwitzungen der wachsartigen Anteile der Kohlen.

Die so gebildeten Öle haben dann bei den geologischen Umwandlungen bisweilen Lageänderungen durchgeführt, so daß wir als erdölführende Schichten vielfach solche finden, in denen die Bildung zweifellos nicht stattgefunden hat; insbesondere sind meist ölführend die durchlässigen Horizonte verschiedener Sande, Kalke, Kreide u. dgl., meist

¹⁾ Engler-Höfer: Das Erdöl. 5 Bände. Leipzig: Hirzel 1909.

unter undurchlässigen, also gewissermaßen abschließenden Schichten. Oft findet man die Erdöllager zwischen solchen, und daher rührt das Austreten unter hohem Druck aus den Bohrlöchern. Die Bildung der flüssigen Brennstoffe weist also eine gewisse Ähnlichkeit mit der Bildung von Faulschlamm auf und zählen wir daher zu diesen Faulschlammbildungen besonders die sogenannten bituminösen Gesteine, wie die verschiedenen Ölschiefer, Stinkkalke, Brandschiefer u. a. m.; andere bituminöse Gesteine sind wieder solche, welche von Ölen nachträglich imprägniert wurden.

Jedenfalls kann man im Zusammenhang mit der Engler-Höfer'schen Theorie annehmen, daß auch bei der Bildung der Kohlen teilweise tierische Organismen erheblich beteiligt sind.

Die gasförmigen natürlichen Brennstoffe stehen durchaus mit Lagern von festen und flüssigen Brennstoffen im Zusammenhang. Es sind die bei den verschiedenen erwähnten Umsetzungen abgespaltenen Gase. Bei den festen Brennstoffen ist das Auftreten solcher nur in geringem Maße festzustellen, weil die Schichten dieser eben gasdurchlässig und die Gase daher wahrscheinlich entwichen sind. Ein Beweis dieser Umbildungen ist aber das Auftreten des Sumpfgases in den Torfmooren, des Grubengases u. dgl., die stets vornehmlich aus Methan (CH_4) bestehen. Bei den flüssigen Brennstoffen ist das Auftreten von Gasen in größerer Menge häufiger, dieselben treten nicht nur stets mit den flüssigen Brennstoffen zusammen auf, sondern finden sich oft bereits in höheren Horizonten, auch räumlich verschoben und stehen ebenso wie die flüssigen Brennstoffe meist unter hohem Druck. Fast stets entströmen daher die Erdgase beim Anbohren der Schichten in großer Mächtigkeit, erschöpfen sich aber daher auch rasch.

2. Chemische Zusammensetzung und Bildungsvorgänge.

Gemäß ihrer Entstehung aus pflanzlichen Mutterstoffen werden die natürlichen Brennstoffe hauptsächlich Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) aufweisen; daneben findet man in den Pflanzen aber bereits Stickstoff (N_2) und unorganische Salze, die sowohl zur Bildung von Schwefel (S) als auch von Asche führen; weiter ist auch der Feuchtigkeitsgehalt der Pflanzen ein sehr großer, und wird daher bei der Bildung der Kohle unter Wasserabschluß zu erwarten sein, daß ein solcher zurückbleibt.

Von diesen Stoffen sind C und H_2 die wertvollen, heizkräftigen Bestandteile. Je reiner diese beiden Elemente vertreten sind, wie z. B. in den Kohlenwasserstoffen der flüssigen Brennstoffe, desto hochwertiger sind dieselben. In den festen Brennstoffen überwiegt C, die Kohlenwasser-

stoffe sind in dem Teil enthalten, der bereits bei gelinder Erwärmung abgespalten wird (Entgasung), und zwar entstehen dabei sowohl gasförmige als auch flüssige Kohlenwasserstoffe. Alle anderen Bestandteile sind als Ballaststoffe anzusprechen, wenn auch deren Einfluß ein wechselnder ist.

O₂ findet sich sowohl in den festen als auch in den flüssigen natürlichen Brennstoffen stets als Begleiter des C und H₂. Der prozentuale Anteil ist bei den älteren Typen der festen und bei den flüssigen Brennstoffen geringer, woraus allgemein folgt, daß die Bindung des O₂ eine verhältnismäßig lose ist. Tatsächlich wird derselbe bereits bei der anfänglichen Erwärmung frei, wobei er teils mit dem C, teils mit dem H₂ Verbindungen eingeht. Die Produkte sind CO, CO₂ und H₂O, also durchaus Gase bzw. Dämpfe. Der Einfluß des O wird daher vom Standpunkt der Vergasung um so mindernd sein, je mehr von den beiden letzten Produkten auftreten. Soweit sich CO bildet, ist dies sowohl für die Entgasung als auch die Vergasung keine Minderung, da CO ein brennbares Gas ist. Anders ist dies vom Standpunkt der Verbrennung; für diese ist CO nur ein Übergangsstadium, daher ist es einerlei, ob sich bei der Erwärmung CO, CO₂ oder H₂O bildet. Über den Einfluß des O₂ bei der Heizwertbestimmung wird noch dort (vgl. S. 35) einiges zu sagen sein.

N₂ ist in geringem Anteil in allen Pflanzen vorhanden. Besonders stickstoffreich sind die Sumpfpflanzen. Da die Brennstoffe sämtlich wesentlich höhere N₂-Gehalte aufweisen, als die lebenden Pflanzen, ist die Umwandlungstheorie, von der im nachfolgenden noch gesprochen wird, sehr wahrscheinlich. Gerade die Schwankungen im N₂-Gehalt zeigen aber, daß die Brennstoffe aus verschiedenen Ausgangsstoffen gebildet wurden und daß sie verschiedene Entwicklungen durchgemacht haben. N₂ ist zweifellos ebenso wie O₂ an die eigentliche Kernsubstanz C und H₂ gebunden. Ein Teil desselben wird bereits bei mäßiger Erhitzung als NH₃ abgespalten, während der größere Teil dabei eine festere Bindung mit dem C eingeht, und daher erst bei vollständiger Auflösung der Kohlensubstanz umgesetzt werden kann. Infolge der dann herrschenden hohen Temperaturen wird der N₂ elementar abgespalten, falls man nicht besondere Kunstgriffe anwendet. Er ist somit für die Heizwirkung wertlos. Die Bildung des NH₃, sowohl bei der Destillation, als auch bei der Vergasung bildet aber die Grundlage der sogenannten Nebenproduktengewinnung.

S ist in den Brennstoffen teils organisch gebunden, teils als pyritischer, teils als Aschenschwefel vorhanden. Die Bindung des organischen S ist nicht nur durch den höheren S-Gehalt der kohlenbildenden Pflanzen¹⁾ zu erklären, sondern es ist auch möglich, daß bei den redu-

¹⁾ Vgl. Simmersbach: Kokschemie. 2. Aufl., S. 262 nach Forschungen Dieulaifaits.

zierenden Einflüssen Sulfate des Grundwassers umgewandelt wurden, und zwar sowohl zu Schwefelverbindungen vorhandener Metalle als auch zu organischen Schwefelverbindungen der Kohlenstoffsubstanz. Jedenfalls erklärt man sich durch diese Einflüsse den stets in den Kohlenlagern vorhandenen pyritischen S, der bisweilen außerordentlich hohe Werte annimmt¹⁾. Neben dem organischen und pyritischen S ist der sulfatische Aschenschwefel meist von untergeordneter Bedeutung. Bei der Erwärmung der Brennstoffe geht ein Teil des S in flüchtiger Form weg; es ist dies besonders der organische Anteil, der vorwiegend als H_2S austritt. Unter dem Einfluß der abgespalteten Wasserdämpfe wird aber auch der Pyritschwefel umgesetzt, wobei sich sowohl H_2S als auch SO_2 bildet; letzteres tritt allerdings im Umfang wesentlich zurück. Ein erheblicher Teil des Pyritschwefels bleibt im Koks zurück, geht aber z. T. beim Ablöschen desselben noch weiter als H_2S weg. Anders ist das Verhalten des Pyritschwefels beim Vergasen und Verbrennen, weil dabei genügend O_2 vorhanden ist. Man findet demnach höhere Anteile von SO_2 neben H_2S ; der Pyritschwefel ist dabei besonders aus dem Grunde sehr unangenehm, weil der Pyrit sehr leicht schmilzt und so die Veranlassung zu angeschmolzenen und außerordentlich harten Schlackenklumpen bildet; oft findet man geradezu glasierte, wahrscheinlich von geschmolzenem Pyrit überzogene Schlackenstücke, deren S erst unter dem Einfluß des Wasserdampfes verschwunden ist. Dergestalt ist der S in den Brennstoffen ein sehr unliebsamer Gast und es werden daher meist Brennstoffe vorgezogen, die einen möglichst niedrigen S-Gehalt aufweisen.

Die hauptsächlichsten und meist auch in größeren Anteilen vorhandenen Ballaststoffe sind Asche und Feuchtigkeit. Sie sind schon durch ihre Anwesenheit große Wertminderer der Kohle und werden dies noch mehr durch folgende Umstände.

Asche bleibt als Rückstand, erheischt daher besondere Vorsicht, damit sich nicht Verschlackungen u. dgl. bilden, ferner, daß mit der Asche nicht zuviel von wertvollen Brennstoffen verlorengeht. Je höher der Gehalt an Asche, desto größer ist die Verdünnung der wertvollen Bestandteile, was die chemischen Umsetzungen verzögert, ja schließlich unmöglich machen kann. Der Feuchtigkeitsballast muß stets als Dampf entfernt werden, dies erfordert Wärme, die sonst für andere Zwecke verfügbar wäre. Wenn man diese Wertminderung auch in der Bewertung der Heizkraft der Brennstoffe bereits berücksichtigt, so hat dies doch speziell bei der Vergasung ganz wesentliche, wenn auch mittelbare Einflüsse, wie noch an anderer Stelle ausgeführt wird.

Nach diesen Ausführungen ist es klar, daß für die Bewertung eines Brennstoffes gerade die Ballaststoffe entscheidend sind, während an-

¹⁾ Vgl. Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle. Bd. 3, Nr. 8.
Trenkler, Gaserzeuger.

Zahlentafel 4. Zusammensetzung

1. Brennstoff		2.	3.	4.	5.		
		Gehalt des rohen Brennstoffes an:					
		H ₂ O	Asche	flücht. Best.	C _{fix}		
Holz	lufttrockenes Fichtenholz	15—25	0,1—0,8	45—55	17—25		
	„ Eichenholz						
Torf	jüngerer Fasertorf, Handstich, lufttrocken	18—33	2,0—10,0	33—40	28—35		
	„ älterer Maschinentorf, gut zersetzt						
Braun- kohlen	lignitische	33—45	3—15	22—30	20—28		
	mulmige (Schwandorf)	55—60	3—12	20—25	17—21		
	„ (rheinische)	52—56	2—6	18—24	19—23		
	„ (mitteldeutsche)	48—53	4—8	20—24	19—24		
	Naßpreßsteine	15—30	8—18	35—40	30—36		
	Briketts (Oberlausitz)	12—17	4—15	41—45	35—42		
	böhmische aus Tagebau	28—35	5—15	27—32	28—33		
	„ aus Tiefbau	22—26	3—12	32—37	32—36		
„ Pechkohle	10—14	5—8	34—40	40—48			
alpine Glanzkohle	7—15	7—18	32—38	38—45			
Stein- kohlen	Flammkohle v. d. Saar	1—4	ge- wa- schen	35—44	45—55		
	„ aus O.-S.	3—12				32—38	48—60
	Gaskohle v. d. Saar			24—30	60—75		
	„ (westfälische)						
	Kokskohle aus N.-S.	3—8					
„ (westfälische)							
Magerkohle (Elßkohle)							
Anthrazit von Piesberg	1—3	3—15	4—8	85—90			
Destillations- rückstände	Holzkohle	1—10	6—15	—	—		
	Torfkoks						
	Braunkohlen-Grude						
	Kaumazit aus böhm. Braunkohle						
	Gaskoks						
Zechenkoks							

dererseits für die Kennzeichnung nur die reine Kohlensubstanz, also C, H₂, O₂, N₂ maßgeblich sind. Um dieses recht übersichtlich zu zeigen, sind in Zahlentafel 4 möglichst verschiedene Brennstoffe zusammengestellt. Üblicherweise bezieht man die Analysenergebnisse meist auf Rohkohle, teilweise aber auch auf Reinkohle, um Vergleichszahlen für die Bewertung der Brennstoffe zu erhalten. Tatsächlich ist eine Beurteilung an Hand dieser aber sehr schwer durchzuführen, und aus diesem Grunde hat bereits Ferdinand Fischer¹⁾ Kennziffern derart be-

¹⁾ Vgl. Fischer: Kraftgas. 2. Aufl., S. 27.

verschiedener Brennstoffe.

6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Elementaranalyse der				Auf 1000 Teile C kommen:			
(Zustand)	C	H ₂	N ₂	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂ O
Reink.	50,46	6,71	0,65	42,28	133	836	} 300—500
„	50,0	5,9	0,1	44,0	118	880	
Reink.	49,9	6,5	1,2	42,4	130	850	} 350—600
„	63,9	6,5	1,7	27,9	102	437	
Reink.	64,2	5,9	—	29,9	92	466	} 800—1500
Rohkohle	31,52	2,62	0,25	13,22	83	419	
„	31,80	2,16	0,30	12,13	68	381	} 1700—2000
„	26,77	1,95	0,27	9,05	73	337	
„	44,35	3,40	0,31	19,43	77	438	} 1500—1900
„	54,4	4,3	0,4	23,6	79	434	
„	42,08	3,79	0,67	11,89	90	282	} 300—700
„	52,60	4,30	0,95	15,05	82	286	
Reink.	75,6	5,4	0,7	18,3	71	242	} 200—350
Rohkohle	61,55	4,78	0,90	17,11	78	278	
Reink.	84,9	5,3	0,6	9,2	62	108	} 20—100
„	82,6	5,0	1,0	11,4	61	138	
„	85,1	5,5	1,3	8,1	64	94	
„	85,9	5,5	1,6	7,0	64	81	
„	85,0	4,9	1,1	9,0	58	106	
„	88,7	5,0	1,2	5,1	56	58	
„	91,4	4,6	1,0	3,1	50	34	
Reink.	95,3	1,9	0,5	2,3	20	24	
Reink.	84,0	2,7	0,4	12,9	32	153	} 20—100
„	90,9	2,1	1,3	5,7	23	63	
„	94,6	2,5	0,5	2,4	26	25	
„	95,2	0,3	0,9	3,1	3	33	
„	86,94	0,62	0,95	0,85	7	10	
„	88,39	0,51	0,90	0,90	6	8	
Rohkohle							

rechnet, daß er die Atomverteilung von H₂ und O₂ in bezug auf C berechnet. Dieser Weg führt zweifellos zu dem gewünschten Erfolg. Um aber die vielen Umrechnungen zu vermeiden und Zahlen zu gewinnen, die nicht nur für die analytischen und technischen Rechnungen, sondern gleichzeitig als Kennzahlen benutzt werden können, empfiehlt es sich daher, alle Gehaltszahlen der Analyse gleich auf 1 kg C (C = 1000) zu beziehen, wie es beispielsweise in Zahlentafel 4 ausgeführt ist.

Diese Zahlen lassen den nach dem geologischen Alter der Brennstoffe abnehmenden H₂- und O₂-Gehalt klar erkennen. Besonders charakteristisch sind dieselben auch für die Ballaststoffe, da dieselben nicht

nur je nach dem größeren Gehalt der einzelnen, sondern auch mit der Zunahme der anderen steigen, so daß man nach diesem Verfahren wirkliche Wertziffern erhält.

Ein Blick auf diese Zahlentafel läßt die zunehmende Veränderung im Laufe des Alterns der Brennstoffe klar erkennen. Wenn auch, wie

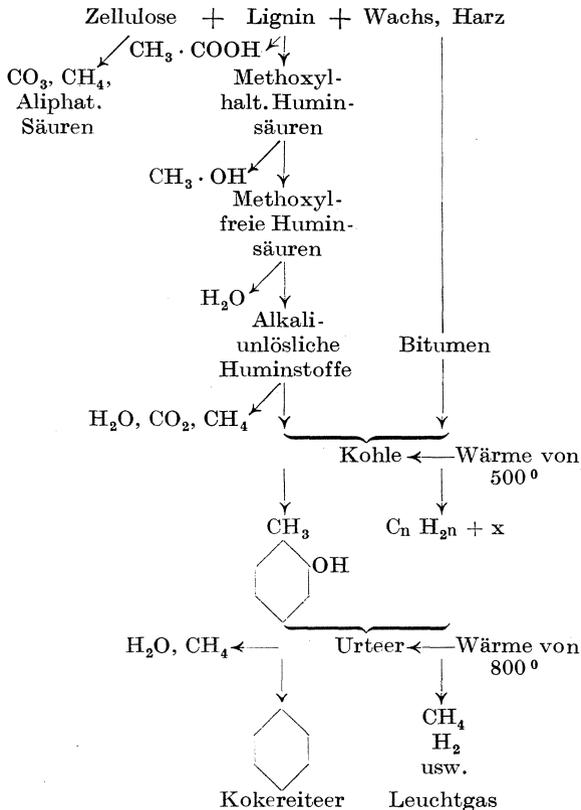


Abb. 1. Kohlenbildung nach Fischer und Schrader.

bereits ausgeführt, einzelne Forscher eine direkte Umwandlung von Braunkohle in Steinkohle bestreiten, so ist doch die Bildungslinie Torf-Braunkohle einerseits und diejenige Steinkohle-Anthrazit-Graphit andererseits kaum mehr in Frage gestellt. Die zuerst von Beroldingen¹⁾ ausgesprochene allgemeine Umwandlungstheorie hat nun durch die neuen Forschungen, insbesondere diejenigen des Kaiser-Wilhelm-

¹⁾ Franz Freiherr von Beroldingen: Betrachtungen, Zweifel und Fragen die Mineralogie betreffend. Hannover 1778.

Institut für Kohlenforschung in Mülheim a. d. Ruhr, eine wesentliche Stütze und ganz neue Beleuchtung erfahren. Diese von Prof. Franz Fischer und Dr. Hans Schrader entwickelte Theorie¹⁾ ist in dem nebenstehenden Stammbaum Abb. 1 zu ersehen und besteht kurzgefaßt darin, daß nicht die Zellulose der Ausgangspunkt der Kohlenbildung ist, sondern das Lignin der Pflanzen. Bei der Vertorfung der Pflanzenreste wird zunächst die Zellulose unter Mitwirkung von Bakterien verändert und verbraucht, d. h. sie verschwindet und geht weitgehend in Kohlensäure und Wasser über. Dieser Vorgang ist der gleiche wie bei der Vermoderung des Holzes und zeigt der Nachweis mittels der für Lignin charakteristischen Methyloxyd-Reaktion tatsächlich in beiden Fällen die Abnahme der Zellulosesubstanz. Die weitere Umbildung vom Torf zur Braun- und Steinkohle soll nun darin bestehen, daß durch Verseifung ein phenolartiger Körper entsteht, der nichts anderes ist als Huminsäure. Aus dieser entsteht unter Vergrößerung des Moleküls, vielleicht durch Wasseraustritt oder durch Oxydation die alkali-unlösliche Humussubstanz, das sogenannte Humin, das durch weitere Abspaltung von Wasser, Kohlensäure und Methan, d. h. durch den Vorgang der Inkohlung zu Braun- und Steinkohle wird, immer unter Wahrung der Benzolstruktur des Lignins. Für den Beweis dieser Theorie sind bereits zahlreiche Untersuchungen zusammengetragen worden und steht dieselbe in engstem Zusammenhang mit der Ansicht Potoniés, die wohl von den meisten Geologen und Naturwissenschaftlern geteilt wird. Es ist lediglich bezüglich der letzten Glieder der Reihe noch kein fester Beweis erbracht worden, obwohl die Theorie auch in diesem Umfang wahrscheinlich erscheint, wenn man die nie zu vergessenden Unterschiede der Ausgangsstoffe in Rechnung setzt. Eine ähnliche Theorie ist bereits früher von Marcusson²⁾ aufgestellt worden, der zwar die einzelnen Glieder der Reihe anders ableitet und insbesondere hierbei noch nicht vom Lignin ausgeht, aber speziell die Bildung der Huminsäure und die nachfolgende Polymerisation derselben zur Kohle darlegt. Auch dieser kennzeichnet die Kohle gleich wie Wheeler³⁾ und andere Forscher als ein Gemisch von zwei Hauptbestandteilen, die einerseits von dem Harz-, Fett- und Wachsstoffen der Ursubstanz und andererseits aus Zellulose (nach Fischer und Schrader vom Lignin) stammen. Das gerade die Abbauprodukte ersterer bei den verschiedenen Sorten wesentliche Unterschiede aufweisen, die z. B. die verschiedene Backfähigkeit

¹⁾ Vgl. Brennstoffchemie. 1921, S. 37 und 213, 1922, H. 5.

²⁾ Marcusson: Zur Kenntnis der Huminsäure. Z. f. angew. Ch. 1918, S. 237; Erdöl und Steinkohle. Z. f. angew. Ch. 1918, S. 437; Asphalt und Kohle. Z. f. angew. Ch. 1919, S. 113.

³⁾ Wheeler: Die Zusammensetzung der Kohle. J. Soc. Chem. Ind. 1917, S. 5 und 38 u. a. a. Stellen.

(Verkokung) bedingen, ist noch nicht geklärt, und wird noch durch weitere eingehende Forschungen erhellt werden müssen. Es ist anzunehmen, daß diese weiteren Umwandlungen unter dem erheblichen Gebirgsdruck bei erhöhten Temperaturen vor sich gegangen sind, die zu einer teilweisen Destillation und völligen Erweichung geführt haben. Die Mikrostruktur der älteren Kohlen und der charakteristische muschelartige Bruch, sowie der vielfach angetroffene Glasglanz derselben läßt dies

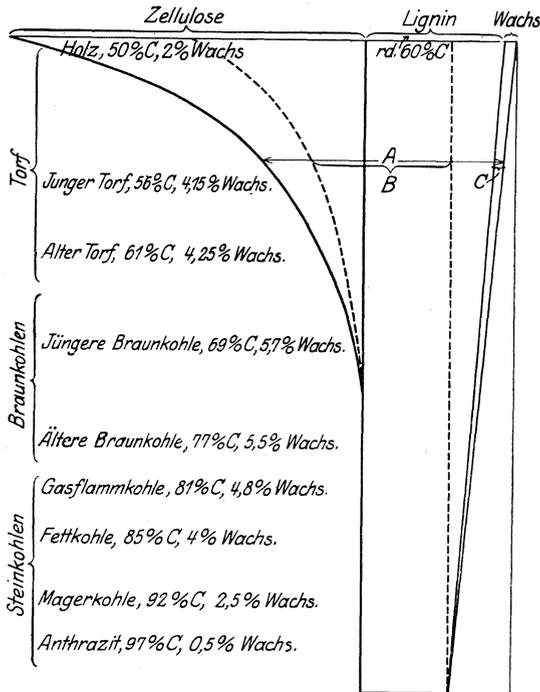


Abb. 2. Schema des Kohlenbildungsvorganges nach Fischer und Schrader.

Steinkohle ursprünglich flüssige Verbindungen an, die unter Wärmewirkung und Destillation aus dem Ursprungsmaterial entstanden sind. Diese hydro-aromatischen Verbindungen wurden dann im Laufe der Zeit mehr und mehr polymerisiert und dadurch fest¹⁾.

Alle diese Beobachtungen und Untersuchungen sprechen im Grunde genommen nicht gegen die Umwandlungstheorie und daher greift Fischer mit Recht beim Vergleich der älteren Brennstoffe auf das ähnliche Verhalten bei der schonenden Destillation bzw. bei der Druck-

durchaus wahrscheinlich erscheinen. Gerade auf Grund seiner zahlreichen Untersuchungen über die Ursache der Backfähigkeit kam Donath dabei zu dem nachstehenden, sowie zu den auf S. 13 wiedergegebenen Schlüssen. Dieser Forscher fand nämlich, daß alle Kohlenhydrate einen sehr lockeren Rückstand, Wachs und Paraffin gar keinen oder ganz geringen rußartigen Rückstand und lediglich Eiweißstoffe einen koksähnlichen Rückstand ergaben; ähnlich wie letztere verhalten sich aromatische und Gummiharze, sowie Asphalt und Pech. Er nimmt demnach in der

¹⁾ Vgl. Pictet und Ramseyer, zitiert bei Donath und Lißner S. 14.

oxydation zurück¹⁾. Das extrahierbare Wachs des Torfes sowie der Braunkohle enthält Montansäure, die bei vorsichtiger Destillation in einen Paraffin-Kohlenwasserstoff von 27 C-Atomen übergeht; auch der Steinkohlenurteer enthält einen festen Paraffin mit C₂₇. Sonach stellt Fischer das in Abb. 2²⁾ dargestellte Schema des fortschreitenden Umwandlungsvorganges auf.

Diese neue Ansicht von Fischer und Schrader über die Kohlenbildung blieb natürlich nicht unwidersprochen. Die chemischen Einsprüche³⁾ erscheinen im großen und ganzen nicht stichhaltig, um so mehr, als es sich um eine Bildungshypothese handelt, die noch nicht in allen Einzelteilen vollständig ist; es erscheint nicht unwahrscheinlich, daß mit Rücksicht auf die verschiedene Zusammensetzung der Ausgangsstoffe auch der Bildungsvorgang teilweise anders verlaufen kann. Erwähnenswert erscheint aber ein Einwand von geologischer Seite durch R. Potonié⁴⁾, welcher sich auf eingehende Beobachtungen an Dünnschliffen stützt und insbesondere nachweist, daß die anatomische Struktur der Pflanzen, aus denen die Kohle entstanden ist, vielfach noch ganz erhalten ist. Es erscheint daher unwahrscheinlich, daß derart große Mengen von Zellulose — welche doch den Hauptbestandteil der lebenden Pflanzen ausmacht — durch die Wirkung der Bakterien verschwunden sein sollen. Auch weist er in verschiedenen Ligniten gut erhaltene Zellulosereste nach und bezeichnet daher die Ligninabstammung der Kohle als eine geologisch-paläontologische Unmöglichkeit. Hierzu wäre zu bemerken: Dem eigentlichen Inkohlungsprozeß geht stets eine Vermoderung und Fäulnis voraus. Daß bei diesen ungeheure Zellulosemassen verschwinden, ist sicher. Andererseits besteht die Möglichkeit, daß eben abgestorbene Pflanzenreste in die unter Wasser stehenden Bildungsschichten kommen und letztere daher neben der aus dem Lignin stammenden Kohle auch zellulosehaltige auf einen anderen Weg verkohlte Pflanzenreste aufweisen. Die Einwände Potoniés erscheinen daher nicht stichhaltig, und wird man wohl auf geologischem und paläontologischem Wege nie zu einer verlässlichen Theorie über den Kohlenbildungsvorgang gelangen. Gerade die von seinem Vater gegebene Einteilung der fossilen Brennstoffe nimmt auf die chemischen Zusammenhänge weitgehend Rücksicht und läßt sich mit der neuen Anschauung von Fischer und Schrader gut in Einklang bringen. Auch die Forschungen von Donath und Marcusson schließen sich den neuen Anschauungen gut an, bzw. ergänzen dieselben in wertvoller Weise. Besonders wichtig

¹⁾ Vgl. Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle. Bd. 1—4.

²⁾ Fischer: Was lehrt die Chemie über die Entstehung und die chemische Struktur der Kohle. Die Naturwissenschaften 1921, H. 47.

³⁾ Br.-Ch. Bd. 2, S. 213 und 298.

⁴⁾ Braunkohle 1922, S. 365.

erscheint aber noch folgender Umstand. Weder die Natur von Zellulose noch von Lignin ist vollständig aufgeklärt, und es ist sehr leicht möglich, daß ebenso wie beim Aufbau der Pflanze auch nach deren Absterben Umwandlungsvorgänge vor sich gehen, bei denen die Zellulose wenigstens teilweise in Lignin verwandelt wird¹⁾. Dadurch ließe sich die Lignintheorie auf eine viel breitere Basis stellen und würde auch eine befriedigende Erklärung für die Bildung mächtiger Flöze gegeben sein, welche bei Annahme einer vollständigen Vernichtung der Zellulose gezwungen erscheinen mag.

3. Einteilung der natürlichen Brennstoffe und Verhalten derselben.

Wir haben im vorstehenden zwei Gesichtspunkte für die Einteilung der natürlichen Brennstoffe eingehend erörtert; dieselben erfordern aber einerseits besondere geologische Kenntnisse oder andererseits vorhergehende chemische Untersuchung. Meist wird man sich dabei mit dem Augenschein begnügen. Abgesehen vom Torf und Holz, welche natürliche Strukturkennzeichen aufweisen, wird man dabei geneigt sein, in Braun- und Schwarzkohle zu unterscheiden. Diese ältere Einteilung ist aber zu ergänzen, weil die Forschung unter Braunkohle nicht allein die Kohlen von bräunlicher Farbe und bräunlichem Strich versteht, sondern auch diejenigen, welche beim Abkochen mit Ätzalkalien eine intensiv gelbbraune (sonst farblose oder schwach grünliche) Flüssigkeit geben. Man verwendet diese Probe zur Unterscheidung, weil häufig vollständig schwarze glänzende Kohlen vorkommen, die sowohl ihrem geologischen Alter als auch ihrem sonstigen Verhalten nach keine Steinkohlen sind und welche auch bei der genannten Probe tatsächlich braune Lösungen geben.

Ein anderes Kennzeichen ist der Glanz, der vom unscheinbarsten Gesteinscharakter bis zu hellem Glasglanz wechselt. Der Glanz ist meist für die Einteilung sehr kennzeichnend. Am meisten wird aber hierfür die Struktur verwendet, wie die nachstehenden Einteilungen zeigen.

Zahlentafel 5. Torfarten nach Haus.

Art	Vorkommen	Durchmoderung	Farbe	relatives Gewicht
1. Moos- oder Fasertorf	jüngere Schichten	gering	hell	leicht
2. Sumpf- oder Modertorf	tiefere Schichten	gut	braun	schwer
3. Pech- oder Specktorf	noch tiefere Schichten	weit vorgeschritten	tiefdunkel	sehr schwer
4. Lebertorf	unterste Schichten	sehr weit vorgeschritten	pechglänzend	am schwersten

¹⁾ Marcusson: Z. f. angew. Ch. 1922, S. 165.

Torf: Eine übersichtliche Zusammenstellung nach Haus¹⁾ gibt Zahlentafel 5. Die Struktur der Pflanzenreste ist nur bei Moos- (Faser-) Torf und Sumpf- (Moder-) Torf noch zu erkennen. Die älteren Sorten sind vollständig verwandelte amorphe Massen. In vielen Schichten finden sich Baumreste, meist nur Wurzelstämme, die durch den Wasserabschluß vor der Vermoderung bewahrt blieben, während die Stämme bei diesem Vorgang vollständig zerstört wurden. In vielen Torfmooren sind diese Baumreste vom Wasser gewissermaßen imprägniert und vor jeder Zersetzung bewahrt worden, wie man z. B. an den Resten der römischen Holzknüppelstraßen in den Torfmooren am Dümmer See (Schlacht im Teutoburger Walde, 9 n. Chr.) feststellen kann. Die Erhaltung der Wurzelstöcke ist ähnlich auch in den Braunkohlenlagern der Niederlausitz beobachtet worden, obwohl diese noch wesentlich älter sind.

Braunkohlen: Diese Brennstoffe sind in der Mehrzahl aus Torfmooren entstanden, doch müssen teilweise sehr baumbewachsene Moore (Urwälder) der Bildungsort gewesen sein. Für die zahlreichen Arten gibt Klein die nachfolgende Einteilung nach Zahlentafel 6, wobei er Humuskohlen und Faulschlammkohlen scharf unterscheidet, während tatsächlich zahlreiche Übergänge bestehen. Als besondere Abarten sind die wachsreichen Sorten zu bezeichnen, welche meist erdige Braunkohlen sind, bei denen diese Bestandteile angereichert sind. Hierher gehören die Schwel- und Schmierkohlen; die reinste Form der ersteren, der hellbraune bzw. an der Luft heller werdende Pyropissit, kann als typischer Liptobiolith angesprochen werden.

Steinkohle: Hier unterscheidet man Glanzkohlen, Mattkohlen, Faserkohlen und Schiefer. Erstere besitzen tiefschwarze Farbe, lebhaften Glasglanz, meist große Sprödigkeit und ausgezeichnete Spaltbarkeit senkrecht zur Schichtfläche. Besondere Abarten sind die sogenannte Augenkohle und eine schieferige, blätterige, meist krummflächige Art, die zwischen der Fettkohle vorkommt. Der Anthrazit ist nur eine in der chemischen Zusammensetzung abweichende Glanzkohle. Die Mattkohle gehört zu den Faulschlammkohlen, und ist die bekannteste Art die Kannelkohle (von *candel* = Licht, weil sie leicht entzündbar ist und ähnlich wie Ölschiefer fortbrennt). Sie hat ebenflächigen bis flachmuschligen Bruch, ist wenig spröde, fast geschmeidig, politurfähig, von mattem, an Ebenholz erinnernden Glanz und grauschwarzer bis tiefschwarzer Farbe. Andere Abarten sind die böhmische Plattelkohle, die englische Bogheadkohle, sowie der im Liasschiefer vorkommende Gagat. Die Mattkohle findet sich oft innig verwachsen mit der Glanzkohle, weshalb man diese Art Streifenkohle nannte. Meist haben die Mattkohlen einen höheren Aschengehalt als die Glanzkohlen. Neben der Mattkohle unter-

¹⁾ Haus: Rationeller Kohleneinkauf. S. 15. Freiberg: Graz & Gerlach 1913.

Zahlentafel 6. Braunkohlenarten nach Klein¹⁾.

Art	Farbe	Gefüge (Struktur)	Bruch	Bemerkungen
I. Humuskohlen:				
1. Holzartige Braunkohle, Lignit	gelblichbraun bis schwarz	deutlich holzartig	holzartig	enthält oft erdige, selbst pech- bis glanzkohlartige Teile Varietäten: Schwelkohle, Schmierkohle, Formkohle, Umbra
2. Gemeine Braunkohle	hell- bis schwarzbraun	derb mit Spuren von Holzstruktur	dicht bis erdig	
3. Erdige Braunkohle	dunkel- bis schwärzlichbraun, braunrot, etwas abfärbend	erdig zusammengebacken, amorph, zerreiblich, ohne vegetab. Struktur	staubartig, matt	
4. Pech- oder Glanzkohle	schwarzbraun bis pechschwarz	fest und hart	muscheliger	
II. Faulschlammkohlen:				
1. Blattkohle	dunkelglänzend	übereinanderliegende dünne Platten	blättrig	—
2. Papierkohle	grau, gelblich, blaß- bis dunkelbraun	—	—	—
3. Moorkohle	schwärzlichbraun bis schwarz	derb, zerborsten	eben und schimmernd bis zu schwachem Fettglanz	weit verbreitet
4. Gagat (Jet)	samt- bis pechschwarz	dicht, fest, politurfähig	muscheliger, von wachsartigem Glanz	—

¹⁾ Handbuch für den Deutschen Braunkohlenbergbau. Bd. 1 des Werkes „Die Deutsche Braunkohlenindustrie“.
Halle: Knappe.

scheidet Muck im westfälischen Revier noch eine Pseudo-Kannelkohle, welche wesentlich spröder ist, sie nähert sich in der chemischen Zusammenstellung den Glanzkohlen und gibt auch meist einen brauchbaren Koks, während die Faulschlammkohlen einen geblähten, aber wenig brauchbaren Koks bilden. Die dritte Art ist die Faserkohle, welche auch als mineralische Holzkohle bzw. faseriger Anthrazit angesprochen wird. Man findet solche bisweilen auch in lignitischen Braunkohlenlagern. Sie zeigt oft bestimmte Pflanzenreste (Stengel), kommt aber auch körnig-pulverig vor. Meist tritt sie in dünnen, höchstens in 1 cm starken Lagen zwischen der Glanzkohle auf, ist seidenglänzend, sehr spröde, abfärbend und ihrem chemischen Charakter nach eine magere Sandkohle. Eine Abart der Faserkohle ist die Rußkohle.

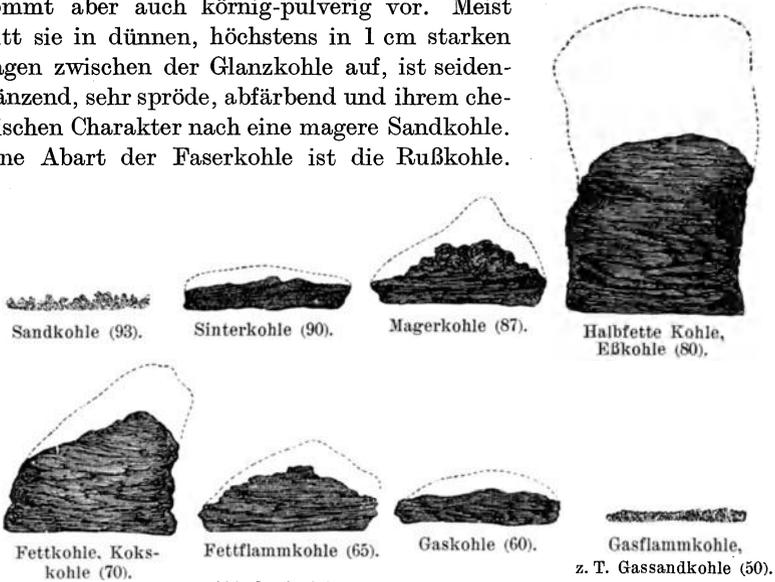


Abb. 3. Steinkohlentypen nach Muck.

Die aschenreichen Arten aller dieser Kohlen nennt man zusammenfassend Schiefer. Die den Faulschlammkohlen nahestehenden bezeichnet man meist als Brandschiefer, die anderen als Kohlenschiefer (Schieferkohle).

Die wichtigste Art ist die Glanzkohle. Dieselbe zeigt sehr verschiedene chemische Zusammensetzungen und im Zusammenhang damit ein abweichendes Verhalten bei der Verkokung. Obwohl die Backfähigkeit der Steinkohlen für die Vergasung keine unmittelbar wichtige Rolle spielt, so ist dieses Verhalten doch für die Auswahl der Kohlen wichtig, weil backende Kohlen für die Vergasung nicht erwünscht sind. Muck unterscheidet nach der Tiegelprobe acht verschiedene Typen von Steinkohlen, die in Abb. 3 dargestellt sind. Die hinter den Namen in Klammern gesetzten kennzeichnenden Zahlen geben die entsprechenden ungefähren Koksausbeuten in Gewichtsprozenten an. Für

die Einteilung in chemischer Hinsicht benutzt man meist das kürzere Schema von Simmersbach nach Zahlentafel 7.

Zahlentafel 7¹⁾. Einteilung der Steinkohlen nach Simmersbach.

Kohlentype	Elementare Zusammensetzung			$\frac{O_2 + N_2}{H_2}$	Koks- anteil o/o	Koksaussehen
	C o/o	H ₂ o/o	O ₂ + N ₂ o/o			
I. Trockene Steinkohle mit langer Flamme (Flammkohle)	75—80	5,5—4,5	19,5—15,0	4—3	55—60	pulverförmig, höchstens zusammengefrittet
II. Fette Steinkohle mit langer Flamme (Gaskohle)	80—85	5,8—5,0	14,2—10,0	3—2	60—68	geschmolzen, stark zerklüftet
III. Eigentliche fette Kohle (Schmiedekohle)	84—89	5,0—5,5	11,0—5,5	2—1	60—74	geschmolzen bis mittelmäßig kompakt
IV. Fette Steinkohle mit kurzer Flamme (Kokskohle)	88—91	5,5—4,5	6,5—5,5	1	74—82	geschmolzen, sehr kompakt, wenig zerklüftet
V. Magere oder anthrazitische Steinkohle	90—93	4,5—4,0	5,5—3,0	1	82—90	gefrittet oder pulverförmig

Maßgeblich für das Verhalten beim Verkoken ist nur das Bitumen und besonders der Gehalt an Harzen im Brennstoffe. Diese destillieren nicht unzersetzt, sie schmelzen und spalten leichte Bestandteile ab, wobei sie immer höherschmelzend werden. Schäumt der Schmelzfluß dabei, so erhält man einen geblähten Koks, bleibt der Stoff in glattem Schmelzfluß, so muß man einen dichten Koks erhalten. Zersetzt sich schließlich das Bitumen, bevor es schmilzt, so erhält man einen Koks überhaupt nicht. Dies ist der Fall bei einem Bitumen, das durch Druck und Temperatur im Laufe der Zeit umgewandelt ist. In die letztere Gruppe fallen daher die Magerkohlen und Anthrazite, während die Fettkohle das Bitumen in wenig zersetzter Form enthält. Andererseits müßte es möglich sein, aus den noch jüngeren Flammkohenschichten auch einen guten Koks zu erzeugen, wenn man den von der Natur gemachten Umwandlungsvorgang des Bitumens irgendwie nachahmen könnte. Denn das in der jungen Kohle enthaltene Bitumen scheint in der Hauptsache unzersetzt zu destillieren (verhält sich also ähnlich wie Anthrazen,

¹⁾ Vgl. O. Simmersbach: Kokschemie. 2. Aufl. Berlin: Julius Springer 1914.

welches schmilzt und bei 350° unzersetzt destilliert), worauf ja auch die Urteergewinnung aus Flammkohle und jüngeren Steinkohlen bei der Vergasung beruht.

Während von den Steinkohlen die meisten Sorten einen harten Koks ergeben, sind die Destillationsrückstände der jüngeren Brennstoffe sehr verschieden. Die meisten Braunkohlen ergeben einen feinkörnigen und zerreiblichen Koks, selbst wenn man größere Stücke zur Anwendung bringt. Dagegen gibt z. B. guter Maschinentorf, d. h. ein stark zersetzter, aber verdichteter, älterer Torf, einen brauchbaren Koks, der sich sogar für den Betrieb kleinerer Hochöfen eignet. Holz behält bei der Verkokung seine Struktur, wenngleich dieses Endprodukt wenig widerstandsfähig ist; ähnlich verhalten sich viele Lignite, und ist der dabei erhaltene Koks oft sogar wesentlich dichter.

Auf das Verhalten im Feuer haben naturgemäß auch die Aschenverunreinigungen einen weitgehenden Einfluß. Die Asche stammt nicht nur aus den Mineralsubstanzen der Pflanzen, die man ja auch an den lebenden Pflanzen feststellen kann, sondern hauptsächlich aus den mineralischen Einlagerungen dieser (Detritus) und den späteren Infiltrationen. Letztere sind oft unregelmäßig und finden sich oft schichtenweise, teils auch in den senkrecht zu den Schichten stehenden Ablösungen (vornehmlich Spate). Bei anderen Sorten, wie insbesondere den Faulschlammbildungen, ist der auf Infiltration aus dem Liegenden zurückzuführende Mineralgehalt wesentlich gleichmäßiger verteilt. Der Aschengehalt aus dem Detritus ist meist zu gering, um der Kohle im Feuer Widerstandskraft zu geben. Die unregelmäßigen Infiltrationen sind aber wegen ihrer Anhäufung noch ungünstiger, weil sie oft in einer solchen Dichte auftreten, daß zwar das Gefüge im Feuer erhalten bleibt, daselbe aber auch die Kohlensubstanz vor der Umsetzung schützt.

Die Zusammensetzung der Aschensubstanz wechselt sehr stark. Die Hauptanteile sind SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3 ; mit geringeren Gehaltszahlen treten auf CaO und MgO ; Alkalien fehlen meist oder treten nur in Spuren auf. Zu Verschlackungen geben am leichtesten die Aschen Veranlassung, die einen hohen Gehalt an Eisenoxyd neben Kalk aufweisen, während der SiO_2 -Gehalt geringer ist. Auch ein höherer Alkali-gehalt ist oft Ursache dazu, und sind z. B. in Mitteldeutschland Rohbraunkohlenlager bekannt, die einen Gehalt bis zu 20% Na_2SO_4 und NaCl und auch darüber aufweisen¹⁾. Daneben spielt die wichtigste Rolle der Sulfidschwefel, dessen bereits auf S. 17 gedacht ist. Die Beurteilung der Aschen auf Schmelzbarkeit erfolgt nach den gleichen Grundsätzen, wie sie für die Schlackenbildung bei Schmelzprozessen gültig sind; da aber die Aschenzusammensetzung in weitesten Grenzen schwankt,

¹⁾ Vgl. Limberg: F. T. Jg. 9, H. 22.

lassen sich hierfür keine Regeln angeben. Schon bei Durchführung der Veraschungsprobe wird man meist das Verhalten derselben oder wenigstens die größere oder geringere Neigung zum Schmelzen feststellen können. Da aber im Gaserzeugerbetrieb nur Schmelztemperaturen von unter 1300° C zu Schwierigkeiten Anlaß geben, wird man meist eine ungünstige Aschenzusammensetzung bei dieser Probe unschwer erkennen.

Die früher erwähnten unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften der verschiedenen Brennstoffarten werden sich insbesondere bei der Gewinnung derselben bemerkbar machen, indem die spröden und spaltbaren Arten mehr kleine Stücke und Staub ergeben. Das rohe Gemisch, so wie es gefördert wird, heißt Förderkohle und hat etwa 25% Stücke, bei weichen, aber widerstandsfähigen Brennstoffen auch oft mehr. Um den Anforderungen der Technik entsprechen zu können, werden die Kohlen fast stets einer Aufbereitung unterworfen, die entweder auf trockenem Wege — Siebung — oder auf nassem Wege — Waschprozeß — durchgeführt wird. Man zielt dabei auf Sorten gleichmäßiger Körnung hin und will besonders beim nassen Prozeß auch eine Trennung der aschereicheren Stücke von den reinen auf Grund des spezifischen Gewichtes erreichen. Die Benennung der Sorten ist nun nicht nur nach den jeweiligen Einrichtungen, sondern auch örtlich nach den Revieren verschieden. Um einen Überblick zu geben, seien die gangbarsten Bezeichnungen in nachstehender Zahlentafel 8 vereinigt.

Zahlentafel 8. Sortenverzeichnis der Brennstoffaufbereitung.

Fördergruskohlen	etwa 10%	} Stücke über 80 mm
Förderkohlen	„ 25%	
Melierte Kohlen	„ 40%	
Bestmelierte Kohlen	„ 50%	
Stückkohlen I	abgesiebt über 80 mm	(100 mm)
„ II (Würfelkohle)	50—80	„ (40—60 „)
Nußkohlen I	35—50	„ (25—40 „)
„ II (Erbskohle)	15—35	„
„ III (Grießkohle I)	10—15	„
„ IV („ II)	6—10	„
Feinkohle (Lösche)	0—6	„
Staubkohlen	0—10	„ bis 0—25 mm
Nußgrus	0—30	„ (gewaschen)

Besonders wichtig ist das Verhalten der Brennstoffe beim Lagern, denn es ist klar, daß die Einflüsse dabei wesentlich andere sind als in den Lagerstätten; es treten dabei neben der Luft noch die Einflüsse der Feuchtigkeit hinzu, weil viele Kohlensorten auf nassem Wege aufbereitet werden und auch meist den Einwirkungen des Regens ausgesetzt sind. Man nennt diese Einflüsse allgemein Verwitterung, und es muß vorerst festgestellt werden, daß wesentliche Substanzverluste dabei nicht eintreten, wohl aber eine Verminderung der Heizwerte, des Gas-

gehalten und der Backfähigkeit, sowie meist ein Zerfall der Teilchen. Durch die grundlegenden Untersuchungen Richters¹⁾ ist nachgewiesen, daß die vollständig getrocknete Kohle bei einer Erhitzung auf 180 bis 200° eine Gewichtszunahme erleidet, welche mit einer Aufnahme von O₂ verbunden ist. Beispielsweise verändert sich die Trockensubstanz beim 20stündigen Erhitzen wie folgt:

Vorher: 81,52 % C 4,34 % H₂ 10,44 % O₂ 3,70 % S + N₂ 1,288 spez. Gew.
 Nachher: 72,66 % C 2,39 % H₂ 21,93 % O₂ 3,02 % S + N₂ 1,469 spez. Gew.

Die Kohle hatte um 4,62% an Gewicht zugenommen, bei weiterem 5stündigen Erhitzen gab sie wieder 0,67% an Gewicht ab. Hand in Hand mit der Sauerstoffaufnahme geht eine Verminderung des Wasserstoffgehaltes vor sich und der Erfolg ist, daß die bestbackendste Kohle nach dem Erhitzen unschmelzbar, also Sandkohle geworden ist. Die Versuche haben ferner gezeigt, daß CO₂ und H₂O abgespalten wurden, keineswegs aber Kohlenwasserstoffe. Weitere Versuche zeigten, daß auch bei gewöhnlicher Temperatur sowohl aus trockener wie aus feuchter Luft Sauerstoff aufgenommen wird. Der Vorgang geht bei höherer Temperatur rascher vor sich und bringt seinerseits wegen der Oxydationswirkung eine Temperaturerhöhung mit sich, dagegen scheint Feuchtigkeit keinen wesentlichen und bestimmten Einfluß auszuüben. Anders ist das Verhalten schwefelkiesreicherer Kohlen, weil die Oxydation der Pyrits unter dem Einfluß von Feuchtigkeit schneller und ausgiebiger vor sich geht; in diesem Falle ist auch die Oxydation der Kohlen-substanz eine größere, weil die Brennstoffe warm geworden sind. Neben der wirklichen Sauerstoffaufnahme verläuft aber noch eine vorausgehende Adsorption von Sauerstoff bzw. des gebildeten CO₂; diese ist naturgemäß um so größer, je oberflächenreicher der Brennstoff ist, und da die Kohle beim Waschen zerfällt, ist es zu verstehen, daß die beschriebenen Vorgänge schließlich zu einer erheblichen Temperatursteigerung und Selbstentzündung gelagerter Kohlen führen können. Tatsächlich hat man stets beobachtet, daß die Selbstentzündung fast stets von solchen Stellen ausging, die staubreiche Nester im Lager bildeten, wo also nach der anfänglichen Sauerstoffaufnahme eine Belüftung und Kühlung nicht erfolgen konnte. Die gründliche Belüftung ist auch die einzige Vorbeugungsmaßnahme, welche man im Kohlenlager treffen kann. Die Lagerung sehr feinkörniger und staubreicher Kohlen, ebenso wie diejenige schwefelreicher Kohlen, muß man, wenn irgend möglich, vermeiden. Letzteres gilt besonders von Braunkohlen, bei denen an sich der Einfluß der Feuchtigkeit ein größerer zu sein scheint, besonders derjenige von Regenwasser, was man auf den Gehalt an Ozon zurückführen will. Jedenfalls hat man übereinstimmend festgestellt, daß

¹⁾ Dinglers Pol. J. Bd. 190, 193 und 195 (S. 315).

Kohlen im Sommer stärker verwittern und zu Selbstentzündungen neigen als im Winter; dabei spricht aber auch die Lufttemperatur und in offenen Lagern der Einfluß der Sonnenbestrahlung mit. Bei Braunkohlen nimmt die Verwitterung meist von der Trocknung ihren Ausgang, die einen Zerfall herbeiführt bzw. Risse schafft, durch die neue Adsorptionsflächen entstehen; auch gilt im allgemeinen, daß Brennstoffe mit hohem Sauerstoffgehalt leichter entzündlich sind. Bei solchen wurde bei der Oxydation in feuchter Luft auch die Bildung von Huminsäuren beobachtet, welche die Abspaltung von Kohlenwasserstoffen voraussetzt. Es ist ja auch selbstverständlich, daß die schließliche Entzündung nur bei Anwesenheit brennbarer Gase (wahrscheinlich Methan) vor sich gehen kann. Preßkohlen verändern sich beim Lagern weniger, ebenso verhalten sich Stückkohlen.

Nach zahlreichen Erfahrungen ist das beste Mittel zur Verhütung der Verwitterung und Selbstentzündung die Lagerung der Kohlen unter Wasser. Die Brennstoffe nehmen dabei zwar infolge ihrer Hygroskopizität geringe Mengen Wasser auf, was auch eine Minderung darstellt, eine Oxydation findet jedoch überhaupt nicht oder höchstens in verschwindendem Maße statt. Da das aufgenommene Wasser beim Trockenlegen rasch verschwindet und vor allen Dingen ein Zerfall der Teilchen nicht eintritt, eignet sich dieses Verfahren besonders für stark verwitternde Brennstoffe, gewisse Sorten brüchiger Steinkohle und insbesondere Braunkohle. Hinsichtlich der Versuche an Steinkohlen sei auf den ausführlichen Bericht von Heidepriem¹⁾, denjenigen von Seidl²⁾ und die Versuche von Dobbstein³⁾ verwiesen. So zeigte sich, daß nach 14monatiger Lagerung unter Wasser der Heizwert gar nicht verändert war und auch die sonstigen Eigenschaften der Brennstoffe erhalten blieben. Die chemische Zusammensetzung zeigte zwar gewisse Schwankungen, doch sind dieselben weder regelmäßig noch nennenswert. Besonders interessant sind Versuche mit böhmischer Braunkohle, weil diese außerordentlich leicht und schnell verwittert und auch ein größeres Wasseraufnahmevermögen vermutet werden dürfte. Diesbezügliche Untersuchungen auf dem Eisenwerk Königshof zeigten, daß die Wasseraufnahme nur eine oberflächliche, kaum $\frac{1}{2}$ mm starke ist, wie schon der Bruch zeigt. Einige Versuche seien nachstehend aufgeführt:

Vor dem Einlagern:	27,60 % H ₂ O	10,80 % Asche	4248 Kal.	} Mittel-
Nach 5 monat. Lagern:	27,04 % „	11,50 % „	4369 „	

Die Kohle war während der Fröste vollständig gefroren.

Vor dem Einlagern:	26,74 % H ₂ O	12,00 % Asche	4346 Kal.	} Nuß I.
Nach 3 monat. Lagern:	34,78 % „	11,50 % „	} 3806 „	
	35,37 % „	11,70 % „		

¹⁾ Z. f. D. u. M. 1912, S. 49.

²⁾ Glückauf 1909, S. 37.

³⁾ Vgl. den Bericht von Heidepriem.

Die Kohle war während des Sommers stets der Sonne ausgesetzt, weil in offenen Bassins gelagert. Die letzteren Proben zeigen nach dem Feuchtigkeitsgehalt eine fast 8%ige Gewichtszunahme, während der Aschegehalt auf weniger schließen läßt, immerhin ist aber diese Erscheinung weit weniger ins Gewicht fallend als die beim Lagern an der Luft festgestellte Verwitterung, die eine mehr als 10%ige Heizwertminderung und einen etwa 50%igen Staubanfall ergeben hatte. Demnach wäre die Lagerung unter Wasser besonders für die sogenannten „eisernen Reservebestände“ zu empfehlen. Sonst muß man solche alle 3—4 Monate nachsehen, um die Kohle überhaupt noch gebrauchen zu können, d. h. man nimmt dann schon große Verluste in Kauf; bei einer Lagerung unter Wasser könnte man auf ein Wechseln vollständig verzichten, und man würde Selbstentzündungen vollständig sicher vermeiden.

4. Der Heizwert der Brennstoffe.

Von dem Gehalt an C und H₂ einerseits, von der Menge der Ballaststoffe andererseits ist der Heiz- oder Brennwert der natürlichen Brennstoffe abhängig, d. h. die Wärmemengen, die bei ihrer vollständigen Verbrennung frei werden. Man bestimmt dieselben entweder rechnermäßig aus der Analyse oder durch einen Verbrennungsversuch in der sogenannten Bombe. Dieses von Berthelot zuerst für die Praxis vorgeschlagene, von Mahler, Kröker, Hempel, Fischer, Langbein u. a. entwickelte Verfahren benutzt die Verbrennung einer bestimmten Brennstoffmenge im verdichteten Sauerstoff von etwa 25 Atm. in einem vernickelten Stahlgefäß mit dicht verschraubtem Deckel, welches in einem ca. 2 l fassenden, mit Wasser gefüllten Kalorimetergefäß eingebracht ist; letzteres sitzt in einem Isoliergefäß, meist einem doppelwandigen, ebenfalls mit Wasser von Zimmertemperatur gefüllten Kessel. Im Kalorimetergefäß ist ein Rührwerk, um die Wärmeerhöhung des Wassers gleichmäßig zu gestalten, und das in 0,01° geteilte Thermometer. Der Brennstoff wird in ein kleines Brikett gepreßt, durch das ein etwa 6 cm langer Eisendraht hindurchgeht; dieser Draht wird mit den Platinpole der Zündvorrichtung verbunden, das Brikett in einem Platintiegel oder Quarzglasiegel, der von der Decke des Gefäßes aus getragen wird, eingesetzt. Ist der Brennstoff eingeführt, der Sauerstoff eingepreßt und die Temperatur im Kalorimetergefäß nach Inbetriebsetzung des Rührwerks konstant, so führt man durch Kontakt die Zündung herbei. Die Temperatur des Kalorimeterwassers steigt und muß dauernd abgelesen werden, um das Maximum sicher festzustellen. Diese Temperatursteigerung auf den Wasserinhalt des Kalorimetergefäßes und das Wasseräquivalent der Bombe bezogen, stellt die frei gewordene Wärme dar, die aber noch verschiedenen Korrekturen unterworfen werden muß,

und zwar für die Verbrennungswärme des verbrauchten Eisendrahtes, für Bildung von Salpetersäure und Schwefelsäure aus dem N_2 und S des Brennstoffes und für die Wärmeabgabe an die Umgebung. Bezüglich dieser Korrekturen sei auf die den Kalorimetern stets beiliegenden Gebrauchsanweisungen und einschlägigen Handbücher verwiesen, da die Aufführung dieser zu weit führen würde¹⁾. Man erhält so die gesamte Verbrennungswärme, welche den sogenannten oberen Heizwert darstellt; durch die Kühlung der Bombe wird nämlich die verdampfte Brennstofffeuchtigkeit wieder kondensiert bzw. auch der bei der Verbrennung entstehende Wasserdampf als Wasser niedergeschlagen, was ja dem natürlichen Verbrennungsvorgang nicht entspricht. Man muß daher diese Verbrennungswärme von 1 g. Brennstoff um die Verdampfungswärme des Feuchtigkeitsgehaltes (F) und des gebildeten Wassers ($9 \cdot H_2$), somit um $600(F + 9 \cdot H_2)$, vermindern. Derart findet man den sogenannten unteren Heizwert, meist als Heizwert schlechtweg bezeichnet, der als Vergleichsmaßstab der Brennstoffe benutzt wird. Die öfters gemachten Vorschläge (z. B. Langbein a. a. O.), den oberen Heizwert, also die Verbrennungswärme, als Vergleichsmaßstab zu verwenden, bringen ja eine wesentliche Vereinfachung mit sich, weil für die Berechnung des unteren Heizwertes stets eine Wasserstoffbestimmung notwendig ist, welche man dann ersparen würde; die daran geknüpften theoretischen Betrachtungen sind aber durchaus hinfällig, da ja H_2 bei der vollständigen Verbrennung tatsächlich stets H_2O als Verbrennungsprodukt geben muß. Anders ist es für die Beurteilung der Brennstoffe hinsichtlich ihres Verhaltens bei anderer Verwendung, z. B. der Vergasung, weil dabei das Verhalten des Wasserstoffes ein wechselndes und einflußhabendes ist. Es erhellt dies am besten, wenn wir die rechnungsmäßige Bestimmung des Heizwertes betrachten. Hierfür dient die sogenannte Verbandsformel, welche lautet:

$$H_u = 81C + 290\left(H - \frac{O}{8}\right) + 25S - 6F.$$

Diese ursprünglich von Dulong und Petit aufgestellte Formel lautete anfänglich

$$H = 80,8C + 346,0 \cdot \left(H - \frac{O}{8}\right)$$

und ist immer wieder der Gegenstand ausgebreiteter Erörterungen und Studien gewesen.

Verschiedene Forscher haben nun Änderungen der Formel vorgeschlagen, und zwar insbesondere angeregt, den Gasgehalt (flüchtige

¹⁾ Vgl. Muck: Chemie der Kohlen a. a. O. Langbein: Auswahl der Kohlen. Leipzig: Barth 1905. Fuchs: Generator-Kraftgas- und Dampfkesselbetrieb. Berlin: Julius Springer.

Bestandteile) der Kohle, bzw. den Sauerstoffbedarf bei der Verbrennung nach der Berthierschen Probe, zu berücksichtigen¹⁾, da aber neben der Gasmenge auch die Gaszusammensetzung maßgeblich ist, führen auch solche Formeln nicht zum Ziel, und das war der Grund, weshalb man die einfache Verbandsformel beibehielt.

Wenn wir dieselbe kritisch betrachten wollen, so wäre folgendes zu sagen.

Die Formel ist für den unteren Heizwert aufgebaut, indem alle Heizwerte der Elemente als untere eingereiht sind. Es ist hierbei angenommen, daß von dem Wasserstoff so viel mit dem Sauerstoff des Brennstoffes als Wasserdampf gebunden ist, als hierfür notwendig ist, denn sonst dürfte ein Abzug für den im Brennstoff enthaltenen Sauerstoff nicht gemacht werden, da es bei jeder Verbrennung einerlei ist, woher der gebrauchte O₂ stammt. Eine Bindung als H₂O ist aber unwahrscheinlich; eher könnten (OH)-Gruppen in Frage kommen. Weiter spaltet sich aber ein erheblicher Teil des O₂ als CO bzw. CO₂ bei der Destillation ab. Hierfür enthält die Formel keine Korrekturen, und tatsächlich ist der auf diese Art gebundene O₂ weniger heizwertmindernd als der als H₂O gebunden angenommene. Man wird daher besonders bei gasreichen bzw. O₂-reichen Brennstoffen erwarten müssen, daß die Formel zu niedrige Werte gibt; dies trifft auch erfahrungsgemäß zu. Bei dem komplizierten Aufbau der Brennstoffe wäre es aber müßig, zu versuchen, auf Grund solcher Überlegungen eine neue Formel aufzustellen, die von vornherein zur Unbrauchbarkeit verurteilt sein muß. Weiter ist dabei zu beachten, daß wir bei der Analyse O₂ nicht bestimmen, sondern als Rest rechnen, es summieren sich hierin also alle Fehler.

Der Ausdruck $\left(H - \frac{O}{8}\right) = H_f$ wird auch als freier (disponibler) Wasserstoff bezeichnet. Für die Heizwertformel gibt dieser Wert eine einfache Rechnung, aber darüber hinaus ist derselbe leider oft mißverstanden und mißbraucht worden. Es ist nach dem Gesagten klar, daß man auf den Begriff des disponiblen Wasserstoffes allein eine Charakteristik der Brennstoffe nicht aufbauen kann, wie dies Aufhäuser tut²⁾. Für ähnlich aufgebaute Brennstoffe ist dies möglich, aber nicht für derart unterschiedliche wie Holz und Koks, die sich dennoch in der Reihe nebeneinander befinden, obwohl sie erfahrungsgemäß weit auseinander stehen. Man wird sich über diese Einflüsse ein anschaulicheres Bild an Hand der im nächsten Abschnitt gegebenen Analysen von Destillationsgasen machen können.

¹⁾ Blacher: Feuerungstechnisches. Riga: Kymmell 1909. Jüptner: Versuchsweise und rechnerische Bestimmung der Brennwerte. F. T. 1913, H. 7 und 8. Strache: J. f. G. 1912, S. 833.

²⁾ Z. d. V. d. I. 1917, S. 266.

Andere Autoren wieder wollen dem Aschen- und Feuchtigkeitsgehalt bei der Heizwertbestimmung weitgehender Rechnung getragen wissen¹⁾, um Vergleichsziffern zu erhalten, die den praktischen Verhältnissen mehr angepaßt sind. Aber diese Versuche sind naturgemäß ausichtslos, da ja auch die praktischen Wertziffern nicht allein von dem Gehalt an Ballaststoffen, sondern auch von den benutzten Einrichtungen abhängen. Ein Brennstoff, der sich bei gewissen Feuerungen nicht bewährt, kann bei anderen mit hohem Wirkungsgrad verbrannt werden, und umgekehrt. Auch müßten zudem Wertziffern für die verschiedenen Arbeitsmethoden nebeneinander geschaffen werden, da die Bewertung für die Verbrennung, Entgasung, Vergasung u. dgl. ganz verschieden sein muß. Man wird daher wohl die früher viel umstrittene Verbandsformel am besten beibehalten, wenn man sich ihrer Mängel bewußt ist. Am besten wird stets eine kalorimetrische Vergleichsbestimmung des Heizwertes in Betracht gezogen werden, um Sicherheit zu schaffen.

¹⁾ Dr. Gmelin: Z. f. E. u. H. 1886, S. 365.

Zahlentafel 9. Tieftemperaturdestillation (450°)

Brennstoff	Zusammensetzung d. ursprünglichen Reinsubstanz						Bei der Destillation von 1 kg erhalten			
	C	H ₂	N ₂	S	O ₂	flücht. Bestandt.	H ₂ O g	Teer g	Gas l	Rückst. g
Kiefernstammholz, lufttrocken	50,42	6,70	0,65	0,08	42,15	—	366,0	81,8	116,6	—
Fasertorf v. Linum, lufttrocken	58,32	5,54	3,06	0,32	32,76	—	168,8	43,3	94,2	—
Märkische Braunkohle (Blitz bei Herzborn) .	55,11	4,23	0,94	3,23	36,49	—	212,9	20,5	48,8	—
Böhmische Braunkohle. Oberschles. Fettflamkohle (Hohenzöllern) .	69,53	5,49	0,90	0,49	23,59	—	232,1	44,1	59,5	—
Niederschles. Gaskohle (Glückhlf)	80,99	4,67	1,13	0,95	12,26	37,57	69,4	81,9	28,6	828,5
Westfälische Gaskohle (Zollverein I/II) . . .	86,70	5,35	0,81	1,56	5,58	29,23	23,4	60,4	30,5	878,9
Westfälische Gasflamkohle (Z. Bismarck) .	85,09	4,82	1,08	1,06	7,95	32,63	43,0	75,3	23,4	842,8
Westfälische Fettflamkohle (Gen. Blumenthal)	84,90	4,44	0,98	1,55	8,13	36,51	47,8	95,8	17,6	815,8
Westfälische Flammkohle (Neu-Essen) . .	86,04	5,18	0,88	1,65	6,25	28,60	31,8	49,3	14,4	914,5
Westfälische Fettkohle (Shamrock I/II) . . .	82,87	5,06	0,70	1,73	9,64	30,21	43,8	52,3	13,1	875,0
Westfälische Fettkohle (Altendorf)	88,02	5,20	0,93	1,06	4,79	23,00	16,9	29,8	16,7	929,0
Westfälische Fettkohle (Altendorf)	89,25	4,46	0,95	2,28	3,06	16,91	14,7	9,0	8,2	959,5

5. Verhalten der Brennstoffe bei der Entgasung.

Unter Entgasung verstehen wir die Destillation der Brennstoffe unter Luftabschluß. Die sich abspielenden Vorgänge sind wie folgt gekennzeichnet. Die natürliche Feuchtigkeit wird, bei 100° beginnend, abgegeben, doch gibt es Brennstoffe, welche erst bei etwa 250° diese Abgabe vollendet haben. Die chemischen Umsetzungen beginnen etwa bei 150—200° C mit der Abspaltung von Bildungswasser aus dem Wasser- und Sauerstoff der Kohle, bei 250—300° tritt eine beträchtliche Gas- und Teerbildung ein, und zwar derart, daß zuerst Kohlensäure (CO₂) und Kohlenoxyd (CO), dann Methan (CH₄), schwere Kohlenwasserstoffe (C_nH_m) und Wasserstoff (H₂) abgehen. Zugleich mit der Abspaltung der gasförmigen Kohlenwasserstoffe geht auch die Teerbildung vor sich. Wir sehen also in erster Linie auch hierbei, ähnlich wie bei den natürlichen Umwandlungsvorgängen in den Brennstofflagerstätten, eine starke Abspaltung des Sauerstoffes, sowohl gebunden an Wasserstoff, als auch teilweise an Kohlenstoff, und zeigt die Zusammensetzung der Restsubstanz demgemäß eine Anreicherung des

verschiedener Brennstoffe (Börnstein.)

Zusammensetzung der Rückstände (Reinsubstanz)					Teer		Zusammensetzung des Teers					Beschaffenheit des Rückstandes
C	H ₂	N ₂	S	O ₂	spez. Gew.	Pa- raffin- gehalt	C	H ₂	N ₂	S	O ₂	
92,13	3,88	0,39	—	3,60	1,106	—	68,61	8,13	1,84	—	21,42	—
75,19	4,21	3,49	0,32	16,88	1,02	6,37	75,35	10,34	5,14	0,27	8,90	—
83,96	4,31	0,97	4,60	6,16	1,009	12,24	78,95	9,98	4,53	1,51	5,03	—
84,32	3,97	1,35	0,73	9,63	0,97	5,04	73,47	9,58	1,94	0,26	14,75	—
87,84	3,69	0,94	0,97	6,56	0,96	1,7	81,78	9,20	1,35	0,62	7,05	schwach rissig, zerbrechlich
87,97	4,43	1,17	1,36	5,06	0,97	0,5	84,60	8,85	1,03	0,55	4,97	
87,74	3,83	1,07	1,07	6,28	0,96	1,5	84,91	9,65	1,60	0,34	3,50	stark rissig, ge- bläht und sehr zerbrechlich
87,60	3,95	1,15	0,81	6,49	0,95	2,1	84,01	9,81	0,94	0,88	4,36	schwach koksartig gebläht, teils geschmolzen
87,45	4,29	1,05	1,47	5,74	0,97	1,2	84,56	9,43	0,81	0,72	4,48	sehr weich und zerreiblich, außer- lich koksartig
86,82	4,09	0,33	1,40	7,36	0,98	1,4	84,02	9,34	0,94	0,71	4,99	stark aufgebläht und zerreiblich, unhomogen
89,97	4,57	1,15	1,35	2,96	0,97	0,3	86,25	9,25	1,27	0,56	2,67	stark schaumig gebläht
90,21	4,44	1,08	1,53	2,74	1,03	—	88,32	7,84	1,04	0,59	2,21	bröckelig, schicht- weise schwach gebläht

Kohlenstoffes bei gleichzeitiger Abnahme des Wasserstoffes und Sauerstoffes und selbstverständlicher Anreicherung der Asche (vgl. Zahlentafel 4). Bei 300–350° geht die stärkste Teerbildung vor sich. Bei diesen Temperaturen vollzieht sich auch eine teilweise Abspaltung des Schwefels und des Stickstoffes in Form von Schwefeldioxyd (SO₂), Schwefelwasserstoff (H₂S) und Ammoniak (NH₃). Bei 450° ist die Teerbildung nahezu vollendet, die Gasbildung ist bis dahin aber eine beschränkte. Die gesamten Vorgänge bei der schonenden Destillation bis 450° (vgl. S. 250) sind nach den Versuchen von Börnstein¹⁾ in Zahlentafel 9 übersichtlich zusammengestellt.

Bei weiterer Temperatursteigerung setzt sich die Gasbildung fort. Es entweichen anfänglich noch Methan (CH₄), Äthan (C₂H₄) und Kohlenwasserstoffe (C_nH_m), später aber lediglich Wasserstoff (H₂). Wenn man die Temperaturen bis 1000° und darüber steigert, wie im Koksofen, so erhält man bei gasreichen Kohlen etwa die zehnfache Gasmenge derjenigen einer Destillation bis 450°.

Zahlentafel 10. Zusammensetzung verschiedener Destillationsgase.

	Gaszusammensetzung					Ausbeute cbm/t
	CO ₂	CO	CH ₄	C _n H _m	H ₂	
Koksofengas (Ruhrkohle)	2,0	8,0	29,0	4,0	50,0	320
Destillation bei 820°	3,0	9,0	32,0	7,0	49,0	270
Coalite-Verfahren, 550° (gute Gaskohle)	2,5	7,3	48,0	13,1	27,5	85–140
Destillation bei 450° (Ruhrkohle)	6,0	4,0	48,0	8,0	34,0	24

Um den Einfluß dieser weiteren Gasbildung anschaulich zu zeigen, ist in Zahlentafel 10 die Zusammensetzung der Destillationsgase für verschiedene Brennstoffe und Verfahren angegeben; obwohl es sich bei diesen aus verschiedenen Veröffentlichungen zusammengestellten Zahlen um verschiedene Ausgangsbrennstoffe handelt, sieht man doch den Einfluß der gesteigerten Temperatur sehr anschaulich. Zum Vergleich sei weiter in Zahlentafel 11 der Verlauf einer Verkokung nach Schniewindt²⁾ wiedergegeben. Diese Zahlentafel zeigt, wie sich das Gas im Verlauf der Destillation ändert, indem anfänglich CH₄ vorwiegt, gegen Ende aber H₂; auch der Gehalt von CO₂ und C_nH_m nimmt von Anfang gegen Schluß dauernd und gleichbleibend ab. Dabei ist bei diesem Versuch die Kohle unmittelbar in den heißen Ofen gelangt, so daß keine

¹⁾ Börnstein: Über die Zersetzung fester Brennstoffe bei langsam gesteigerter Temperatur. Z. f. G. 1906, S. 652 u. ff.

²⁾ St. u. E. 1900, S. 258.

Zahlentafel 11. Veränderung des Koksofengases mit der Zeit.

	Stunden nach der Füllung	Zusammensetzung des erzeugten Gases							Leuchtkraft
		C _n H _m	CH ₄	H ₂	CO	CO ₂	O ₂	N ₂	
Gasüberschuß während der I. Periode (14 Std. 46')	1	5,8	40,3	34,3	6,8	3,9	0,2	8,7	18,4
	2	5,8	40,7	34,0	6,8	3,8	0,2	8,7	18,4
	3	5,8	41,0	34,0	6,7	3,8	0,2	8,5	18,4
	4	5,8	41,1	34,1	6,6	3,9	0,3	8,2	17,9
	5	5,8	41,2	34,2	6,4	3,9	0,3	8,2	17,4
	6	5,7	41,1	34,5	6,3	3,9	0,3	8,2	16,8
	7	5,6	40,9	35,0	6,2	3,9	0,3	8,1	16,4
	8	5,6	40,6	35,4	6,2	3,8	0,3	8,1	16,2
	9	5,5	40,2	36,1	6,2	3,7	0,3	8,0	15,8
	10	5,5	39,8	36,6	6,1	3,7	0,3	8,0	15,6
	11	5,4	39,4	37,2	6,1	3,7	0,3	7,9	15,4
	12	5,4	39,3	37,5	6,1	3,7	0,3	7,7	15,2
	13	5,3	39,1	37,9	6,1	3,6	0,3	7,7	15,0
	14	5,3	38,8	38,2	6,1	3,6	0,3	7,7	14,8
		5,2	38,7	38,4	6,1	3,6	0,3	7,7	14,7
Heizgas während der II. Periode (19 Std. 10')	15	5,2	38,6	38,5	6,1	3,6	0,3	7,7	14,6
	16	5,1	38,4	38,7	6,2	3,5	0,3	7,8	14,4
	17	5,1	38,1	39,0	6,2	3,5	0,3	7,8	14,3
	18	4,8	37,9	39,4	6,2	3,5	0,3	7,9	14,2
	19	4,9	37,8	39,3	6,3	3,5	0,3	7,9	14,0
	20	4,8	37,7	39,6	6,2	3,5	0,3	7,9	13,9
	21	4,7	37,6	39,9	6,2	3,4	0,3	7,9	13,7
	22	4,7	37,4	40,1	6,2	3,4	0,3	7,9	13,6
	23	4,6	37,2	40,4	6,2	3,3	0,4	7,9	13,4
	24	4,5	37,0	40,7	6,2	3,3	0,4	7,9	13,3
	25	4,4	36,8	41,2	6,2	3,2	0,3	7,9	13,1
	26	4,3	36,5	41,5	6,2	3,2	0,3	8,0	12,9
	27	4,2	36,0	42,0	6,2	3,1	0,3	8,2	12,8
	28	4,1	35,6	42,7	6,1	3,1	0,3	8,1	12,5
	29	4,0	35,1	43,2	6,2	3,0	0,4	8,1	12,3
	30	4,0	34,8	43,6	6,2	3,0	0,3	8,1	12,2
	31	3,9	34,5	43,9	6,2	3,0	0,3	8,2	11,9
	32	3,9	34,2	44,2	6,2	2,9	0,3	8,3	11,9
	33	3,9	33,9	44,4	6,2	2,9	0,3	8,4	11,8
34	3,8	33,9	44,5	6,2	2,9	0,3	8,4	11,8	
		2,4	29,2	50,5	6,3	2,2	0,3	9,1	9,0

langsame Erwärmung stattfinden konnte und infolgedessen der Einfluß der Temperatur ein verminderter ist. Es steht zu erwarten, daß der Anteil an CO- und CO₂-haltigen Gasen bei O₂-reichen Brennstoffen größer sein wird, und daß diese Abspaltung besonders am Beginn der Destillation zu beachten ist. Diese Erscheinung ist besonders typisch an den bereits erwähnten Versuchen von Börnstein festzustellen. So war z. B. die Zusammensetzung des Gases bei der Destillation von böhmischer Braunkohle (vgl. Zahlentafel 9) in den verschiedenen Intervallen die in der nachfolgenden Zusammenstellung, Zahlentafel 12, wiedergegebene. Leider erstrecken sich diese Versuche nicht auf höhere Temperaturen, um eine anschauliche graphische Darstellung für den ganzen Ent-

Zahlentafel 12. Zusammensetzung von Destillationsgas (Börnstein).

Gaszusammensetzung bis	300°	350°	400°	450°
CO ₂ %	92,7	91,0	55,1	27,7
C _n H _m „	0,1	0,2	4,9	2,4
CO „	1,2	4,7	18,9	11,6
H ₂ „	0,5	0,6	2,2	15,0
CH ₄ „	5,5	3,4	16,0	38,6
C ₂ H ₆ „	—	—	2,9	4,7

gasungsvorgang zu geben. Eine solche gibt Dr. Dolch¹⁾ für die Verarbeitung eines Torfes, wobei bei langsam und gleichmäßig gesteigerter

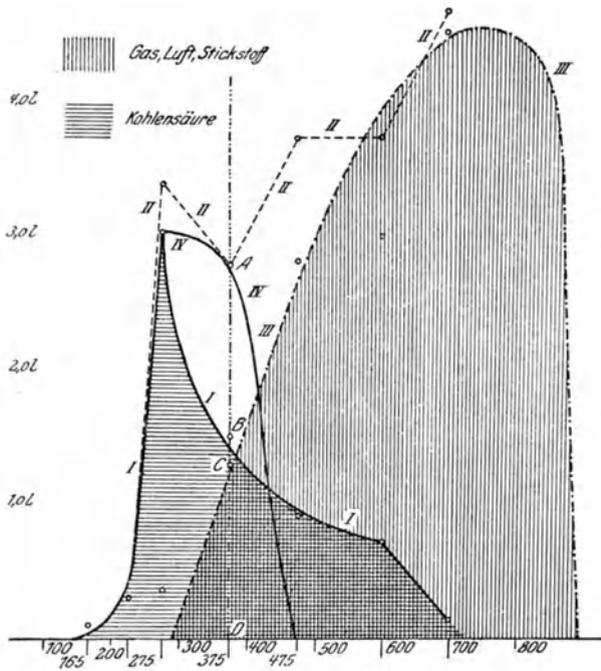


Abb. 4. Destillationsverlauf bei Torf nach Dr. Dolch.

Temperatur die Gasmengen in den einzelnen Intervallen gemessen und analysiert wurden. Abb. 4 gibt das daraus resultierende Diagramm wieder; Linie II ist die Menge der in den einzelnen Zeiträumen erhaltenen Gasmenge, Linie I die darin enthaltene CO₂, Linie III die Menge der darin enthaltenen brennbaren Bestandteile. Linie II zeigt bei ca. 300°

¹⁾ Dolch: Die wärmetechnische Verwendung des Torfes. Bergbau und Hütte 1920, Jg. 6. H. 3.

ein deutliches Maximum, während III bei dieser Temperatur erst beginnt, um ihrerseits bei 700—800° ein Maximum zu finden. Die Gesamtsumme in Linie I ist eine schwankende, wobei die frei werdende oder gebundene Wärme ihren Ausdruck findet.

Die erhebliche Bildung von CO₂ muß naturgemäß Wärme frei machen, wie dies gerade die vorstehende zeichnerische Darstellung erwarten läßt. Sehr anschaulich zeigt dies auch die nebenstehende Abb. 5 nach Versuchen von Dr. Bantlin¹⁾. Es ist danach bei jüngeren Brennstoffen zu erwarten, daß die einmal eingeleitete Destillation bei etwa 300° ohne weitere Wärmezufuhr fortschreitet, während sie nach Aufbrauchen dieser frei werdenden Wärme wieder eine Zufuhr benötigt. Neuerdings ist dieser Begriff der sogenannten Entgasungswärme²⁾ näher untersucht worden³⁾, und zeigte sich dabei eine direkte Abhängigkeit vom O₂-Gehalt des Brennstoffes, wie aus Abb. 6 zu ersehen ist.

Es dürfte für spätere Betrachtungen wichtig sein, ein Bild über die bei verschiedenen Brennstoffen zu erwartenden Destillationsgase und Mengen zu geben, was in Zahlentafel 13 geschieht. An Hand derselben ersieht man, daß die an den C sich bindende O₂-Menge bei Anthrazit etwa 16—40%,

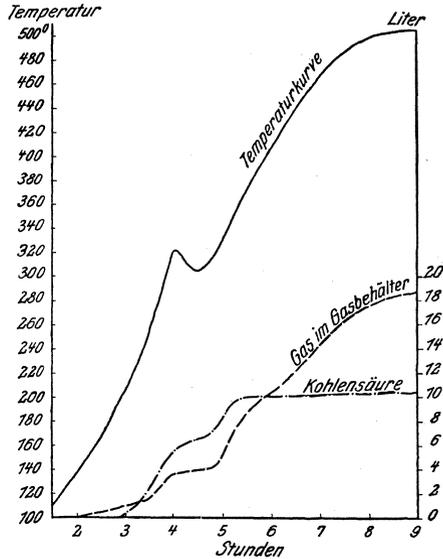


Abb. 5. Destillation von Zellulose nach Dr. Bantlin.

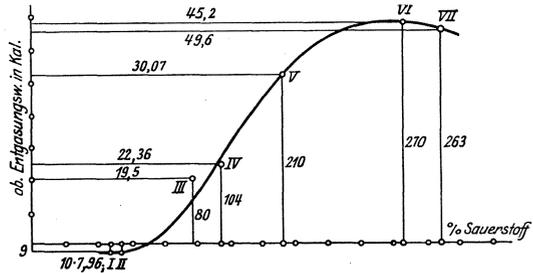


Abb. 6. Entgasungswärme bei verschiedenem Sauerstoffgehalt der Brennstoffe.

¹⁾ Dr. Ing. G. Bantlin: Pyrogene Zersetzung von Zellulose, Stärke, Zucker und Sulfizellulose-Ablauge. J. f. G. 1914, S. 32.

²⁾ Begriff von Jüptner: Generatorstudien. Chem. Ztg. 1887. Vgl. Heizgase der Technik. Leipzig: Felix 1920. S. 24.

³⁾ Dr. Grau: Bestimmung der Entgasungswärmen. Br.-Ch. Bd. 2, H. 7, S. 97.

Zahlentafel 13. Ausbeute und Zusammensetzungen von Destillationsgasen bei höherer und niedriger Temperatur.

Brennstoff	Mit % Rein- kohle	cbm Gas je 100 kg Roh- kohle	Gaszusammensetzung							
			H ₂ S	CO ₂	CnHm	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂
Westfälische Kohle v. Pluto	90,33	29,4	—	0,8	1,7	0,3	6,5	59,9	27,0	3,8
„ „ v. Mont-Cenis	88,66	30,5	—	1,8	3,4	0,4	8,6	56,0	25,0	4,8
Saarkohle v. Delbrückschacht	85,38	34,8	—	2,0	3,3	0,5	9,4	51,5	27,7	5,7
„ v. Klein-Rosseln	90,48	32,0	—	2,9	5,3	0,5	8,9	44,2	32,3	5,9
Oberschles. Kohle v. Brandenburg- schacht	93,67	32,8	—	2,4	3,9	0,1	11,6	50,7	29,7	1,6
Oberschles. Kohle v. Emmagrube	90,29	31,6	—	2,5	2,9	0,9	12,4	49,4	26,0	5,9
Niederschles. Kohle v. Fuchsgrube	91,79	31,2	—	2,1	3,0	0,2	8,9	49,4	33,2	3,2
Sächsische Steinkohle v. Bockwa- Hohndorf	85,56	30,3	—	2,4	3,0	0,4	9,6	51,7	28,9	4,0
Sächsische Steinkohle v. Zaucka- rode	80,16	29,5	—	2,3	2,0	0,4	9,1	53,1	30,6	2,5
Böhmische Steinkohle v. Littitz	87,51	28,5	—	3,0	4,4	—	10,0	45,2	33,0	4,4
„ Plattelkohle	82,24	30,4	—	3,2	9,9	—	8,3	39,6	37,1	1,9
Siebenbürgische Steinkohle von Petroszeny	77,18	18,0	—	9,4	2,1	0,8	13,8	43,5	26,5	3,9
Alpine Glanz-Braunkohle	76,66	17,0	—	11,8	2,4	0,3	15,5	37,4	31,3	1,6
Ungarische Braunkohle (Pilis- Vörösvar)	76,66	14,3	5,6	18,4	3,5	0,6	11,0	36,5	31,4	3,0
Rheinische Braunkohlenbriketts	78,34	20,5	—	34,7	1,9	0,5	19,5	22,0	19,0	2,4
„ Rohbraunkohle	49,70	15,0	—	32,1	1,8	0,8	14,6	31,0	15,0	4,7
Torf (älterer) v. Buchscheiden	76,78	20,6	—	30,4	2,4	1,0	12,0	36,0	13,0	5,2
„ (jüngerer) v. Admont	59,10	12,5	—	29,6	2,2	0,9	16,1	28,0	17,5	5,7
Lignit	75,50	14,4	—	17,3	3,2	0,3	12,3	30,8	34,0	2,1
Zellulose*)	92,03	13,2	—	47,8	3,7	1,0	29,0	3,0	10,0	5,5
Im Bereich bis 550°**)	% Asche	cbm Gas je 100 kg Trok- kenkohle	H ₂ S	CO ₂	unge- sättigter Kohlenstoff	C ₂ H ₆	CO	H ₂	CH ₄	N ₂
Fettkohle v. Rheinpreußen	1,6	6,36	4,8	0,5	3,0	11,0	0,7	22,5	56,1	4,3
Gasflammkohle v. Lohberg	11,0	6,90	4,4	7,0	5,2	10,1	6,2	16,7	47,3	3,1
Kannelkohle v. Lohberg	15,4	7,26	4,3	16,7	5,5	10,1	2,7	22,9	35,6	2,8
Bayrische Pechkohle	14,1	8,55	18,0	20,7	4,1	6,5	11,1	6,5	29,1	4,0
Böhmische Braunkohle v. Brüx	2,6	10,87	2,6	33,1	4,6	5,4	15,9	7,6	28,7	4,1
Sächsische Schwelkohle (Riebeck)	4,5	12,00	11,0	37,9	6,3	5,1	8,1	6,6	21,1	3,8
Lausitzer Lignit (Ilse)	2,3	15,05	2,9	48,0	2,8	2,9	14,6	7,8	15,1	5,8
Rheinische Braunkohlenbrikett	2,5	13,92	2,3	55,0	2,9	2,6	13,9	6,9	14,4	2,0
Oberbayrischer Torf	1,8	12,12	0,8	54,5	2,8	1,8	20,0	3,3	14,5	2,3
Westfriesischer Torf (Meppen)	0,6	12,34	1,2	58,5	2,8	1,6	21,0	2,0	10,5	2,4

Die ersten 9 Resultate entstammen Proben der Gasversuchsanstalt Karlsruhe, die beiden nächsten Binder und Fischer in Fischers Jahresbericht 1897, S. 95, die mit *) bezeichnete ist aus den Versuchen von Bantlin umgerechnet. Die mit **) bezeichneten, zum Unterschied von den vorhergehenden bei niedrigen Temperaturen gewonnenen, entstammen einer umfassenden Arbeit von Fritzsche: Br.-Ch. Bd. 3, S. 25.

bei Steinkohlen 35—50% ist, bei Braunkohlen und Torf aber bis zu 75% ansteigt; andererseits schwankt aber auch das Verhältnis des an C gebunden abgespaltenen H_2 -Gehaltes zu dem frei entbundenen, und zwar ist ersterer bei Anthrazit und Magerkohle etwa 40%, bei Fett- und Gaskohle 50—55%, bei Braunkohle 60—65%, bei Holz etwa 70 bis 80%. Gerade diese Ziffern zeigen, daß man aus dem Wertverhältnis des freien Wasserstoffes und Kohlenstoffes nicht auf die Fähigkeit der Gasbildung schließen kann, wie dies von Aufhäuser durchgeführt wurde.

Das Verhalten der anderen Bestandteile bei der Entgasung hat wohl für die Kokerei und Gasanstalten Bedeutung, nicht aber für die Vergasung, weil der davon herrührende Gasanteil stets ein sehr geringer ist. Lediglich der Vollständigkeit halber und zwecks später anzustellender Betrachtungen sei diese Frage im nachfolgenden kurz gestreift. Vom N_2 wird ein Teil abgespalten, während ein anderer Teil im Koks verbleibt. Auch dabei ist die Natur der Brennstoffe und die Temperatur bzw. die Erhitzungsdauer von Einfluß (vgl. S. 283).

Während sich NH_3 erst bei Temperaturen von über 500° in größeren Anteilen bildet und als günstigste Bildungstemperatur eine solche von 800° angesprochen werden muß, geht umgekehrt die Bildung von H_2S überwiegend bei niedrigen Temperaturen bzw. im Anfang vor sich. Der Gehalt des Gases wechselt naturgemäß sehr stark nach dem Schwefelgehalt der Brennstoffe, doch ist erfahrungsgemäß der Anteil in den Destillationsgasen anfänglich 1,4—1,5%, während er bereits nach zwei Stunden unter 1,0, nach vier Stunden unter 0,4 und gegen Ende oft nur wenig über 0,1% beträgt. Die Verteilung des Schwefels ist nach den umfangreichen Untersuchungen von Gaskohlen durch die Lehr- und Versuchsanstalt Karlsruhe etwa derart, daß 52—84% im Koks bleiben, 16—46% als H_2S abgespalten werden, während der Rest sowohl im Teer als auch als Schwefelkohlenstoff und schwefelige Säure auftritt. Es ist jedoch nach den vorstehenden Ziffern zu erkennen, daß die letzteren Anteile nur außerordentlich verschwindend sein können, so daß sie für den Vergasungsbetrieb ohne jede Bedeutung sind.

6. Die künstlichen Brennstoffe.

Es wäre an dieser Stelle auch noch der künstlichen Brennstoffe zu gedenken. Eine feste Grenze zwischen natürlichen und künstlichen Brennstoffen besteht allerdings nicht, weil schon bei der Ausführung der Aufbereitungsarbeiten die verschiedensten Kunstfertigkeiten angewendet werden, um hochwertigere, veredelte bzw. sich besser eignende Sorten herzustellen. Der Aufbereitungsprozeß betrifft jedoch weder eine Veränderung der Materie selbst, noch eine weitgehende Form-

veränderung, wenn man davon absieht, daß die großen Stücke unter Umständen zerbrochen werden, um die Kohle von dem mitanhaltenden tauben Gestein zu trennen. Der Aufbereitungsprozeß selbst kann entweder ein trockener oder ein nasser sein und endigt schließlich immer mit der Gewinnung bestimmter Sorten von möglichst gleicher Korngröße. Es entfallen daher bei der Aufbereitung stets geringere oder größere Mengen von staubförmigen Abfallstoffen, und zwar entweder als trockener Staub oder als Schlamm. Andere Brennstoffe kommen in Natur schon in einer Form vor, die sich für die weitere Verarbeitung nicht eignet, und greifen an dieser Stelle die sogenannten Veredelungsverfahren ein, welche als Endprodukt die sogenannten künstlichen Brennstoffe geben.

Wir können zwei große Gruppen unterscheiden, und zwar

1. diejenigen, welche durch Formgebung veredelt sind, und
2. diejenigen, welche durch Destillation oder ähnliche chemische Verfahren veredelt sind.

Oder

1. mechanische Veredelungsverfahren;
2. chemische Veredelungsverfahren.

Erstgenannten Verfahren werden in der Hauptsache die früher erwähnten minderwertigen Abfallstoffe unterworfen, welche nicht nur bei der Aufbereitung anfallen bzw. von Natur aus in großer Menge vorhanden sind, sondern teilweise auch bei der Verarbeitung der Brennstoffe auf anderem Wege entstehen. Die Formlinge, welche man aus den feinkörnigen Brennstoffen herstellt, bezeichnet man allgemein als Brikette, und unterscheidet man in der Hauptsache

- a) Steinkohlenbrikette,
- b) Braunkohlenbrikette,
- c) Brikette aus Abfallstoffen.

Die Steinkohlenbrikette werden lediglich aus mageren Kohlen hergestellt, weil die Feinkohle der fetten Steinkohle zur Koksherstellung dient. Im Gegenteil ist man mehr und mehr dazu übergegangen, grobstückigere Sorten vor der Verkokung zu zermahlen und die verschiedenen Sorten zu mischen, um einen möglichst gleichmäßigen, guten Koks zu erhalten. Die Feinkohlen der mageren Sorten dagegen können nicht verkocht werden und mußte man bedacht sein, dieselben irgendwie nutzbar zu machen. Um Brikette daraus herzustellen, werden die Feinkohlen getrocknet, mit flüssigem Pech in angewärmtem Zustand gemischt und bei ziemlich erheblichem Druck zu Formsteinen gepreßt.

Das gleiche Verfahren verwendet man teilweise auch bei Braunkohle, vor allen Dingen aber auch bei manchen Abfallbrennstoffen, wie Koksasche, Lösche u. dgl. Bei den deutschen Rohbraunkohlen ist aber der Brikettierungsvorgang ein anderer, weil dieser Brennstoff infolge seines

hohen Gehaltes an Bitumen ohne Bindemittel brikettierfähig ist. Die mulmige feinkörnige Braunkohle wird vor der Brikettierung auf einen Wassergehalt von etwa 15% getrocknet und sodann unter einem außerordentlich hohen Druck von etwa 1500 Atm. in die bekannten Brikette gepreßt.

Bei der Brikettierung erleidet der Brennstoff selbst eine Veränderung nicht. Es ist nur ein weiterer Brennstoff, nämlich das Bindemittel, hinzugetreten. Für die Vergasung kommen Steinkohlenbrikette so gut wie gar nicht in Betracht, denn diese eignen sich hierfür sehr wenig. Das Bindemittel wird meist verhältnismäßig leicht und rasch abdestilliert, der Brennstoff zerfällt zu seiner ursprünglichen Körnigkeit und liegt daher im Gaserzeuger mit einem großen Widerstand. Dagegen sind die Braunkohlenbrikette ein sehr beliebter Vergasungsbrennstoff. Auch bei den Braunkohlenbriketten gibt es einzelne Sorten, welche sich allerdings nicht sehr eignen, weil dieselben im Feuer zerfallen. Es sind dies besonders jene Sorten, bei denen das Ausgangsprodukt arm an Bitumen ist, oder solche, bei denen das Bitumen sehr schnell ausgetrieben wird. Die Mehrzahl der Sorten hält aber bei der Vergasung genügend lange ihre Form.

Analysen von Braunkohlenbriketts sind in der Zusammenstellung Zahlentafel 4 bereits angeführt worden. Im übrigen kann man die Zusammensetzung eines beliebigen Briketts aus jedem Ausgangsprodukt errechnen, weil man nur dem Umstande Rechnung zu tragen hat, daß der Feuchtigkeitsballast entfernt wurde. Die Substanz selbst hat eine Veränderung nicht erlitten und sind daher nicht nur die Gehaltszahlen an den brennbaren Stoffen im Brikett höher, sondern auch diejenigen an Asche und Schwefel usw.

Ein besonderer Formgebungsprozeß, welcher hier noch erwähnt werden muß, ist die Herstellung von Naßpreßsteinen bei der Braunkohle. Um diese zu gewinnen, wird dieselbe so weit angefeuchtet, daß sie eine plastische Masse ergibt, dann in einer Strangpresse zu rechteckigen Ziegeln geformt, welche in einer beliebigen Länge geschnitten und zur Trocknung an die Luft gelegt werden. Die erhaltenen Naßpreßsteine haben üblicherweise das Format von Mauersteinen und enthalten nach der Trocknung einen Feuchtigkeitsgehalt von etwa 25%. Das Endprodukt ist daher nicht ganz so hochwertig wie das Brikett, eignet sich aber gleich diesem für die Vergasung, wenn es bei der Trocknung nicht allzu rissig geworden ist. Da die Herstellung der Naßpreßsteine infolge des Wegfalles der künstlichen Trocknung wesentlich weniger Wärmeaufwand bedingt als die Herstellung der Brikette, so würde man im Naßpreßstein ein für die Vergasung sehr geeignetes Ausgangsprodukt finden, wenn man die Dimensionierung der Steine kleiner wählen würde. Auch bei den Braunkohlenbriketts hat man außer

dem üblichen Format von etwa $\frac{1}{2}$ kg Gewicht noch kleinere Formate wie Semmelbrikette, Halbsteine, Industriebrikette usw. eingeführt, um den Brennstoff für die industrielle Verwertung und insbesondere die Vergasung zweckdienlicher zu gestalten. Ein Naßpreßstein ähnlich kleiner Dimension würde zweifellos weder bei der Trocknung noch bei der späteren Vergasung zerfallen.

Auf die gleiche Weise wie der Naßpreßstein wird der Maschinentorf hergestellt, doch bezeichnet man diesen üblicherweise nicht als einen künstlichen Brennstoff, sondern als einen natürlichen. Denn auch beim Handstichtorf gewinnt man Soden der gleichen Abmessungen wie beim maschinellen Betrieb. Der Unterschied ist lediglich der, daß beim maschinellen Betrieb der Rohtorf aus den verschiedenen Lagen gut vermischt wird und daher die maschinell erzeugten Torfsoden wesentlich gleichförmiger sind als die mittels Handstich gewonnenen. Als künstliche Brennstoffe, welche Torf als Ausgangsprodukt besitzen, kommen gleichfalls Brikette in Frage, welche ohne Bindemittel hergestellt werden können, wenn die Trocknung genügend weit getrieben wird. Überhaupt ist eine möglichst vollständige Trocknung bei der Brikettierung stets Grundbedingung, weil die Brikette sonst beim Lagern sehr leicht infolge der Nachtrocknung zerfallen. Ferner werden ohne Bindemittelzusatz Brikette aus Sägespänen, Hobelspänen und anderen vegetabilen Stoffen, welche als Abfallerzeugnisse anfallen, hergestellt.

Die zweite Gruppe der veredelten Brennstoffe umfaßt die mittels Destillation gewonnenen. Dieselben dienen nur in seltenen Fällen der Vergasung, weil man die Destillation ja aus dem Grunde durchführt, um die gasförmigen Destillationsprodukte aus der Kohle auszutreiben. Die Rückstände der Destillation, Koks, Holzkohle, Torfkoks u. dgl. dienen daher in der Regel Sonderzwecken. Nur in Ausnahmefällen wird man solche Brennstoffe als Behelfsbrennstoffe verwenden, und werden sich dieselben in der Regel zur Vergasung eignen, weil sie ja durch den vorausgegangenen Prozeß bereits hitzebeständig geworden sind. Bei der Vergasung solcher Brennstoffe wird man aber keine Kohlenwasserstoffe, weder gasförmiger noch flüssiger Natur, erwarten dürfen. Koks diene daher vielfach als Ausgangspunkt für die Kraftgasherstellung (Sauggasanlagen), solange man nicht genügend Erfahrung hatte, teerhaltige, natürliche Brennstoffe entsprechend zu behandeln. Bei der Heizgasherstellung vermeidete man die Verwendung von Destillationsrückständen meistens, weil infolge des Mangels an Kohlenwasserstoffen das erzeugte Gas wesentlich heizschwächer ist.

Rückstände von Destillationsprozessen (vgl. Zahlentafel 9) würden als Ausgangspunkt für die Vergasung evtl. dann mehr in Frage kommen, wenn die vorhergehende Teergewinnung mittels Schwelung größere Ein-

führung erfahren würde. Dahin gehende Vorschläge sind vielfach gemacht worden, und wird dieses Verfahren bei manchen Brennstoffen wirtschaftliche Vorteile versprechen. Der so gewonnene Halbkoks eignet sich ebenso wie die anderen Destillationsrückstände für die Vergasung, weil der Vergasungsbetrieb bei diesen Stoffen ein sehr gleichmäßiger und langsamer ist. Man ist daher auch in der Lage, bei der Vergasung von Koks oder Halbkoks Gaserzeuger von sehr großem Durchmesser zu benutzen. Günstig ist auch die gleichmäßige Zusammensetzung solcher Rückstände.

In dritter Linie kämen unter Umständen auch noch veredelte, also gewissermaßen künstliche Brennstoffe, in Betracht, wenn man mehr als bisher zur Vertrocknung der Brennstoffe übergehen würde, ohne daß man dabei ein Formgebungsverfahren benutzt. Es sind in den letzten Jahren vielfach Anregungen gemacht worden, die grobstückige Kohle vor dem Versand und der weiteren industriellen Ausnutzung möglichst an den Gewinnungsstellen mit Abgasen zu trocknen. Diese Vorschläge erscheinen außerordentlich beachtlich; es ist aber nur durch eine umfassende Erprobung in der Praxis festzustellen, ob der vorgetrocknete Brennstoff bei dem Vorgang eine genügende Festigkeit behält bzw. ohne vorzeitigen Zerfall vergast werden kann. Wenn dies zutrifft, würde man naturgemäß vorgetrocknete Brennstoffe mit Vorteil für die Vergasung verwenden können, weil man nicht nur mit größerer Leistung der Gaserzeuger rechnen kann, sondern auch mit einer wesentlich besseren Gaszusammensetzung. Diese Verfahren werden noch an einer späteren Stelle erwähnt werden (vgl. S. 228).

II. Die chemischen Grundlagen der Vergasung.

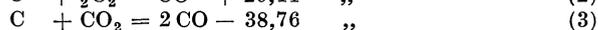
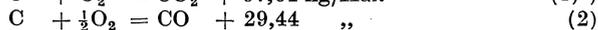
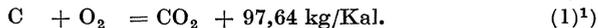
1. Allgemeines.

Wie bereits eingangs ausgeführt, ist bei den Vorgängen der Vergasung praktisch meist Sauerstoff der auf C einwirkende und denselben auflösende bzw. in brennbare Gase überführende Stoff. Es könnten auch andere Gase, wie beispielsweise H_2 , diese Rolle übernehmen, doch treten diese Möglichkeiten wegen ihrer geringen Anwendbarkeit vollkommen zurück, um so mehr, als sie weniger zu gasförmigen als vielmehr zu flüssigen Kohlenwasserstoffen führen.

Die Verbindungen des C mit O_2 sind CO_2 und CO; ersteres hat keine Heizkraft mehr und muß daher dessen Bildung möglichst ausgeschaltet werden; mit anderen Worten, man muß die Verbrennung verhindern, weshalb man diesen Vorgang auch als eine unvollkommene Verbrennung bezeichnet hat. Dieser wenig glückliche Ausdruck, der leicht zu irr-

tümlichen Auffassungen führt, wäre weitgehend zu vermeiden. Es erhellt aber hieraus, daß zwischen Verbrennung und Vergasung innige Zusammenhänge bestehen. Man kann erstere stets in letztere umwandeln, wenn man die Luftmenge bei diesem Vorgange beschränkt und die in Umsetzung tretenden Brennstoffmengen groß gestaltet.

Die beim Zusammentreffen von C und O₂ möglichen chemischen Vorgänge sind folgende:



Gleichung (2) läßt sich aus (1) und (3) errechnen. Die Gleichung (4) kommt für die nachfolgende Verbrennung in Frage.

Bei sämtlichen Vorgängen mit Ausnahme von (3) wird Wärme frei. Die Temperatur muß daher eine dauernde Steigerung erfahren, die sich nicht nur der Umgebung mitteilt, sondern auch im gebildeten Gas selbst als fühlbare Wärme wiedergefunden wird.

Die Ähnlichkeit des Vergasungsvorganges mit der Verbrennung hat die Ansicht aufkommen lassen, daß sich primär CO₂ bildet, das dann nach Gleichung (3) zu CO reduziert wird. Aufhäuser²⁾ dagegen hat in Übereinstimmung mit anderen Forschern die Verbrennungstheorie so gefaßt, daß sich dabei primär CO bildet, das im weiteren Verlauf zu CO₂ verbrennt. Dies könnte für den Vergasungsvorgang zu dem Schlusse führen, daß dabei der letztere Vorgang entfiel und das primär gebildete CO bestehen bliebe.

Die Annahme von Aufhäuser hat zwar eine gewisse Wahrscheinlichkeit, und viele Wissenschaftler behaupten, daß zunächst Kohlenoxyd entstehe, während mindestens ebenso zahlreiche die gegenteilige Ansicht vertreten. Die Versuche von Wendt³⁾, Neumann⁴⁾ u. a. zeigen zwar, daß bereits in den untersten Schichten erhebliche Mengen von Kohlenoxyd gebildet werden, lassen aber eine eindeutige Beantwortung der Frage nicht zu. Wenn diese Zweifel auch vom praktischen Standpunkt der Vergasung mehr oder weniger müßig erscheinen, so sind sie doch nicht belanglos, weil ihre Lösung uns allein Antwort geben kann,

¹⁾ Alle Wärmetönungen sind abweichend von den meist in Handbüchern zu findenden angegeben, wobei nach einem Vorschlag von Hoffmann (Ft. 1916, H. 3 und 4) für alle Gasbestandteile das konstante Gasvolumen 22,412 und im übrigen die Molekulargewichte der int. Atomgewichtstabelle 1912, sowie die Heizwerte nach den phys.-chem. Tabellen von Landoldt-Börnstein-Roth, 4. Aufl. 1912, zugrunde gelegt wurden (vgl. Zahlentafel 70).

²⁾ Z. d. V. d. I. 1917, S. 266.

³⁾ Forschungsarbeiten, H. 31.

⁴⁾ Forschungsarbeiten, H. 140.

ob wir noch grundlegende Veränderungen, möglicherweise Verbesserungen des Vergasungsvorganges in Zukunft erwarten dürfen.

Die Kohlenoxydbildung macht nach Gleichung (2) — verglichen mit der Verbrennung — weniger Wärme frei und wirkt somit ihrer eigenen günstigen Gleichgewichtsbedingung — nämlich der Temperaturerhöhung — entgegen¹⁾. Dies entspricht aber durchaus dem Gesetz von Le Chatelier. Danach hat jede Änderung eines einzelnen der Gleichgewichtsfaktoren eine Umwandlung des Systems nach jener Richtung hin zur Folge, wodurch der betreffende Faktor im entgegengesetzten Sinne geändert wird²⁾. Trotzdem läßt dieses Gesetz keine endgültige Beantwortung zu, und wir müssen ein anderes Hilfsmittel suchen, um die Vorgänge zu erklären. Dieses bietet sich uns im Stufengesetz von Wilhelm Ostwald, das besagt, daß sich unter den jeweiligen Reaktionsbedingungen diejenige Verbindung zuerst bildet, welche nicht beständig ist, wohl aber beständiger als der Ausgangsstoff. Für den Vergasungsvorgang müssen wir uns nun die Reaktionsbedingungen klarmachen; man ist geneigt, diese so darzustellen, als ob ein Überschuß von glühendem Kohlenstoff vorhanden wäre, und aus dem Gesetz würde folgen, daß sich ursprünglich Kohlensäure bildet, denn diese ist bei den hohen Temperaturen in Gegenwart von Kohlenstoff unbeständiger als Kohlenoxyd. In Wahrheit zeigen aber alle Untersuchungen an Gaserzeugern, daß in den untersten Schichten stets noch ein erheblicher Sauerstoffüberschuß der Luft vorhanden ist. Unter dieser Bedingung ist aber das Kohlenoxyd die unbeständigere Verbindung und ihre ursprüngliche Bildung daher anzunehmen. Der Vorgang in der Brennstoffschicht dürfte sich daher folgendermaßen abspielen: Die auf die Kohlenoberfläche auftreffenden Luftteilchen bilden zuerst Kohlenoxyd nach Gleichung (2), dieses verbrennt darauf im Luftüberschuß teilweise zu Kohlensäure nach Gleichung (4) und wird beim Strömen durch die oberen Brennstoffschichten nach Gleichung (3) wieder zu Kohlenoxyd nach Maßgabe der Gleichgewichtsbedingungen reduziert.

Daraus ergeben sich scharf die Bedingungen, die zur Einhaltung der Vergasung notwendig sind: Beschränkung der Luftmenge und Vergrößerung der Schütthöhe. Die Vorgänge selbst sind bei der Verbrennung und der Vergasung anfänglich gleich, und lediglich die Beherrschung der Umsetzung nach Gleichung (3) durch die Schaffung der entsprechenden Verhältnisse kennzeichnet die Vergasung. Der Unterschied zwischen Verbrennung und Vergasung ist daher nur bedingt, und es ist tatsächlich berechtigt, zu sagen, daß der Verbrennung in den meisten Fällen eine Vergasung vorausgeht.

¹⁾ Vgl. Aufhäuser a. a. O.

²⁾ Vgl. Jüptner: Beiträge zur Feuerungstechnik. S. 142. Leipzig: Artur Felix 1920.

Zahlentafel 14. Versuche von Wielandt.

Versuch	I	II	III	IV	V	VI	
Korngröße mm	12	12	12	15	15	25	
Gaszusammensetzung	14,14 10,99 — — 10,21 15,66 — — 7,37 22,00	13,42 12,80 — — 12,71 15,42 — — 12,62 21,3	16,0 7,6 — — 6,3 21,0 — — 2,48 58,0	19,54 17,16 0,23 0,23 1,26 5,78 — — 0,08 1,96	12,29 18,97 8,16 0,59 0,03 0,93 — — — 0,05 9,74	12,55 13,59 1,17 6,98 11,06 — — — — —	15,99 17,45 3,91 0,08 0,26 — — — — —
Verhältnis $\frac{CO_2}{CO \cdot CO}$	—	—	—	—	—	—	
Luftmenge l/min	17	25	62	42	52	50	
Geschwindigkeit cm/s	3,0	4,4	10,9	7,4	9,1	8,7	
Schichthöhe cm	11	13	9	5,5	10,5	17	
Berührungszeit s	3,70	4,38	0,32	0,75	0,16	1,66	
Temperatur °C	1550	unter 1700	1770	nicht bestimmt,	0,99	1,94	
Bemerkungen	Proben in Mittellinie in verschiedenen Höhen gleichzeitig			Probenahme von oben nacheinander, je nach Abbrand			

Ich teile demnach nicht vollkommen den Standpunkt Aufhäusers, obwohl ich der Ansicht bin, daß sich im Gaserzeuger und auch bei der Rostfeuerung CO primär bildet, die weitere Verbrennung desselben zu CO₂ aber bei dem vorhandenen Luftüberschuß so schnell einsetzt, daß die Analyse stets beide Bestandteile nebeneinander aufweist. Im Gaserzeuger ist die Bildung von CO₂ stets beschränkt, weil der Luftüberschuß bald aufgezehrt wird, und dagegen ein Überschuß von C in Reaktion tritt, der die Reduktion der bereits gebildeten CO₂ zu CO durchführt. Anders ist es bei der Verbrennung, wo bis zum Verlassen der Kohlschicht Luftüberschuß vorhanden ist und daher die weitere Verbrennung von CO zu CO₂ rasch fortschreitet. Solange Sauerstoffüberschuß vorhanden ist, nimmt der Gehalt an CO₂ zu, erst dann tritt die Reduktion des letzteren zu CO ein.

Man sieht dies sehr deutlich an den Analysen der Versuche von Dr.-Ing. Wendt und Dr.-Ing. Neumann, sowie auch an den Versuchen von W. Wielandt¹⁾, die in Zahlentafel 14 wiedergegeben sind. Für diese Vorgänge gibt Strache²⁾ die nebenstehende, sehr anschauliche Abb. 7, zu der er allerdings eine nicht vollkommen einwandfreie Erklärung schreibt

1) J. f. G. 1903, S. 201.
2) Handbuch der Gastechnik. Bd. 9, S. 98.

2. Luftgas.

Die im Abschnitt 1 angeführten Umsetzungsgleichungen sind die Grundlagen der sogenannten Luftgasherstellung (Luftgaserei). Die Vergasungsluft enthält zwar geringe Mengen von Feuchtigkeit, die sich aber wenig bemerkbar machen. Der in Reaktion tretende O_2 stammt vorwiegend aus der Luft, daher wird das gebildete CO stets von N_2 begleitet sein. Der Idealfall bei vollständigem Fehlen von H_2O ergibt dann stöchiometrisch — da 16 kg O_2 einer Menge von $16 \times 3,11 = 52,96$ kg N_2 entsprechen — die Zusammensetzung

34,60 % CO und 65,40 % N_2 .

Der so erzielbare CO-Gehalt stellt einen Höchstgehalt bei der Vergasung dar. In der Praxis wird das Gas meist 2% H_2 (aus der Feuchtigkeit der Luft und dem H_2 des Brennstoffes) oder darüber bis 5% enthalten, so daß auch bei vollständigster Umsetzung der CO-Gehalt 30–32% kaum übersteigt. Daneben wird man mindestens 2% CO_2 im Durchschnitt finden und auch das nur bei tadellosem Gang des Gaserzeugers. Es ist nämlich

zu beachten, daß die Reaktion nach Gleichung (2) eine erhebliche Wärmemenge frei macht, die zwar teils durch das entstehende Gas abgeführt wird und teils durch die Wärmeverluste des Gaserzeugers (Strahlung) verlorengeht, die aber andererseits auch eine hohe Umsetzungstemperatur im Brennstoff bedingt; diese ist nach Feststellung von Wendt, Neumann u. a. etwa 1400–1600°, wobei leicht Verschlackungen eintreten, die zu Störungen des Vergasungsvorganges führen müssen.

Mit Rücksicht auf diese unliebsamen Nebenerscheinungen hat die Darstellung von Luftgas in der Vergasungstechnik nie einen breiteren Raum eingenommen. Dagegen haben sich in früheren Jahrzehnten zahlreiche Forscher mit diesen Vorgängen eingehend chemisch befaßt, was ganz wesentlich zur Aufklärung der Vorgänge in den Gaserzeugern

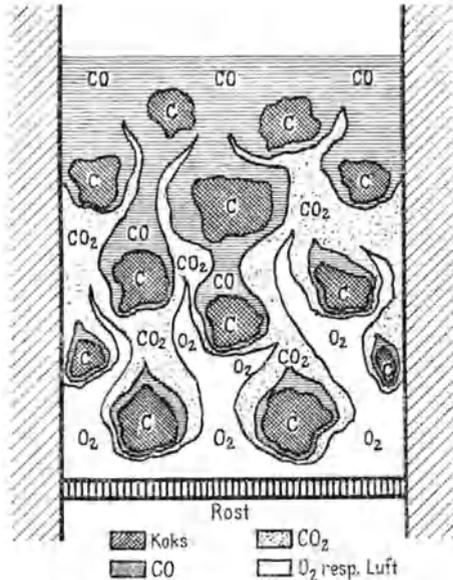


Abb. 7. Die Umsetzungsvorgänge im Gaserzeuger nach Strache.

beitrag. Insbesondere seien die Versuche von Boudouard¹⁾, Naumann und Ernst²⁾, Meyer und Jacoby³⁾ und Clement⁴⁾ genannt, deren Anführung aber einen zu breiten Raum einnehmen würde. Für praktische Verhältnisse geben die in Zahlentafel 14 wiedergegebenen Versuche von Wielandt eine brauchbare Grundlage, indem sie zeigen, daß die Bildung von CO bei steigender Temperatur und steigender Berührungsdauer (geringen Durchströmungsgeschwindigkeiten) eine vollständigere ist. Die Versuche von Clement zeigten ferner, daß die verschiedenen Kohlenstoffarten sich abweichend verhalten; am günstigsten verhält sich Holzkohle, am ungünstigsten Koks.

Man hat weiter vermutet, daß die Bildung von CO durch Dissoziationsvorgänge unterstützt werden könnte. Nach den genauen Feststellungen von Nernst und Wartenberg⁵⁾ ist diese aber so gering, daß sie für die Vorgänge im Gaserzeuger keine Beachtung verdient.

Schließlich verdient noch Erwähnung, daß die Gleichung (3) eine umkehrbare ist; diese Reversion tritt, weil dabei Wärme frei wird, nicht, wie vielfach angenommen, bei hohen, sondern bei niedrigeren Temperaturen ein und wird durch anwesende Oxyde, Metalle u. dgl. unterstützt. Für den Gaserzeuger hat diese Umsetzung wenig Bedeutung, dagegen eine sehr erhebliche für die Weiterleitung des Gases. Es sind vielfach in den Staubsammlern und Rohrleitungen Rußausscheidungen beobachtet worden⁶⁾, welche man von dieser Zersetzung des CO (ähnlich wie in Hochöfen) ableitete. Es steht jedoch nicht fest, ob dieselben auf diese oder auf eine solche der Kohlenwasserstoffe zurückzuführen sind; letzteres erscheint im Gegenteil als das Wahrscheinlichere.

Luftgas hat in den letzten Jahren wieder eine erhöhte Bedeutung gefunden, als man die Gaserzeuger mit flüssigem Schlackenabstich entwickelte, weil man dabei ein Gas mit sehr niedrigem H₂-Gehalt erwarten konnte, das für bestimmte Zwecke, insbesondere für chemische Verwendung Vorteile bietet. So ist beispielsweise in Gaserzeugern nach dem System der Georgs-Marienhütte⁷⁾ bei der Vergasung von Koks ein Gas nachstehender Zusammensetzung gewonnen worden:

0,6 %	CO ₂
33,4 %	CO
0,9 %	H ₂
0,5 %	CH ₄
64,6 %	N ₂

mit einem unteren Heizwert von 1085 Kal.

¹⁾ Ann. de Ch. et Phys. (1902) 24. 5.

²⁾ Z. f. angew. Ch. 1893, S. 525.

³⁾ J. f. G. 1909, S. 282.

⁴⁾ J. Chem. Soc. 1899, S. 630.

⁵⁾ Z. d. V. d. I. 1905, S. 1426.

⁶⁾ van Vloten: St. u. E. 1909, S. 217.

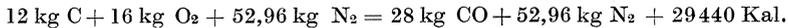
⁷⁾ Markgraf: St. u. E. 1919, S. 649.

Die Temperatur des Gases war 800° beim Verlassen des Gaserzeugers. Da die Schlackentemperaturen im Durchschnitt etwa 1400° betragen, kann man annehmen, daß trotz der großen Wärmeabfuhr durch das Gas die Temperaturen vor den Formen mindestens 1600° waren. Es soll nun versucht werden, beispielsweise diese Höchsttemperatur rechnerisch zu ermitteln, weil dies für die Anwendbarkeit der Luftgasherstellung entscheidend ist.

Es kann, da im Gaserzeuger ein Temperaturgleichgewichtszustand bestehen muß, für die Rechnung angenommen werden, daß der Brennstoff auf diese Temperatur vorgewärmt in Umsetzung tritt, während die Luft zwar tatsächlich sich auch sehr schnell anwärmen dürfte, diese Wärme aber der Reaktionszone entzogen wird. Wenn daher eine zu starke Abkühlung der Schlacke nicht eintritt, was durch den anstandslosen Betrieb bewiesen ist, kann daher diese Luftvorwärmung außer Ansatz gelassen werden; auch die tatsächliche Lufttemperatur vor den Formen mit 55° C soll außer Rechnung bleiben. Nach den von Markgraf angegebenen Daten und der aufgestellten Bilanz war

der Verlust durch Staub	1,2%
der Wärmeverlust durch Schlacke und Roheisen	1,5%
der Verlust durch Wasserkühlung	3,8%
und der Verlust durch Strahlung, bzw. Restglied	3,1%

Man kann annehmen, daß der letztgenannte Verlustfaktor auf den oberen Schachtteil entfällt, während die Wasserkühlung für das Gestell in Rechnung zu setzen ist; die Verluste im Staub kommen hier nicht in Betracht, weil diese Mengen der Reaktionszone entzogen sind. Von der Schmelzwärme der Schlacke ist ein Teil bereits im oberen Schachtteil aufgebraucht. Durchschnittlich wird man daher für die Reaktion vor den Formen mit einem Verlust von 5% rechnen können. Es treten nach Gleichung (2) in Umsetzung



Die 12 kg C bringen bei 0,45 mittlerer spezifischer Wärme zwischen 0 und 1600° mit sich:

$$1600 \cdot 0,45 \cdot 12 = 8640 \text{ Kal.}$$

Außerdem kommen mit 12 kg C etwa 1 kg Aschenbestandteile in die Reaktionszone und enthalten diese bei 0,2 mittlerer spezifischer Wärme

$$1600 \cdot 0,2 \cdot 1 = 320 \text{ Kal.}$$

Die Verluste sind, da bei obiger Gleichung $12 \cdot 8100$ Kal. als C in Reaktion treten,

$$0,05 \cdot 12 \cdot 8100 = 4960 \text{ Kal.}$$

Da die Bestimmung der Temperatur nur auf Grund einer Näherungsrechnung durchgeführt werden kann, sei 1600° vorläufig angenommen.

Die spezifische Wärme für 1 kg CO, bzw. N₂ ist im Intervall zwischen 0 und 1600° 0,279; somit errechnet sich die Temperatur zu

$$\frac{29440 + 8640 + 320 - 4960}{0,279 \cdot (28 + 52,96)} = 1690^\circ.$$

Diese errechnete Temperatur stimmt gut mit den beobachteten überein und ist auch nahezu gleich derjenigen, die Le Chatelier¹⁾ für diese Umsetzung mit 1630° und Richards²⁾ mit 1681° ermittelt hat.

Da die Gase mit 800° aus dem Gaserzeuger abziehen, und bei dieser Temperatur die mittlere spezifische Wärme der beiden Bestandteile 0,260 ist, werden im Schacht abgegeben:

$$(1690 \cdot 0,279 - 800 \cdot 0,260) \cdot (28 + 52,96) = 18520 \text{ Kal.}$$

Diese Wärmemenge muß ausreichen zur Vorwärmung des Brennstoffes und der Aschenbestandteile, wofür

$$8640 + 320 = 8960 \text{ Kal.}$$

benötigt werden; weiter ist daraus zu decken, die 5% übersteigenden Verluste mit Ausnahme des Staubverlustes, somit restliche 3,4% oder insgesamt 3300 Kal.

Schließlich wird auch zur Verdampfung und Überhitzung der Koksfeuchtigkeit Wärme benötigt; wenn der Koks bei 82% C mit 12,3% H₂O angenommen wird, was durchschnittlichen Werten entspricht, so sind für je 12 kg C daher 1,8 kg H₂O zu verdampfen und auf 800° zu überhitzen; dies benötigt ungefähr $1,8 \cdot 600 + 1,8 \cdot 700 \cdot 0,48 = 1685 \text{ Kal.}$

Nachgewiesen sind daher zusammen $8960 + 3300 + 1685 = 13945$, rd. 14000 Kal.

Rechnungsmäßig fehlen daher etwa 4500 Kal.

oder rd. 4%, die für andere Arbeiten aufgewendet sein müssen. Dies ist auch der Fall, wie schon aus dem Gehalt von 0,5% CH₄ hervorgeht. Koks enthält immer noch geringe Mengen flüchtiger Bestandteile, für deren Destillation Wärme erforderlich ist. Auch sind die spezifischen Wärmen der festen Körper bei den hohen Temperaturen nicht genau bekannt und möglicherweise höher als eingesetzt. Schließlich ist ja auch das Restglied der Bilanz die Sammelstelle für alle Bestimmungsfehler. In Anbetracht aller dieser Umstände wird man das Ergebnis der Rechnung als befriedigend ansehen können.

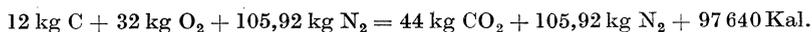
Tatsächlich müssen die Temperaturen noch höhere sein, da ein geringer CO₂-Gehalt vorhanden ist, und zweifellos vor den Formen CO₂

¹⁾ Le Chatelier: Le Chauffage industriel. Paris 1912. Deutsche Übersetzung von Dr. Finkelstein. Akad. Verlagsges. Leipzig 1922. Vgl. auch Brandes: Feuerungstechnische Theoreme aus Le Chatelier Ft. Jg. 3, H. 12.

²⁾ J. W. Richards: Übersetzt von Steck. Ft. Jg. 3, H. 1.

in wesentlich größeren Mengen auftritt, die dann reduziert werden. Beide Vorgänge zusammen ergeben die gleiche Wärmetönung, da Gleichung (2) sich auch aus (1) und (3) errechnen läßt. Da aber notwendigerweise beide Umsetzungen nacheinander vor sich gehen, wird auch die tatsächliche Temperatur eine höhere sein, und es sei daher zum Vergleich die Höchsttemperatur bei der Bildung von CO_2 ermittelt.

Es treten dann in Reaktion



Bei näherungsweise angenommenen 2400° ist die vom C mitgebrachte Wärme

$$2400 \cdot 0,45 \cdot 12 = 12\,960 \text{ Kal.},$$

diejenige der Aschenbestandteile

$$2400 \cdot 0,2 \cdot 1 = 480 \text{ Kal.}$$

Die Verluste werden zwar wegen der höheren Temperatur größer sein, seien aber nur mit 5% eingesetzt, also gleich wie vorher. Die mittlere spezifische Wärme von N_2 bei 2400° ist 0,290, diejenige von CO_2 aber 0,572. Die Temperatur ist dann:

$$\frac{97\,640 + 12\,960 + 480 - 4960}{0,290 \cdot 105,92 + 0,572 \cdot 44} = 2550^\circ.$$

Für die gleiche Reaktion berechnet Le Chatelier nur 2260° und Richards 2194° , hauptsächlich auf Grund anderer spezifischer Wärmen. Für unsere Betrachtung kommt es aber nicht auf die absolute Höhe der Temperatur an, sondern lediglich darauf, zu zeigen, daß die Temperaturen sowohl bei der Bildung von CO , als auch noch mehr bei teilweiser Bildung von CO_2 so hoch ausfallen, daß auch die höchstschmelzbaren Aschen verflüssigt werden und auch die ff. Ausmauerung gewöhnlicher Gaserzeuger nicht standhalten kann. Weiter ist darin auch ein Beweis für die auf S. 49—50 beschriebenen und in Abb. 7 dargestellten Umsetzungen zu erblicken. Da tatsächlich Aschen mit Schmelzpunkten über 1500° ohne Schwierigkeit im Gaserzeuger standhalten, müssen sowohl die ursprüngliche Bildung von CO , als auch die Verbrennung derselben zu CO_2 und die wieder eintretende Reduktion letzterer zu CO zeitlich nacheinander und räumlich nebeneinander vor sich gehen.

Als eine Luftgaserzeugung größten Stiles müssen hier im Zusammenhang die Vorgänge in den Schachtöfen bezeichnet werden, besonders dann, wenn es sich nicht um einen reinen Brenn- oder Schmelzbetrieb (z. B. Kalkbrennen, Metallschmelzen u. dgl.), sondern um ein reduzierendes Schmelzen (Hochofenbetrieb) handelt. Je umfangreicher die dabei zu leistende Reduktionsarbeit ist, desto heizkräftiger sind die

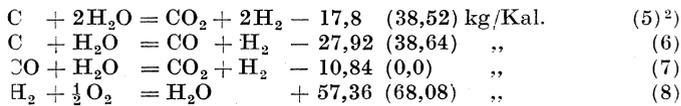
Gase. Während man z. B. beim Kupolofen mit etwa 10–14% CO im Gase auskommt, ist der Anteil bei den Kupferhochöfen bereits 20–25% und beim Eisenhochofen 25–30%. Man hat es daher oft vorteilhaft gefunden, den Hochofen mehr oder weniger, selbst auf Kosten eines höheren Brennstoffverbrauches, zu einem Gaserzeuger zu machen und dieses als Heizgas für die ganzen angeschlossenen Hüttenbetriebe zu verwenden.

Die Hochofengas-Zusammensetzung schwankt nach dem Gesagten je nach der Reduzierbarkeit der Erze in weiten Grenzen und wird auch durch etwa hinzutretendes CO₂ aus anwesenden Karbonaten (sowohl Erze wie Kalkstein als Schlackenbildner) beeinflusst. Als Grenzwerte können nach Jüptner¹⁾ angesehen werden:

CO ₂	5	–	16	%	im Mittel	12	%
CO	20	–	32	%	„	„	24
H ₂	0,1	–	4,5	%	„	„	2
CH ₄	0,2	–	2,5	%	„	„	2
N ₂	56	–	63	%	„	„	60
Heizwert	700	–	1050	Kal.	„	„	900

3. Halbgas, Dampf-gase.

Die vorstehend berechneten hohen Umsetzungstemperaturen und die damit verbundenen Betriebsschwierigkeiten haben bereits mit dem Aufkommen der Gaserzeuger dazu geführt, kühlende Mittel der Vergasungsluft beizumischen. Am naheliegendsten war dafür Wasser, bzw., da es sich um Gasreaktionen handelte, Dampf. Auch der im Wasserdampf enthaltene O₂ reagiert mit dem C unter Freiwerden von H₂, hierfür kommen nachfolgende Umsetzungen in Betracht:



Wie man sieht, sind alle drei möglichen Umsetzungen nach (5), (6) und (7) wärmeverzehrend, daher geeignet, die Temperatur im Gaserzeuger

¹⁾ Jüptner: Heizgase der Technik. S. 190. Leipzig: Felix 1920.

²⁾ Die Klammerwerte gelten für die Anwendung von flüssigem Wasser anstatt Wasserdampf, stellen also im Fall der Gleichung (8) bei der Verbrennung des gebildeten Wasserstoffes den sogenannten oberen Heizwert dar. Die Bildung von flüssigem Wasser bei der Verbrennung kommt allerdings tatsächlich nie in Frage, wenn man nicht künstliche Mittel, wie z. B. in der Verbrennungsbombe, anwendet. In der Regel rechnet man mit den unteren Heizwerten, und daher sind die erstgenannten Zahlenwerte maßgeblich.

zu erniedrigen. Gleichung (8) ist die Verbrennungsgleichung für den gebildeten H_2 . Es war nun naheliegend, das Vergasungsverfahren so auszubilden, daß weder eine Bindung noch eine Entbindung von Wärme in Frage kommt. Tatsächlich hat auch dieses Verfahren der Vergasung mit einem Luftdampfgemisch in der Entwicklung die größte Bedeutung erlangt.

Man gibt dabei so viel Dampf der Vergasungsluft zu, als der Brennstoff und die Bestimmung des erzeugten Gases erlaubt, und vermeidet so Verschlackungen und damit Verluste in den Rückständen, eine zu große fühlbare Wärme des Gases und übermäßige Verluste durch Strahlung, wie die nachfolgende Gegenüberstellung der Versuche von Wendt¹⁾ in Zahlentafel 15 zeigt.

Zahlentafel 15. Versuche von Dr. Wendt.

Es wurden umgesetzt	bei der Luftgaserzeugung %	bei der Mischgaserzeugung %
auf dem Roste des Dampfkessels	0,31	4,78
in der im reinen Gase enthaltenen ausnutzbaren Wärme	71,40	74,80
in der im Teer enthaltenen ausnutzbaren Wärme	5,70	6,08
in der im Ruß enthaltenen ausnutzbaren Wärme	0,32	0,05
in fühlbare Wärme des ungereinigten Gases	12,54	9,92
in fühlbare Wärme des Rostdurchfalls	1,15	0,08
in strahlende Wärme des Generators	8,58	4,29
zusammen:	100,00	100,00

In Zahlentafel 16²⁾ sind die nach dem Gesagten in Frage kommenden grundsätzlichen Verfahren sowohl hinsichtlich ihrer Besonderheiten, als auch hinsichtlich der dafür verwendeten Gaserzeugerbauarten und der erzielten Gaszusammensetzung übersichtlich zusammengestellt, und zwar einmal, wenn es sich um die Verarbeitung gasarmer Kohlen handelt (Koks), und das andere Mal bei der Vergasung der üblichen mehr oder weniger gasreichen Brennstoffe (Kohlen schlechweg). Bei dem letzteren Verfahren tritt praktisch eine Verbindung des Vergasungsverfahrens mit dem Destillations- oder Entgasungsverfahren ein. Es ist naturgemäß, daß zwischen allen dargestellten Verfahren enge Zusammenhänge und Übergänge bestehen, wie ja auch die Eigenschaften der Brennstoffe selbst in weiten Grenzen schwanken.

Die älteste praktische Erprobung des Dampfzusatzes stammt von Ebelmen (1841), der bei seinen Versuchen in dem ersten Schlackenschmelzgaserzeuger folgende Ergebnisse erhielt, wie sie in Zahlentafel 17 angegeben sind.

¹⁾ Forschungsarbeiten. H. 31.

²⁾ Nach Trenkler: Chemie der Brennstoffe. Leipzig: Spamer.

Zahlentafel 16. Grundsätzliche Verfahren der Vergasung.

Beschaffung d. Sauerstoffs zur Vergasung durch:		Luft	Luft und Dampf	Dampf
Verfahren ist:		wärmeenthbindend	annähernd im Wärmegleichgewicht	wärmeverzehrend
Daher:		große Eigenwärme des Gases	geringe Eigenwärme des Gases.	entweder: mit Außenheizung (praktisch nicht ausgeführt) oder: unterbrochen mit abwechselndem Heißblasen durch Luft (Heißblasen gehen verloren oder werden getrennt aufgefangen und verwertet)
Brennstoff	Gasart:	Luftgas, Heißgas	Halbgas, Sauggas	Wassergas
	übliche Gas-erzeuger:	einfache Schachtig-Abstichgaserzeuger	Sauggaserzeuger	Wassergaserzeuger
	Gaszusammensetzung:	2 % CO ₂ , 32 % CO, 2-5 % H ₂	7 % CO ₂ , 22 % CO, 18 % H ₂	5 % CO ₂ , 42 % CO, 46 % H ₂
	Besonderes:	Gastemperaturen: 700-800° C. Früher kaum angewandt, erst seit Einführung d. Abstichgaserzeuger	Gastemperaturen und Zusammensetzung in weiten Grenzen schwankend (obige m. max. H ₂)	Hohe Heizkraft d. Gases, daher Ersatz f. Leuchtgas. Geringe Wärmeausnutzung, wenn Heißblasen nicht bes. Verwendung. (Gasmasch.)
gasarm, Koks	Gasart:	Luftgas, Siemensgas	Halbgas, Mischgas	Doppelgas, Trigas usw.
	übliche Gas-erzeuger:	einf. Schachtigaserz.	neuer Schachtigaserz. Drehrostgaserzeuger	Wassergaserz. m. Retorten-aufbau, Doppelgaserz. u. ähnl.
	Gaszusammensetzung:	5 % CO ₂ , 23 % CO, 6 % H ₂ , 3 % CH ₄	3 % CO ₂ , 28 % CO, 12 % H ₂ , 3 % CH ₄	7 % CO ₂ , 28 % CO, 45 % H ₂ , 8 % CH ₄
	Besonderes:	Jetzt kaum mehr verwendet	Gebräuchlichste Gasart f. Heizzwecke. Zusammsetz. je n. Dampf-zusatz schwankend	Hohe Heizkraft: Wärmeaus-nutzg. mäßig. Idealer Ersatz f. Leuchtgas, da bei allen Brenn-stoffen anwendbar
gasreich, Kohle			<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 10px;">}</div> <div>siehe unten</div> </div>	
			Kaum angewandt, da geringe Ausbeute an Nebenprodukten	
			Dampf- und Mondgas	
			Mondgaserzeuger	
			16 % CO ₂ , 12 % CO, 25 % H ₂ , 4 % CH ₄	
			Gastemperaturen nie-drig. Zusammensetzung bei allen Brennstoffen nahezu gleich	

Zahlentafel 17. Versuche von Ebelmen 1841.

Volumen %	Wenn nur Luft eingelassen wurde	Wenn Luft und Wasserdampf eingelassen wurde		Mittel von 2 und 3
	1	2	3	
CO ₂	33,04	27,62	26,70	27,2
CO	4,43	14,29	13,65	14,0
H ₂	0,41	5,65	5,49	5,5
N ₂	62,12	52,44	54,16	53,3

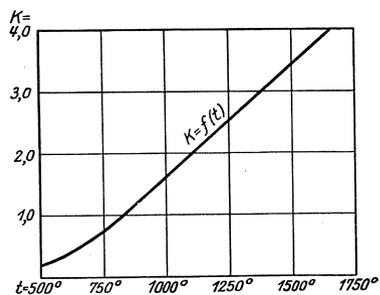
Auch die oben genannten Reaktionen wurden eingehend von Forschern untersucht. Insbesondere seien die Versuche von Harries¹⁾ erwähnt, die sich in erster Linie auf Gleichung (6) erstrecken und die in Zahlentafel 18 wiedergegeben sind. Schon bei diesen Versuchen zeigte

Zahlentafel 18. Versuche von Harries.

Temperatur °C	Gasstrom l/min	H ₂ O	CO	H ₂	CO ₂	$\frac{[\text{CO}] \times [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}_2] \times [\text{H}_2]}$	K berechnet von Luggin
		%	%	%	%		
674	0,9	87,12	0,63	8,41	3,84	1,70	0,49
758	1,8	65,82	2,67	22,28	9,23	0,85	0,70
838	3,28	47,15	7,96	32,77	12,11	0,94	0,98
861	5,3	39,18	11,01	36,48	13,33	0,89	1,07
954	6,3	17,21	32,70	44,43	5,66	2,25	1,41
1010	6,15	3,02	48,20	47,30	1,45	2,12	1,65
1060	9,8	3,68	46,31	48,84	1,25	2,78	1,88
1125	11,3	0,30	48,34	50,73	0,60	0,48	2,11

sich, daß sich neben CO auch CO₂ bildet, daß also Gleichung (5) und (6) zusammen in Erscheinung treten, bzw. daß die sämtlichen in Gasform anwesenden Bestandteile gemäß Gleichung (7) in Wechselwirkung treten.

Letztere Gleichung stellt eine umkehrbare Reaktion dar und wird das sogenannte Wassergasgleichgewicht genannt. Bei diesem ist das Eintreten des Gleichgewichtszustandes von der Menge der aufeinander reagierenden Stoffe abhängig und ist daher das Mengenverhältnis $(\text{CO} \cdot \text{H}_2\text{O}) : (\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2)$ im Sinne der Reaktionsgleichung in Spalte 7 angegeben. Aus diesem hat später Luggin die Werte der Gleichgewichtskonstanten in Spalte 8 errechnet, die auch unabhängig davon durch Hahn²⁾ ermittelt und wie in Abb. 8 zu ersehen graphisch dargestellt wurden. Ähnliche Versuche haben später Clement

Abb. 8.
Wassergasgleichgewicht nach Hahn.

1) J. f. G. 1894, S. 82.

2) Z. f. phys. Ch. 1903, S. 385.

Zahlentafel 19. Versuche von Bone und Wheeler.

	Versuchsreihe 2					Versuchsreihe 1				
	45	50	55	60	70	60	65	70	75	80
Mittlere Höhe des Brennstoffbettes . . . m	2,35	2,50	4,40	5,10	9,25	5,25	6,95	9,15	11,65	13,25
Mittlere Durchsatzleistung . . . kg/Std.	31,60	30,60	28,10	27,30	20,85	27,30	25,40	21,70	18,35	16,05
Dampfsättigungstemperatur der Ver- gasungsluft . . . °C	11,60	12,35	15,45	15,50	19,75	16,60	18,30	19,65	21,80	22,65
Zusammensetzung des Gases	CO ₂ %	3,05	3,00	3,05	3,45	3,35	3,40	3,40	3,35	3,50
	H ₂ %	51,40	51,55	49,05	49,05	46,70	47,50	46,10	44,85	44,55
	CH ₄ %	46,25	45,95	46,45	45,85	44,05	47,25	47,10	43,30	42,2
	N ₂ %	1600	1590	1610	1600	1570	1670	1669	1598	1549
Brennbare Bestandteile %	1520	1500	1510	1490	1480	1557	1547	1469	1416	1382
Heizwert des Gases bei (oberer } Kal./cbm °C und 760mm W.-S. { unterer }	3790	3750	3760	3820	—	3810	3704	3898	4012	4065
Gasausbeute, bezogen auf 0° C und 760 mm cbm/t Kohle	0,20	0,21	0,32	0,45	0,80	0,45	0,55	0,80	1,10	1,55
Dampfmenge auf 1 kg vergaster Kohle kg Zersetzer Dampf %	100	100	100	76	—	87	80	61	52	40
Thermischer Wirkungsgrad einschließlich des Dampfes für die Gebläsemaschine . . . %	0,73	0,718	0,722	0,725	—	0,778	0,750	0,727	0,701	0,665
Ammoniak im Gase, ausgedrückt als Am- moniumsulfat auf 1 t Kohle kg	—	—	—	—	—	17,7	19,97	22,9	29,15	32,8

und Adams¹⁾ sowie Gwosdz²⁾ mit verschiedenen Kohlenstoffarten durchgeführt, um festzustellen, ob für das jeweilige Vorwalten der Reaktionen nach (5) oder (6) möglicherweise katalytische Einflüsse maßgeblich sind. Es zeigte sich, daß die Geschwindigkeit der Wasserdampferzeugung bei porösen Kohlen (z. B. Holzkohle) am größten ist, und daß andererseits die Aschenbestandteile der natürlichen Kohlen eine Erhöhung des CO₂-Anteiles verursachen.

Mehr vom praktischen Standpunkt, also durch Versuche an Gaserzeugern, sind diese Verhältnisse durch Arbeiten von Bone und Wheeler³⁾ und Dr.-Ing. K. Neumann⁴⁾ aufgeklärt

1) U. S. Bureau of Mines. Bull. 7.

2) Gwosdz: Über die Zersetzung von Wasserdampf an glühender Kohle. Diss. Berlin 1917. S. auch Glückauf 1918, S. 357.

3) Engineer. 1907, S. 639, 1908, S. 837 und 874.

4) Forschungsarbeiten. H. 140. S. auch Z. d. v. d. I. 1911, S. 892.

worden. Erstere untersuchten die Arbeitsbedingungen an einem Mondgaserzeuger und fanden dabei die in Zahlentafel 19 niedergelegten Ergebnisse. Dabei wurde eine nord-englische Steinkohle mit 78% C, 5,4% H₂, 1,0% S, 1,4% N₂, 10,0% O₂, 4,2% Asche und 36% flüchtigen Bestandteilen verarbeitet. Durch die Beimischung der Destillationsanteile sind diese Versuche für theoretische Schlüsse weniger geeignet, was auch nicht beabsichtigt war. Jedenfalls er-sieht man aus denselben aber die bei höherem Dampfzusatz schnell abnehmende und sehr unvollkommen werdende Zer-setzung des Dampfes. Trotz-dem weist das Gas einen sehr hohen H₂-Gehalt auf, so daß es von gewöhnlichem Halb-gas außerordentlich abweicht; es weist bei allen verschiedenen Brennstoffen eine nur wenig abweichende Zusammen-setzung auf, und wird daher nach dem Erfinder, bzw. Ein-führer des Verfahrens in die Praxis, Ludwig Mond, all-gemein als Mondgas bezeich-net. Da aber der Mondprozeß ein ganz bestimmter ist, und auch ähnliche, wenn auch wenig abweichende Verfahren bekannt sind, wurden diese Gase in der Einteilung Dampf-gase genannt. Die chemischen Grundlagen bei der Her-stellung dieser sind die gleichen wie beim Halb-gas, weshalb

Zahlentafel 20. Versuche von Dr. Neumann.

Versuche Nr.	7	8	9	10	11	12
Wasserdampfanteil des Dampf-luftgemisches für 1 Raumteil cbm/Std.	0,335	0,244	0,184	0,140	0,137	0,117
Eingeblasene Luftmenge (15° 1 Atm.)	36,8	56,3	81,9	113,4	128,0	147,3
CO ₂ Vol. %	8,81	8,39	6,88	5,26	4,73	4,11
H ₂ " "	11,68	16,10	20,22	24,02	23,35	25,84
CH ₄ " "	12,12	11,39	10,31	9,49	9,09	9,19
H ₂ O " "	0,23	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29
N ₂ " "	22,60	14,35	9,46	5,99	5,28	4,15
Temperatur °C	44,56	49,51	52,86	54,96	55,27	56,42
Gleichgewichtskonstante K	1120	1180	1220	1260	1280	1290
K' = $\frac{[\text{CO}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}_2] \cdot [\text{H}_2]}$	2,05	2,27	2,42	2,57	2,64	2,68
Unterer Heizwert für 1 cbm Kal.	2,47	2,42	2,70	2,88	3,12	2,84
Vergaster Kohlenstoff kg/Std.	720	863	919	978	1000	1005
Wasserdampf auf 1 kg C kg	7,00	11,36	17,69	25,35	28,60	33,00
	1,820	1,105	0,708	0,495	0,459	0,379

Zahlentafel 21 Vergasungsversuche von Dr.-Ing. Kurt Neumann. — Zusammenstellung.

Versuch	Luft 15° cbm/Std.		Dampf kg/Std.						Zusammensetzung des trockenen Endgases						Temperatur °C	Trock. Gas 15° cbm/Std.	H ₂ O-Dampf im Gas 15° cbm/Std.	H ₂ O im Rohgas %	Vergaster C kg/Std.	Vergaster C kg/Std./qm	H ₂ O-Dampf gr auf 1 cbm trockene Luft	Sättigungstemp. der Luft °C	H ₂ O-Dampf kg/1 kg C
	aus Luft	einge- blasen	Σ	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄									
1	59,6	0,84	24,60	25,44	12,1	—	16,0	16,0	0,6	55,3	420	86,3	24,2	21,97	12,18	70	451	74	2,09				
2	81,2	0,91	24,30	25,21	11,8	—	18,0	16,4	0,4	53,4	450	116,9	22,8	16,40	17,37	101	327	69	1,45				
3	101,0	1,21	24,20	25,41	8,8	—	21,2	15,1	0,7	54,2	460	144,8	20,3	12,35	21,82	126	265	65	1,22				
4	122,1	1,47	24,20	25,67	7,4	—	23,5	14,2	0,6	54,3	530	174,1	18,1	9,40	26,99	156	211	61	0,95				
5	140,7	1,55	24,10	25,65	6,5	—	23,9	13,1	0,5	56,0	490	199,8	16,3	7,52	30,38	175	192	60	0,85				
6	148,9	1,64	23,20	24,84	6,9	—	25,2	12,1	0,2	55,6	500	211,2	12,7	5,56	33,59	194	175	58	0,74				
7	36,8	0,62	12,75	13,37	13,3	—	13,4	14,3	0,2	58,8	350	49,8	14,7	22,40	6,58	38	383	71	2,03				
8	56,3	0,65	12,55	13,20	10,4	—	18,0	11,5	1,0	59,1	410	76,6	11,6	13,18	11,08	64	247	64	1,19				
9	81,9	0,90	12,50	13,40	6,6	—	24,9	11,6	0,8	56,1	480	112,6	9,6	7,88	17,90	103	173	58	0,75				
10	113,4	0,94	12,55	13,49	5,2	—	27,3	10,0	0,5	57,0	510	156,8	8,8	5,49	25,45	147	125	52	0,53				
11	128,0	1,57	13,10	14,67	3,9	—	29,3	10,8	0,1	55,9	500	175,9	8,7	4,76	28,82	167	120	51	0,51				
12	147,3	1,68	12,50	14,18	3,8	—	27,6	9,5	0,2	58,9	530	201,9	11,4	5,43	31,40	182	101	48	0,45				
13	58,5	0,57	—	0,57	3,8	—	23,8	1,9	0,1	68,4	360	67,1	1,8	2,62	9,80	57	10,3	10	0,058				
14	75,8	0,83	—	0,83	5,5	—	24,4	2,9	0,7	66,5	430	88,4	2,2	2,45	13,30	77	11,5	12	0,062				
15	98,2	1,13	—	1,13	3,0	—	29,0	2,8	0,3	64,9	440	116,0	2,3	2,02	18,42	106	12,1	13	0,061				
16	121,8	1,18	—	1,18	3,0	—	28,1	2,8	1,1	65,0	520	146,0	2,2	1,65	23,10	134	10,1	10	0,051				
17	152,0	1,46	—	1,46	2,5	—	29,7	3,6	0,4	63,8	550	184,1	1,2	0,82	29,55	171	10,0	10	0,049				

hier beide zusammengefaßt wurden. Über das Mondverfahren wird an späterer Stelle noch ausführlich berichtet.

Die Versuche von Neumann wurden dagegen unter dem Gesichtspunkt grundlegender Forschungen angestellt und ist die „Die Vorgänge im Gasgenerator auf Grund des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik“¹⁾ betitelte Arbeit für die Beurteilung des Halbgasprozesses von ausschlaggebender Bedeutung geworden. Die Versuche wurden mit Koks in einem Gaserzeuger von 0,47 m \varnothing ausgeführt, und zwar bei verschiedener Beimengung von Dampf zu wechselnden Windmengen. Die Gase wurden jeweils aus fünf verschiedenen Schichten der Brennstoffsäule und aus dem Gasraum entnommen. Die für mittlere Betriebsverhältnisse am meisten in Frage kommenden Versuche sind in Zahlentafel 20 wiedergegeben, und sieht man daraus die Entwicklung der ganzen Umsetzungsvorgänge. Eine Zusammenstellung der bei allen 17 Versuchen gewonnenen Endgase unter den verschiedenen Bedingungen zeigt weiter Zahlentafel 21. Die Auswertung der Ergebnisse für das Studium des Wassergasgleichgewichtes zeigte nun, daß bei mittlerem Dampfgehalt der Luft (etwa bis 0,4 kg Dampf auf 1 kg Kohle) dasselbe bereits in der untersten Brennstoffschicht über dem Rost erreicht wird, wobei die Temperaturen zwischen 1300° und 1400° liegen. Nimmt der Dampfzusatz, bzw. die Anfangskonzentration des Wasserdampfes (Teildruck des Wasserdampfes im DampfLuftgemisch) zu, so müssen die Luftgeschwindigkeiten abnehmen, damit das Wachsen des Wasserdampfgehaltes durch die Vergrößerung der Reaktionszeit ausgeglichen wird. Die Vergasung des festen Kohlenstoffes ist in den untersten Schichten nicht beendet. Es zeigt sich bei allen Versuchen, daß Dampfzersetzung, Reduktion der ursprünglich gebildeten CO_2 zu CO und Neubildung von CO auch in den übrigen Brennstoffschichten stattfinden. Eine große Schütthöhe ist demnach nicht nur der Reduktion der CO_2 günstig, sondern bewirkt auch außerdem eine Vermehrung des Gases an CO und H_2 und Abnahme an unzersetztem Wasserdampf, der aus thermischen Gründen stets schädlich ist. Für die Beschaffenheit des Kraftgases ist jedoch seine Zusammensetzung in der untersten Schicht vor allem bestimmend, da die Veränderungen, die der Gasstrom in den höher liegenden Schichten erfährt, nur zusätzlicher Art sind. Hieraus erklärt sich auch die Wichtigkeit, welche die Wassergasreaktion für die gesamte Gaserzeugung besitzt, da sie zumeist die Gasphase der untersten Schicht festlegt.

Es kommt aber nicht nur auf die Erreichung des Gleichgewichtes an, sondern die Verhältnisse müssen so gewählt werden, daß von den beiden möglichen Reaktionen (5) und (6) die letztere überwiegt. Hierauf

¹⁾ Forschungsarbeiten. H. 140.

kann durch die richtige Bemessung des eingeblasenen Wasserdampfes bestimmend eingewirkt werden. Da von den Bestandteilen nur CO und H₂ einen Heizwert besitzen, so müssen die äußeren Bedingungen bei der praktischen Gaserzeugung so gewählt werden, daß vorzugsweise CO und H₂ entstehen. Das wird nur durch die richtige Wahl von Luft- und Dampfmischung erreicht, da hohe Temperatur allein — wie Versuch 7 schlagend beweist — auch beim Erreichen des Gleichgewichtes eine Bildung von viel CO₂ und H₂O-Dampf nicht ausschließt. Der schädliche Einfluß, den eine zu reichlich bemessene Dampfungabe auf die Gaszusammensetzung ausübt, wird um so mehr in Erscheinung treten, je geringer die Schütthöhe ist, da dann dem in der untersten Schicht erzeugten Gas die Möglichkeit fehlt, den Überschuß an Wasserdampf und CO₂ in H₂ und CO umzusetzen.

Man erkennt, daß etwa 0,4 kg Wasserdampf auf 1 kg Kohle das beste Gas liefert. In praktischen Betrieben ist man oft aus anderen Gründen gezwungen, mehr Wasserdampf als erwünscht einzublasen, um Nachteile zu mindern, die in der Beschaffenheit des Brennstoffes liegen. Das erzeugte Gas wird dann immer geringeren Heizwert besitzen als im normalen Fall und man wird sich mit diesem Ergebnis abfinden müssen, da die Forderung ungestörten Generatorganges schwerer wiegt, als das Verlangen nach höchster Ausnutzung des Brennstoffes.

Für den Eintritt des Wassergasgleichgewichtes unmittelbar über dem Rost müssen demnach stets die beiden Bedingungen erfüllt sein, daß die Zeit und der katalytische Einfluß der Kohle hinreichend groß sind, um die durch die Vergasung des C und Zersetzung des Wasserdampfes entstehenden Gase miteinander ins Gleichgewicht zu setzen. Hierbei ist anzunehmen, daß diese Betrachtungen auch auf andere Brennstoffe als Koks ausgedehnt werden dürfen, da der in den untersten Schichten jeden Gaserzeugers zur Vergasung kommende Brennstoff sich reinem C immer mehr oder weniger nähern wird. Die Temperatur bleibt hierbei außer Betracht, da sie in der untersten Schicht wohl immer genügend hoch liegt. Für die ausgeführten Versuche fällt sie nie unter 1220°.

Die Wichtigkeit des Gleichgewichtes zwischen festem Brennstoff und Gas nach Gleichung (3) tritt gegen das Wassergasgleichgewicht nach Gleichung (7) bei der Gaserzeugung zurück, da die zur Verfügungstehende Zeit trotz der starken katalytischen Wirkung der Kohle niemals ausreicht, die Gase mit der Kohle ins Gleichgewicht zu setzen. Die von verschiedenen Forschern bei der Untersuchung des Kohlensäure-Kohlenoxyd-Gleichgewichtes erhaltenen Ergebnisse dürfen nicht unmittelbar auf die Vorgänge im Gaserzeuger übertragen werden, weil der Eintritt des Gleichgewichtes nicht nur von Druck und Temperatur, sondern auch von der Zeit abhängt, die von vorhandenen Katalysatoren beein-

flußt wird. Die Reaktionszeiten im Gaserzeuger sind meist bei weitem kürzer als bei solchen Versuchen.

Schließlich beschäftigen sich die Untersuchungen von Dr. Neumann noch mit der Veränderung des Gases beim Verlassen der Brennstoffschicht. Es wurde dabei in allen Fällen eine wesentliche Verschlechterung, und zwar in den Grenzen von 10—27% festgestellt. Es ist nicht zu leugnen, daß möglicherweise auch noch in den obersten Brennstoffschichten und beim Austritt aus diesen, Umsetzungen des Gases eintreten, eine Veränderung in dem festgesetzten Umfang müßte jedoch, wie C. le Chatelier¹⁾ feststellt, mit einer sehr erheblichen Rußabscheidung verbunden gewesen sein. Es ist trotz der Abrede von Dr. Neumann wahrscheinlich, daß ein großer Teil der Gasverschlechterung auf den Einfluß der CO₂-reicheren Randgase zurückzuführen sein dürfte.

Im übrigen wird man den Schlüssen von Dr. Neumann voll beipflichten können, und man muß dabei nur beachten, daß dieselben lediglich für eine Vergasung mit einem geringeren Dampfzusatz als 0,4 kg auf 1 kg C Geltung haben. Da hierbei Kokskohlenstoff, also fixer C in Frage kommt, entspricht die genannte Grenze einem Dampfzusatz von 0,10 bis 0,12 kg je 1 cbm Luft, und dies ist erfahrungsgemäß für die meisten praktischen Fälle nicht ausreichend. Bei einem erhöhten Dampfzusatz wird das sogenannte Wassergasgleichgewicht nicht erreicht, bzw. der Anteil an unzersetztem Dampf ist ein höherer, als dem Gleichgewicht entspricht.

Es folgt hieraus und ist ja logisch, daß die Umsetzungen mit dem festen C genügend weit vorgeschritten sein müssen, wenn auch ein Gleichgewicht nicht erreicht wird, bevor sich das Wassergasgleichgewicht unter den gebildeten Gasbestandteilen auswirken kann. Dieses stellt sich sehr rasch ein, solange die Dampf Beimengung keine zu große ist. Die anderenfalls eintretende schlechte Dampfzersetzung ist nach den Versuchen auf die zu geringen Temperaturen zurückzuführen, obwohl sich augenscheinlich die Umsetzungen mit Dampf nach Gleichung (5), also der weniger wärmeverzehrenden, abspielen. Die Gesetzmäßigkeit der primären Umsetzungen ist also auch durch diese Versuche nicht klaggestellt; aus den Versuchen 1—6 ersieht man aber, daß die Möglichkeit eines Gleichgewichtes bei etwa 1100—1200° gegeben wäre, wenn sich nicht unterhalb dieser Temperaturen Umsetzungen abspielen würden. Es ist nun festzustellen, daß dabei die Bildung von CO aus CO₂ und auch die Bildung von H₂ aus H₂O vor sich geht, daß aber die letztere Umsetzung überwiegt. Mit anderen Worten lassen sich die Vorgänge bei erhöhtem Dampfzusatz wie folgt schildern: In den untersten

¹⁾ Vgl. St. u. E. 1913, S. 1485.

Schichten, die auf Temperaturen über 1100° sind, bildet sich einerseits CO nach Gleichung (2) [bzw. (2), (4), (3)] und andererseits CO_2 und H_2 nach Gleichung (5); das auftretende CO_2 wird nun nach Gleichung (3) reduziert, welche Umsetzung allerdings bei fallender Temperatur immer träger verläuft und bei etwa 800° ganz zum Stillstand kommt. Die Umsetzung nach Gleichung (5) scheint aber bis zu niederen Temperaturen vor sich zu gehen, was zum Teil den höheren CO_2 -Gehalt des Endgases erklären kann. Jedenfalls dürfen aber die Umsetzungen mit dem festen C bei der Beurteilung nicht vernachlässigt werden. Um eine möglichst weitgehende Dampfersetzung und günstige Gaszusammensetzung zu erhalten, müssen die Temperaturen in den unteren Schichten über 1100° sein, die Ergebnisse werden aber wesentlich bessere, wenn solche von 1300° eingehalten werden.

Es soll nun im nachstehenden auch für eine Halbgaserzeugung die Reaktionstemperatur rechnerisch überprüft werden. Es wurde hierfür Versuch 10 von Neumann gewählt. Die Zusammensetzung des Endgases war:

5,2% CO_2 , 27,3% CO, 10,0% H_2 , 0,5% CH_4 , 57,0% N_2 ,

bei einem Heizwert von 1132 Kal. und einer Temperatur von 510° . Die Dampfersetzung betrug 88%; die gemessene Höchsttemperatur war 1340° .

Für die Umsetzungen kommen die nachfolgenden Gleichungen in Frage:

- (1) 12 kg C + 32 kg O_2 + 105,92 kg N_2 = 44 kg CO_2 + 105,92 kg N_2 + 97 640 Kal.,
 (2) 12 „ C + 16 „ O_2 + 52,96 „ N_2 = 28 „ CO_2 + 52,96 „ N_2 + 29 440 „
 (5) 12 „ C + 36 „ H_2O = 44 kg CO_2 + 4 „ H_2 - 17 800 Kal.

Nach Gleichung (1) kommen auf 1 kg CO_2 stets 2,41 kg N_2 ,
 „ „ (2) „ „ 1 „ CO „ 1,89 „ N_2 ,
 „ „ (5) „ „ 1 „ H_2 „ 11,0 „ CO_2 .

Aus der Gaszusammensetzung errechnen sich die Gewichte der Gasbestandteile in 1 cbm zu:

102 g CO_2 , 341 g CO, 9,00 g H_2 , 3,6 g CH_4 , 717 g N_2 .

Nach Gleichung (2) fordern die 341 g CO einen Anteil von 644 g N_2 ; es verbleiben daher 73 g N_2 auf die Gleichung (1), so daß 30 g CO_2 aus dieser stammen müssen. Die restlichen 72 g CO_2 stammen aus der Reaktion (5) und entsprechen daher 6,55 g H_2 . Die restlichen 2,45 g H_2 ebenso wie die 3,6 g CH_4 rühren von Destillationsanteilen her; nachdem sie auch bei einer Bildung für die Umsetzungen ohne Einfluß sind, können sie daher vernachlässigt werden.

Zwecks Bildung von 1 cbm Gas der früher angegebenen Zusammensetzung muß daher die Gleichung (1) 0,122 mal, die Gleichung (2) 0,0068 mal und die Gleichung (5) 0,0164 mal vor sich gegangen sein.

Es wurden daher die nachstehenden Wärmemengen bei den Reaktionen frei:

nach Gleichung (1)	360 Kal.
„ „ (2)	65 „
„ „ (5)	— 29 „
zusammen	396 Kal.

Zu diesem Ergebnis kommt man nach einem Vorschlag von *Dichmann*¹⁾ wesentlich einfacher, wenn man sich auf Grund der Gesetzmäßigkeit der Gleichungen (1)—(8) überlegt, daß auf

je 1 kg gebildete CO ₂	eine Wärmemenge von	2220 Kal.	frei wird,
„ 1 „ „ CO	„ „ „	1050 „ „ „	„ „ „
„ 1 „ „ H ₂	„ „ „	28680 „	gebunden wird,

einerlei aus welcher Reaktion die gebildeten Stoffe herrühren. Man erhält dann im vorliegenden Falle nach Maßgabe der Gewichtsmengen

für CO ₂	226 Kal.
„ CO	358 „
„ H ₂	— 188 „
zusammen	396 Kal.

Die weitere Rechnung wird sich wie folgt stellen; die Temperatur sei näherungsweise mit 1200° angenommen. Da für 1 cbm Gas gemäß der Zusammensetzung 176,68 g C notwendig sind, bringen diese

$$0,1767 \cdot 1200 \cdot 0,45 = 95 \text{ Kal.}$$

und die Aschenbestandteile rd.

$$0,018 \cdot 1200 \cdot 0,2 = 4 \text{ Kal.}$$

mit in die Reaktion. Da die Asche nicht flüssig abgeführt wird, erwärmt sich die im Gegenstrom eingeführte Luft (= 0,717 kg N₂ · 1,19) an dieser bzw. den Rückständen vor Beginn der Reaktion; was die Luft jedoch auf diesem Wege einbringt, führen die Rückstände zugleich ab, so daß hierdurch keine Wärmezufuhr stattfindet. Die Verluste sind auf Grund einer Durchrechnung der Versuche von *Neumann* sowie anderer Autoren (z. B. *Wendt*) etwa 5% für Strahlung und Leitung, so daß man 3% für die Reaktionszone einsetzen muß. Es sind dies

$$0,03 \cdot 0,1767 \cdot 8100 = 43 \text{ Kal.}$$

für die umgesetzten 176,68 g C. Die mittlere spezifische Wärme von 1 cbm Gas bei 1200° und der angegebenen Zusammensetzung ist 0,345. Somit berechnet sich die Temperatur zu:

$$\frac{396 + 95 + 4 - 43}{1 \cdot 0,345} = 1300^\circ,$$

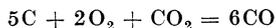
¹⁾ *Dichmann*: Der basische Herdofenprozeß. Berlin: Julius Springer 1910.

was mit der Beobachtung gut übereinstimmt. Die tatsächlich etwas niedrigere Temperatur ist wohl darauf zurückzuführen, daß der Wärmerückgewinn durch das Luft-Dampf-Gemisch nicht vollständig sein dürfte und daß auch die Gaszusammensetzung in der untersten Schicht etwas abweichend war.

Jedenfalls gibt diese Rechnung im Vergleich mit der früher gebrachten ein anschauliches Bild über die Unterschiede und zeigt, wie man derartige Kontrollrechnungen anstellen kann.

4. Regenerationsgase.

Anstatt Dampf kann man als kühlendes Mittel auch CO_2 verwenden, da Gleichung (3) ebenso wärmeverzehrend ist wie (5) und (6), und zwar für 1 Mol. C sogar in größerem Ausmaße. Die CO_2 -haltigen Abgase bei der Verbrennung des Gases ließen es naheliegend erscheinen, zu diesem Mittel zu greifen. Trotzdem trat es verhältnismäßig spät in Anwendung, und zwar nicht aus dem eben angeführten Grund, sondern mit dem Grundgedanken einer chemischen Regeneration der Abgase. Siemens wollte mit seinem D.R.P. 69 651 (1881) zwecks Ersparnis an Brennstoff die Destillationsgase aus dem Füllschacht entnehmen, in einer Kammer verbrennen und dieses Abgas mittels Dampfstrahlgebläse (somit ein Abgas-Dampf-Gemisch) unten in den Gaserzeugerschacht einführen. Weiter ausgeführt ist der Gedanke der chemischen Regeneration in den D.R.P. 72 891 (1892) und 72 899, die sich auf allgemeinere Anwendung von Ofenabgasen beziehen, und waren entsprechende Anlagen damals im Betrieb. Es ist selbstverständlich, daß man auf dem gedachten Weg nicht Generatorgas aus Abgasen herstellen kann, da hierfür ein zu großer Wärmeaufwand notwendig wäre, der auf andere Art und Weise dem Gaserzeuger zugeführt werden müßte. Ferd. Fischer¹⁾ hat sich eingehend mit dem Problem beschäftigt und kommt zu dem Schluß, daß man nur 1 Teil CO_2 für je 4 Teile O_2 einführen könne, daß also gewissermaßen der Gesamtvorgang nach der Gleichung



verlaufe, woraus sich bei Anwendung von reiner CO_2 eine theoretische Gaszusammensetzung von 44,3% CO und 55,7% N_2 errechnen würde. Tatsächlich würde man aber bei Abgasen wegen der Verdünnung mit N_2 eine vollkommene Zersetzung ohne Vorwärmung des Abgases nicht erreichen, und kommt er unter Berücksichtigung dieses Umstandes auf eine Zusammensetzung von

$$34,4\% \text{CO} \quad \text{und} \quad 65,6\% \text{N}_2.$$

¹⁾ Fischers Jahresberichte 1890, S. 190. Vgl. auch Fischer: Chem. Technologie der Brennstoffe. Bd. 2. Braunschweig: Vieweg.

Dabei wird eine Brennstoffausnutzung von 78% berechnet, welche als ungenügend bezeichnet ist. Da Siemens außerdem auch noch Dampf zuführt, berechnet Fischer bei einer Abgastemperatur von 1200° den Heizwert des Gases zu 1295 Kal. und kommt zu dem Schluß, daß die Regeneration von Abgasen ungünstiger ist als der Halbgasbetrieb, um so mehr als das Kreisen der großen Stickstoffmengen mit unvermeidlichen Verlusten verbunden ist. Er bezweifelt daher die in Aussicht gestellte bis 50%ige Brennstoffersparnis. Dieses Urteil Fischers hat in der Folge das Fachurteil durchaus beherrscht, und finden wir z. B. die gleiche Ablehnung bei Strache¹⁾. Auf beide Urteile stützt sich Gwosdz²⁾ in der Erwiderung auf eine Anregung Essichs³⁾, wobei er einen Minderverbrauch an Kohlenstoff für die Herstellung bestimmter Gasmengen in Abrede stellt und höchstens bei hohen Abgastemperaturen einen geringen Vorteil erwartet.

Dieses alte, trotz Wiederholung nicht richtiger gewordene Urteil bedarf aber einer Klarstellung. Abgas enthält gleich viel N als wie Luft; es sind lediglich an Stelle der 21 Teile O₂ ganz oder teilweise 21 Teile CO₂ getreten. Da sowohl nach Gleichung (2) als auch (3) auf 1 Teil C in gleicher Weise 1 Teil O₂ bzw. CO₂ in Reaktion tritt, kann weder eine Verdünnung noch eine Anreicherung eintreten bzw. erwartet werden. Alle Rechnerei ist überflüssig. Das Gas wird theoretisch immer die gleiche Zusammensetzung wie Luftgas (vgl. S. 51) aufweisen. (Vgl. auch die Ausrechnung Fischers im vorstehenden.) Der Unterschied ist aber der, daß nach Gleichung (2) nur 1 Mol. CO, nach Gleichung (3) jedoch 2 Mol. entstehen, wonach also eine Brennstoffersparnis bei der Erzeugung der gleichen Gasmengen entstehen muß. Selbst im Falle einer künstlichen Zufuhr von Wärme, falls es sich nicht um die Ausnutzung überschüssiger Reaktionswärmen handelt, gilt dies, solange der Wirkungsgrad eines solchen Verfahrens in brauchbaren Grenzen gehalten werden kann. Da nämlich der Wärmebedarf nach Gleichung (3) für das mehr entstehende Mol. CO 38,76 kg Kal. ist, während der Heizwert desselben nach Gleichung (4) 68,2 kg Kal. beträgt, muß eine Brennstoffersparnis sicher eintreten, wenn der Wirkungsgrad des Vorganges besser als $38,76:68,2 = 57\%$ ist, und das kann wohl nahezu für alle denkbaren Fälle angenommen werden.

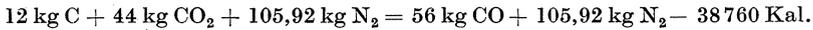
Wesentlich günstiger liegen die Verhältnisse beim Vergasungsvorgang. Dabei ist Reaktionswärme überschüssig und muß aus betrieblichen Gründen vernichtet werden. Als Beschränkung kommt nur hinzu, daß die Reaktionstemperatur nicht zu sehr erniedrigt werden darf, weil sonst die Vollständigkeit der Umsetzungen leidet. Nimmt man nach dem früher Gesagten als mindeste Reaktionstemperatur 1300° an, was nach

¹⁾ Handbuch der Gastechnik. Bd. 9, S. 201.

²⁾ Ft. Jg. 9, H. 9.

³⁾ Ft. Jg. 8, H. 22.

den zahlreichen Ergebnissen reichlich ist und wobei man mit vollständiger Reduktion der CO_2 rechnen kann, so ermittelt sich die beizumischende Abgasmenge wie folgt. Auf S. 53 wurde die bei der Umsetzung nach Gleichung (2) frei werdende Wärmemenge berechnet. Tut man dies in ähnlicher Weise, aber unter Berücksichtigung der niedrigeren Temperatur, eines Verlustes von nur 3%, weil die Schlackenschmelzwärme nicht in Frage kommt und einer Luftvorwärmung auf 1300° , so erhält man 36200 WE, wobei 80,96 cbm Gas entstehen. Zu dieser Gleichung tritt Gleichung (3) hinzu, die wir schreiben können:



Es gilt nun annähernd der Ansatz, wenn die Gleichung (3) x -mal vor sich geht, während sich Gleichung (2) einmal abspielt:

$$\frac{36200 + x \cdot 38760}{0,268 \cdot (80,96 + x \cdot 149,92)} = 1300$$

$$x = 0,089 .$$

Man erhält dann aus 13,068 kg C insgesamt 32,99 kg CO und 62,39 kg N_2 oder 26,4 cbm CO und 49,6 cbm N_2 , zusammen 76,0 cbm Gas. Die Zusammensetzung entspricht ziemlich genau der theoretischen. Da auf 1 kg C aber $76,0 : 13,068 = 5,81$ cbm gebildet sind, während nach Gleichung (2) nur 5,36 cbm entstehen, ist die mögliche Brennstoffersparnis ohne Vorwärmung rd. 8%. Die Beimischung an Abgasen beträgt 16,25% der Gesamtmenge bzw. 19,4% der angewendeten Luft.

Wesentlich höhere Beimischungen und daher größere Brennstoffersparnisse sind aber möglich, wenn man die Abgase vorgewärmt zu führt, worauf Hudler¹⁾ verweist, der auf Grund verschiedener Vergleichsrechnungen eine über 10% hinausgehende Ersparnis nachweist, die in der Hauptsache auf die fühlbare Wärme der Abgase zurückgeführt werden soll. Nach vorstehendem ist aber auch ohne Vorwärmung eine Ersparnis zu erwarten, da brauchbares CO aus CO_2 entsteht, wobei letzteres als Sauerstoffträger auftritt.

Schwieriger ist der Vergleich mit der Halbgaserzeugung, weil, wie das Beispiel auf S. 66 gezeigt hat, in diesem Fall die Umsetzungsvorgänge wesentlich verwickelter sind. Es müßte aber auch in diesem Fall eine Brennstoffersparnis zu erwarten sein, wie folgende Überlegung zeigen soll. Der Wirkungsgrad der Gaserzeuger wird unabhängig von den verschiedenen Bauarten und Verfahren ziemlich gleich sein, denn die tatsächlichen Verluste in der Reaktionszone sind lediglich die Strahlungsverluste (abgesehen vom Schlackenschmelz-Gaserzeuger). Verschieden sind nur die auftretenden Temperaturen und die fühlbare Wärme des hochsteigenden Gases. Bei gleichen Temperaturen — und um die Erzielung solcher handelt es sich ja gerade — kann man aber den Wir-

¹⁾ J. f. G. 1921, S. 475.

kungsgrad für die beiden zu vergleichenden Arbeitsweisen berechtigterweise völlig gleichsetzen. Hierin liegt z. B. der Fehler bei Strache¹⁾, der für den Vergleich ein Halbgas mit 37,4% CO und 8,5% H₂ errechnet und so auf einen Wirkungsgrad von 83,8% (bezogen auf kaltes Gas) kam, während er bei Regenerationsgas nur 73,7% findet. Dieser Weg ist, wie gezeigt wurde, verkehrt. Es besteht kein Zweifel, daß man anstatt Dampf Abgase zusetzen kann, die gleichen Temperaturen und in der Folge auch die gleichen Wirkungsgrade erzielt. Der Vergleich wird in der Hauptsache darin zu suchen sein, wieviel Gas bzw. welchen Heizwert man für 1 kg Kohlenstoff erhält. Wählen wir Koks — weil dies am einfachsten ist — als Vergleichsbasis und verwenden die bereits durchgerechneten Beispiele, die mit den durchschnittlichen Ergebnissen der Praxis übereinstimmen, so gilt für Abgaszusatz 5,81 cbm Gas; nach der Zusammensetzung auf S. 52 unter Berücksichtigung des geringen H₂- und CH₄-Gehaltes weist dasselbe einen Heizwert von 1080 Kal. auf. Auf 1 kg C kommen daher 6280 Kal. im kalten und reinen Gas. Bei der Halbgaserzeugung nach Versuch 10 auf S. 62 wird man aus 1 kg C 5,66 cbm Gas mit 1130 Kal. erreichen können; es sind dies 6410 Kal. im kalten und reinen Gas. Für diese Umsetzung sind aber außer dem vergastem C für je 1 cbm Gas 59 g Dampf zersetzt worden. Rechnet man nach dem Versuch mit 88% Dampferzersetzung und als Wirkungsgrad der Dampferzeugung einschließlich Fortleitung $\eta = 0,66$, so wird der entsprechende C-Mehrverbrauch

$$\frac{5,66 \cdot 0,059 \cdot 600}{0,88 \cdot 0,66 \cdot 8100} = 0,0425 \text{ kg.}$$

Es sind also für die 5,66 cbm Gas zusammen 1,0425 kg C verbraucht, oder die Wärmeausbeute auf 1 kg C ist 6130 Kal.

Der rechnungsmäßige Unterschied ist somit nur ein geringer, etwa 7%; er wird größer, wenn man die Abgase mit höherer Temperatur verwendet. Der Hauptvorteil liegt aber darin, daß man von der Dampfbeschaffung, die außer Brennstoffkosten auch noch andere Unkosten verursacht, unabhängig ist. Außerdem enthalten die Abgase stets auch Wasserdampf, so daß die kühlende Wirkung eine erhöhte ist. Praktisch wird dieses Verfahren in etwas modifizierter Form beim Verdampfer von Bender und Främb (vgl. S. 238) benutzt. Auch anderwärts sind mehrfach Versuche damit gemacht worden. Die Befürchtung muß nur sein, daß man nicht durch zu hohen CO₂-Zusatz die Temperaturen zu weit vermindert, weil dann jedenfalls die Vollständigkeit der Umsetzung leidet. In diesem Falle würde man zwar die Kühlung erreichen, aber zugleich eine Verschlechterung des Gases herbeiführen; gegenüber Wasserdampfverwendung ist auch, wie auf S. 66 ausgeführt, zu beachten, daß

¹⁾ a. a. O

die Reduktion der CO_2 mit fallenden Temperaturen sehr träge verläuft und bei 800° ganz aufhört, während die Zersetzung von etwa überschüssigem Dampf noch weitergeht. Jedenfalls ist aber bei richtiger Handhabung die Kühlung des Gaserzeugerganges durch Abgase sehr wohl durchführbar und verspricht in allen Fällen Brennstoffersparnisse; insbesondere ist sie billig im Betrieb und macht die Gasanlagen unabhängig von anderen Erzeugungsstätten.

Die Reduktion der CO_2 hat erhöhte Bedeutung, wenn man minderwertige Gase mit viel CO_2 aufbessern will, wie z. B. bei Hochofengasen. Dieselbe ist hierfür besonders von J. von Ehrenwerth¹⁾ empfohlen worden. Ferd. Fischer sagt auch dieser keine großen Erfolge voraus, aber eingehende Arbeiten von F. Lürmann jun.²⁾ zeigen, daß die Vorteile doch sehr erhebliche sind. Unter der Annahme, daß das Hochofengas in einer höheren Zone als die Luft eingeführt wird, und an dieser Stelle mindestens 1100° herrschen und unter weiterer Annahme von wechselnden Hochofengastemperaturen von 100 — 1000° berechnet sich die zu regenerierende Hochofengasmenge auf 1,13—3,56 kg auf je 5,6 kg Luft und die Wärmeausbeute für 1 kg Gaskohle steigt von 6680 auf 7178 Kal.; auch die Gaszusammensetzung verbessert sich etwas mit steigender Temperatur. Die Ersparnis an Brennstoff beträgt daher bei 1000° Hochofengastemperatur etwa 18%, was ein beachtliches Ergebnis ist. Demnach würde besonders die Regenerierung armer Gase, wie z. B. von Schmelzöfen, die oft mit hoher Temperatur abgehen, mehr als bisher zu erwägen sein.

Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Regenerierung der Kalkofengase. Mit Rücksicht auf das aus dem Kalkstein stammende CO_2 sind diese Gase ärmer an N_2 als gewöhnliche Abgase. Die Zusammensetzung derselben zeigt im günstigsten Idealfall 40,2% CO_2 , in der Praxis schwankt sie zwischen 28—32%. Der Stickstoffballast tritt daher bei der Berechnung der Reaktionstemperaturen zurück, der mögliche Kalkofengaszusatz ist größer als bei Abgasen, und die Zusammensetzung des Generatorgases wird günstiger sein, als beim idealen Luftgas. Dieser Weg scheint daher besonders beachtlich, wo eine Verbindung von Kalkofenbetrieb mit Gaserzeugung in Frage kommen kann.

5. Wassergas.

Ebenso wie man den Zusatz von CO_2 steigern kann, wenn man die Abgase mit erhöhter Temperatur zuführt, kann man auch die Umsetzung von C mit Dampf allein (ohne Luftzufuhr) nach Gleichung (6) durch-

¹⁾ Fischers Jahresberichte 1884, S. 1300. Vgl. auch St. u. E. 1884, S. 146; 1893, S. 640; 1896, S. 706, 869, 891 und 911.

²⁾ St. u. E. 1903, S. 433 und 515.

führen, wenn man wie Zahlentafel 16 zeigt, eine entsprechende Wärmezufuhr zur Deckung des Verbrauches ausübt. Dieses so herstellbare Gas nennt man Wassergas und wäre die theoretische Zusammensetzung 50% CO und 50% H₂, da ein Stickstoffballast fehlt. Es wäre nun möglich, diese Wärmezufuhr durch eine Beheizung von außen durchzuführen, doch haben sich die dahinzielenden Vorschläge in die Praxis nicht eingeführt. Andererseits läßt sich das Verfahren so ausbilden, daß man den Gaserzeuger zuerst durch eine Verbrennung mit Luft heiß treibt, und sodann in einem unterbrochenen Betrieb Dampf zuführt. Die beim Heißblasen gebildeten Gase gehen für den Wassergasprozeß verloren, was große Wärmeverluste bedingt, weil diese Gase niemals aus Kohlensäure allein bestehen, sondern auch CO und andere Gasbestandteile enthalten. Es bleibt lediglich die Möglichkeit, die Heißblasgase anderweitig zu verwenden, wie z. B. zum Betrieb von Gasmaschinen usw.

Das Wassergasverfahren stellt daher keinen reinen Vergasungsprozeß im Sinne des früher Gesagten dar, sondern es ist im Grunde genommen eine Vergasung, bei der man durch einen Kunstgriff die zur Aufrechterhaltung der Wärmeumsetzung notwendig werdenden Ballaststoffe CO₂ + N₂ zeitlich getrennt von den heizkräftigen Bestandteilen CO und H₂ darstellt und in möglichst geringer Vermischung mit letzteren entfernt.

Andererseits könnte man das Warmblasen des Gaserzeugers gewissermaßen als eine Aufspeicherung von Wärme betrachten. Wir haben nun gesehen, daß bei den in einem Gaserzeuger vorhandenen großen Schütthöhen, bzw. der längeren Berührungszeit, stets vorwiegend CO entsteht, während jedoch durch die Bildung von CO₂ bei diesem Warmblasen eine bessere Ausnutzung des Brennstoffes zu erwarten wäre, da nach Gleichung (1) mehr Wärme auf 1 kg C frei wird als nach Gleichung (2). Die Innehaltung jeder der beiden Reaktionen ist aber auch an bestimmte Temperaturen gebunden; je heißer die Brennstoffschicht, desto leichter wird CO erzeugt, desto höher werden aber naturgemäß die Verluste in der fühlbaren Wärme des Warmblasegases sein. Die älteren Verfahren aus der Anfangszeit arbeiteten mit hohen Temperaturen, die Abgase waren daher CO-reich und man wählte deshalb den Weg, diese durch Verbrennung unter Kesseln nutzbringend für den Prozeß zu verwerten. Später entwickelte Dellwik seine Ideen (D.R.P. 105511), welche darauf hinzielen, beim Warmblasen nur CO₂ entstehen zu lassen, indem er die Windgeschwindigkeiten steigerte, um so eine vollkommene Verbrennung des C zu erreichen. Es ist naheliegend, daß dies trotz höherer Windgeschwindigkeiten bei der hohen Schütthöhe nicht ohne weiteres möglich ist, wie Strache und Jahoda¹⁾ auch nach-

¹⁾ J. f. G. 1900, S. 354.

wiesen, und daß der höhere CO_2 -Gehalt nur durch die Wahrung niedriger Temperaturen, also ein vorzeitiges Abbrechen des Warmblasens erzielt wird. Strache gibt dafür das in Abb. 9 gezeigte Diagramm, worin die gestrichelten Felder den einzelnen grundsätzlichen Verfahren zukommen: 1. dem Dellwik-Verfahren, 2. dem Stracheschen Verfahren, 3. dem älteren, das auch heute noch bei der Erzeugung von karburiertem Wasser-gas angewendet wird. Man ersieht aus dem Schaubild, daß der Gesamtwirkungsgrad T von den zwei Teilwirkungsgraden N und N' ab-

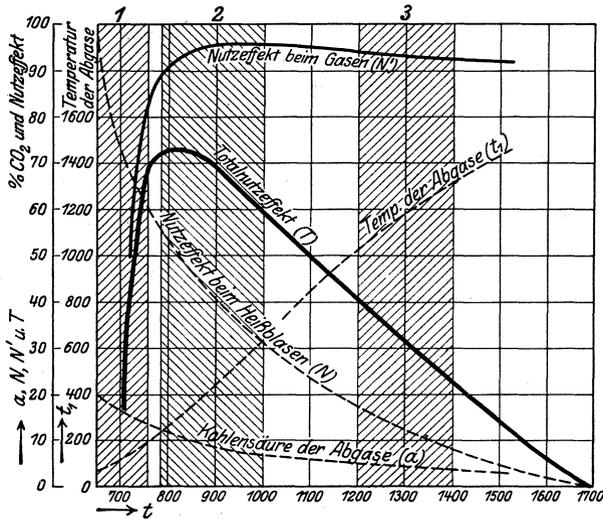


Abb. 9. Charakteristik und Wirkungsgrade der verschiedenen Wassergasverfahren.

hängt; ersterer ist 100%, wenn es gelingt, Warmblasegas mit CO_2 allein zu erzeugen, und sinkt sehr rasch; letzterer ist bei Temperaturen über 800° durchweg hoch, über 90%, sinkt aber bei niedrigeren Temperaturen plötzlich fast auf 0 ab. Man kann sich nun vorstellen, daß die dauernde Verschiebung der Temperaturen, und eine solche trifft ja zu, weil die Brennstoffschicht beim Warmblasen heißer, beim Gasen aber wieder kälter wird, eine sehr genaue Überwachung und ein oftmaliges Umschalten erfordert. Tatsächlich sind die einzelnen Perioden nur 2–5 Minuten lang, und man hat eigene Dampfschußmelder (von Strache) konstruiert, um besonders beim Gasen keine zu niedrigen Temperaturen zu erhalten, weil sonst sehr viel Dampf unzersetzt hindurchgeht. Man sieht weiter, daß die Wirkungsgradkurve eine sehr charakteristische Form hat und ein günstiger Effekt nur zu erwarten steht, wenn man die Temperaturen zwischen 750 – 1000° hält; es wäre aber hier zu bemerken, daß die in der Abbildung zugrunde gelegten Wirkungsgrade ohne Be-

rücksichtigung der für die Dampferzeugung notwendigen Wärme berechnet sind, daß sonach im praktischen Betrieb wesentlich kleinere Nutzeffekte zu erwarten sind. Auch ist tatsächlich die Temperaturverteilung im Gaserzeuger wegen des abwechselnden und meist sehr scharfen Warmblasens keine gleichmäßige; gerade Wassergaserzeuger sind wegen ihrer häufigen Verschlackungen in der Praxis bekannt. Man hat dies zu vermeiden gesucht, und außerdem eine gute Dampferzerzeugung dadurch zu erreichen versucht, indem man die verschiedensten Blasmöglichkeiten erprobte und durchführte, z. B. Warmblasen von unten, Gasen von oben; Warmblasen wie vorstehend, aber Gasen von oben und unten abwechselnd; Querblasen u. dgl. Die Erfahrungen damit sind sehr verschieden, besonders auch nach der Höhe der Brennstoffschicht.

Die mittlere Zusammensetzung von Wassergas schwankt demnach trotz der eindeutigen Reaktion in ziemlich weiten Grenzen, und zwar:

50—55 % H ₂	0—1 % CH ₄
29—42 % CO	0—1 % O ₂
2—6 % CO ₂	3—5 % N ₂

Der Heizwert ist im Durchschnitt 2600 Kal.

Die Gasausbeute rechnet man durchschnittlich mit 1 cbm aus 0,6 kg Koks, und ist für diese Gasmenge etwa die gleiche Dampfmenge von 0,6 kg erforderlich; bei größeren Anlagen lassen sich naturgemäß günstigere Ziffern erreichen.

Da man das Gas vielfach zum Ersatz von Leuchtgas verwendet, ist der Heizwert zu klein. Man karburiert es durch Anreicherung mit Öldämpfen nach verschiedenen Methoden und erzielt so ein Gas von beliebig höherem Heizwert (vgl. S. 82); andererseits mischt man es mit Leuchtgas bzw. verwendet es zum Strecken desselben. Im reinen Zustand wird es hauptsächlich zu Schweißzwecken verwandt; sonst hat es sich für industrielle Zwecke wenig eingebürgert.

Es wird nach dem Gesagten nicht verwundern, wenn sich dieses, hoffnungsvoll als Brennstoff der Zukunft¹⁾ bezeichnete Gas nicht in größerem Umfang einführen konnte. Die Wirkungsgradziffern sind gering, selbst wenn man die Warmblasegase bzw. die Abwärme dieser zur Dampferzeugung und Überhitzung verwendet. Das gegenüber Luftgas und Halbgas wesentlich heizkräftigere Gas hätte sicher weite Verbreitung gefunden, wenn nicht hauptsächlich zwei Gesichtspunkte davon abgehalten hätten; diese sind:

- a) die Beschränkung auf Koks als Ausgangsstoff,
- b) der unterbrochene Betrieb.

¹⁾ Vgl. die Broschüre: Quaglio: Wassergas als der Brennstoff der Zukunft. Wiesbaden: Bergmann 1880.

Die erstere Notwendigkeit ergibt sich aus dem Umstand, daß die Destillationsgase in einem erheblichen Umfang im Warmblasegas verlorengehen würden, was sich bei dem ohnehin geringen Wirkungsgrad verbietet. In dieser Beziehung sind jedoch schon seit langem und immer wieder Vorschläge gemacht worden, die schließlich in den letzten Jahren zu einer brauchbaren Lösung geführt haben, welche an anderer Stelle besprochen werden wird. (Doppelgasverfahren, s. S. 197 ff.)

Der zweite Gesichtspunkt war besonders bei industrieller Nutzung störend. Daher sind auch die Vorschläge in dieser Hinsicht alt. Es sei insbesondere auf die Bestrebungen von Dr. Clauß¹⁾ verwiesen, der zahlreiche Patente entnommen hat und das Verfahren ungefähr folgendermaßen ausgestaltet will. Hochüberhitzter Dampf wird mit Kohlen- oder Koksstaub oder flüssigen Brennstoffen durch Ansaugung mittels eines Dampfstrahles in eine geschlossene Kammer geführt, in der er an durch Außenbeheizung auf Glühhitze erhaltenen Flächen vorübergeleitet wird. Für die Beheizung dieser Reaktionsflächen wird ein Teil des erzeugten Wassergases benutzt. Zur damaligen Zeit war die schwierigste Frage die Auswahl des Materials für die Zersetzungskammer, da dasselbe bei geringer Wandstärke eine große Festigkeit, eine Feuerbeständigkeit bei etwa 1700° aufweisen und auch dem Angriff des Wasserdampfes bei dieser Temperatur standhalten muß. Zweifellos scheiterten die Anregungen von Clauß an dieser Materialfrage, die er durch Anwendung von graphitisiertem Asbest mit elektrolytischer Platinierung zu überwinden glaubte. Tatsächlich errechnet sich die notwendige Temperatur der Wand bei Zugrundelegung praktischer Verhältnisse zu rd. 2200°, also höher als von Clauß angegeben, und erscheint es bei den heutigen Möglichkeiten ebenso wie bei den seinerzeitigen ausgeschlossen, dafür ein geeignetes Material zu finden; es überrascht daher kaum, daß die Anregungen nicht in die Praxis übergeführt worden sind, ebensowenig wie die auf dem gleichen Prinzip gebauten beheizten Gaserzeuger von Kresz (D.R.P. 189354, 1906), Bormann (D.R.P. 269349 und 284702, 1913) u. a. m., bei welchen die fehlende Reaktionswärme durch Beheizung des Reaktionsraumes bzw. der Flächen zugeführt werden soll.

Andererseits würde die Möglichkeit bestehen, den benötigten Dampf so weit vorzuwärmen, daß er die fehlende Wärme einbringt. Eine Durchrechnung zeigt, daß hierfür mindestens 2500° in Frage kommen, und da eine Dissoziation bei diesen Temperaturen höchstens in geringem Ausmaß zu erwarten ist, führt auch dieser Weg zu keiner brauchbaren Lösung, weil keine Materialien bekannt sind, die gegen Dampf von über 2000° auf die Dauer standhalten.

¹⁾ Wassergaserzeugung im kontinuierlichen Betrieb. Berlin: Krayn 1900.

Es bliebe schließlich die dritte Lösung, den Kohlenstoff so weit vorzuwärmen, daß der Wärmeverlust gedeckt erscheint. Diese Möglichkeit besteht einerseits nur bei entgasten Brennstoffen, wodurch wieder eine Beschränkung des Verfahrens bedingt wäre, und andererseits ist dieser Weg auch technisch schwer zu lösen, da man den brennbaren Stoff nicht oder nur unter besonderen Maßnahmen auf die erforderliche Temperatur von über 1200° bringen könnte.

Wesentlich aussichtsreicher, weil durchaus mit erreichbaren Temperaturen arbeitend, erscheint dagegen ein Verfahren von K. M. Balley, Prag¹⁾, das die drei Wege verbindet. Es besteht darin, Staubkohle durch den Strom eines hochüberhitzten Wasserdampfes zu zerstäuben und an bis auf 1600° erhitzten Körpern, wie Koks, Gittermauerwerk u. dgl., vorbeizuführen, so daß der eingeblasene Staub nicht nur destilliert, sondern auch mit dem Dampf zu Wassergas vergast wird.

Der Dampf wird auf 1200—1400°, die Reaktionsfläche auf 1400 bis 1600° erhitzt. Das Verfahren wird so durchgeführt, daß man einen Überschuß von Kohlenstaub in die Reaktionskammer einbläst, so daß sich ein Teil derselben in Form von Staubkoks auf den die Füllung bildenden Koksstücken oder Gittersteinen absetzt. In einem zweiten Vorgang wird dieser überschüssige Koksstaub mit vorgewärmter Luft verbrannt, um die Reaktionskammer zu erhitzen. Die Wärme der Abgase dient zur Dampferzeugung und zur Beheizung eines Rekuperators, in dem die Verbrennungsluft vorgewärmt wird. Auch die fühlbare Wärme des Wassergases wird zur Dampferzeugung ausgenutzt. Das Verfahren ist somit ein diskontinuierliches und bedient sich Balley dabei zweier Kammern nach Art der Regeneratoren; dies muß als ein Nachteil bezeichnet werden, da jeweils vier Wege umzuschalten sind: Kohle, Dampf, Luft, Abgase — was die Bedienung sehr erschwert. Nachdem es jedoch dem Erfinder bereits bei den ersten Versuchen im Jahre 1906 gelungen ist, aus Steinkohle mit 7650 Kal. Heizwert bis zu 1,65 cbm Gas von 4100 Kal. Heizwert zu gewinnen, was einem Wirkungsgrad von 88% entspricht, so würde eine Verfolgung der Versuche wünschenswert erscheinen.

Ein zweites Ausführungsbeispiel zeigt die Anwendung des Verfahrens dergestalt, daß gleichzeitig in einer Kammer Kohlenstaub mit Wasserdampf vergast und in einer zweiten Kammer ein anderer Teil von Kohlenstaub mit Luft verbrannt wird. Die Abgase der zweiten Kammer durchströmen zwei weitere Kammern, die zur Vorwärmung der Luft und zur Überhitzung des Dampfes dienen. Das ganze System besteht daher aus sechs Kammern — umschaltbar angeordnet — nebst Zubehör, wie Dampfkessel, Ventilator, Skrubber u. dgl.; es ist daher noch umfangreicher und soll insbesondere für minderwertige Staubkohlen dienen.

¹⁾ Chem. Ztg. 1921, S. 789.

Abgesehen von der etwas komplizierten Bauart und Betriebsweise — die vielleicht durch zweckmäßige Maßnahmen vereinfacht werden könnte — zeigt dieses Verfahren durchaus brauchbare Anordnungen und erscheint daher für eine praktische Durchführung bzw. Anwendung geeignet. Diese Lösung ist gerade zur Jetztzeit aber besonders interessant in doppelter Hinsicht. Es benutzt für die Wassergasherstellung anstatt Koks Kohle, trägt somit der ersten aufgestellten Forderung Rechnung; ferner ist es kontinuierlich und entspricht daher auch der zweiten Forderung. Schließlich wird der Brennstoff aber in Staubform angewendet, so daß hier die Möglichkeit einer Staubvergasung gegeben ist. Man neigt vielfach zu der Ansicht, daß staubförmige Brennstoffe nur durch Staubfeuerung vollständig verbrannt werden könnten, und daß eine Vergasung der fein gemahlene Kohle nicht möglich ist. Dieser Gesichtspunkt wird besonders auch von den Fachgenossen vertreten, welche die primäre Bildung von CO_2 als erwiesen betrachten. Es scheint nun, daß sich aber mit den gleichen technischen Mitteln bzw. unter sonst gleichen Umständen eine Vergasung erzielen läßt, wenn man die Luftzuführung beschränkt, andererseits aber die Reaktionsfähigkeit des Brennstoffes durch die Anwesenheit von Wasserdampf erhöht.

6. Oxygase.

Für alle Umsetzungen in den Gaserzeugern ist — wie wir gesehen haben — die Temperatur maßgebend, und diese ist wieder dadurch beschränkt, daß die den Wärmeüberschuß gebende Luftgasreaktion stets einen großen Stickstoffballast mit sich bringt. Will man also neben der Luftgasherstellung andere wärmeverbrauchende Umsetzungen durchführen, was stets mit wärmetechnischen Vorteilen verbunden ist, so würde es von großem Vorteil sein, wenn man die N_2 -Mengen ausschalten oder beschränken könnte. Es hat dies sowohl für die Halbgas- als auch die Regenerationsgasherstellung Bedeutung. Als daher C. Linde seine Methode zur Gewinnung flüssiger Luft in die Praxis einfuhrte, beschäftigten sich mehrere Autoren mit diesem Problem. So zeigt Hempel¹⁾, daß man mit angereicherter Luft von 50% O_2 — von der 1 cbm 1,2 Pf. kosten sollte — anstatt gewöhnlichem Halbgas ein Gas mit rd. 2600 Kal. im kontinuierlichen Betrieb erzeugen könne, was also dem Heizwert von Wassergas vollständig gleichkommt; er empfiehlt das Verfahren besonders bei minderwertigen Brennstoffen.

Außerordentlich eingehend beschäftigt sich Lürmann jun. in seiner wertvollen Arbeit: Die thermischen Vorgänge im Gaserzeuger²⁾ mit diesem Vorschlag, indem er die Anwendbarkeit sowohl bei Dampf-

¹⁾ Chem. Ind. 1899, S. 1.

²⁾ St. u. E. 1903, S. 433 und 515.

zusätzlich auch für die Regenerierung von Hochofengas durchrechnet. Auch er findet im ersten Fall eine mittlere Gaszusammensetzung von 2500 Kal. Heizwert (bei 13–16% N₂, 33–34% CO und 30–34% H₂); seine Aufstellung mit wechselnden Temperaturen von eingeblasener Luft und Dampf zeigt, daß dadurch kein erheblicher weiterer Vorteil erzielt werden kann, da die geringe Brennstoffersparnis durch den Wärmebedarf der Vorwärmung in der Praxis aufgezehrt werden würde; auch wäre dies eine wesentliche Erschwerung des Betriebes.

Besonders interessant ist jedoch der Fall der Regenerierung. Aus einem Hochofengas von etwa 850 Kal. Heizwert wird dabei ein Gas von durchschnittlich 2200 Kal. Heizwert mit 44–45% CO, 32–34% N₂ und 11–12% H₂ erreicht, also ein Gas, welches für hüttenmännische Zwecke außerordentlich geeignet wäre. Auch in diesem Fall ist die Änderung der Zusammensetzung bei steigender Temperatur unerheblich, und man wird daher auf eine Vorwärmung verzichten, falls die Ausgangsstoffe nicht mit höherer Temperatur zur Verfügung stehen. Meines Wissens ist dieses Verfahren in der Praxis nie in größerem Umfange erprobt worden, was wohl daraus zu erklären ist, daß man die Gaserzeugungsanlagen nicht durch zu viele Hilfsanlagen und durch Verkopplung mit anderen Betrieben komplizieren wollte, und daß die Kosten der angereicherten Luft den Betrieb zu sehr belasten. Heute bestehen jedoch viele Anlagen, bei denen Sauerstoff oder angereicherte Luft als Abfallprodukt anfällt, und es ist daher zu verwundern, daß man diesen Weg der Nutzbarmachung niemals beschritten hat, obwohl man das gewonnene Gas mit Rücksicht auf seinen hohen Heizwert sowohl anstatt Wassergas als Zusatz zum Leuchtgas sowie auch zu allen industriellen Zwecken verwenden kann. Gerade dieser Weg erscheint mir als die gesuchte Lösung zur Gewinnung eines Vollgases mit über 2000 Kal. Heizwert im fortlaufenden, ununterbrochenen Betrieb, die man auf so vielen Umwegen einzuführen versuchte.

7. Ölgase, Edelgase u. dgl.¹⁾

Alle bisher behandelten Gasarten waren aus festen Brennstoffen hergestellt; man kann aber auch die Überführung der flüssigen Brennstoffe in Gasform mit einer gewissen Berechtigung als Vergasung bezeichnen, weshalb die hierher gehörigen Verfahren kurz erwähnt seien. Schließlich werden auch die Umwandlungsprozesse verschiedener Art erwähnt, die aus Gasen als Ausgangsstoffen Edelgase (veredelte Gase) herstellen.

Die flüssigen Brennstoffe sind, einerlei ob sie mineralischen oder pflanzlichen Ursprung besitzen und ob sie aus Erdöl oder Teeren ge-

¹⁾ Vgl. zu diesem Abschnitt: Handbuch d. Gastechnik. Bd. 9.

wonnen wurden, stets Kohlenwasserstoffe mit geringen Mengen sauerstoffhaltiger Verbindungen, daneben findet man bei den rohen Produkten und Rückständen meist festen Kohlenstoff in suspendierter Form, also ähnlich wie bei den neuerdings für Feuerungszwecke hergestellten halbflüssigen oder sogenannten Kolloidbrennstoffen, die ein bei höherer Temperatur gerade noch flüssiges Gemisch von festen und flüssigen Brennstoffen sind. Die flüssigen Brennstoffe lassen sich bei langsamer und vorsichtiger Erwärmung mehr oder weniger unzersetzt destillieren, stets aber treten in geringem Maße gasförmige Zersetzungsprodukte auf; erhitzt man nun die Dämpfe der Kohlenwasserstoffe weiter, so spalten sich diese nahezu in vollem Umfang, wobei gasförmige Kohlenwasserstoffe entstehen. Das so gebildete Gas wird Ölgas genannt und enthält vornehmlich schwere Kohlenwasserstoffe (Äthylen u. dgl.) außer Methan und neben geringen Mengen von H_2 , CO und CO_2 ; es besitzt einen Heizwert von 9000—12000 Kal., und werden daher solche Rohstoffe bevorzugt, die viel schwere Kohlenwasserstoffe neben möglichst wenig H_2 und oxydischen Verbindungen geben. Man stellt daher bei der Destillation des Erdöls ebenso wie bei derjenigen von Braunkohlen- und Schiefereteer ein besonderes Gasöl dar, welches sich dazu eignet.

Die Herstellung des Ölgases geschieht meist in von außen beheizten Retorten mit einer eingebauten Verdampferplatte. Das Öl tropft auf diese, und die gebildeten Dämpfe zersetzen sich an den heißen Wandungen der Retorte in Gas unter Rücklassung eines dicken Teeres (bzw. Pech oder Graphit). Das gebildete Gas führt auch ausgeschiedenen Ruß mit sich, darf aber kein unzersetztes Öl mehr enthalten. Anstatt der Retortenöfen benutzt man auch sogenannte Generatoren, die aber eigentlich nur mit Schamottesteinen gefüllte Kammern sind. Dieselben werden mittels Teerfeuerung auf 700—800° erhitzt, sodann die Luft- und Teerzufuhr eingestellt, und das für die Vergasung bestimmte Öl mittels einer Düse eingespritzt. Die entstehenden Dämpfe werden in einem auf gleichem Wege beheizten Überhitzer zersetzt. Durch abwechselndes Heißblasen und Gasen, ähnlich wie bei der Wassergasherstellung, wird das Gas gewonnen; auf 100 kg Öl rechnet man z. B. bei den Pintschischen Ölgasgeneratoren 52—54 cbm Gasausbeute; es verbleiben 25—30 kg Ölgasteer, von dem die Hälfte zur Beheizung der Kammern verbraucht wird.

Ein ähnliches Verfahren, das anstatt Schamotte Koks zur Zersetzung benutzt, ist das Verfahren von Rincker und Wolter, sowie das von Dannert. Beide sind dem Wassergasverfahren noch ähnlicher und werden auch meist als solche bezeichnet. Der mittels Luft heißgeblasene Gaserzeuger erhält oben Öl eingespritzt; beim Gasen mit Dampf im Gegenstrom werden die beim Einspritzen entstehenden Dämpfe in die unteren heißen Schichten geführt und dort zersetzt.

Ein weiteres ähnliches Verfahren ist das der Herstellung von Blaugas (nach Riedinger und Blau, Augsburg). Im Grunde genommen ist es ein Ölgas, das bei niedrigerer Temperatur, etwa 550—650°, gewonnen wird und durch die Abwesenheit von Methan gekennzeichnet ist; es läßt sich bei 20 Atm. zu einer wasserhellen Flüssigkeit verdichten und kommt als solche in den Handel. Es ist ein sehr beliebtes Gas für Laboratoriumszwecke u. dgl., wird aber auch zum Schneiden, Schweißen und Löten verwendet.

Anstatt die Ölbestandteile zu vergasen, also aufzuspalten, erreicht man meist den gleichen Zweck durch eine einfache Verdampfung. In diesem Falle sind die Kohlenwasserstoffe aber durch das Trägergas verdünnt und ist der Heizwert meist niedriger. Den geringsten Heizwert erhält man, wenn man Luft als Trägergas verwendet. Für die Herstellung kommen verschiedene leichtflüssige Kohlenwasserstoffe in Frage, und es sei beispielsweise in Zahlentafel 22 die Dampfdrucktabelle von Benzol wiedergegeben, welche ersehen läßt, welche große Mengen Benzoldampf Luft aufnehmen kann. Je nach dem Ausgangsstoff und der verwendeten Apparatur wird das Gas mit den verschiedensten Namen belegt (Aerogengas, Pentairgas, Benoidgas. früher meist Luftgas genannt), und hat dasselbe eine wechselnde Zusammensetzung je nach der Sättigungstemperatur; meist ist der Heizwert 2500—3000 Kal. bei 7—10% Kohlenwasserstoffdampf (Pentan) in der Luft.

Zahlentafel 22. Sättigung von Luft bzw. Gas mit Benzoldampf (nach Strache).

t°	Dampfdruck mm/Hg	Volum % Benzoldampf	1 l Benzoldampf wiegt bei t°	In 1 cbm Luft gr Benzoldampf
—20	5,79	0,76	3,76	28,6
—15	8,82	1,17	3,69	43,2
—10	12,92	1,70	3,62	61,5
—5	18,33	2,41	3,55	85,5
0	25,31	3,33	3,49	116,1
10	45,25	5,95	3,36	200,0
20	76,65	10,08	3,25	327,6
30	120,24	15,83	3,14	497,5
40	183,62	24,2	3,04	735,5
50	271,37	35,7	2,95	1052
60	390,10	51,4	2,86	1470
70	547,42	72,0	2,77	1995
80	751,86	98,8	2,70	2670
90	1012,75	133,3	2,62	3495
100	1340,05	176,3	2,55	4500

Am verbreitetsten ist die Anwendung flüssiger Brennstoffe zur Gaserzeugung bei der Karburierung anderer Gase, insbesondere von Wassergas. Dieselbe geschieht in einer hinter dem Wassergaserzeuger

Zahlentafel 23. Zusammensetzung von Ölgasen.

Gasart	Zusammensetzung						Spez. Gewicht	Leucht- kraft HK	Heizwert Kal.
	CO ₂	C _n H _m	O ₂	CO	H ₂	CH ₄			
Karburirtes Wassergas aus Anthrazit	4,50	13,00	0,50	29,00	32,00	16,00	5,00	26,3	5 700
Karburirtes Wassergas	6,20	16,50	0,20	13,70	24,60	32,80	6,00	31,2	7 230
Älteres Ölgas (Iowa)	0,20	6,20	0,40	3,00	62,40	25,60	2,20	20,4	5 550
Ölgas (Oakland)	1,80	5,00	0,10	7,70	55,00	26,30	4,10	0,375	5 320
Ölgas (Portreno)	2,62	7,01	0,16	9,21	39,78	34,64	6,18	0,482	6 050
Neues Ölgas (Metropolitan)	2,00	38,10	—	5,30	41,40	40,40	4,80	21,5	6 340
Pintschgases (Öltergas ?)	—	1,60	0,20	0,50	3,40	57,70	—	66,6	12 350
Ölgeneratorgas	5,80	—	—	15,40	4,60	—	67,80	—	1 340

geschalteten Verdampfungs- und zweiten Überhitzungskammer, ähnlich wie bei den Ölgasgeneratoren von Pintsch. Beide Kammern werden durch die Heißblasegase geheizt. Das Verfahren ist besonders ausgebildet und bekannt als Verfahren von Humphrey und Glasgow. Ähnlich sind die bereits erwähnten Verfahren von Dannert, sowie Rinker und Wolter. Die Zusammensetzung des karburirten Wassergases schwankt naturgemäß je nach der angewendeten Menge von Öl bzw. der Zersetzungstemperatur; im allgemeinen geht man nie unter 4500 Kal. Heizwert, bisweilen aber erheblich höher, wobei alle Abstufungen bis zum Ölgas möglich sind. Eine Zusammenstellung der verschiedensten hierunter fallenden Gase gibt Zahlentafel 23, welche die großen Schwankungen in der Herstellung erkennen läßt. Besondere chemische Grundlagen hierfür kommen nicht in Frage.

Schließlich soll zur Vervollständigung noch der Verfahren gedacht werden, die darauf hinzielen, aus gewöhnlichen Gasarten veredelte Gase herzustellen. Es kommen hier meist besondere chemische Reaktionen in Frage, die sich sowohl mit dem Gas als auch mit den Ausgangsstoffen durchführen lassen. In gewissem Sinne sind die bereits erwähnten Oxygase also Edelgase, indem man durch die vorangehende Luftanreicherung ein hochwertigeres Gas erzeugt als bei der Verwendung von gewöhnlicher Luft.

Hierher gehörig ist vor allem die elektrische Gaserzeugung¹⁾. Bei den

¹⁾ Helfenstein: Die Aussichten der elektrischen Vergasung von Brennstoffen. Z. f. angew. Ch. 1923. S. 73. Vgl. auch Helfenstein: St. u. E. 1921. S. 1481.

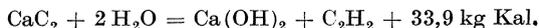
elektrothermischen Prozessen entfallen vielfach als Nebenprodukte Gase (wie bei den Hochöfen) und dies legte den Gedanken nahe, elektrisch beheizte Gaserzeuger vorzuschlagen. Durch die so mögliche Wärmezufuhr ist man in der Führung der Umsetzungen ähnlich unbeschränkt wie bei der Verwendung von angereicherter Luft; man kann daher aus minderwertigen Brennstoffen beispielsweise bei erhöhter Dampfzuführung hochwertige Gase erzeugen. Weiter verspricht man sich große Leistungen, also gedrängte Anlagen, leichte Regelbarkeit und Anwendbarkeit hoher Temperaturen, was für die Auswahl und Vollständigkeit der Umsetzungen wichtig wäre. Naturgemäß kommen solche Anlagen nur dann und dort in Betracht, wo elektrische Überschußenergie zur Verfügung steht; gedacht sind Verfahren ähnlich einer kontinuierlichen Wassergasherstellung, und berechnet Helfenstein für 1 cbm Rohgas von 2800 Kal. Heizwert nachfolgende Verbrauchsziffern:

1,08 KW	und	1,1	kg	Braunkohle
1,14	„	„	1,1	„ Torf
1,233	„	„	0,44	„ Anthrazit
1,03	„	„	0,8	„ Holz

oder bei Herstellung eines Regenerationsgases mit 3000 Kal. Heizwert
1,17 KW und 0,44 kg Anthrazit.

Da man bei vielen elektrothermischen Prozessen (Kalzinierung, Stickstoffgewinnung, Erzreduktion) O₂-haltige Abgase gewinnt, bestehen in der angegebenen Richtung vielleicht Möglichkeiten, doch wird man ebenso wie im Hochofenbetrieb die Gaserzeugung nur dann als bestimmenden Teil ausbauen können, wenn ein Bedürfnis nach Gas vorhanden ist. Eine Gasverwendung zu Kraftzwecken scheidet ziemlich sicher aus, das wäre nur ein Umweg; andererseits lassen sich vielleicht durch die Gasherstellung solche Nebenbetriebe zur Aufnahme der Überschußenergien angliedern, die örtlich vorteilhafter sind als elektrotechnische Betriebe. Da man hochwertige Gase erhält und auch die Anwendbarkeit für flüssige Brennstoffe (Ölgasherstellung mittels elektrischer Heizung) gegeben ist, hat das Verfahren vielleicht für die wasserkraftreichen Länder ein besonderes Interesse wegen der möglichen Herstellung von Stadtgas (Leuchtgasersatz). Der wichtigste Punkt wird aber die Frage nach Reserven sein, da wohl eine Wirtschaftlichkeit nur bei niedrigen Stromkosten gegeben ist; was dann, wenn die Überschußenergien nicht gleichmäßig genug auftreten?

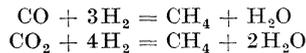
Hierher gehört ferner die Herstellung des Azetylen. Während man sonst in den technischen Gasen kaum Spuren von diesem Bestandteil nachweisen kann, erhält man nahezu reines C₂H₂ dadurch, daß man den Kohlenstoff zuerst in Form von Karbid überführt, und dann mit Wasser nach der Gleichung:



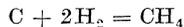
zur Reaktion bringt. Das so gebildete Gas ist sehr rein, enthält 94—99% C_2H_2 und es ist hauptsächlich darauf Wert zu legen, daß das Karbid phosphorfrei sei, damit kein Phosphorwasserstoff entstehe. Die Gasergiebigkeit von 1 kg Karbid ist theoretisch 350 l C_2H_2 , diejenige der handelsüblichen Sorten 290—320 l.

Zu den Veredelungsmethoden gehören weiter diejenigen, welche auf die Anreicherung bzw. Entfernung gewisser Bestandteile hinzielen. Abgesehen von den Methoden zur Entfernung des CO_2 zwecks Aufbesserung des Heizwertes mittels solcher chemischer Stoffe, welche CO_2 absorbieren (Kalkmilch od. dgl.), und den Verfahren zur Herstellung H_2 -reicher Gase für besondere Zwecke (Luftschiffahrt), interessiert chemisch besonders die Anreicherung des Methans in technischen Gasarten¹⁾.

Die grundlegenden Forschungen von Sabatier und Senderens, sowie die eingehenden Untersuchungen von Mayer und Henseling, Mayer und Altmeyer, sowie Mayer und Jacoby²⁾ zeigten, daß die Bildung unter Einwirkung katalytischer Metalle (insbesondere Nickel) nach den Formeln:



sowie auch unmittelbar aus den Elementen nach:



möglich ist. Alle drei Reaktionen, welche wärmeentbindend verlaufen, sind nun umkehrbar und die Aufspaltung des CH_4 im Sinne der letzten Gleichung beginnt z. B. bereits bei 400°, um bei 1000° zum vollständigen Zerfall zu führen. Auf dieser Reaktion beruht die obenerwähnte Herstellung von wasserstoffreichen Gasen für Ballonfüllungen aus gewöhnlichem Steinkohlengas. Dieser Zerfall ist auch für das Verhalten von Gas entsprechender Zusammensetzung bei der Vorwärmung (in Regeneratoren) wichtig (vgl. S. 52).

Zahlentafel 24. Analysen vom Cedford-Gasprozeß.

Durchschnittliche Zusammensetzung des	CO_2	CO	H_2	CH_4	N_2	unterer Heizwert
rohen Wassergases	4,0	39,5	51,7	—	4,8	2541
CO_2 -freien Wassergases	—	40,9	54,1	—	5,0	—
richtig gemischten Gases						
vor der Reaktion	—	16,3	80,9	—	2,8	2562
nach der Reaktion	0,6	—	61,4	31,8	6,2	4293
(durch Einfrieren von CO)						

Für die praktische Herstellung von Methan kommt insbesondere die erstgenannte Reaktion in Frage, die für den Cedford-Gasprozeß³⁾

¹⁾ Vgl. Dr.-Ing. P. Jochum: J. f. G. 1914, H. 4—7.

²⁾ Vgl. bei Dr. Jochum.

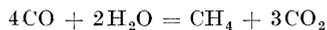
³⁾ Vgl. Erdmann: J. f. G. 1911, S. 739.

verwendet wurde, und wobei es gelingt, auf den in Zahlentafel 24 ersichtlichen Teilwegen schließlich zu einem Gas von rd. 3100 Kal. zu gelangen. Daneben sind praktische Versuche außer von Sabatier und Senderens auch von Elworthy und Williamsen gemacht worden, welche gleichfalls gefunden haben, daß die Reaktion nur bei großem Wasserstoffüberschuß vor sich geht.

Es mag übrigens an dieser Stelle auf die von Moissan (1896) angegebene Herstellung von CH_4 bei Einwirkung von Wasser auf Aluminiumkarbid verwiesen sein, die eine Parallele zur Azetylenbildung darstellt.

Für den Vergasungsvorgang haben die obengenannten Bindungsgleichungen kaum wesentliche Bedeutung. Vorerst ist im gewöhnlichen Generatorgas ein viel zu geringer H_2 -Anteil enthalten, als daß der Anreiz für die Reaktion vorhanden wäre. Eine katalytische Wirkung der Kohle kommt nach allen Beobachtungen nicht in Frage. Anders liegen die Verhältnisse beim Wassergas, welches ja auch als Ausgangspunkt der Methangasherstellung dient. So kommen Clement und Adams nach ihren Versuchen (vgl. S. 60) zu dem Schluß, daß sich CH_4 bei hohen Temperaturen auch ohne Katalysatoren bilde; da aber ein Teil wieder zersetzt wird, ist der Anteil im Wassergas sehr gering. Auch kann der meist bei der Analyse gefundene Gehalt teilweise auf Reste von Destillationsbestandteilen zurückzuführen sein, die stets im Koks noch vorhanden sind.

Das entscheidende Moment für die Methanbildung in Gaserzeugern scheint aber die Wärmebindung zu sein, d. h. nach allen Beobachtungen kann sich dieselbe nur bei plötzlichem Temperaturabfall abspielen. Solche wechselnde Verhältnisse wären bei der Wassergasherstellung vorhanden. Nach Versuchen von Wa. Ostwald (vgl. D.R.P. Riedel 302804) gelingt es auch bei normalen Gaserzeugern durch Einwirkung äußerst fein verteilten Wassers die Methanbildung zu begünstigen. So wurden bei solchem Betrieb Gaszusammensetzungen mit bis zu 21% CH_4 (bei etwa 15% CO_2 , 8% CO und 6% H_2 im Mittel) gefunden, wobei es allerdings nicht möglich war, die Reaktion dauernd aufrechtzuerhalten. Dagegen gelang es, im laufenden Betrieb die durchschnittliche Gaszusammensetzung bei der gleichen Kohle um etwa 1–2% CH_4 zu steigern, ohne die Gaszusammensetzung sonst zu mindern. Es liegen demnach Möglichkeiten für die synthetische Bildung von CH_4 in Gaserzeugern durchaus vor. Dieselbe scheint begleitet zu sein von einer Anreicherung des CO_2 (vgl. hierzu Tabelle 6 bei Dr. Jochum), so daß die Umsetzung nach der Gleichung



vor sich gehen könnte, welche wärmeverbrauchend ist; aus diesem Grunde dürfte es auch bisher nicht gelungen sein, die Reaktion dauernd aufrecht-

zuerhalten. Man könnte aber damit rechnen, CH_4 ähnlich wie H_2 der bei Halbgasherstellung anzureichern, was für die verschiedensten Verbrauchszwecke von Vorteil wäre. Da die Entfernung von CO_2 aus den Gasen durch einen einfachen Waschprozeß möglich ist, lassen diese Versuche eine praktische Anwendbarkeit erwarten, und würde ein solches Verfahren besonders vorteilhaft sein, weil man nicht Dampf benötigt, sondern nur gereinigtes Wasser.

8. Einfluß der Destillationsgase auf die Zusammensetzung. Weitere Zusammenhänge.

Die in den Abschnitten 2—5 eingehend beschriebenen Vergasungsverfahren geben, wie Zahlentafel 16 zeigt, eine jeweils charakteristische Zusammensetzung. Man wird oft geneigt sein, gewisse Zusammenhänge genauer zu untersuchen, doch ist dies stets dadurch erschwert, daß die Vergasungsbestandteile bei Anwendung natürlicher Brennstoffe stets mit Entgasungsbestandteilen gemischt sind.

Man hat sich daher bereits seit langem bemüht, rechnungsmäßige Unterlagen für die Bestimmung des Einflusses der Destillationsgase zu suchen. Erstmalig hat sich Dichmann¹⁾ mit dieser Frage beschäftigt und gibt an Hand detaillierter Rechnungen eine Stoffbilanz für die beiden Vorgänge, kommt aber zu der Folgerung, daß eine solche Rechnung zu viele willkürliche Annahmen notwendig macht, als daß sie brauchbare Ergebnisse liefern könne. Er gelangt aber dabei zu sehr lehrreichen Schlüssen. Er stellt fest, daß meist ein großer Teil der Destillationsgase durch vorhandenen Luftüberschuß im Gaserzeuger verbrannt wird, was zu einer starken Volumvermehrung (wegen der gebildeten CO_2 und H_2O) und einer starken Herabsetzung des Heizwertes führt. Es ist dies besonders bei älteren Gaserzeugern zutreffend, bei denen wegen der schwachen Gebläse mit niedriger Brennstoffschicht gearbeitet wird. Sobald der Gehalt an C-haltigen Bestandteilen im Gas geringer

Zahlentafel 25. Niedrigste, mittlere und höchste Ausbeute an Kohlenwasserstoffen aus 50 deutschen Gaskohlen.

	Schwere Kohlenwasserstoffe		Methan	
	im Leuchtgas gefunden, in cbm aus 1000 kg Reinkohle	auf Generatorgas berechnet in Vol.‰	im Leuchtgas gefunden, in cbm aus 1000 kg Reinkohle	auf Generatorgas berechnet in Vol.‰
Niedrigste Ausbeute	0,55	0,13	8,42	2,00
Mittlere „	1,11	0,26	10,09	2,40
Höchste „	1,88	0,44	11,73	2,80

¹⁾ Dichmann: Der basische Herdofenprozeß. Berlin: Julius Springer 1910.

ist als 35,6%, kann man schließen, daß Destillationsgas verbrannt ist und somit grobe Fehler im Betrieb vorliegen. Aus diesem Grunde wird man sich nicht allein mit der Feststellung des CO₂-Gehaltes im Gas begnügen können, denn ein niedrigerer CO₂-Gehalt ist keineswegs immer ein Kriterium für guten Generatorgang; es ist dies z. B. im ungünstigen Sinne bei heißgehenden Gaserzeugern der Fall, wo tatsächlich bis zu 60% der Destillationsbestandteile verbrannt sind, d. h. mit anderen Worten, wobei etwa 15% vom Heizwert der Kohle verloren gehen.

Andererseits wird sehr oft bei der Untersuchung der Gase ein sehr hoher CH₄-Gehalt gefunden, was eine tatsächlich nicht vorhandene gute Gaszusammensetzung vortäuscht oder auf einen sehr schlechten Generatorgang in dem Sinne weist, daß die Kohle zwar destilliert, aber nachher nicht vollständig vergast wird; in diesem Falle müssen große Brennstoffverluste in der Schlacke auftreten. Aus diesen Gründen beschäftigte sich F. Hoffmann¹⁾ eingehend mit der Untersuchung dieser Verhältnisse und gibt für 50 Steinkohlen die in Zahlentafel 25 wiedergegebene Aufstellung,

¹⁾ F. T. Jg. 3, H. 22/24.

Zahlentafel 26. Konstitution von Generatorgas aus deutschen Gaskohlen nach F. Hoffmann-Berndorf.

	Vergasung ohne Dampf			Vergasung mit maximalem Dampfzusatz		
	Gas in cbm aus 100 kg Reinkohle		%	Gas in cbm aus 100 kg Reinkohle		%
	1	2		3	4	
Entgasungs- produkte	C _n H _m	1,11	0,268	1,11	1,11	0,257 C _n H _m
	CH ₄	10,09	2,44	10,09	10,09	2,33 CH ₄
	CO ₂	0,76				
	CO	3,28				
Vergasungs- produkte	H ₂	18,2		6,96	44,58 =	11,91 CO ₂
	CO ₂	6,2	1,69	121,88	—	17,86 CO
	CO	118,6	29,49	25,76	73,24 =	22,88 H ₂
	H ₂ (aus Koks)	7,56	6,23			
	N ₂ (aus Kohle)	0,94				
	N ₂ (aus Luft)	246,6	247,54	59,88	—	44,76 N ₂
Zusammen:		413,34	100,00	137,8 =	83,90 =	432,66
						100,00

worin der Anteil an Destillationsgasen im Generatorgas ersichtlich ist. In Zahlentafel 26 ist weiter die von dem gleichen Verfasser berechnete Konstitution von Generatorgas aus deutscher Gaskohle niedergelegt.

Bei weiterer Beschäftigung mit dem Thema¹⁾ kommt der gleiche Autor zu folgenden Ansätzen für die Berechnung der Kohlenstoffanteile, die für die Vergasung (C_1) bzw. für die Entgasung (C_2) in Frage kommen, wenn a die Vol. % CO_2 , b die Vol. % CO , c die Vol. % H_2 und m die Vol. % CH_4 sind:

$$\begin{aligned} C_1 &= 2,531 a + 1,531 b + 0,531 (c + m) - 53,13 \\ C_2 &= 53,13 + 0,469 c - (2,531 a + 1,531 b + 0,531 m). \end{aligned}$$

Diese Rechnungen gelten aber einerseits nur für Steinkohle und sind andererseits auch aus dem Grund wenig verlässlich, weil die Vorgänge im Gaserzeuger infolge anderer Temperaturen möglicherweise ganz anders verlaufen, wie gerade der Hinweis Dichmanns zeigt.

Die obengenannten Formeln berücksichtigen weiter nicht die Tatsache, daß sich sowohl CO als auch CO_2 bei der Destillation bilden. Sie sind daher besonders für jüngere, sauerstoffreiche Brennstoffe nicht anwendbar. In Zahlentafel 13 ist die Zusammensetzung von Destillationsgasen und die Ausbeute daran für verschiedene Brennstoffe angegeben, aber die Verhältnisse wechseln, wie dort zu sehen ist, in so weiten Grenzen, daß man z. B. von Rückschlüssen aus diesen Zahlen nur ungefähre Ergebnisse erwarten kann. Verlässliche Rechnungen kann man daher nur dann aufstellen, wenn man nicht nur die genaue Zusammensetzung der Destillationsgase bei einem bestimmten Brennstoff kennt, sondern auch sicher ist, daß das Gas in einem normalen Betrieb ohne Störungen gewonnen wurde.

Wie verwickelt solche Rechnungen sind, zeigt das Beispiel einer Durchrechnung bei Siemens-Gaserzeugern von Jüptner und Toldt²⁾ in Zahlentafel 27, wobei aber die Rechnung aus dem Grunde wesentlich einfacher ist, weil es sich nur um Luftgasherstellung handelt. Ferner ist diese Rechnung unter der Annahme gemacht, daß bei der Destillation kein CO_2 auftritt, was nicht richtig ist; in dem gegebenen Beispiel wäre der Fehler nur 0,39 kg C, wenn das Verhältnis CO zu CO_2 im Destillationsgas das gleiche wäre wie im Generatorgas. Tatsächlich ist das Verhältnis aber kleiner, der Fehler somit größer.

Hat man nun das reine Vergasungsgas berechnet, so läßt sich leicht die Zusammensetzung des Endgases bzw. die Zusammenhänge der Vorgänge im Gaserzeuger, die Wärmetönung der Umsetzung u. dgl. be-

¹⁾ Die volumetrische Konstitution des Generatorgases. J. f. G. 1916, S. 189 und 206.

²⁾ Chemisch-kalorische Studien über Generatoren und Martinöfen. 2. Aufl. Leipzig: Felix 1900.

Zahlentafel 27. Vorgänge in einem Siemenserzeuger nach Jüptner und Toldt.

100 kg Rohkohle mit 12,42% H ₂ O enthalten (alles in kg)	und geben Destillationsgas						Es ver- bleibt im Koks	und gibt mit Luft	Luftgas			während als Kost- durchfall verloren- geht	
	H ₂ O	CO	CH ₄	H ₂	NH ₃	H ₂ S			CO ₂	CO	H ₂		N ₂
Feuchtigkeit	12,42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Asche	4,92	—	—	—	—	—	4,92	—	—	—	—	4,92	
Kohlenstoff	64,92	5,67	0,52	—	—	—	58,73	6,57	36,49	—	—	15,67	
Stückstoff	0,50	—	—	—	0,50	—	—	—	—	—	—	211,63	
Schwefel	0,52	—	—	—	—	—	0,12	—	—	—	—	0,12	
Disponibler Wasserstoff (2,50)	4,08	—	—	3,14	0,11	0,025	—	0,25	—	—	—	—	
Chem. geb. Wasserstoff (1,58)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Wasser { Sauerstoff	12,64	5,08	7,56	—	—	—	—	64,49	17,51	48,65	—	0,25	
Zusammen:	100,00	12,42	13,23	0,69	3,14	0,61	0,425	63,77	276,37	24,08	85,14	0,25	211,63
An den Vorgängen unbeteiligt	—	5,715	—	—	—	—	—	—	O=0,89	—	—	—	3,02
Summa (Gas):	—	18,165	—	0,69	3,39	0,61	0,425	—	0,89	24,08	98,37	—	214,65
Zu viel ausgewiesen	—	—	—	—	—	—	—	—	1,92	—	—	—	—

Zahlentafel 28. Verhältnisse zwischen Volumen und Oberflächen von Brennstoffkugeln.

r in cm	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	20,0
K für 1000 Kugeln cem	33,50	523,5	4188	33504	523500	4188000	33504000
L " " "	11,74	183,5	1468	11744	183500	1468000	11744000
F " " "	502,64	3141,5	12566	50264	314150	1256600	5026400

rechnen. Hierzu sind die von Hoffmann gegebenen Diagramme sehr brauchbar. Sehr anschaulich ist auch die von Wa. Ostwald in Vorschlag gebrachte Anwendung des Gibbschen Dreiecks¹⁾ dafür. Mit demselben läßt sich die Darstellung der Gleichung

$$a + b + c = \text{konstant}$$

durchführen, und Ostwald fand durch Prüfung, daß die bei allen Gasarten auftretenden Bestandteile C, O₂, H₂O, H₂, CO, CO₂ (CH₄

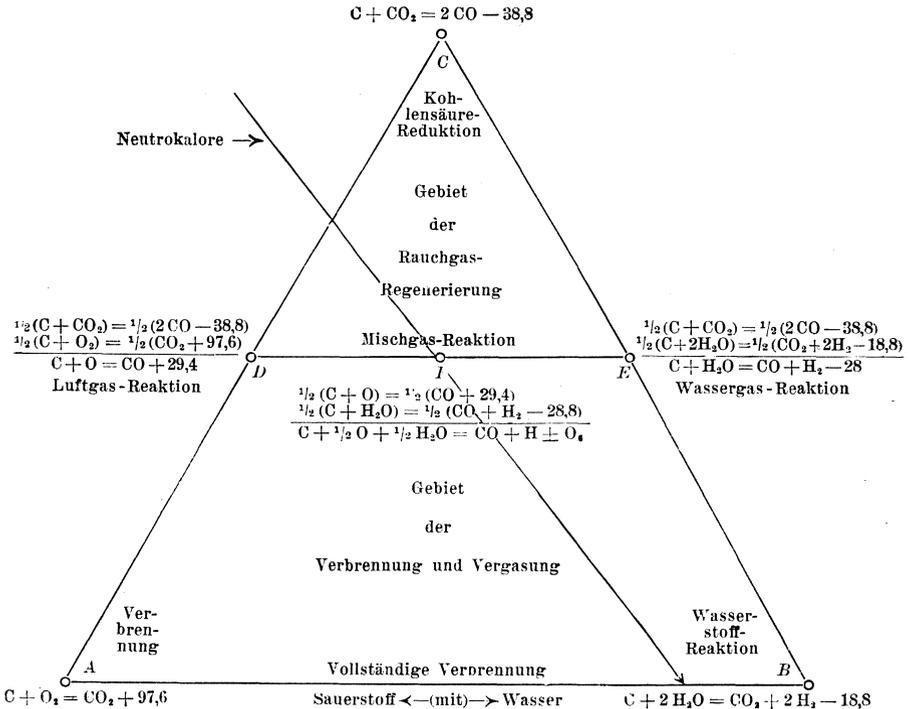


Abb. 10. Vergasungsdreieck nach Ostwald.

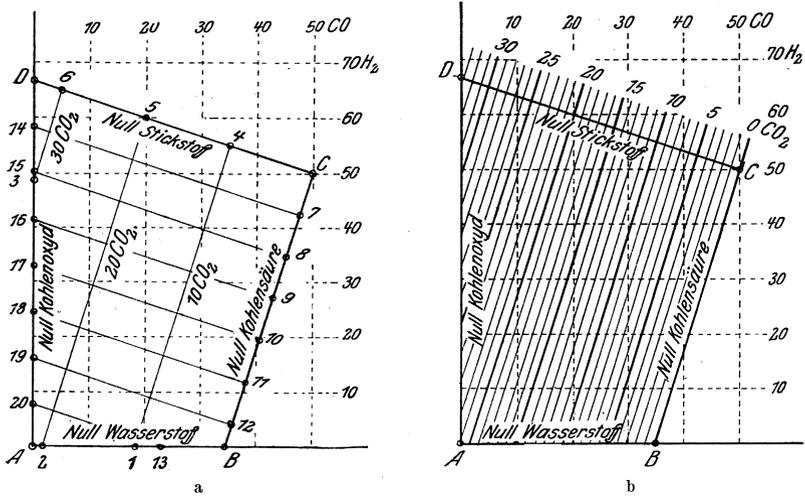
ist als Destillationsanteil außer Spiel gelassen) durch die 3 Grundgleichungen:

- (a) $C + O_2 = CO_2$
- (b) $C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$
- (c) $C + CO_2 = 2CO$

gekennzeichnet sind. Ordnen wir jeder der Gleichungen eine Ecke im Gibbschen Dreieck zu, so ergibt sich auf Grund einfacher Rechnungen und Überlegungen das in Abb. 10 dargestellte sogenannte Vergasungs-

¹⁾ Wa. Ostwald: Beiträge zur graphischen Feuerungstechnik. Leipzig: Spamer 1920.

dreieck. Durch die Beschriftung der Abbildung dürfte eine ausführliche Erläuterung überflüssig erscheinen, und sei im übrigen auf die Ausführungen des Buches verwiesen. Besonders anschaulich wird das Bild



durch Einzeichnung der sogenannten Neutrokalore, während andererseits bei den Reaktionsgleichungen die frei werdenden bzw. verbrauchten Wärmemengen angegeben sind. Ostwald konstruierte darauf einen sogenannten isokalorischen Körper.

Was nun die praktische Anwendung anbelangt, so ist dieselbe etwas beschränkt. Tatsächlich kennt man den Anteil der einzelnen Reaktionen in den seltensten Fällen, sondern möchte diesen durch die Zusammensetzung des Gases ermitteln. Man muß nun für jeden Fall eine Konstruktion durchführen; wesentlich leichter wäre dies, wenn man ein Netz von Maßlinien darüber breiten könnte. Dies ist ebenso möglich, wie bei dem in Abb. 11 a—c dargestellten Diagramm von Hoffmann, wie folgende Überlegung zeigt. Bei dem Dreieck von Ostwald tritt

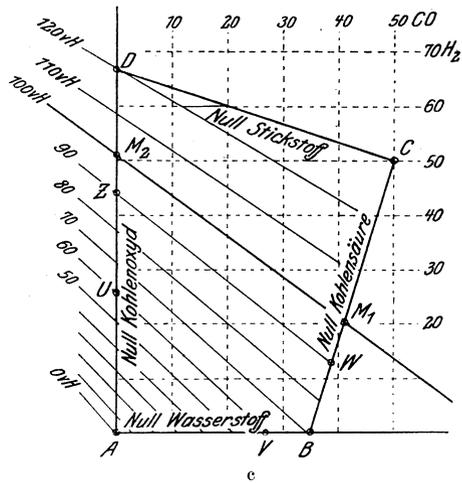


Abb. 11a—c. Vergasungsdiagramme nach Hoffmann. (Abb. 11c Wirkungsgrade.)

N_2 nicht in Erscheinung; es ist aber die dem Punkt *I* gegenüberliegende Seite, weil die Gleichung (*a*) der Luftzuführung entspricht. Ebenso ist der der Gleichung (*b*) zugeordnete Vorgang die Dampffzuführung, und die dem Punkt *II* gegenüberliegende Seite entspricht Null H_2 , während (*c*) der CO_2 -Zuführung zugeordnet ist und daher die gegenüberliegende Seite mithin Null CO entspricht, während der Punkt *III* 100% CO gleichkommt. Die Linie Null CO_2 ist aber *DE* und das ganze Feld der Rauchgasregenerierung, welches sogenannten reaktionsfremden C (aus der zugeführten CO_2) enthält, ist also anders geartet. Das Trapez *ABED* erinnert nun sofort an dasjenige von Hoffmann, welches aber zwei rechtwinklige Ordinatenysteme enthält, während eine entsprechende Nachkonstruktion bei Ostwald büschelartige Ordinaten zeigt, die sehr ungünstige Schnittpunkte liefern. Auch das Diagramm von Hoffmann läßt die Anordnung von Isothermen (Isokaloren bei Ostwald), ferner aber auch Linien für gleichen Kohlenstoffgehalt je cbm, gleiche Dampferzersetzung, Heizwerte, Wirkungsgrade usw. zu, wie die Originalarbeit ersehen läßt. Für praktische Zwecke erscheint daher das Diagramm von Hoffmann geeigneter, insbesondere zur Überprüfung von Gasanalysen; dagegen ist das Ostwaldsche Diagramm für die Systematik vorteilhafter und läßt den Anteil der 3 Gleichungen bzw. der 3 Umsetzungsstoffe bei einem gegebenen Gas sofort ermitteln, während das bei dem anderen nur durch entsprechende Anpassung mittels eines darübergelegten unregelmäßigen Netzes möglich wäre. Beide Methoden sind zweifellos für den Praktiker sehr wertvoll, dürfen aber in ihrer Anwendbarkeit nicht überschätzt werden.

III. Die technischen Grundlagen der Vergasung.

1. Das Brennstoffbett.

Der notwendigerweise vorhandene Hauptstoff ist die Kohle, welche von den reagierenden Gasen (Dampf, Luft usw.) umspült wird. Da sich alle chemischen Vorgänge nach Funktionen der Masse, der Zeit, der Temperaturen und besonders auch der Oberflächen abspielen, ist die Beschaffenheit des Brennstoffbettes von ausschlaggebender Bedeutung. Der Einfluß der Oberfläche ist dadurch bedingt, daß es sich um Reaktionen zwischen festen und gasförmigen Stoffen handelt. Wenn man bedenkt, daß 1 cbm C (Koks) bei der Verbrennung zu CO_2 14000 cbm Luft, bei der Umsetzung zu CO demnach 7000 cbm benötigt, und daß diese Mengen einer Kugel von 24 bzw. 19fachem Durchmesser gleichkommen, erkennt man den Einfluß kleinster Korngröße (wie z. B. bei der Staub-

feuerung), und es ist dem Hinweis von Bleibtreu¹⁾ zuzustimmen, daß die Staubfeuerung der Gasfeuerung sehr nahekommt. Bei 0,02 mm Korngröße würde die Lufthülle 0,48 mm Durchmesser haben müssen, d. i. das 3400000fache eines Luftmoleküles. Die Kohlenstücke unregelmäßiger Abmessungen werden sich nun um so mehr Kugelform nähern, je kleiner sie sind. Legen wir daher unseren weiteren Betrachtungen kugelförmige Teilchen zugrunde, so ergibt sich zunächst zwischen Volumen und Oberfläche das Verhältnis

$$\frac{K}{F} = \frac{\frac{4}{3} r^3 \pi}{4 r^2 \pi} = \frac{r}{3}.$$

Die Oberfläche ist daher bei kleineren Teilchen relativ größer, was zur Beförderung der Reaktionen beitragen muß. Bei großen Teilchen ist das Verhältnis um so ungünstiger, als man sich vorstellen kann, daß nur die halbe, dem Gas(luft)strom zugewendete Seite vorzugsweise für die Umsetzungen in Frage kommt. Der Einfluß der Oberfläche wird um so wesentlicher, je aschenreicher die Brennstoffe sind, weil dann die Aschen-substanz zurückbleibt und die innenliegenden Kohlenstoffteilchen schützt; in diesem Falle sind daher kleine Korngrößen vorteilhafter. Das Verhältnis $K : F$ ist bei einer Kugel ein Höchstmaß, da die Oberfläche der Kugel bei gleichem Inhalt die kleinstmögliche ist; unrunde Stückchen haben daher eine relativ größere Oberfläche, was von Vorteil ist, solange dadurch keine ungünstige Lagerung verursacht wird.

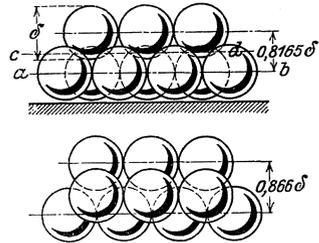


Abb. 12. Lagerung von Kugeln gleicher Größe nach Hausbrand.

Betrachten wir nun das Volumen geschichteter Kugeln, so ist vorerst zu bemerken, daß die Lagerung keine ganz regelmäßige sein kann. Denken wir uns vier Kugelausschnitte von gleichem Radius und von je 60° Kantenwinkel zusammengesetzt, so ist der Flächenwinkel $70^\circ, 31' 46''$ und das Leervolumen wird in dem zugehörigen tetraedrischen Körper zwar ein Minimum sein, die Tetraeder lassen sich jedoch nicht zu einem vollständig glattgefüllten Raum zusammensetzen. Man kann daher diese Anordnung nur in einer Schicht gelten lassen und muß die darüberliegende Schicht wechselweise legen. Tut man dies entsprechend Abb. 12²⁾, so findet man für 1000 Kugeln gleicher Größe vom Halbmesser r :

¹⁾ Vgl. Bleibtreu: Kohlenstaubfeuerungen. Berlin: Julius Springer 1922.

²⁾ Nach Hausbrand: Das Trocknen mit Luft und Dampf. 5. Aufl., S. 98. Berlin: Julius Springer 1920.

$$\text{Gesamtraum } V = (10 \cdot 2r) (10r\sqrt{3}) (10r\sqrt{3} \sin 70^\circ 31' 46'') \dots = 5656 r^3$$

$$\text{Kugelinhalt } K = \frac{1000 \cdot 4r^3\pi}{3} \dots = 4188 r^3$$

$$\text{Gasraum } L = V - K \dots = 1468 r^3$$

Letzterer beträgt somit $\frac{1468}{5656} = 25,94\%$ des Gesamtraumes, und das Verhältnis $\frac{K}{L}$ ist daher unabhängig von der Größe der einzelnen Teilchen

eine Konstante vom Werte 2,85. Es ist aber bei der gewählten Annahme gleich großer Teile ein Mindestwert, somit der Gasraum der größtmögliche. Man kann sich dies am anschaulichsten dadurch vergegenwärtigen, daß man sich zwischen die jeweils einander berührenden vier Kugeln eine kleine Kugel so geklemmt denkt, daß die vier großen Kugeln einander nichtsdestoweniger berühren. Auch bei unrunder Teilchen wird das Verhältnis in der Regel ungünstiger, also größer sein, da sich die mehr oder weniger ebenen Flächen aneinanderpassen und so den Gasraum verringern. Kleinere Werte des Verhältnisses wären lediglich bei sperrigen Brennstoffen zu erwarten, wo man erfahrungsgemäß auch leicht die Bildung von Hohlräumen beobachtet, die für die Vergasung ungünstig sind. Es ist auch besonders zu beachten, daß die freien Querschnitte in den einzelnen Ebenen verschieden sind. So beträgt dieser Querschnitt in der Mittelebene durch eine Lage Kugeln 9,355%, in der Berührungsebene der benachbarten beiden Lagen 39,53% des Gesamtquerschnittes. Andererseits ist die Gesamtoberfläche der tausend Kugeln

$$F = 1000 \cdot 4r^2\pi = 12566r^2.$$

Betrachtet man die so gegebenen Verhältnisse weiter, so ist es klar, welchen Einfluß die Korngröße haben muß. Es sei beispielsweise der Wert der drei Größen K , L und F für 1000 Kugeln bei verschiedenen Werten von r in Zahlentafel 28¹⁾ berechnet. Das Verhältnis $L:F$ ist bei einer Staubkohle von 2 mm Korn derart, daß für 1 ccm Luft eine Reaktionsfläche von nahezu 50 qcm zur Verfügung steht, während bei einer Stückkohle von 200 mm nur mehr eine Fläche von etwa 0,5 qcm für dasselbe Luftquantum zur Reaktion vorhanden ist.

Diesen Einfluß erkennt man augenscheinlich an den Versuchen von W. Wielandt, die in Zahlentafel 14 zusammengestellt sind. Es ist dabei zu beachten, daß Wielandt die Geschwindigkeit und Berührungzeit ohne Rücksicht auf die Füllung berechnet. Da diese unter mittleren Verhältnissen etwa 75% beträgt, ist der tatsächliche Gasraum nur $\frac{1}{4}$, ganz abgesehen davon, daß die Geschwindigkeiten wegen der hohen herrschenden Temperaturen nochmals gesteigert sind. Man müßte daher, um annähernd mit tatsächlichen Verhältnissen vergleich-

¹⁾ Zahlentafel 28 befindet sich aus satztechnischen Gründen auf S. 89.

bare Zahlen zu gewinnen, die Geschwindigkeiten mit 16 multiplizieren und die Berührungszeiten durch 16 teilen. So erklärt sich auch, daß bei weiterer Steigerung der Windgeschwindigkeit über Versuch 3 hinaus die Koksteilchen mitgerissen wurden. Wenn man sich eine Geschwindigkeit von 175 cm/Sek., d. s. fast 2 m/Sek., vorstellt und das geringe spezifische Gewicht des Koks bedenkt, so läßt sich dieses Schweben der Teilchen erklären. In der Zahlentafel ist der Einfluß der Schichthöhe bzw. der Berührungszeit auffallend. Daher soll ungefähr berechnet werden, was für Aufenthaltszeiten in der Umsetzungszone eines Gaserzeugers in Frage kommen. Es sei ein Schachtquerschnitt von 6 qm und eine Vergasungsleistung von 600 kg/h angenommen. Die Glutzone sei 700 mm hoch und das Verhältnis $K:L = 3$ angenommen. Es ist dann $L = 1,05$ cbm. Der gesamte Brennstoffinhalt ist 4,2 cbm oder rd. 3,5 t. Die Aufenthaltszeit des Brennstoffes in der Glutzone beträgt daher rd. 6 Stunden. Die Gaserzeugung wird etwa 2400 cbm/h oder 0,66 cbm/Sek. betragen. Sieht man von Raumverschiebungen auf Grund der eintretenden Reaktionen ab, indem man lediglich die Gasgleichgewichtszustände in Betracht zieht, und rechnet 1000° als mittlere Temperatur (1300—700°), so ist die Aufenthaltszeit $1,05:(4,67 \cdot 0,66) = 0,316$ Sek. Wenn der Gasweg annäherungsweise mit 1 m gerechnet wird, beträgt die Geschwindigkeit im Mittel 3,17 m/Sek. Die größte Geschwindigkeit im engsten Querschnitt wird aber sein:

$$v_{\max} = \frac{4,67 \cdot 0,66}{6 \cdot 0,00355} = 5,5 \text{ m/Sek.}$$

Man wird sich nach Klarstellung dieser Verhältnisse nicht darüber verwundern, daß die chemischen Reaktionen im Gaserzeuger selten bis zur Erreichung des Gleichgewichtszustandes führen. Weiter bedingen die großen Raumverschiebungen zusammen mit der durch die Temperatursteigerung bedingten Volumvermehrung des Gases einen erheblichen Druckhöhenverlust, d. h. Widerstand des Brennstoffbettes. Derselbe ist bei kleinstückigen Kohlen größer, diese erlauben aber wegen ihrer vielfachen Oberfläche auch niedrigere Schütthöhen, wie aus der Praxis bekannt. Bei gut sortierten, besonders gewaschenen Kohlen wird man daher mit niedrigen Brennstoffschichten oft ein besseres Ergebnis erwarten können, als mit grobstückigen bei sehr hoher Füllung. Aus Zahlentafel 14 ersieht man, daß eine Korngröße von 12 mm günstiger ist als eine solche von 15—25 mm, und die Erfahrungen der Praxis zeigen auch, daß eine gesiebte Kohle von 6—15 mm Korn die geeignetste Gaserzeugerkohle ist.

Insbesondere ist bei der Auswahl der Brennstoffe zu beachten, daß neben gleichmäßigem Korn auch Staubfreiheit wichtig ist. Im allgemeinen hat hier das Wort: „Für den Betrieb ist der beste Brennstoff

auch der billigste“, eine gewisse Berechtigung, wie vorstehend gezeigt wurde. Als nicht geeignete Brennstoffe sind backende und blähende Steinkohlen anzusehen, weil diese stets dem Durchgang der Gase Hindernisse in den Weg legen, große Geschwindigkeiten, unregelmäßiges Feuer und ein Hochbrennen der Gaserzeuger bedingen. Auch muß man, um das Zusammenbacken einigermaßen zu bewältigen und insbesondere das Erweichen in der Glutschicht zu umgehen, den Gaserzeuger sehr heiß betreiben, was nach dem früher Gesagten stets ungünstig wirkt, weil die Erzeugnisse der Entgasung zersetzt werden. Ein idealer Vergasungsbrennstoff sind magere, nicht backende Steinkohlen und hochwertige Braunkohlen, wie böhmische Braunkohlen und Braunkohlenbrikett.

Insbesondere sind vereinzelte große Stücke zwischen Feinkohlen oder umgekehrt sehr ungünstig. Im ersteren Fall trifft auf ein solches Stück von unten eine Anzahl von Gasströmen, die alle seitlich ausweichen müssen. Die feinen Brennstoffteile an den seitlichen Rändern des großen Stückes werden von diesem zusammengepreßten Strom leicht mitgerissen, und es ergeben sich so Kanäle, die ihren Weg nach oben suchen. Ist aber erst ein solcher Kanal oder Trichter entstanden, was noch leichter eintritt, wenn mehrere größere Stückchen zusammenfallen, so ist dort ein Weg von geringem Widerstand gefunden und es besteht für die Luft eine Möglichkeit, ohne chemische und mechanische Arbeitsleistung zu entweichen. Das teilweise gebildete Gas verbrennt mit dem vorhandenen Luftüberschuß sowohl innerhalb des Kanales als auch besonders beim Austritt in den Gasraum (Oberfeuer) und die Folge ist nicht nur eine schlechte Gaszusammensetzung und heißer Gaserzeugergang, sondern auch das gefürchtete Auftreten von Verschlackungen, weil an diesen Stellen ganz wesentlich höhere Temperaturen auftreten können als normalerweise im Gaserzeuger in Frage kommen. Es genügt nun im Betriebe nicht, solche Löcher von oben zu schließen, weil sich in diesem Fall die Luft eben wieder Luft schafft und die in die Löcher eingebrachten Teilchen einfach wegführt, sondern man kann nur durch mehrmaliges, scharfes Durchstoßen eine Besserung schaffen, indem man die Schlackenansätze zerbricht, weiter die Umgebung ordentlich auflockert und so den Weg wirklich verlegt, dagegen andere Wege frei macht; meist wird man den Vorgang in einem gewissen Zeitabstand wiederholen müssen, da sich solche Löcher oft sehr hartnäckig zeigen. Sehr unangenehm sind solche Trichter bei feinkörnigen Brennstoffen; man sieht bei diesen oft die Bildung in allen Stadien. Vor dem Auftreten des Oberfeuers tanzen die leichten Teilchen an einer gewissen Stelle der Glutschicht langsam auf und ab; es ist dies bereits das Zeichen einer größeren Geschwindigkeit des Gasstromes an dieser Stelle. Greift man nicht bald zu, und läßt die Dinge werden, so tritt dann zuerst Oberfeuer hinzu, anfangs kurze Flämmchen, dann immer stärker wer-

dend, der Trichter vertieft sich durch die mitgerissenen Teilchen und schließlich bricht der Schlot ganz auf, manchmal unter so außergewöhnlichen Verschiebungen des Gleichgewichtes (besonders bei höheren Winddrücken), daß der Generatorinhalt zu großen Teilen umgelagert wird. Die Folgen kann man sich vorstellen, da dabei große Mengen unvergastem Material nach unten kommen und umgekehrt.

Das Gegenstück ist die Anhäufung sehr staubreicher Nester in einer sonst gleichmäßigen Brennstofffüllung. Diese bieten ebenso wie große Stücke einen erheblicheren Widerstand und kommen daher fast unverbrannt bis zum Rost; oberflächlich sind sie oft verschlackt. Solche Nester findet man bei sehr schlecht sortierten Brennstoffen, wie Förderkohle und Koksasche¹⁾, besonders häufig aber bei Rohbraunkohlen u. dgl., so daß man bei der Feuermessung oft mehrere Glutzonen übereinander mit dazwischenliegenden, ganz kalten Nestern oder Lagen feststellen kann. Ähnliche Erscheinungen treten bei backenden und noch mehr bei blähenden (jüngeren) Steinkohlen auf. Die erweichenden Brennstoffteilchen bilden dabei oft eine weiche Masse über den ganzen Querschnitt, der nur wie ein Butterteig einzelne Blasen aufweist. Wenn man gerade bei ungünstigen Temperaturverhältnissen frische Kohle auffüllt, so kann es tatsächlich eintreten, daß die Gaserzeugung nach der anfänglich starken Entgasung so gut wie ganz aufhört; auch dauerndes Stochen hilft wenig, da die geschaffenen Löcher durch die erweichte Masse bald wieder geschlossen werden. Ein Besserwerden tritt erst ein, wenn die Temperatur wieder höher geworden ist, was aber bei dem geringen Gasdurchgang oft Stunden dauert, dann schwindet die Erweichung und die entstehenden spröden Koksmassen können durch fleißiges Stochen zertrümmert werden.

Die Verhältnisse im Brennstoffbett bei ungleichmäßigen Brennstoffen sind weiter aus dem Grunde ungünstig, weil sich die verschiedenen Korngrößen auch ungleich verteilen. Die groben und großen Stücke fallen mehr zum Rand, das Feine zur Mitte. Man kann nun das Oberfeuer sowohl in der Mitte wie am Rande erwarten, je nach der besonderen Neigung des Brennstoffes und dem sonstigen Zustand des Gaserzeugers. In der Regel herrscht das Randfeuer vor, weil dort durch die hemmende Wirkung der Schachtwand beim Niedergehen des Brennstoffes die Teile lockerer und sperriger liegen. Da nun der Einfluß einer nur 100 mm breiten Randschicht bereits ein wesentlicher ist, weil die bei dieser Breite in Frage kommende Fläche im Verhältnis zur übrigen Schachtfläche bei 3 m Ø rd. 15%, bei 2,5 m Ø rd. 18%, bei 2 m Ø rd. 23% ist, so kann man sich leicht vorstellen, wie sehr auftretendes Randfeuer die Gaszusammensetzung verschlechtert. Der Einfluß ist

¹⁾ Vgl. H. Waldeck: Theorie und Praxis des Gasgeneratorbetriebes. Halle: Knapp 1910.

bei kleinen Schachtdurchmessern erheblicher und bei geringer Belastung der Gaserzeuger größer als bei Vollbetrieb¹⁾. Nach alledem ist verständlich, wie wichtig eine mechanische Beeinflussung des Brennstoffbettes ist, was noch in einem späteren Abschnitt gezeigt wird (vgl. S. 124) und wie sehr es auf eine sachgemäße Aufgabe des Brennstoffes ankommt. An dieser Stelle sei auch auf verschiedene Bestrebungen verwiesen, welche dahin zielen, das Brennstoffbett aufzulockern, was besonders bei backenden Steinkohlen wichtig ist. Blezinger schlug dafür eine Beimengung von Steinen vor (D.R.P. 101 610 v. 1898), welche unverändert den Gaserzeuger durchwandern und so immer wieder verwendet werden können. Meist wird es aber billiger sein, frische Lockerungsmittel beizumischen. Der Vorschlag scheint absurd, ist es aber eigentlich nicht; trotzdem hat er sich kaum eingebürgert. Dagegen hat man vielfach bei der Vergasung backender Kohlen Koks der Beschickung beigegeben, um das Bilden von Kuchen zu verringern; auch magere Brennstoffe können sich hierzu eignen, wenn ihre Vergasungsgeschwindigkeit nicht allzusehr abweichend ist, weil sonst wieder die Bildung von Hohlräumen und Trichtern befürchtet werden muß.

Der Haupt Gesichtspunkt ist aber sicher die richtige Brennstoffauswahl hinsichtlich der Sortierung, was viel zu wenig beachtet wird.

In der Regel glaubt man in den billigeren Förderkohlen den günstigsten Brennstoff gefunden zu haben, aber der Preisunterschied zwischen Förderkohlen mit 40% Stücken und Nußkohlen von 8—15 mm Korn beträgt 8—10%, während man den Staubabfall bei Förderkohlen im Durchschnitt mit 8—12% festgestellt hat. Bei den üblichen Reinigungen der Gasleitungen ist man meist kaum in der Lage, diesen Abfall richtig einzuschätzen, woraus es sich erklärt, daß man diesem Gesichtspunkt viel zu wenig Bedeutung beimißt.

Zusammen mit der Staubbildung hat bei Steinkohlen noch die Rußbildung große Bedeutung, die besonders bei heißgehenden Steinkohlen in Betracht kommt. Ob diese Erscheinung nur auf Umsetzungen des Kohlenoxyds in der Gasphase zurückzuführen ist, oder mehr auf Zersetzen der Kohlenwasserstoffe bei den hohen Temperaturen²⁾, mag dahingestellt werden. Beide Vorgänge sind zweifellos nur bei höheren Temperaturen möglich, woraus zu folgern ist, daß man den Gaserzeuger mit so niedrigen Temperaturen wie möglich betreiben und für eine gleichmäßige und nicht zu niedrige Glutschicht sorgen muß. Die Forderung einer möglichst hohen Glutschicht — für den Durchschnitt etwa 1 m — ist aber nur dann zu verwirklichen, wenn ein gleichmäßiges Korn vergast wird, und man sieht aus dieser Abhängigkeit wieder die

¹⁾ Vgl. Neumann: Z. d. V. d. I. 1914, S. 1481.

²⁾ Vgl. S. 84.

Wichtigkeit der zuerst aufgestellten Bedingung. Die Erhöhung der Glutschicht macht eine Erhöhung des Winddruckes nötig, und daher ist für die gleichmäßige Verteilung der Vergasungsluft Vorsorge zu treffen. Das beste Mittel hierzu ist eine nicht zu niedrige, gleichmäßig stückige Aschenschicht.

2. Die Rückstände und deren Entfernung.

Die ältesten Gaserzeuger hatten einen Rost ähnlich dem der einfachen Feuerungen. Die Rückstände sammelten sich auf diesem an und wurden von Zeit zu Zeit entfernt. Soweit klingt das einfach. Es ist aber bereits mehrfach auf die entstehenden Verschlackungen hingewiesen worden; diese machten sich augenscheinlich gerade in den ersten Entwicklungsjahren bemerkbar, und zwar um so mehr, als man damals die Einflüsse des Dampfzusatzes noch nicht in dem Umfange kannte wie heute. Ebelmen änderte daher als erster seinen Gaserzeuger so, daß er einem kleinen Hochofen ähnelte, führte die Schlacke flüssig ab und setzte Dampf in einer höheren Schicht zu. Später ist dieser Weg wieder in Vergessenheit geraten und man arbeitete meist mit Körtinggebläsen, die unmittelbar das gewünschte Dampfluftgemisch förderten. Bei allen gutartigen Brennstoffen, die nicht zu Verschlackungen neigen, genügte dieses System, aber die damals gebräuchlichen Gaserzeugerbauarten hatten den Nachteil, daß die Rückstände viel Unverbranntes enthielten, einerseits, weil wohl der Dampfzusatz meist zu hoch, und andererseits, weil wegen der geringen verwendbaren Drücke die Schütthöhe niedrig war. So griff man etwa um 1870 wieder die Idee des Schmelzgenerators auf. Sailer, der diese Wiedereinführung in Witkowitz veranlaßte, äußerte sich über die dafür maßgeblichen Gründe in einem Vortrag¹⁾ etwa wie folgt: „Kein Rost, daher kein Rostdurchfall, hohe Brennstoffschicht, daher keine Kohlensäure, Generator in unmittelbarer Nähe des Schmelzofens und gut ausgemauerte Leitungen, somit keine Teerkondensation.“ Trotzdem hat man auch dort das System bald wieder verlassen; die Gründe dürften jedem Hüttenmann geläufig sein; ist schon der Hochofen sehr empfindlich, so muß sich das bei Schachtdurchmessern von 1,8 m noch mehr bemerkbar machen. Zudem gingen die Gaserzeuger sehr heiß, die Wände wurden stark abgenutzt und erforderten viel Instandhaltung. Später hat man in Audincourt (dem Tätigkeitsorte Ebelmens) diese Bauart nochmals aufgegriffen (Sepulchre) und schließlich hat sich dieses System größeren Eingang in die Praxis verschafft, wenngleich die Anwendbarkeit eine beschränkte ist.

¹⁾ J. d. öst. Ing. u. tech. Ver. 1898.

Die Vorzüge des Verfahrens dürften nach dem Gesagten geläufig sein, sowie auch die Nachteile; abgesehen von den bereits erwähnten sind sie besonders wärmetechnischer Natur. Rostdurchfall wird zwar vermieden, dafür führt aber auch die Schlacke Wärme ab; dieser Einfluß macht sich um so mehr bemerkbar, je aschenreicher der Brennstoff ist, weil zudem auch Zuschläge zum Leichtflüssigmachen notwendig sind. Andererseits kann man die Strahlungsverluste des Gaserzeugers vermindern, weil die Durchsatzleistung bei den anwendbaren höheren Drücken eine große ist. Man glaubte daher die Bauart besonders für die Vergasung feinkörniger und staubreicher Brennstoffe verwenden zu können. Dies ist aber nicht gelungen, denn auch hohe Drücke sind, wie in Abschnitt I gezeigt wurde, nur in gewissen Grenzen anwendbar, und zudem hat gerade das Fehlen einer Aschenschicht den Nachteil eines unregelmäßigen Fortschreitens der chemischen Vorgänge.

Man muß sich dabei vorstellen, daß die Rückstände wegen ihrer gleichmäßigen und feineren Körnung das beste Mittel zur Verteilung der Vergasungsluft über den ganzen Querschnitt darstellen. Bilden sich Schlackenklumpen, so ist naturgemäß das Gegenteil der Fall. Sonst hat man stets ein etwa 30—50 cm hohes Aschenbett, in welchem sich keinerlei Umsetzungsvorgänge mehr abspielen und sich lediglich Luft (Dampf) vorwärmt. Dadurch sind die in Teil II angegebenen Umsetzungsvorgänge bei höherer Temperatur möglich und die Asche verläßt den Gaserzeuger ziemlich kalt. Bei vielen Brennstoffen, besonders solchen mit Neigung zur Schlackenbildung, ist dies allerdings nicht zutreffend, und man hat daher gerade in dieser Hinsicht fortdauernd bauliche Entwicklungen versucht; theoretisch ist die Sachlage aber einfach, und es ist naheliegend, daß man in den meisten Fällen das Gegenstromprinzip in der Bewegung von Brennstoff und Asche einerseits, Luft und Gas andererseits anwandte, weil man derart die beste Wärmeausnutzung erwarten konnte.

Bei den Gaserzeugern mit Rost sammeln sich die Rückstände auf den Rosten an und müssen von Zeit zu Zeit ganz so wie bei den Feuerungen entfernt werden. Die spätere Beschreibung der Rostformen wird aber zeigen, daß man die Ausgestaltung derselben oft gerade von dem Gesichtspunkt aus anpackte, um die Aschenentfernung zu erleichtern. Denn das Aufbrechen des Feuers und die Wegschaffung der heißen Rückstände ist wegen der großen Hitze und der Staubbelästigung eine schwierige und wenig beliebte Arbeit. Es tritt noch hinzu, daß die oben beschriebene Art der Aschenentfernung stets eine Unterbrechung des Vergasungsbetriebes bedeutet, was sich wesentlich mehr und ungünstiger bemerkbar macht, als bei einer Feuerung. Nachdem man daher die flüssige Abführung der Schlacke aufgegeben hatte, zeigte sich immer mehr das Bestreben, die Rückstände möglichst maschinell oder mit

einem Mindestmaß an Handarbeit, sowie möglichst gleichmäßig und fortlaufend zu entfernen. Die Einrichtungen hierfür stehen mit den Rostbauarten in direkter Abhängigkeit, weshalb sie hier nicht beschrieben werden sollen, es sei diesbezüglich auf die Ausführungen im IV. Teil (S. 135—203) verwiesen. Man verwendete sowohl dreh- als auch senkbare Planroste, Schnecken unter und vor den Rosten, Tische, herausfahrbare Aschenwagen und schließlich bewegte Roste, insbesondere Drehroste, um eine Auflockerung der Rückstände zu erreichen und deren Entfernung mit leichter Mühe zu sichern.

Wesentlich ist in dieser Hinsicht auch die Anwendung des sogenannten Wasserbades oder unteren Wasserabschlusses, wodurch die heiße Asche vor der Entfernung abgelöscht wird. Durch diese plötzliche Abkühlung zerspringen die Aschen- und Schlackenklumpen und der dabei entstehende Dampf unterstützt die chemischen Vorgänge im Gaserzeuger, bzw. verhindert in den darüberliegenden Schichten die Bildung von Schlacken. Daneben hat man aber auch andere Hilfseinrichtungen, wie Kühlringe, Kühlmäntel, verstellbare Dampfzuführungen u. dgl. vorgeschlagen, um diese Verhinderung zu erreichen und die Entfernung der Rückstände zu erleichtern.

Über die Einflüsse verschiedener Verunreinigungen auf die Schmelzbarkeit der Asche, bzw. die Verschlackung dieser, wurde einiges bereits in dem Abschnitt über Brennstoffe ausgeführt. An dieser Stelle ist noch auf die Forschungen von Stopes, Lessing u. a. zu verweisen¹⁾. Man unterscheidet nach diesen vier Arten von Steinkohle:

1. „Fusain“, eine „mineralische Holzkohle“ von nadelförmiger Struktur, ist physikalisch fast identisch mit gewöhnlicher Holzkohle, jedoch etwas weicher als diese und sehr porös; absorbiert Wasser, hält die im Wasser gelösten Salze je nach den Umständen in größerer oder kleinerer Menge zurück und kommt vorzugsweise im Kohlenstaub vor (nach Sinnat enthält Zechenstaub 30%, das bei der Kohlenwäsche erhaltene „slurry“ je nach der Korngröße 25—50%);
2. „Durain“, eine matte Hartkohle mit dem spezifischen Gewicht $D = 1,5$ entsprechend;
3. „Clairain“, eine Glanzkohle, die noch Pflanzenüberreste wie unveränderte Häutchen, Sporen usw. enthält, spezifisches Gewicht $D = 1,35$.
4. „Vitrain“, eine Glanzkohle mit muscheligem Bruch, ohne erkennbare Struktur, von gelartiger Beschaffenheit, spezifisches Gewicht $D = 1,35$.

¹⁾ Vgl. Brennstoffchemie. Jg. 3, S. 135.

Durchschnittlich enthielten „Fusain“ 15,59%, „Durain“ 6,26%, „Clairain“ 1,22% und „Vitrain“ 1,11% Asche. Man wird es demnach erklärlich finden, daß oft Feinkohlen derselben Grube mehr zur Schlackenbildung neigen als Stückkohle, was nicht nur durch die dichtere Lagerung bedingt sein kann.

Andererseits ist noch viel zu wenig erforscht, wie sich die Asche bei der Auflösung der Kohlensubstanz verhält, bzw. wie deren Verteilung gerade in aschenreicheren Sorten ist; es kann nach allen Beobachtungen angenommen werden, daß der höhere Aschengehalt ein sedimentärer, also unregelmäßig verteilter, mit der eigentlichen Kohlensubstanz nicht organisch verbundener ist. Daraus erklärt es sich, daß die Brennstoffteilchen ihre Struktur oft bis zum Schluß erhalten und erst bei Druckbeanspruchung zu losem Staub zerfallen. Für den Gaserzeuger ist es zur Erlangung eines guten Aschenbettes vorteilhafter, wenn die Asche nicht zu fein anfällt, sondern wenn die einzelnen Teilchen etwas gesintert sind. Bei etwas eisenreichen Aschen ist dies meist der Fall und machen sich zu weitgehende Verschlackungen nicht bemerkbar, solange der Schwefelgehalt nicht zu hoch ist. Überhaupt scheint dem S bei der Schlackenbildung der Haupteinfluß zuzusprechen zu sein und daneben den Alkalien, die leicht schmelzbare Silikate bilden.

Große Verschlackungen sind neben unrichtigem Gang der Gaserzeuger meist die Ursache eines hohen Gehaltes an Brennbarem in der Asche. Gegen erstere hilft erhöhter Dampfzusatz aber nur dann, wenn die Verteilung desselben gleichmäßig erfolgt und der Zusatz die Temperatur nicht zu sehr erniedrigt. Sonst erreicht man dadurch das Gegenteil. An vielen Stellen hat man früher diesen Verlusten wenig Bedeutung beigelegt; andererseits hat man darauf eine lohnende Zinderfabrikation aufgebaut, besonders in Gegenden, wo Koks selten und teuer ist und koksähnliche Produkte zu Reduktionszwecken (z. B. in der Zink- und chemischen Industrie) gesucht werden. Heute sind diese alten Waschmethoden wesentlich modernisiert worden, weil die Gewinnung der brennbaren Rückstände¹⁾ als eine Pflicht aus der notleidenden Wirtschaft folgt. Es ist klar, daß der so gewonnene Koks (Zinder) stets sehr aschenreich und daher minderwertig ist; hat man sehr veraltete Einrichtungen, so muß man derartige Methoden unbedingt anwenden. Andererseits kann man aber derartige Vorkommnisse bei neuzeitlichen Bauarten ganz vermeiden, welche im Durchschnitt Aschen mit etwa 10—15% Brennbarem geben; bei derart armen Rückständen lohnt sich eine Aufarbeitung nicht, und erscheint daher eine Modernisierung der Generatoranlagen wegen der vielen anderen Vorteile meist als der richtigste Weg und nicht der Einbau besonderer Ein-

¹⁾ Vgl. Bartsch: Brennstoff- und Wärmewirtschaft 1922, S. 27.

richtungen, die in wenigen Jahren doch fallen müssen. Denn die Rückgewinnung kann nie so lohnend sein, wie die restlose Ausnutzung. Aus diesem Grunde kann auch die planmäßige Gewinnung von Koks aus Gaserzeugern nicht als empfehlenswert bezeichnet werden; benötigt man ein koksähnliches Produkt und besitzt man eine Gaserzeugeranlage, so ist es naheliegender, das heiße Generatorgas als Wärmeträger für einen angeschalteten Schwelprozeß zu benutzen; derart erreicht man genau das gleiche wie im Gaserzeuger bei sachgemäßer Teilung der Vorgänge, und hat es in der Hand, ein möglichst aschenarmes Koksprodukt, ein angereichertes hochwertiges Gas und von der vergasteten Kohle eine gut ausgebrannte, sofort auf die Halde stürzbare Asche zu erzielen.

3. Die Zuführung der Reaktionsgase.

Die benötigte Luft (Dampf, Kohlensäure u. dgl.) läßt man in der Regel, wie bereits erwähnt, im Gegensinne zum Brennstoff durch den Gaserzeuger steigen, während die Kohle nach abwärts sinkt. Dies ist ohne weitere Erklärung natürlich, weil sowohl die Bewegung der Kohle unter ihrem Gewicht geradezu zwangsmäßig erfolgt, wie auch die Bewegung des Gases, denn die hohen Temperaturen über dem Rost bewirken von selbst einen Auftrieb des Gases. Es gilt dies auch, trotzdem dieselben in den obersten Schichten wieder eine Abkühlung erfahren; und nur bei sehr niedrigen Abgangstemperaturen und hohem Feuchtigkeitsgehalt der Gase könnte im Endeffekt ein Auftrieb nicht mehr vorhanden sein; aber die einmal erhaltene Richtung läßt auch in diesem Falle den Vorgang störungslos vor sich gehen. Diese Tatsache führte naturgemäß dazu, daß man anfänglich die Luft durch die Wirkung des Auftriebes ansaugte; die Wirkung der Esse auch unmittelbar angeschlossener Öfen reicht aber bis zum Gaserzeuger nicht zurück, wie Dichtmann sehr anschaulich darlegt, obwohl die gegenteilige Meinung selbst heute noch weitverbreitet ist. Die Zufuhr der Vergasungsluft unter Druck fand erst dann größere Anwendung, als man in den Körtingschen Dampfstrahlgebläsen ein Mittel gefunden hatte, diesen mechanischen Effekt zugleich mit der angestrebten Dampfzumischung zu erreichen.

Demgemäß unterscheiden wir Gaserzeuger mit natürlichem Zug, Druckgasanlagen und schließlich Sauggasanlagen; letztere kamen in Anwendung, als man das Gas zu Kraftzwecken benutzte und die Saugwirkung der Motore benutzte, um dem Gaserzeuger derart die Vergasungsluft zuzuführen. Es ist nun klar, daß sowohl die Gaserzeuger mit natürlichem Zug, als auch die Sauggaserzeuger nicht die gleiche Leistung aufweisen können, wie ein Druckgaserzeuger, und dies ist der

Grund, weshalb die erstgenannten Typen fast ganz außer Gebrauch gekommen sind. Nur bei kleinen Kraftgasanlagen ist Sauggas noch in der Regel angewandt.

Man kann allerdings nicht vom Widerstand eines bestimmten Brennstoffbettes sprechen, denn der Widerstand, d. h. der Druckhöhenverlust ist nicht nur von der Beschaffenheit der Kohlenschüttung, sondern in erster Linie von den bei bestimmter Leistung notwendigen Geschwindigkeiten abhängig. Wir haben aber gesehen, daß Geschwindigkeiten und Aufenthaltszeiten einerseits, und die relative Brennstoffoberfläche andererseits bestimmte Schütthöhen notwendig machen, die je nach dem Brennstoff nicht allzusehr schwanken. Man kann daher bedingt von einem empirischen Widerstand eines bestimmten Brennstoffes sprechen und wenn man nicht die nötige Druckwirkung (oder Saugwirkung) auf die Luft ausübt, so erzielt man eben eine wesentlich kleinere Leistung. Die Verhältnisse verschieben sich naturgemäß bei jeder Brennstoffsartierung; während z. B. bei Staubkohlen meist natürlicher Zug nicht zur Aufrechterhaltung eines Luftdurchganges und einer Vergasung genügen, ist z. B. bei gut sortierter Kohle von etwa 50 mm Stückgröße der Unterschied verhältnismäßig klein. Für mittlere Verhältnisse, also etwa Vergasung von Brennstoffen mit 12—15 mm Korn verhalten sich die Leistungen bei natürlichem Zug: Saugzug : Druckgebläse etwa wie 1 : 2 : 4. Man wird insbesondere letztere Zahl bezweifeln, doch kann man tatsächlich nicht viel höher kommen; vergrößert man nämlich den Druck, also die Geschwindigkeit weiter, so wird bei der erörterten Beschaffenheit des Brennstoffbettes die Aufenthaltszeit zu klein, man muß höhere Schüttung anwenden und verzehrt so wieder den Druck. Auch ist in diesem Falle eine praktische Grenze dadurch gesetzt, daß bei zu großen Geschwindigkeiten der Staubanfall zu hoch wird; auch ist die Gaszusammensetzung dann meist milderer, oder die Wartung erfordert viel mehr Aufmerksamkeit, so daß man über das genannte Maß selten hinausgeht.

Wie man die Luft und den Dampf (bzw. auch andere Reaktionsgase) am zweckmäßigsten zuführt, wird bei der Beschreibung der Rostarten später noch ausführlich besprochen werden, denn die gleichmäßige Verteilung des Luftdampfgemisches ist für einen guten Gang geradezu Grundbedingung; bei der Beimengung von Dampf ist auch die Gleichmäßigkeit dieser Mischung wesentlich. Man setzt daher den Dampf meist dem Luftstrom bereits vor dem Rost zu, um dies zu erreichen; am einfachsten ist dies bei den Dampfstrahlgebläsen gelöst; da diese aber für durchschnittliche Verhältnisse mehr Dampf benötigen und daher beimengen, als für die chemischen Umsetzungen vorteilhaft ist, hat man heute meist Schleudergebläse (in zentraler Anordnung) und mengt den Dampf in die Zuleitungsrohre jedes einzelnen Gas-

erzeugers bei, um den Anteil je nach Bedarf regeln zu können. Die unmittelbare, getrennte Dampfzuführung unter dem Rost, die man wegen der kühlenden Wirkung auf diesen bevorzugte, hat man mehr und mehr verlassen, weil die Verteilung des Dampfes zu unregelmäßig ist (Verstopfung einzelner Dampfdüsen, bzw. Ausströmungsöffnungen u. dgl.) und die gleiche kühlende Wirkung auch normalerweise erreicht wird. Dagegen ist es bei besonderen Gaserzeugerbauarten, bzw. bestimmten Brennstoffen erforderlich, entweder am Schachtrand zur Vermeidung von Verschlackungen, außerdem Dampf zuzuführen, oder den Dampf in einer höheren Schicht einzublasen, wie dies z. B. bei den Schlackenschmelzgeneratoren bereits Ebelmen vorschlug. Auch zur Erreichung bestimmter Umsetzungsvorgänge kann die Zuführung von Dampf in höheren Schichten erforderlich sein (vgl. D.R.P. 135025 von Thomson oder D.R.P. 308259 von Riedel).

Ähnlich ist es mit der Zuführung von Abgasen, die man auch mit der Vergasungsluft vorher mischt; in diesem Falle verwendet man meist Schleudergebläse mit zwei Saugstutzen und Regulierschiebern, um die Mischung bemessen zu können. Zwecks genauer Führung der Gaserzeuger bzw. Einhaltung der richtigen Umsetzungstemperatur, wird man aber nicht ganz auf einen eventuellen Dampfzusatz verzichten können. In diesem Falle, und besonders bei der Anwendung heißer Abgase ist es aber von Vorteil, anstatt Wasserdampf dann fein verteiltes Wasser zu benutzen, das man unter dem Rost einspritzt. Dieses Mittel wird ja auch bei dem Verfahren zur Anreicherung des Methangehaltes (vgl. S. 85) im gewöhnlichen Generatorgas benutzt und dürfte in Zukunft noch weitgehendere Anwendung finden, weil die Dampfbeschaffung mit hohen Kosten und großen Verlusten verbunden ist, und genügend fein verteiltes Wasser vollkommen die gleichen Dienste tut.

Eine besondere und erwähnenswerte Ausführungsform (bei Drehrosten) für die gleichzeitige Zuführung zweier Reaktionsgase zeigt das D.R.P. 289770 (1914) von H. Koppers.

An dieser Stelle wären noch die Vergasungsverfahren zu erwähnen, bei denen Luft und Brennstoff im gleichen Sinne durch den Gaserzeuger wandern (Gleichstromgaserzeugung). Man hat dieselben hauptsächlich bei wasserreichen Brennstoffen in Vorschlag gebracht, um den Dampfzusatz zu sparen. Da die Trocknung der Brennstoffe sehr langsam geschieht, nimmt die Luft auf diesem Wege tatsächlich die notwendige Feuchtigkeit auf; sie trifft aber fast kalt auf die Glut-(Umsetzungsschicht), da ein Wärmetransport entgegen dem Gasweg höchstens durch Strahlung erfolgen kann. Die gebildeten Gase gehen in gleichem Sinne mit den heißen Rückständen weiter, verlassen also den Gaserzeuger sehr heiß. Das Verfahren hat außer der Ersparnis an Dampf das Merkmal, daß die Destillationsgase beim Durchstreichen der Glut-

zone zersetzt werden; es ist daher für Kraftgaserzeugung angewendet worden, doch erscheint mit Rücksicht hierauf der notwendigerweise große Anteil an fühlbarer Wärme als ein Verlust. Auch ist nach der gemachten Erfahrung die gleichmäßige Erhaltung einer genügenden Glutschicht nicht leicht und man hat daher dieses einfache Prinzip mit Hilfseinrichtungen versehen müssen und mehr und mehr wieder verlassen, um so mehr als die gedachten Zwecke durch andere Bauarten leichter zu erreichen sind, wie im nächstfolgenden Abschnitt gezeigt werden soll.

Erwähnt möge hier noch der bereits angeführte Umstand sein, daß sich die Reaktionsgase an den Rückständen erwärmen. Man hat auch Bauarten vorgeschlagen, um diese Vorwärmung weiterzutreiben, ebenso wie man andererseits die strahlende Wärme des Generatorschachtes, bzw. die fühlbare Wärme des Gases dazu benutzte, um den benötigten Dampf zu erzeugen oder zu überhitzen. Es sei diesbezüglich besonders auf die Ausbildung der Sauggasanlagen (z. B. *Dowson* u. a. m.) verwiesen (vgl. S. 147). Die Vorwärmung der Vergasungsluft mittels der fühlbaren Wärme der Gase ist gleichfalls vorgeschlagen worden (*Siemens*, D.R.P. 20726 v. 1882), ist aber praktisch erst in ganz anderer Form bei den Mondgasanlagen verwirklicht worden, wo eine besondere Veranlassung dazu vorlag.

4. Die Abführung der erzeugten Gase.

Nach dem Gesagten geschieht diese in der Regel oben am Gaserzeuger, wo die Einführung des Brennstoffes erfolgt. Man ordnet über dem Brennstoffbett meist einen Gasraum an, der seitlich oder oben die Gasabführung trägt. Es ist dies vorteilhaft wegen der Beobachtung des Gaserzeugers und der Bedienung desselben, empfiehlt sich aber auch aus dem Grunde, um dem Gas beim Austritt eine Geschwindigkeitsverminderung zu erteilen, damit nicht allzuviel Staub mitgerissen wird. Andererseits fällt der frisch aufgegebene Brennstoff durch diesen Gasraum, und gelangen daher die feinkörnigen Teile (Staub) gar nicht ins Brennstoffbett, sondern ziehen mit dem Gas ab; da man diese Staubbildung kaum vermeiden kann, hat man die Anordnung des Gasraumes gegenüber den früher üblichen Füllschächten vorgezogen. Diese Anordnung finden wir bereits bei den ältesten Bauarten, wie z. B. die in Abb. 49 dargestellte Ausführung von *Siemens* aus dem Jahre 1856 zeigt; dort ist bereits die Füllöffnung vom Gasabzug räumlich getrennt. Um aber Gasverluste durch die Füllöffnung zu vermeiden, ist diese mit einem Verschuß versehen und weicht daher von den offenen Füllschächten ab, wie sie z. B. der in Abb. 46 dargestellte Gaserzeuger von *Ebelmen* erkennen läßt.

Schon frühzeitig (vgl. die Ausführungen über die Arbeiten Ebelmen auf S. 138) legte man Wert darauf, die Destillationsbestandteile, insbesondere den Teer, zu zersetzen und zugleich die aus dem Brennstoff stammende Feuchtigkeit für die Umsetzungen zu benutzen, worauf der älteste Gaserzeuger mit umgekehrtem Zug von Ebelmen basiert. Später ging das Bestreben der Gaserzeugerkonstruktoren dahin, die Destillationsbestandteile möglichst zu erhalten und den Vorgang der Vergasung von dem der Entgasung zu trennen. In dieser Hinsicht sind besonders die Bestrebungen von Lürmann (vgl. S. 142) beachtenswert. Gerade bei minderwertigen Brennstoffen erhielt sich jedoch das Bestreben, die Destillationsbestandteile wenigstens teilweise zu zersetzen, und sei in dieser Hinsicht auf die Bauarten mit Füllschächten oder Retorten von Siemens, Moeller, Nehse und Krupp verwiesen (vgl. S. 143), welche als Ausgangspunkt vieler späterer und gerade neuerer Bauarten bezeichnet werden können. Sie ähneln, weil die Gasentnahme nicht über der Kohlschicht

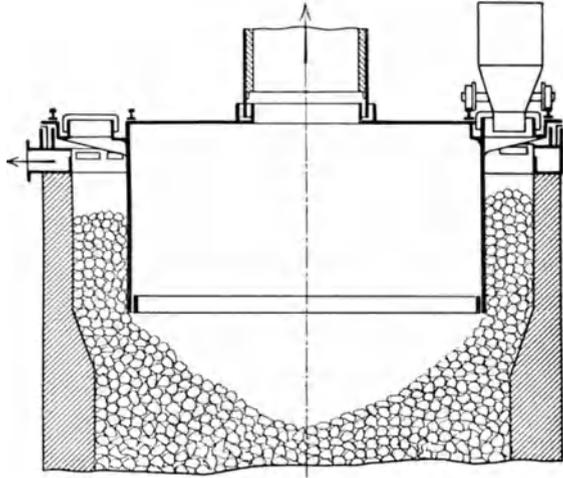


Abb. 13. Gaserzeuger mit Randbeschickung.

erfolgt, bereits in vieler Beziehung den Gaserzeugern mit mittlerem Gasabzug, und ist diese Anordnung jedenfalls geeignet, das Mitreißen von Staub weitgehend zu vermeiden.

Eine neue, sehr empfehlenswerte Bauart ist das Gegenstück dazu und in Abb. 13 gezeigt; man hat gewissermaßen einen ringförmigen Füllschacht, der den Gasabzug umschließt. Die Wirkungsweise ist hinsichtlich aller Punkte die gleiche wie beim zentralen Füllschacht, nur mit dem Unterschied, daß auch der Einfluß des Randfeuers weitgehend eliminiert wird; die Anordnung ist bei großen Gaserzeugern günstig anzubringen, und ist die Füllung mit einem drehbaren Deckel und aufgebautem gleichfalls mitdrehbarem Fülltrichter sehr leicht und zweckmäßig durchzuführen. Die in der Abbildung ersichtliche Erweiterung des Schachtes ist bei genügend großen Schachtdurchmessern nicht notwendig. In den Herstellungskosten ist diese Anordnung wohl etwas kostspieliger, da sie aber große Vorzüge mit sich bringt, erscheint diese Anordnung oft geboten.

Die älteren Bestrebungen zur Herstellung eines teerfreien Gases erlangten naturgemäß besondere Bedeutung bei solchen Anlagen, wo man Kraftgas gewinnen wollte, also ein möglichst reines Gas benötigte, und andererseits bei minderwertigen Brennstoffen, wo man anstrebte, die Feuchtigkeit, welche bei der Trocknung der Brennstoffe entsteht, für die Umsetzungen im Gaserzeuger nutzbar zu machen. Diesen Grundgedanken verfolgt bereits der Versuchsgenerator von Ebelmen aus dem Jahre 1842 (vgl. S. 138), sowie der Gleichstromgenerator, welcher bereits erwähnt wurde (vgl. S. 149).

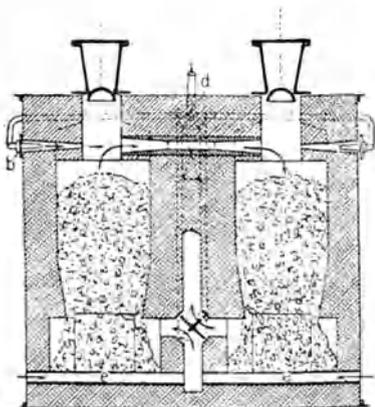


Abb. 14. Gaserzeuger von Thwaite.

Denselben Grundgedanken einer Zersetzung der Trocknungs- und Destillationsbestandteile verfolgte man auch bei der Anordnung zweier hintereinander geschalteter Gaserzeuger, sogenannter Zwillingsgaserzeuger, welche Bauart besonders durch

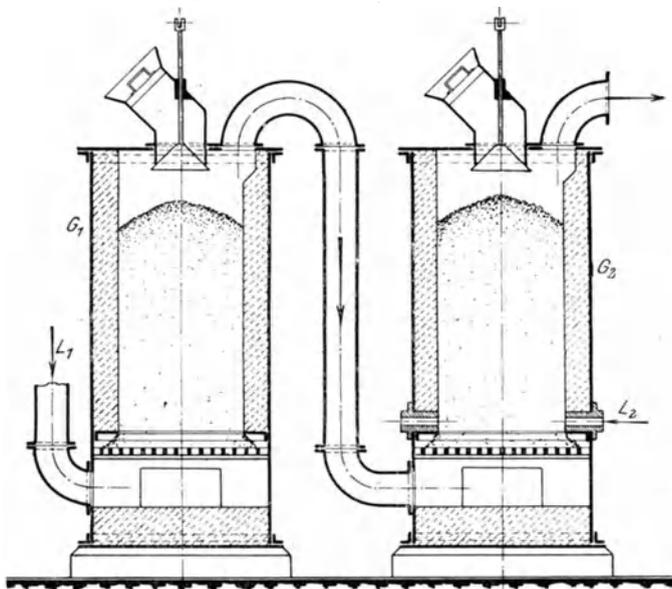


Abb. 15. Anordnung von Zwillingsgasern.

Thwaite, Riché, Deutzer Gasmotorenfabrik u. a. ausgebaut wurde. Während in dem ersten Gaserzeuger die Vergasung eines be-

liebigen Brennstoffes im Sinne des früher Gesagten stattfindet, wird der zweite Gaserzeuger mit glühendem Koks oder glühender Holzkohle beschickt und das Gas vom ersten Gaserzeuger durch diese glühende Schicht hindurchgeleitet, um die Kohlenwasserstoffe, den Teer und den Wasserdampf zu zersetzen. Der letztere Vorgang braucht Wärme, und läßt sich daher dieser Vorgang nur dann dauernd aufrechterhalten wenn man dem zweiten Gaserzeuger neben dem Generatorgas des ersten Gaserzeugers noch eine geringe Menge von Luft zuführt um durch die Verbrennung von Kohlenstoff den dauernden Wärmeverlust zu decken, oder aber, indem man das Verfahren umschaltbar einrichtet, dergestalt, daß man die beiden Gaserzeuger wechseln kann und die völlig entgaste Brennstoffschicht des ersten Gas

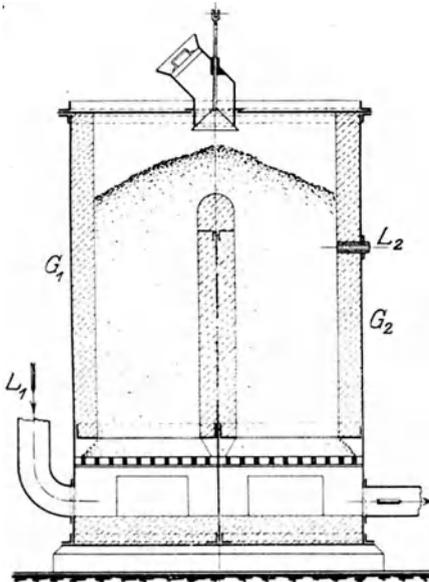


Abb. 16.

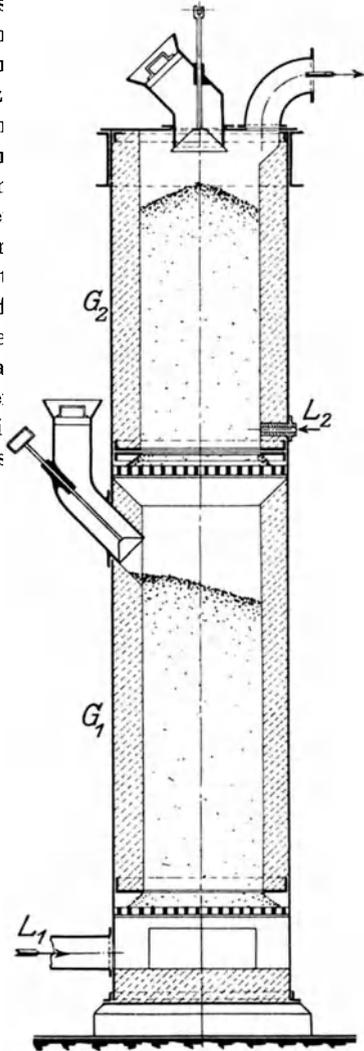


Abb. 17.

Abb. 16 und 17. Verschiedene Anordnungen von Zwillingsgasern.

erzeugers nach durchgeführter Beschickung des zweiten Gaserzeugers für die Zersetzung benutzt, d. h. den ersten Gaserzeuger nunmehr als zweiten Gaserzeuger schaltet, vgl. den Gaserzeuger von Thwaite, Abb. 14.

Es ist keineswegs notwendig, in diesem Falle zwei getrennte Gaserzeuger zu benutzen, sondern man kann auch einen Gaserzeuger mit zwei übereinanderliegenden Schächten verwenden, wovon der untere mit Kohle und der obere mit Koks beschickt wird.

Um die Verwendung von Koks vollständig zu ersparen und nur mit rohem Brennstoff zu arbeiten, empfiehlt es sich, die beiden Gaserzeuger derart nebeneinander zu betreiben, daß die Bewegungsrichtung in der ersten Hälfte des Systems nach oben gerichtet ist und in der zweiten Hälfte nach unten. Obwohl der Gaserzeuger mit bituminösen Brennstoffen beschickt wird, gelangt das Gas vor Austritt stets durch eine Koksschicht, in welcher die nichterwünschten Bestandteile in Kohlenoxyd und Wasserstoff zersetzt werden. In den Abb. 15 bis 17 sind drei mögliche Bauarten nach Vorschlägen der Gasmotorenfabrik Deutz

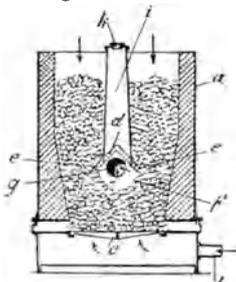


Abb. 18.
Gaserzeuger mit mittlerem Gasabzug.

zeichnerisch dargestellt, und ist mit L_1 jeweils die Luftzuführung für die Vergasung des rohen Brennstoffes und mit L_2 die notwendige Luftzuführung für die Aufrechterhaltung der Zersetzung bezeichnet.

Trotzdem diese Bauart außerordentlich vielversprechend erscheint und insbesondere für die Vergasung von Holz durch Riché vielfach angewendet wurde, hat sich dieselbe doch nicht in größerem Umfange einführen und behaupten können. Es ist insbesondere die zweite Luftzuführung schwer regulierbar, während bei den umschaltbaren Gaserzeugeranlagen nach diesem Prinzip die Betriebsbedingungen wegen der notwendigen Umschaltung und

der unbedingt erforderlichen Kontrolle noch weniger günstig erscheinen.

Man ist daher schließlich für die Kraftgaserzeugung aus bituminösen Brennstoffen zu einer Lösung gekommen, welche man allgemein als Gaserzeuger mit mittlerem Gasabzug bezeichnet. In Abb. 18 ist ein derartiger Gaserzeuger dargestellt, und ersieht man aus derselben, daß man durch den Umstand der Gasentnahme aus einer tieferen, auf einer höheren Temperatur befindlichen Schicht die Destillationsbestandteile mit Sicherheit zersetzen kann. Im Grunde genommen kann man sich einen solchen Gaserzeuger in zwei Teile zerlegt denken, von welchem der obere Teil im Gleichstrom und der untere Teil im Gegenstrom betrieben wird. Dadurch, daß die beiden Gaserzeugerhälften nicht voneinander getrennt sind, steht für den Destillationsvorgang in dem oberen Teil zum mindesten die strahlende Wärme der Beschickung an der Trennschicht zur Verfügung. Tatsächlich hat man in der Regel eine Luftzuführung im oberen Teile nicht notwendig, sondern es genügt die geringe Menge von Luft, welche mit der Beschickung und durch die Undichtigkeit der Fülltrichter eintritt, um dem oberen Teil der Be-

schickung so viel Wärme zuzuführen, als für die Vortrocknung und Destillation des Brennstoffes erforderlich ist. Die Destillationswärme ist ja bekanntermaßen außerordentlich gering, dagegen kann der Wärmebedarf für die vorausgehende Trocknung, besonders bei minderwertigen wasserreichen Brennstoffen, ein ziemlich erheblicher werden, und man wird daher in solchen Fällen eine Luftzuführung im obersten Teil des Gaserzeugers durchführen müssen. Wir finden diese Luftzuführung in Verbindung mit einer eingebauten Retorte zum ersten Male in dem D.R.P. 2155 v. J. 1877 von Gormann, doch wurde diese Bauart mit mittlerem Gasabzug in erster Linie von den Firmen entwickelt, welche sich mit dem Bau von Kraftgasanlagen beschäftigen, insbesondere von Körting, Pintsch, M. A. N. u. a. m.

Eine weitere Möglichkeit zur Gewinnung teerfreien Kraftgases aus rohen bituminösen Brennstoffen ergibt sich bei der Anwendung von Retorten oder auch ohne solche bei mittlerem Gasabzug (wie dies von Gormann, Moeller, Nehse u. a. bereits in den Jahren 1877—1880, vgl. S. 143, vorgeschlagen wurde) derart, daß man die Destillationsprodukte nicht, wie anfänglich durchgeführt, am unteren Rand der Retorte in die Beschickung und dort vereint mit dem anderen Gasstrom austreten ließ, sondern dieselben oben aus der Retorte oder dem Gaserzeuger absaugte und mit der Vergasungsluft gemeinschaftlich unter dem Rost zuführte. Diese Gaserzeuger mit Umführung, deren erste Ausführung auf das D.R.P. 15147 (1880) von Olschewsky zurückzuführen und aus Abb. 19 zu ersehen ist, haben sich verhältnismäßig wenig in die Praxis eingeführt. Die Bauart ist aber besonders aus dem Grunde von Interesse, weil sie bereits die getrennte Abführung der Destillationsgase zeigt, welche später mit Rücksicht auf die Teergewinnung große Bedeutung erlangte.

Ähnliche, sehr mannigfaltige Gaswege zeigen insbesondere die Wassergas- und Doppeltgaserzeuger, weil bei diesen Verfahren verschiedene chemische Vorgänge in Frage kommen und man daher zur Aufrechterhaltung der notwendigen Temperaturen teilweise im Gegenstrom und teilweise im Gleichstrom arbeiten muß. Es sind bei diesen Gaserzeugern stets Umschaltungen vorzunehmen, weil nicht nur zwei verschiedene Reaktionsgase (Luft- und Wasserdampf) in Frage kommen, sondern auch zwei verschiedene Endgase (Heißblasegas und Wassergas), welche getrennt aufgefangen werden müssen. Sie erinnern in dieser Beziehung an die bereits früher erwähnten Anlagen von Zwillingsgas-

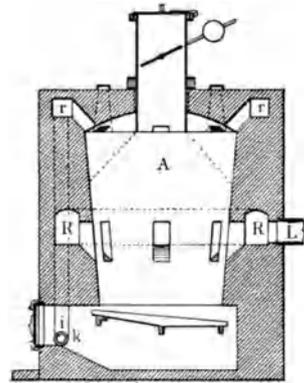


Abb. 19.
Gaser nach Olschewsky.

erzeugern bzw. Gaserzeugern mit Trennwand, und sind auch diesen Ausführungsformen außerordentlich ähnlich, wie ein Vergleich der Abb. 17 und 107 zeigt. Die Bauart und Betriebsweise der Wassergaserzeuger werden an einer späteren Stelle noch ausführlich beschrieben werden, so daß sich hier weitere Ausführungen erübrigen.

Wie aus vorstehendem zu ersehen, ist der Vergasungsvorgang fast in allen Fällen der gleiche, in der Regel wird das Gegenstromprinzip angewendet, während das Gleichstromprinzip seltener zur Durchführung kommt. Neben diesen beiden könnte als drittes Prinzip noch eine Querstromvergasung in Frage kommen, in dem der Gasstrom senkrecht zum Brennstoff bewegt wird. Eine einfache Überlegung zeigt jedoch, daß dieses Verfahren kaum praktisch anwendbar ist, weil ein Teil der Vergasungsluft mit frischen Brennstoffen, ein anderer mit vollständig entgasten Brennstoffen und möglicherweise auch ein Teil mit vollständig ausgebrannten Brennstoffen in Reaktion tritt. Die Gaszusammensetzung wird im Durchschnitt daher eine sehr ungünstige sein. Eine derartige Vergasung könnte höchstens für außerordentlich dichtliegende Brennstoffe in Frage kommen, wie Abb. 20 zeigt. Diese Bauart von Jabs (D.R.P. 206576 v. J. 1907) bringt jedoch die Gefahr, daß die dünnen Brennstoffschichten sehr leicht überstürzen und möglicherweise Veranlassung zu Explosionen geben (z. B. bei Versuchen von Pintsch nach dem ähnlichen D.R.P. 300452).

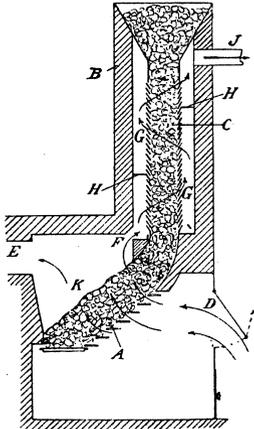


Abb. 20.
Gaserzeuger nach Jabs.

5. Zuführung des Brennstoffes.

Entsprechend der Abführung des Gases ist die Zuführung des Brennstoffes von oben die Regel. Man hatte zu diesem Zweck verschließbare Füllöffnungen. Um den Austritt von Gas beim Füllen zu vermeiden, strebte man dahin, den Füllraum von dem übrigen Gasraum abzutrennen, und dies führte zum Bau der sogenannten Füllschächte. Bei den Gaserzeugern, wie bei den Treppenrostgaserzeugern, bei welchen die Füllöffnung dem Gasabzug entgegengesetzt angeordnet ist, läßt sich dies durch ein quergezogenes Gewölbe leicht durchführen. Bei Generatoren mit zentraler Beschickung mußte man einen Füllschacht in das Generatorinnere verlegen, um durch die entstehende Überlagerung einen Gasaustritt zu vermeiden.

Der Füllschacht besitzt den Vorteil der gleichmäßigen und selbsttätigen Verteilung des Brennstoffes unabhängig von der Bedienung.

Er ist daher vorteilhaft, weil keine Änderung der Gaszusammensetzung durch die in Zwischenräumen vorgenommene Beschickung eintritt. Die Kohle im Füllschacht ist an den Umsetzungsvorgängen nicht beteiligt und gelangt langsam und gleichmäßig vorbereitet in den Generatorschacht. Es würde dies durchaus dem natürlichen Vorgang entsprechen, wenn die Kohle mit der Außentemperatur in den Generatorschacht gelangen würde und auch die Temperatur des Gases eine entsprechende wäre. Da die natürliche Temperaturdifferenz zwischen Brennstoff und Gas im Gegenstrom etwa 100° beträgt, müßte daher die Gastemperatur in diesem Falle etwa 100° sein. Tatsächlich liegen die Verhältnisse aber anders. Die an früherer Stelle gegebenen Rechnungen lassen erkennen, daß selbst bei der Bildung von reinem CO wesentlich höhere Gastemperaturen auftreten. Bei den praktischen Arbeitsbedingungen ist die Temperatur infolge der Bildung von CO_2 noch höher und schwankt daher je nach dem Feuchtigkeitsgehalt des Brennstoffes von etwa $300\text{--}800^{\circ}$. Eine höhere Temperaturdifferenz zwischen Gas und Brennstoff als die obengenannte ist unmöglich, ebenso ist bei kontinuierlichem Betrieb ein Temperatursprung ausgeschlossen, und infolgedessen wird bei der tatsächlich höheren Gastemperatur der Brennstoff am unteren Rande des Füllschachtes wesentlich heißer sein, als der Außentemperatur entspricht. Infolge davon werden nicht nur die Füllschächte heiß und leiden, sondern sie werden tatsächlich ähnlich wie eine Retorte von außen beheizt und der in denselben befindliche Brennstoff wird einem regelrechten Destillationsvorgang unterworfen. Die Destillationsgase, für welche ein anderer Austritt nicht vorgesehen ist, streichen durch den Brennstoff im Füllschacht nach unten und unterhalb des Randes in den äußeren Schacht ein. Auf diesem Wege werden sie, da sie stets heißere Zonen durchlaufen, zersetzt, insbesondere die darin enthaltenen Teerbestandteile, und man kann auf diesem Wege ein für die Kraftgaserzeugung brauchbares, teearmes Gas herstellen, wenn man die Retorte tief genug in den Gaserzeuger hineinreichen läßt bzw. die Temperatur im Destillationsschacht hoch genug ist. Aus diesen Bestrebungen entwickelte sich die bekannte und bereits beschriebene Bauart der Gaserzeuger mit mittlerem Gasabzug. Ähnlich sind die Gaserzeuger mit Randbeschickung, und ist eine erprobte und sehr zweckdienliche Bauart in Abb. 13 dargestellt.

In der Regel aber strebte man danach, die Teerbestandteile im Gas zu erhalten, ja man wünschte sogar, den Gehalt möglichst hoch zu gestalten. Aus diesem Grunde hat man in den späteren Jahren dem Fülltrichter den Vorzug gegeben, wobei man gleichzeitig durch einen doppelten Verschuß Gasverluste vermeiden konnte. Man hat, um eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Brennstoffes zu erzielen, die Anordnung zahlreicher kleiner Fülltrichter in gleichmäßiger Verteilung

über das Gewölbe des Gaserzeugers vorgeschlagen, welche möglichst wenig Platz in Anspruch nehmen sollen und eine leichte Bedienung ermöglichen. Man muß sich dabei vergegenwärtigen, daß man Bunker od. dgl. damals kaum benutzte und daß die Brennstoffe auf der Bedienungsfläche lagerten und eingeschaufelt werden mußten. Große und besonders hohe Fülltrichter erschwerten also die Arbeit. Während man anfänglich Fülltrichter mit Klappen benutzte, wie Abb. 21 zeigt, zog man

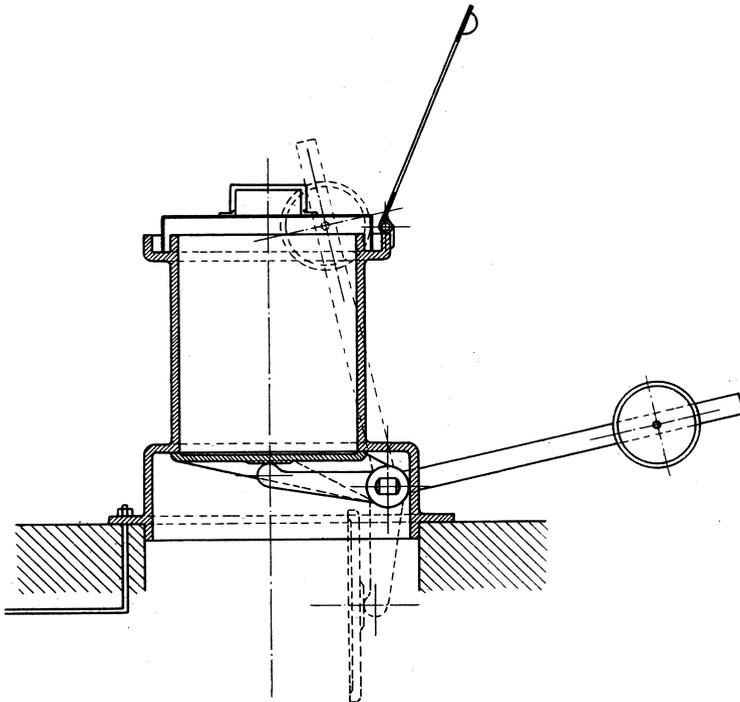


Abb. 21. Fülltrichter mit Klappenverschluß.

wegen der besseren Verteilung später Fülltrichter mit Konus, vgl. Abb. 22, vor. Viel verwendet wurden auch die sogenannten Füllschieber nach Abb. 23, welche aber nach unseren Begriffen sehr nachteilig sind, obwohl sie seinerzeit als fortschrittliche Neuerungen Beachtung fanden ¹⁾.

Aus der Verwendung mehrerer Fülltrichter in Verbindung mit der bekannten Bauart des Füllschachtes entwickelte sich auch bereits frühzeitig die zentrale Gasabführung in Verbindung mit der Randbeschickung, welche wir z. B. schon 1880 bei Thwaite finden. Das

¹⁾ Vgl. Schmatolla: Die Gaserzeuger. S. 26–30. Hannover: Jänicke. 1908.

Gasabnehmerrohr reicht weit ins Innere, und in dem ringförmigen Raum um diesen aus Schamotte gebildeten Gasschacht fördern zwei oder mehrere Fülltrichter die Kohle.

Hinsichtlich der Bauart der Fülltrichter wäre folgendes zu bemerken:

Fast jede Baufirma hat eine andere Ausführung, und alle haben ihre Vor- und Nachteile. Wichtig ist in erster Linie eine gleichmäßige Verteilung des Brennstoffes über den ganzen Schachtquerschnitt, was

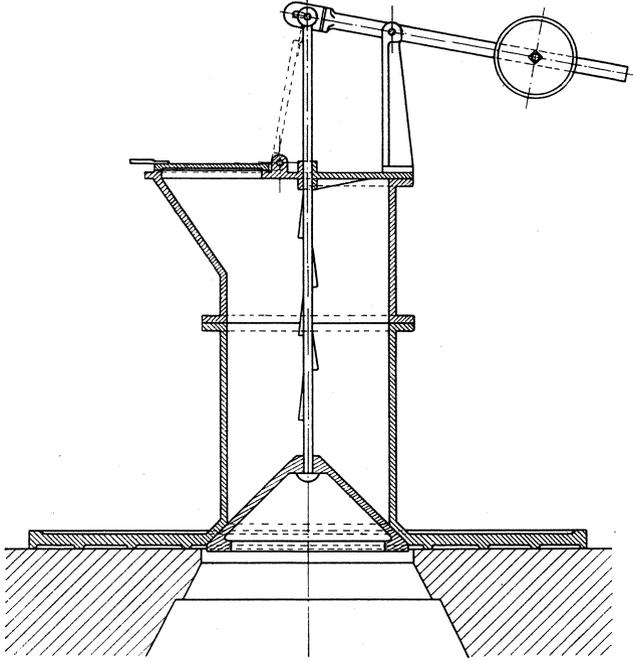


Abb. 22. Älterer Fülltrichter.

aber mit einfachen Fülltrichtern kaum zu erreichen ist. Die Streuung ist bei feinkörnigen Brennstoffen anders als bei grobstückigen; bei gemischtem Korn fällt das Grobe an den Rand, das Feine zur Mitte. Da ohnedies die Beschickung am Rand schneller vergast, so wird dadurch dieses Voreilen noch verstärkt. Man sollte daher die Fülltrichter nie zu klein wählen, insbesondere nicht die Verteilungsglocken. Eine Beschickung zur Mitte wird man eher erzielen, wenn die Glocke langsam und wenig gesenkt wird, weil die Kohle langsam abrutscht und fast senkrecht fällt; öffnet man rasch und tief, so stürzt das ganze Gewicht auf einmal und erhält eine nach dem Rand gerichtete, stark parabolische Bahn.

Je mehr man zu großen Gaserzeugerdurchmessern in der Entwicklung kam, desto bemerkbarer machten sich die Übelstände, und war das Bestreben gerade bei Fülltrichtern mit großen Glocken dahingehend, die Verteilung durch konstruktive Maßnahmen zu verbessern. Die mittlere Zone, die bei großem Verteilungskonus keinen Brennstoff erhält, wird sich um so mehr ungünstig bemerkbar machen, als eine Bearbeitung dieser Oberfläche

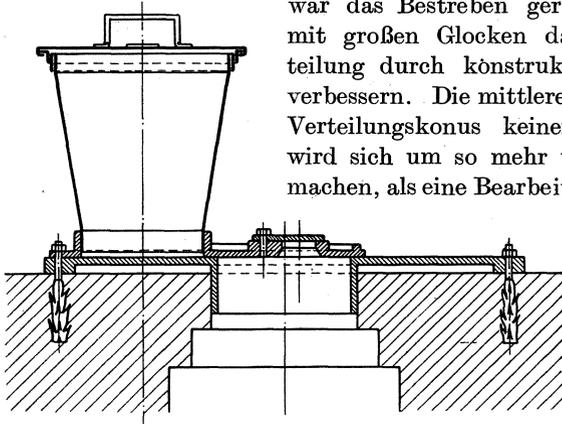


Abb. 23. Füllschieber.

schwieriger ist als am Rande, wo meist die Stoßlöcher angeordnet sind. Man suchte daher eine beliebige Verteilung des Brennstoffes nach dem Rande und der Mitte zu er-

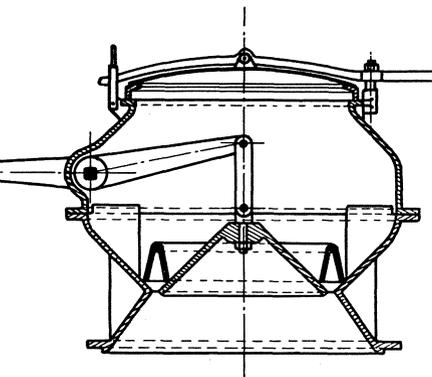


Abb. 24. Fülltrichter mit losem Ring.

reichen und ist das älteste Mittel dazu der eingelegte Ring, den Abb. 24 zeigt. Senkt man den Verteilungskonus, so wird der Fülltrichter in der üblichen Art den Randraum je nach der Korngröße beschicken; der Brennstoff im Fülltrichter kann aber wegen des Ringes nicht ganz vergichtet werden, sondern es bleibt seitlich des Ringes noch ein Rest zurück. Hebt man nun den Konus an, so nimmt er den Ring mit und gemäß der Formung des Fülltrichters fällt dieser Brennstoff zur Mitte. Die Bauart hat den Nachteil, daß man stets zuerst senken und dann erst heben muß, weil man bei anderer Reihenfolge infolge des Gewichtes des Brennstoffes im Fülltrichter und des Widerstandes kaum arbeiten kann. Man ist daher

wohl in der Lage, die Beschickung einmal zum Rande und nach der Mitte hintereinander oder nur nach dem Rande durchzuführen, indem man in letzterem Falle den Kohlenrest im Fülltrichter läßt; man kann aber kaum so arbeiten, daß man nur nach der Mitte zu geht. Die Bauart hat außerdem den Nachteil, daß der lose Ring leicht zu Undichtigkeiten neigt.

Eine einfachere Bauart, um bei normaler Fülltrichterbauart und großen Konusabmessungen eine Beschickung nach der Mitte zu ermöglichen, zeigt Abb. 25, welche man allgemein als Ablenkungsring bezeichnet. Im Schachtmauerwerk ist unterhalb des Fülltrichters ein nach innen geneigter Ring eingebaut.

Die Arbeitsweise ist folgende, wie die Abbildung erkennen läßt. Senkt man den Konus nur wenig, so trifft die Bahn des abstürzenden Brennstoffes den Ablenkungsring und wird infolge der Formung desselben zur Mitte abgelenkt; senkt man den Konus stark, so fällt der Brennstoff nach der äußeren Randzone. Da man sowohl aus der einen Stellung in die andere, als auch umgekehrt vorgehen kann, auch jeden der beiden Vorgänge vermeiden kann, stellt diese Bauart eine sehr günstige Lösung der Aufgabe dar. Nachteilig ist nur, daß die geringe Senkung bei der erstbeschriebenen Stellung ein Hängenbleiben großer Stücke ermöglicht, die sich leicht dazwischensetzen und eine gute Abdichtung verhindern. Die Abmessungen des Konus selbst bzw. des Fülltrichters müssen naturgemäß den Brennstoffen angepaßt sein und dürfen keineswegs zu geringe sein. Der Ablenkungsring, der der strahlenden Wärme ausgesetzt ist, leidet zwar unter dieser und springt leicht; dies stört aber kaum, wenn er nicht ganz abfällt. Man hat daher auch auf diesen Ring verzichtet und oft das Deckenmauerwerk entsprechend ausgebildet. Jedenfalls ist diese Bauart, die von vielen Firmen angewendet wird, der älteren mit losem Ring unbedingt vorzuziehen; denn wenn die Beschickung auch nicht ganz

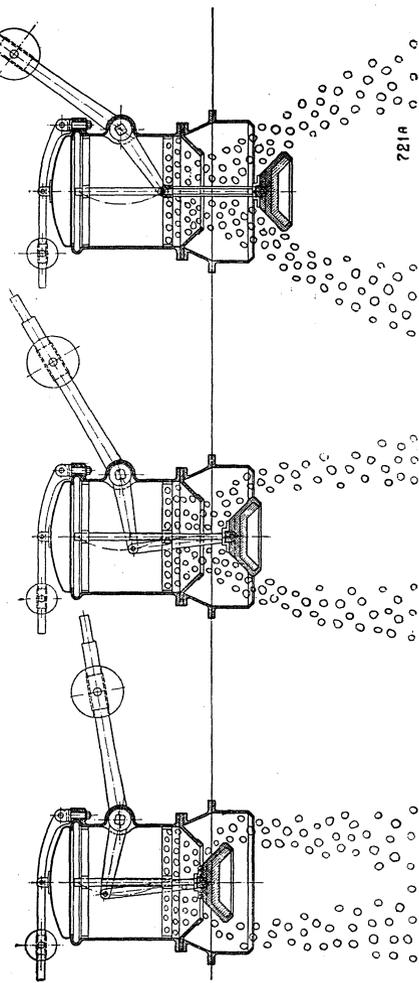


Abb. 25. Fülltrichter mit Ablenkungsring in verschiedenen Stellungen.

gleichmäßig durchführbar erscheint, so ist doch eine Regelbarkeit der Beschickung erzielt.

Dasselbe Ziel erreicht man durch Doppelkegel, von denen der eine ringförmig den anderen kleineren, mittleren umgibt. Es sind nun zwei Anordnungen möglich. Entweder sitzt der mittlere Kegel unter dem

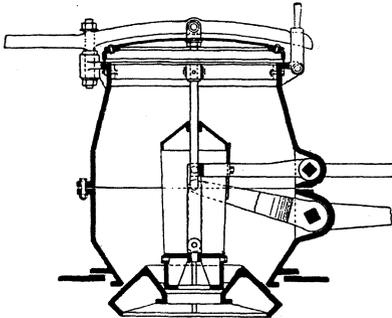


Abb. 26. Fülltrichter mit Doppelkegel der König Friedrich August-Hütte.

äußeren oder oberhalb desselben. Die erste Bauart ergibt folgende Handhabung: Senkt man zuerst den inneren Kegel, so entleert sich der Hauptinhalt des Trichters auf eine mittlere Ringfläche des Gaserzeugers, der Rest kann dann nach außen geworfen werden; umgekehrt ist die Mengenverteilung, wenn man zuerst beide Kegel senkt und sodann den äußeren Kegel anhebt, wobei der in der Mitte des Trichters verbliebene Rest in den mittleren Ring fällt.

Zur Mitte gelangt aber nichts; meist ist dies nicht von Wichtigkeit, da der innere Kegel sehr geringen Durchmesser hat; will man aber auch dies berücksichtigen, so könnte der äußere Kegel einen Ablenkungsring erhalten.

Die zweite Bauart ist in Abb. 26 dargestellt. Mit diesem Fülltrichter kann man noch besser das angestrebte Ziel erreichen, und ist

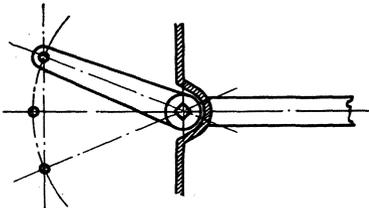


Abb. 27. Gestängebewegung des einfachen Fülltrichters.

derselbe besonders bei unsortierten Brennstoffen mit sehr ungleichmäßigem Korn empfehlenswert. Der innere Kegel trägt, um denselben bei vollem Trichter anheben zu können, einen zylindrischen Schutzaufbau. Da man sowohl den inneren Kegel allein, als auch den äußeren Kegel allein und beide nacheinander in beliebiger Reihenfolge betätigen kann,

erzielt man mit dieser Bauart eine weitestgehend ausgeglichene und jederzeit regelbare Verteilung der Beschickung.

Weitere Möglichkeiten zur Ausgestaltung des Fülltrichters könnten darin erblickt werden, neben den Kegeln auch die Wände heb- oder senkbar zu machen. Es führt dies aber zu sehr kostspieligen und daher kaum erprobten Bauarten. Es ist zwar richtig, daß es kaum eine Fülltrichterbauart gibt, die für die verschiedensten, insbesondere im Sortiment, also der Korngröße, wechselnden Brennstoffe stets gute Ergebnisse gibt, doch läßt sich auch bei einfachen Bauarten durch gute

Beobachtung und genaue Wartung stets eine genügende Arbeitsweise erzielen.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt bei der Bauart der Fülltrichter ist die Geradführung des Kegels. Wenn derselbe an einem einfachen Gestänge sitzt, so beschreibt der Aufhängungspunkt ein Kreissegment, vgl. Abb. 27; es läßt sich nun leicht einrichten, daß die Normalstellung, beispielsweise die tiefste Stellung mit der höchsten Stellung zugleich in der Fülltrichterachse liegt, die mittlere Stellung zeigt dann aber eine Ausweichung, und der Erfolg ist eine schräge Gichtung des Brennstoffes. Um diesem Übelstand abzuhelpfen, hat man die sogenannte Segmentführung nach Abb. 28 verwendet, die nur den Nachteil eines größeren Platzbedarfes hat, oder baut neuerdings auch Fülltrichter mit Stangenführung, wie ein solcher der Firma Huth & Röttger beispielsweise in Abb. 29 dargestellt ist. Auch andere Firmen haben ähnliche Bauarten auf den Markt gebracht, welche zwar teurer sind als die einfachen Fülltrichter, deren Vorzüge aber diese Kosten aufwiegen; besonders bei Fülltrichtern mit Doppelkegel sind solche empfehlenswert.

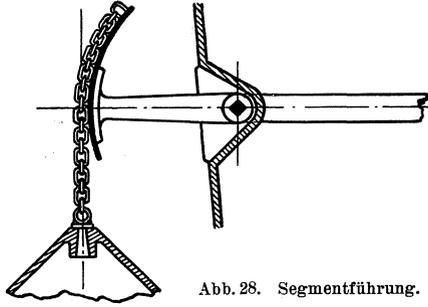


Abb. 28. Segmentführung.

Alle diese Fülltrichterbauarten haben die Frage der Verteilung mehr oder minder günstig gelöst. Die Frage der Kontinuität ist aber dabei vernachlässigt. Da auch die Füllschächte hierfür nicht geeignet sind und insbesondere bei großen Gaserzeugerdurchmessern auch die Durchmesser der Füllschächte große werden und dabei in der Mitte ein in der Vergasung zurückbleibender Kern verbleibt, haben eine Zeitlang solche Einrichtungen große Beachtung erfahren, die eine kontinuierliche und zugleich gleichmäßige Verteilung des Brennstoffes anstreben. Es sind dies die mechanischen Beschickungsvorrichtungen, weil naturgemäß die Gleichmäßigkeit der Verteilung kleiner Mengen von Hand aus kaum zu erzielen ist und daher

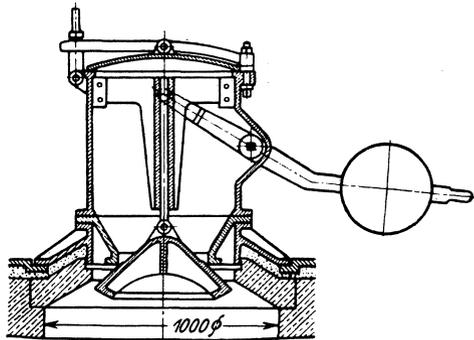


Abb. 29. Geradführung des Füllkonus nach Huth & Röttger.

Es sind dies die mechanischen Beschickungsvorrichtungen, weil naturgemäß die Gleichmäßigkeit der Verteilung kleiner Mengen von Hand aus kaum zu erzielen ist und daher

eine Mechanisierung der Aufgabe erforderlich ist. Bevor diese Bauarten näher beschrieben werden, soll noch ein Fülltrichter von Solvay & Co.

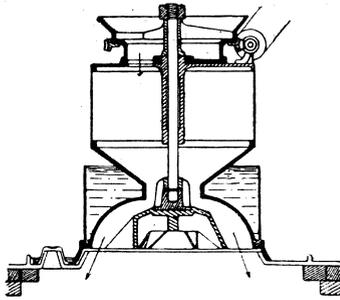


Abb. 30. Beschicker nach Bildt.

(D.R.P. 55811 vom Jahre 1890) erwähnt werden, der unter der Einfüllöffnung einen schneckenförmigen Kegel trägt, und der als Vorläufer der späteren mechanischen Beschickungsvorrichtungen bezeichnet werden kann. Durch die Schneckenform hat jede Seite des Kegels eine andere Neigung, und durch Verdrehung desselben nach jeder durchgeführten Beschickung ist man daher in der Lage, jeweils mehr zum Rande oder zur Mitte zugichten. Dieser Vorgang kann

jedoch räumlich nur nebeneinander bzw. zeitlich nacheinander vor sich gehen, und es ist daher nicht möglich, nur zur Mitte oder nur zum

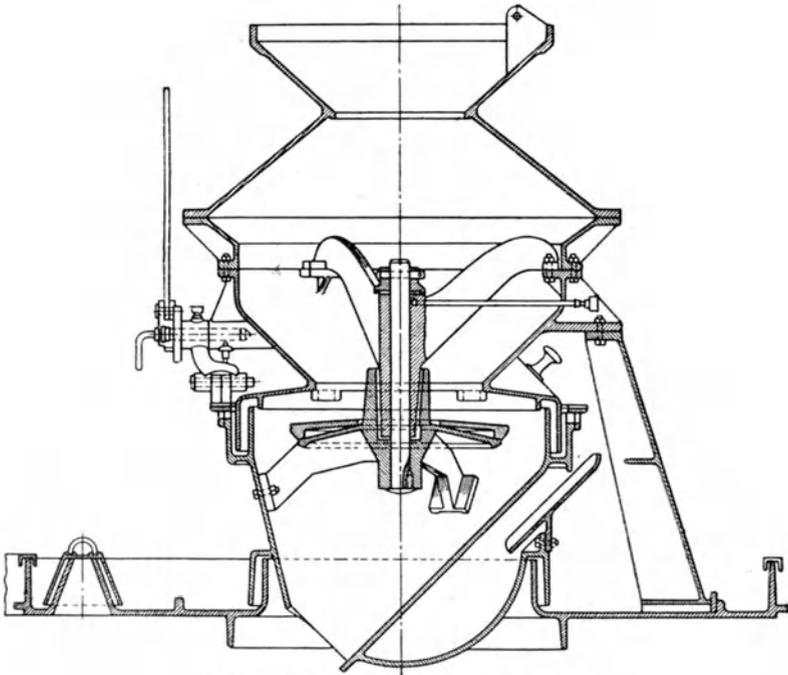


Abb. 31. Beschicker nach Morgan (George).

Rande zu beschicken; daher hat sich diese Bauart wenig eingeführt. Wir finden aber die Schneckenform oder ähnliche gekrümmte Ebenen bei den meisten späteren Bauarten der Beschicker wieder.

Die älteste mechanische Beschickung ist wohl die von Bildt (D.R.P. 72747 v. J. 1893), welche in Abb. 30 dargestellt ist. Die besonders gekrümmte und geformte Platte rotiert und streut daher bei der verschiedenen Neigung der Flächen verschieden. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe kann geregelt werden; außerdem ist sie auch der Höhe nach einstellbar, um Kohlen verschiedener Korngröße zu gichten. Die Bauart ist mehrfach vervollkommenet worden, wurde

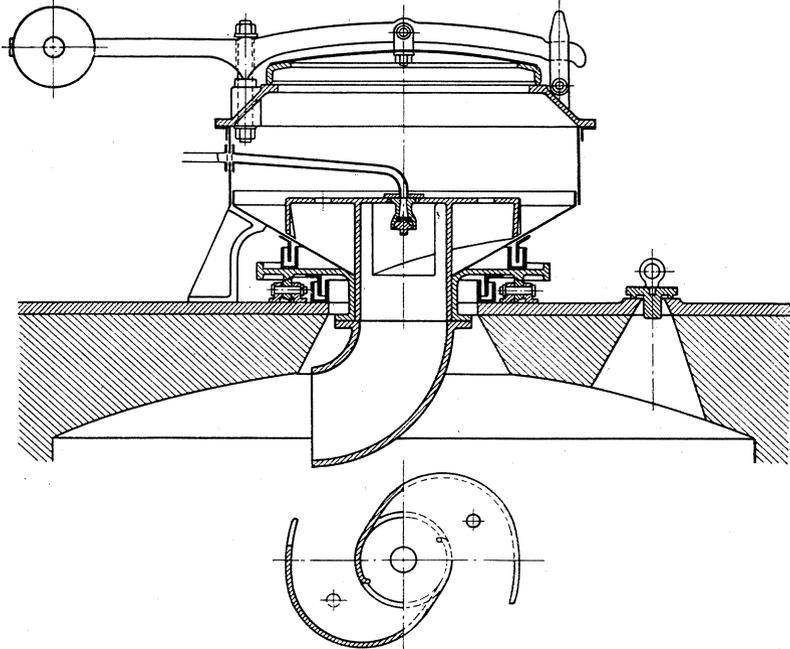


Abb. 32. Beschieker nach Quoilin.

aber später durch die Bauart von Morgan (D.R.P. 159889 von J. Rowley George, 1903) verdrängt, die in Abb. 31 wiedergegeben ist. Hier tritt an Stelle der Platte mit verschiedenen Neigungen ein ringförmiger Trichter mit verschiedenen Neigungen. Im übrigen ist die Wirkungsweise wohl aus der Abbildung ohne weiteres verständlich.

Es sind in der Folge noch zahlreiche Bauarten entwickelt worden, deren Aufzählung zu weit führen würde. Vielfach hat man über den Verteiler noch eine Brechvorrichtung eingebaut, damit keine zu großen Stücke in den Gaserzeuger gelangen. Eine sehr zweckmäßige Bauart ist insbesondere die von Quoilin (D.R.P. 210703), die in Abb. 32 gezeigt ist und die in der Praxis auch bei sehr ungleichmäßigem Korn eine wirklich gute, vollständig ebene Verteilung ergab. Trotzdem

konnten sich alle diese mechanischen Einrichtungen nicht behaupten und sind aus der Praxis fast ausnahmslos wieder verschwunden. Es ist dies darauf zurückzuführen, weil das gewissermaßen löffelweise Eingeben zwar theoretisch richtig ist, die Gaszusammensetzung vollständig gleichbleibt und auch die Verteilung sich ganz gleichmäßig gestalten läßt, weil aber dabei eine so überaus große Verstaubung eintritt, daß diese Vorteile durch die Verluste im Staub mehr als ausgeglichen werden; die große Verstaubung der Verschlüsse, der Gasleitungen u. dgl. führte außerdem vielfach zu Störungen.

Bemerkenswert ist daher ein Vorschlag von de Fontaine, der eine mechanische Beschickungsvorrichtung ähnlichen Aufbaues wie die letzt-

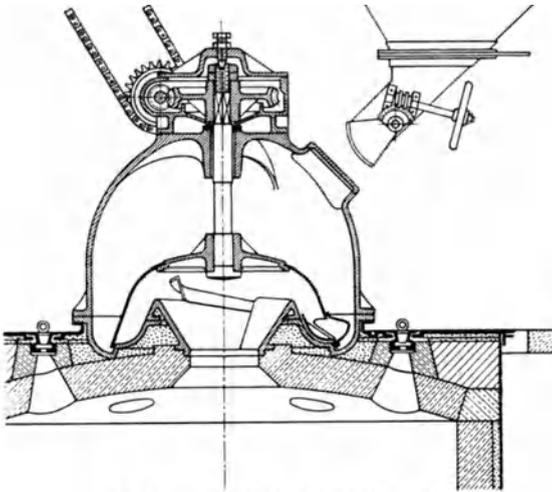


Abb. 33. Beschicker nach de Fontaine.

genannte benutzt (vgl. Abb. 33), aber nicht eine langsame kontinuierliche, sondern eine plötzliche Beschickung anstrebt und durch die Mechanisierung des Vorganges eine Beschleunigung und zugleich eine gute gleichmäßige Verteilung und ferner Unabhängigkeit von der Bedienung anstrebt. Diese Idee ist durchaus richtig und dürfte vielleicht in Zukunft noch mehr Beachtung als zur Zeit

erfahren. Gerade jetzt wird man allerdings den billigen und einfachen Fülltrichter vorziehen; die Ersparung der Handarbeit und die vollständige Regelmäßigkeit des Vorganges sind aber in Verbindung mit den Bestrebungen beachtlich, welche auf die Teergewinnung bei der Vergasung hinzielen. Da eine hohe Teerausbeute und gute Qualitäten nur bei dauernder Aufrechterhaltung der als richtig erkannten Temperaturen möglich ist, wird man eine automatische Zuführung des Brennstoffes unbedingt anstreben müssen. Man wird dies zwar möglicherweise mit einfacheren Mitteln zu erreichen suchen und auch erreichen können, bei gewissen Bauarten verspricht aber die erwähnte Konstruktion zweifellos Vorteile.

Abweichende Wege zur Beschickung ergeben sich naturgemäß bei einer grundsätzlich abweichenden Bauart des Gaserzeugers. So hat man ähnlich wie bei Feuerungen eine Beschickung des Brennstoffes

von unten bei Gleichstromgasern und bei Zwillingsgaserzeugern vorgeschlagen (vgl. Patente: Underfeed Stoker Co. Nr. 115105, Ronay Nr. 148854 und Boutillier Nr. 170406 und 173651¹⁾). Diese Maulwurfs-Generatoren, wie sie Ferdinand Fischer nennt, haben sich aber nicht einführen können, weil einem großen Kraftverbrauch und starker Abnutzung kein wesentlicher Vorteil gegenübersteht und sich auch das Gleichstromprinzip bei der Vergasung nicht in größerem Umfange einbürgerte.

Bei der Staubvergasung hat man nicht nur Staubfeuerungen — also Zufuhr des Brennstoffes mit Druckluft — versucht, sondern auch ein Fallenlassen bzw. langsames Wandern des Staubes im Gegenstrom zur Luft, wie noch an anderer Stelle gezeigt werden wird (vgl. S. 223).

Im Zusammenhang sei hier noch jener Bestrebungen gedacht, ein Planieren und Dichtpressen des Brennstoffes im Gaserzeuger zu erzielen. In ersterer Hinsicht sei besonders auf die D.R.P. 249686, 249687 und 265697 von H. Koppers, Essen, verwiesen, in letzterer Hinsicht auf das Patent 195293 von Goetz und Schulze. Ein Dichtpressen kommt besonders bei staubförmigen oder staubreichen Brennstoffen in Frage, um bei der fast stets anfänglich eintretenden Erweichung derselben ein Agglomerieren des feinen Kornes zu erzielen. Bricht man diese gebackenen Kuchen wieder auf, so hat man normale Stücke zur weiteren Vergasung. Es muß somit das Dichtpressen immer mit einem nachfolgenden Zerbrechen Hand in Hand gehen, und es besteht dabei nur die Gefahr, daß man doch ein zu dicht liegendes, gasundurchlässiges Brennstoffbett erhält; die Schwierigkeit, beide Vorgänge genau zu beherrschen, hat daher diese Versuche scheitern lassen, besonders weil man für die Verarbeitung von Staubkohlen andere Bauarten mit mehr Erfolg entwickelte. Das Dichtpressen würde vielleicht ähnlich wie bei der Kokerei bei einer Gaserzeugung mit Hilfe elektrischer Energie in Frage kommen, obwohl auch dann die Gasdurchlässigkeit eine viel wesentlichere Rolle spielt als bei den Koksöfen. Jedenfalls kommen solche Vorrichtungen nur in Sonderfällen in Frage.

Dagegen erscheinen die Bestrebungen, das Brennstoffbett zu planieren, wesentlich aussichtsreicher. Besonders bei Gaserzeugern großen Durchmessers wird man derartige Einrichtungen gern benutzen, um eine gleichmäßige Verteilung zu erzielen. Auch kann man wahlweise die Beschickungssäule am Rande oder auch in der Mitte je nach der Bauart des Planierers stärker halten und so ein ungünstiges Arbeiten der Gaserzeuger vermeiden. Ferner wird bei der Planierung das feinere Korn in die Zwischenräume zwischen die größeren Stücke gepreßt, unliebsame Hohlräume werden daher seltener auftreten, während um-

¹⁾ Fischer: Kraftgas. 2. Aufl., S. 372.

gekehrt der Staub durch die größeren Stücke niedergehalten wird. In Abb. 34 ist eine von Koppers vorgeschlagene Planierungseinrichtung

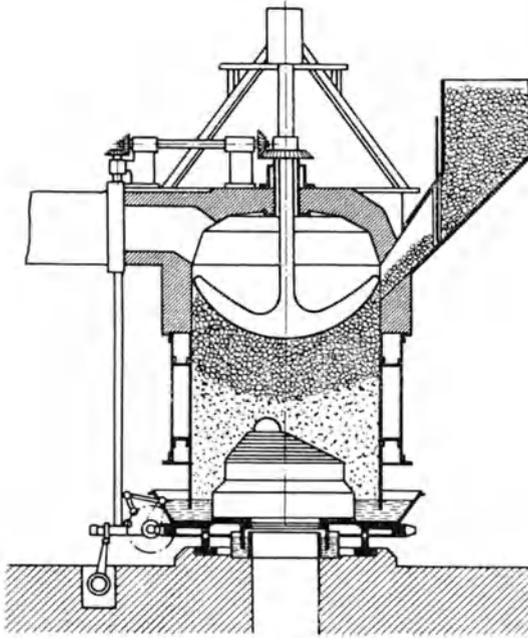


Abb. 34. Planiervorrichtung nach Koppers.

gezeigt. Das Planieren wird in allen Fällen ein leichtes Dichtpressen mit sich bringen, so daß das Mitreißen von Staub verringert wird; andererseits kann naturgemäß die Bearbeitung der Oberfläche auch ein Aufwirbeln von Staub in geringem Umfang zur Folge haben. Es wird daher von der Korngröße und Beschaffenheit des Brennstoffes abhängen, ob eine Planierungseinrichtung zweckmäßig ist. Da man aber in der Gestaltung der Flügel vollständig freie Hand hat, erscheinen diese neueren Bestrebungen außerordentlich aussichtsreich; besonders vorteilhaft dürften sie auch im Zusammenhang mit Rührvorrichtungen in der Beschickung sein (vgl. S. 190ff.).

6. Mechanische Beeinflussung der Beschickung.

Sowohl die Planierungsarbeiten als auch die mechanischen Beschickungsvorrichtungen lassen bereits die Bestrebungen erkennen, im Betriebe möglichst weitgehend Handarbeit zu ersparen und die Vorgänge regelmäßiger zu gestalten. Es war aber naheliegend, daß man eine mechanische Beeinflussung der Beschickung in noch weitergehendem Maße anstrebte, und sollen daher im nachfolgenden die aufeinanderfolgenden Vorgänge in der Beschickung bzw. deren Abhängigkeit von mechanischen Beeinflussungen untersucht werden. Da, wie bereits im ersten Abschnitt dargelegt, das für die Umsetzung erforderliche Luftvolumen im Verhältnis zu dem zu vergasenden Brennstoffvolumen überaus groß ist, wird man trachten müssen, die Oberflächen des Brennstoffes weitgehend zur Tätigkeit heranzuziehen. Wie aber erklärlich,

bleibt die dem Strom abgewendete Seite des festen Kornes dabei um so mehr in Ruhe, je größer das Korn ist, d. h. je größer die Schutzwirkung der toten Räume ausfällt (man denke an Platten u. dgl.); anschaulich zeigt dies Abb. 7. Jede Bewegung des Brennstoffes wird daher die verschiedenen chemisch-physikalischen Vorgänge beschleunigen; es gilt dies nicht nur für die Vergasung selbst, sondern auch für die vorhergehende Destillation, Trocknung u. dgl. Ferner ist es bekannt, daß eine dauernde Umlagerung des Brennstoffes das Backen der Kohle, wenn auch nicht ganz verhindert, so doch außerordentlich verringert, wenn nicht zugleich ein Dichtpressen eintritt. Vermeidet man dies und ist die Bewegung eine fortdauernde, so kann man die Bildung großer, gasundurchlässiger Kuchen ziemlich verhindern, und dies ist der Grundgedanke vieler älterer und neuer Stoch- und Rührvorrichtungen. Stellt man sich z. B. einen einfachen quer durch den Gaserzeugerschacht gelagerten Rührarm in Bewegung vor, so ist dies das Grundbild sowohl der Planiervorrichtungen (vgl. S. 123), der Rührwerke in den Schwelzylindern (vgl. S. 258) als auch der als Rührwerke ausgebildeten Stochvorrichtungen (vgl. S. 194), je nachdem dieser Arm höher oder tiefer angebracht ist. Da nun Rührarme in den heißen Zonen Gefahr laufen, zu verbrennen oder sonstwie Schaden zu leiden, so hat man zur Beeinflussung dieser Schichten den Weg benutzt, die für die Luftzuführung dienenden Roste bewegbar zu machen, um nicht nur den Brennstoff in der eigentlichen Reaktionszone zu bewegen, sondern auch insbesondere die Bildung von Ascheklumpen zu vermeiden, gebildete Brücken u. dgl. zu zertrümmern und durch entsprechende Bauarten eine Austragung der Rückstände zu erreichen. Da dieser Gesichtspunkt in der Entwicklung des Gaserzeugerbaues die nachhaltigsten Einflüsse hatte, seien diese Bestrebungen näher untersucht.

Schon in dem englischen Patent 27379 von B. Talbot und Hughes (1897) ist ein drehbarer Schacht angewandt, um die Beschickung zu lockern. Später hat Duff (D.R.P. 140639, 1901) vieleckige drehbare Schächte mit exzentrischer Wirkung vorgeschlagen, und die amerikanischen Gaserzeugerbauer haben um 1905 den drehbaren Schacht in Verbindung mit dem noch zu beschreibenden Ascheteller (etwa in der Bauart von Taylor) in größerem Umfange in die Praxis eingeführt (vgl. Abb. 99).

Betrachten wir die Füllung eines zylindrischen Gefäßes, bei welchem der Mantel drehbar ist und die Bodenplatte feststeht, bei der Drehung des Mantels nach Abb. 35, so ist folgendes zu sagen:

Die der Wand zunächstliegenden Teilchen der Füllung werden vermöge der Reibung mit in Bewegung versetzt; als gegenwirkende Kraft kommt die den Beharrungszustand erhalten wollende Schwere in Frage. Infolgedessen wird die Beschickung in den oberen Schichten leichter mitgeführt als in den unteren, weil diese unter dem Gewicht

der darüberlagernden Massen ruhen. Gestaltet man die Reibung groß genug, die Bewegung schneller als üblich, so wird das Bild bei kleinem Durchmesser des Zylinders sich so gestalten, wie in der Abbildung strichliert angedeutet, d. h. die obere Fläche rotiert vollständig mit und bildet unter dem Einfluß der Bewegung einen Trichter, während sich die bewegte Randschicht nach unten verringert. Im vorstehenden wurden auch bereits alle Einflüsse erwähnt, die in Betracht kommen, tatsächlich ist nun die Schnelligkeit wesentlich kleiner, der Durchmesser größer und auch die Reibung meist geringer, so daß nicht einmal die an der Wand liegenden Schichten dauernd mitgenommen werden. Die Beeinflussung nimmt vom Rand gegen die Mitte ab, und es gibt keine feste Trennschicht zwischen bewegten und stehenden Teilchen. Tatsächlich

wird der Kern der Beschickung durchaus nicht beeinflußt.

Das Bild ändert sich, sobald die Beschickung nicht in dem Zylinder verbleibt, sondern denselben langsam von oben nach unten durchwandern muß, d. h. am unteren Ende des Mantels eine Austragung vorhanden ist, wie in Abb. 36 dargestellt. Die Gewichtswirkung der Randpartie, die im ersten Falle durch die Reibung überwunden werden

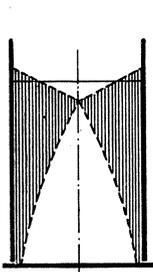


Abb. 35. Bewegungswirkung bei drehbarem Schacht.

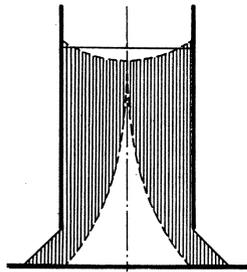


Abb. 36. Bewegungswirkung bei drehbarem Schacht.

mußte, tritt nun weniger in die Erscheinung, weil das Material gleichzeitig mit der Schachtwand rotieren und nach unten fallen kann. Der Einfluß des bewegten Mantels erstreckt sich besonders im unteren Teile mehr zur Mitte, und wir erhalten ungefähr die strichliert eingezeichnete Trennlinie, wobei aber das früher Gesagte Geltung behält, daß eine feste Trennlinie nicht besteht und die Bewegung gegen die Mitte zu abnimmt. Der steile Kegel hat sich wesentlich verkleinert; dieser Kern stellt nun einen toten Raum dar, dessen Inhalt nicht bewegt wird; dieser wird umso größer sein, je größer der Schachtdurchmesser. Es war daher naheliegend, die unteren Platten (oder Teller) so auszubilden, daß sie die toten Räume möglichst verringerten und zugleich eine übermäßige Austragung verhinderten, indem man den Rand nach oben bog. Die Austragswirkung wurde nun verstärkt bzw. regelbar gemacht, indem man Aschenräumer vom Außenraum über die Teller einführte. Es ist klar daß die in Verbindung mit den feststehenden Tellern benutzten Windhauben aber die Bildung von Schlackenklumpen an dieser Stelle der intensivsten Umsetzung und der höchsten Temperaturen begünstigten, so daß die Wirkung des drehbaren Schachtes keine durchaus befriede-

digende sein konnte Die Bewegung der Randschicht wird teils eine dichtere Lagerung des Brennstoffes am Rande bedingen, weil die meist stoßweise Bewegung des Schachtes ein Zusammenrütteln hervorruft; andererseits wird aber auch Gelegenheit geboten sein, daß eine Sortierung nach Korngröße eintritt, weil die größeren, weniger Reibungswiderstand gebenden Stücke ausweichen und sich entweder in der Mitte oder in einer mittleren Schicht sammeln können. Der Brennstoff wird daher in der Trennzone am lockersten lagern und Anlaß zu Kanalbildungen geben. Tatsächlich ist auch die Gaszusammensetzung in solchen Gaserzeugern selbst bei besten Brennstoffen nicht gut zu nennen, wie ich mehrfach festzustellen Gelegenheit hatte.

Älter noch als die Grundidee des drehbaren Schachtes ist diejenige des drehbaren Rostes bzw. der damals meist verwendeten Windhaube, weil man durch eine Bewegung dieses Teiles die Bildung von Verschlackungen am ehesten zu verhindern glaubte. Bei Planrosten sind Vorschläge zur Bewegung von Roststäben schon früher gemacht worden, bei Gaserzeugern mit Windhaube ist der älteste Vorschlag derjenige von Brook (D. R. P. 29316, 1884), welche Bauart in Abb. 37 wiedergegeben ist.

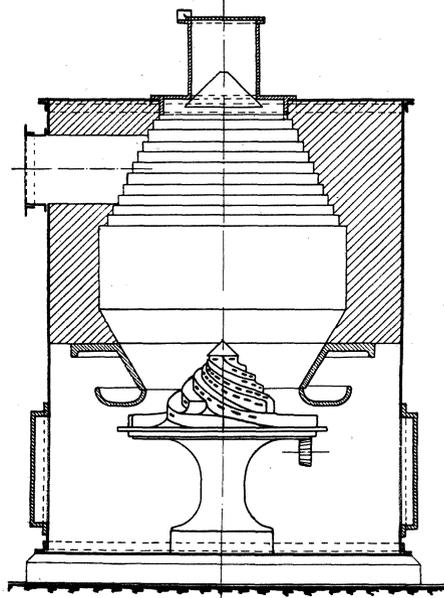


Abb. 37. Gaserzeuger von Brook.

Diese Bauart zeigt auf einem drehbaren Aschenteller den schraubenförmig ausgebildeten Rost, der aber sowohl in seinen Abmessungen als in seiner Form durchaus an die damals gebräuchlichen Windhauben erinnert. Wenn man heute diese Bauart retrospektiv betrachtet, so fällt das Fehlen des Aschenräumers auf, was wohl auch in Verbindung mit der geringen Höhenwirkung eines drehbaren Tellers die Ursache ist, daß diese Bauart kaum in die Praxis eingeführt wurde. Dieser Rostaufbau hat aber grundsätzlich die gleichen Linien, wie Abb. 36 zeigt, nur mit dem Unterschied, daß die schraffierte Fläche in Ruhe und der der weißen Fläche entsprechende Schachthinhalt mit dem Teller bewegt wird. Da es sich aber bei dem Gaserzeugervorgang in erster Linie um die gegenseitige Umlagerung handelt und diese besonders an den Trennlinien bzw. Trennflächen auftreten wird, ist der Endeffekt beider Bauarten

ziemlich einander entsprechend. Denken wir uns in dieser Abbildung den Schacht feststehend und den Teller mit einer konisch zulaufenden Haube drehbar, so ist leicht einzusehen, daß das Material stets wieder nach oben ausweichen konnte, sobald die mitnehmende Wirkung der Reibung den Einfluß des Gewichtes der darüberlagernden Masse überwand. Größere Schlackenklumpen konnten daher mit einem solchen Einbau nicht weggeschafft werden, und die zerreibende, auflockernde Wirkung des drehbaren Körpers war nur in geringem Maße dadurch gegeben, daß die schraubenförmig gestalteten Absätze der Windhaube senkrechte Flächen — wenn auch von geringer Höhe — zeigten.

Die drehbaren Teller konnten einen bleibenden Eingang in die Praxis erst dann finden, als Taylor (D.R.P. 50 137, 1889) neben dem Teller Räumern anordnete, um die Aschenabfuhr örtlich regeln zu können (vgl. Abb. 60 und 74). Ähnliche Bauweisen hatte auch de Laval (D.R.P. 81 545 und 88 565, 1894 bzw. 1896) vorgeschlagen, der zwar den Teller wegließ, aber einen drehbar angeordneten Rost größerer Abmessung in dem Gaserzeugerschacht anordnete, um die Beeinflussung der Brennstoffschichten ausgiebiger zu gestalten. Die entscheidenden Wege zur Ausgestaltung des Drehrostes hat aber 1903 v. Kerpely gewiesen, der für diese Verdienste vom V.D.E. im Jahre 1914 die Karl-Lueg-Medaille verliehen erhielt.

Die Grundidee von Kerpely war eine doppelte, nämlich

1. den Rost zu bewegen und so zu gestalten, daß derselbe eine möglichst weitgehende Bewegung des Brennstoffbettes hervorrief,
2. den Rost möglichst groß zu bemessen und so exzentrisch zu gestalten, daß er bei seiner Drehung eine größere Fläche des Schachtes, also der Unterfläche des Brennstoffes, bestreicht, als er selbst besitzt.

Die Absichten sind klar zu erkennen, nämlich große Vergasungsleistung und Verhinderung von Verschlackungen und Brückenbildung.

Bei der konstruktiven Lösung ergab sich die Notwendigkeit, den Rost möglichst hoch (turmartig) zu gestalten, um die Vergasungszone zu beeinflussen; zudem kam als neues konstruktives Merkmal die drehbare Aschenschüssel hinzu, welche bis dahin unbekannt war. Durch die exzentrische Ausgestaltung des Rostes hatte man dabei die Möglichkeit,

3. die Asche selbsttätig auszutragen, indem man zur Unterstützung der Rostwirkung in die Schüssel ein feststehendes Staublech (Aschenräumer) hineinragen ließ.

Die kennzeichnende Linie des auf dem Schüsselboden aufgebauten und mit demselben bewegten Rostes ist in Abb. 38 dargestellt, es ist die schraffierte Fläche mit der Begrenzungslinie *a b c d e*.

In den dadurch umrissenen Raum taucht der feststehende untere Mantelteil (Tauchring), welcher zur augenfälligen Unterscheidung schwarz gezeichnet ist, ein, mit der inneren Begrenzungslinie *f g h*.

Der Außenteil der Schüssel, $a b$, verläuft nach der Drehachse des Rostes als Rotationskörper, ebenso der Tauchring. Wenn wir daher von der Gestaltung des Rostes vorläufig absehen und die Schüssel mit Asche gefüllt denken, so wird bei der Drehung derselben der Tauchring eine Rille einschneiden und eine wesentliche Bewegung der Asche nur dann eintreten, wenn die Asche einen größeren Widerstand bietet und somit die Bewegung der Asche in der Nähe des Tauchringes stark gehemmt wird. Denkt man sich z. B. Sand in der Schüssel, der wegen seiner runden Körnung wenig Widerstand bietet, so wird sich die Rille beiderseitig verbreitern.

Anders stellt sich das Bild im Gaserzeuger, wo zu der Schüssel der Rost hinzutritt und zudem die Füllung innerhalb des Schachtes unter der Last der Brennstoffsäule steht, so daß jeder sich etwa bildende Hohlraum sofort durch nachstürzende Teile gefüllt wird. Die Übertragung der Geschwindigkeit vom Rost auf die Asche wird ebenso wie die Aufhebung der Geschwindigkeit zwischen Tauchring und Asche von dem Widerstand des Füllstoffes abhängen. Die Größe der jeweiligen Geschwindigkeit in den wechselnden Abständen zwischen Tauchmantel und Rost verläuft demnach nicht wie die Gerade O bis v in Abb. 39, sondern wahrscheinlich nach einer doppelt gekrümmten Linie, so daß die Geschwindigkeit im nahen Abstand vom Tauchmantel bereits erheblich ist und dann verhältnismäßig langsam weitersteigt, um in nächster Nähe des Rostes erst eine Geschwindigkeit v' zu erreichen, die wesentlich kleiner als v ist. Der Verlauf der Kurve ist durch Schraffierung nach den Abszissen kenntlich gemacht. Man wird demnach nicht allzu weit fehlgehen, wenn man der Asche in der Schüssel eine mittlere Geschwindigkeit v_1 zuspricht, die für durchschnittliche Verhältnisse etwa $\frac{1}{2}$ von v ist.

Ganz unabhängig von der Rostgestaltung wird daher ein Teil der Aschenfüllung in der Bewegung zurückbleiben und sich im Verlaufe der fortgesetzten Drehung unter dem von oben wirkenden Druck in der Richtung $h g f$ (in Abb. 40) der Mitbewegung zu entziehen suchen. Es ist dadurch eine bekannte Tatsache begründet, welche man beim Füllen und ersten Ingangsetzen eines Gaserzeugers stets beobachten kann. Die Asche wird von oben in den Generator gefüllt und böschet sich etwa nach der punktierten Linie $g b$. Läßt man nun die Schüssel laufen, so steigt die Asche ohne Zuhilfenahme des Aschenräumers in der Schüssel hoch, und zwar um so höher, je größer der Widerstand der Asche ist (bei grobstückiger, verschlackter, unregelmäßig geformter Asche am höchsten). Es ist dies lediglich auf den Druck der Brennstoffsäule zurückzuführen, indem man die beiden durch den Tauchring geteilten Hälften der Schüssel gewissermaßen als zwei kommunizierende Räume bezeichnen kann und daher die Asche außen hochsteigen wird, sobald

ihr die mangelnde Beweglichkeit durch äußere Einflüsse (hier die Bewegung der Schüssel) erteilt wird.

Andererseits zeigt der Verlauf der Geschwindigkeiten bei einem Horizontalschnitt durch den Außenteil der Schüssel einen ähnlichen Verlauf. Es ist lediglich zu beobachten, daß dort der Einfluß der ruhenden

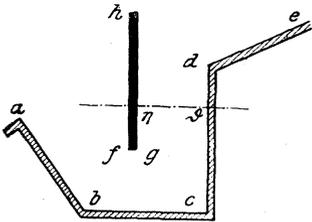


Abb. 38.

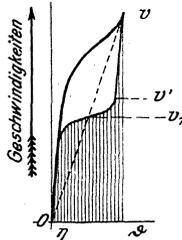


Abb. 39.

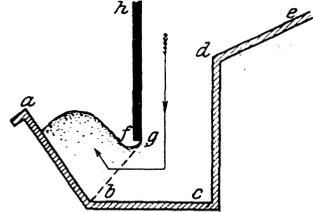


Abb. 40.

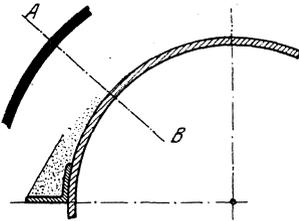


Abb. 41.

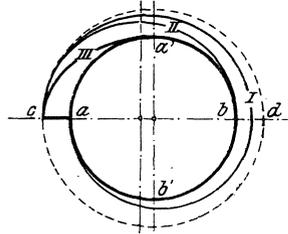


Abb. 42.

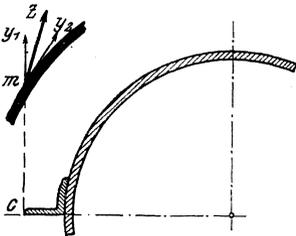


Abb. 43.

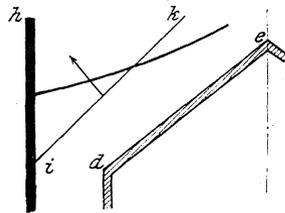


Abb. 44.

Abb. 38—44. Ableitung der Bewegungswirkung bei einem Drehrost.

Last fehlt, und daher ein Ausweichen des Füllstoffes nach oben möglich ist. Aus diesem Grunde zeigt die Lagerung der Asche in der Schüssel stets die charakteristische Linie nach Abb. 40 (stark eingezeichnet). Es ist daher bei niedrigen Schüsseln und großem Widerstand der Aschenfüllung möglich, daß eine Austragung ohne Hilfe von Staublechen eintritt, wie man oft im Betrieb sehen kann. In vielen Fällen genügte das Hochziehen von Staublechen bis in die obere Hälfte der Schüssel nicht, um eine Austragung zu vermeiden, und man hat daher die Staubleche so angeordnet, daß man sie bis über den Rand der Schüssel hochstellen kann.

All das Gesagte gilt für einen zentrisch gesetzten Rundrost ebenso wie für einen irgendwie exzentrisch gestalteten (also von einem Rotationskörper abweichenden) Rost. Die Überlegung, weshalb der Erfinder von Anfang an exzentrisch wirkende Roste anwendete, war einfach folgende: Um die angestrebte, höhere Durchsatzleistung zu erzielen, mußten auch größere Aschenmengen entfernt werden; die oben geschilderte Wirkung war nun bei exzentrischen Rosten in erhöhtem Maß zu erwarten. Die Begründung ist folgende: Je größer der Widerstand der Füllmasse wird, und derselbe ist bei den Generatoraschen meist erheblich, desto kleiner wird v' sein, weil nicht nur die Reibung des Tauchmantels bewegungshemmend wirkt, sondern auch die Last der Beschickungssäule, sofern diese sich nicht in ihrer Gesamtheit bewegt. Da letzteres nicht zu erwarten steht, fällt v' tatsächlich sehr klein aus, und man muß danach trachten, die Übertragungswirkung der Bewegung vom Rost auf die Aschenfüllung zu verbessern. Hierzu ist die exzentrische Gestaltung des Rostes am besten geeignet, und sei zur Ableitung dieser Beziehungen nun ein Grundriß in Abb. 41 betrachtet. Es sei ein zentrischer Rundrost angenommen, der an einer Stelle einen Mitnehmer (z. B. einen angienieteten Winkel) besitze. Die in dem toten Raum dicht hinter diesem Mitnehmer liegenden Aschenteilchen werden bestimmt die volle Geschwindigkeit v des Rostes aufweisen. Da nun die Reibung bzw. der Widerstand zwischen Asche und Asche größer ist als zwischen Asche und dem glatten Guß eines Rostes, so wird die Asche im ganzen besser mitgenommen, und die Verminderung von v auf v' tritt nicht so sprunghaft ein, wie früher abgeleitet und in Abb. 39 gezeichnet, sondern langsamer, und die Geschwindigkeitskurve wird etwa so verlaufen, wie sie in dieser Abbildung durch die stärker eingezeichnete obere Linie gekennzeichnet ist, wobei ein Schnitt nach $A B$ in Abb. 41 zugrunde gelegt wurde.

Es taucht nun die Frage auf, wie weit sich die Schutzwirkung eines solchen Mitnehmers mit der äußersten Kante c erstreckt, bzw. was als toter Raum zu bezeichnen ist. Denn naturgemäß wird man solche bei sachgemäßer Konstruktion vermeiden, bzw. wie weit sich die Wirkung mitnehmender Kanten erstreckt. Bei einem theoretisch angenommenen Widerstand = 0 und großer Geschwindigkeit des Rostes wird der Schutzraum ein voller Kreis sein (Abb. 42), welcher strichliert eingezeichnet ist. Für praktische Fälle dürfte bei kleinem Widerstand die oberste Linie I , bei größerem Widerstand die unterste Linie III zutreffen. Die mittlere Linie II für einen mittleren Widerstand entspricht nun einem Kreis über $c b$, also einem Kreis, der um die Hälfte von $a c$ exzentrisch zum Kreise $a b$ gesetzt ist. Es entspricht dies der ersten Bauart von Kerpely, der anfänglich aus konstruktiven Rücksichten der Vorzug gegeben wurde (österr. Patent 16700 von 1903).

Für die tatsächlichen und durchschnittlichen Verhältnisse entspricht besser die Linie *III*, und entspricht diese einer Ellipse mit der großen Achse $c d$, die um das doppelte Maß $a c$ größer ist als die kleine Achse $a' b'$. Diese Form entspricht dem D.R.P. 168874, und stellt nach dem Gesagten offensichtlich die Ellipse die idealste Lösung dar.

Die gleiche Wirkung läßt sich naturgemäß mit rhombischen oder polygonalen Querschnittsformen erzielen. Je mehr sich die Form dem zentralen Rundrost nähert, desto geringer wird die Wirkung sein. Andererseits hat aber die kantige Ausbildung des Rostes bei der vieleckigen Grundform den Vorteil, daß die Kanten zahlreiche Angriffspunkte für die Übertragung der Bewegung bilden und so bei der verhältnismäßig schnellen Aufeinanderfolge eine gute Wirkung erzielt wird. Glatte Flächen werden stets ein leichteres Ausweichen der Asche zulassen, und ist dies der Grund, weshalb man bei der praktischen Ausführung anstatt der Ellipse ein dieser Form angenähertes Polygon wählte.

Die Wirkung der Exzentrizität würde nun lediglich eine Mahlarbeit sein, wenn sich der Vorgang nur zwischen Rost und Tauchring abspielen würde. Er wird aber dadurch ein anderer, weil unterhalb des Tauchringes die Asche in der Schüssel nach außen ausweichen kann. Die ausladenden, exzentrischen Teile des Rostes bringen daher eine schiebende Wirkung mit sich, wie in Abb. 43 dargestellt. Nehmen wir ein Schlackenstück m an, das unter dem Tauchring liegt, so wirkt auf dieses die übertragene Wirkung der Mahlkante c in der Richtung der Komponente y_1 und andererseits die Drehbewegung der Schüssel mit ihrem gesamten Inhalt in der Richtung der Tangente, also der Komponente y_2 . Beide zusammen ergeben eine dazwischenliegende, in ihrer Größe und genauen Richtung allerdings kaum festzustellende Resultante z . Diese schiebende Wirkung kann am augenfälligsten bei rhombischen Rosten beobachtet werden, wo sich ohne Einwirkung des Staubleches Aschenberge in der Schüssel feststellen lassen, wenn man mit sehr grobstückiger, unregelmäßig geformter Asche arbeiten muß. Diese Aschenberge liegen etwa $30-60^\circ$ vor der Mahlkante, und kann man daher in manchen Fällen annähernd die Stellung des Rostes nach dem Aussehen der Aschenschüssel angeben. Bei feinkörnigen Aschen ist dies allerdings meist nicht möglich, doch wird man häufig beobachten, daß dazwischenliegende größere Aschenstücke meist an dieser Stelle der Schüssel aus der inneren Hälfte in die äußere treten, weil eben dort die schiebende Wirkung am größten ist.

Die abschiebende Wirkung des Rostes muß nun naturgemäß hinter der Mahlkante Platz für von oben nachfallende Stücke ergeben. Hohlräume treten jedenfalls selten ein, weil der Druck der Brennstoffsäule zu groß ist; dadurch ist aber sicher zu erwarten, daß das Material hinter der Mahlkante loser und lockerer liegen wird als vor der Mahlkante.

Wesentlich anders ist die Wirkung der exzentrischen Bauart im oberen konischen Teil des Rostes. Obwohl auch dort die Last der Beschickung aufrucht — allerdings eine bereits geringere —, so wird doch schon wegen der geneigten Lage ein Ausweichen nach oben im geringen Maße eintreten. Wenn z. B. in Abb. 44 die Linie $d e$ die mahlende Kante eines exzentrischen Rostoberteiles darstellt, so wird die im gleichen Sinn wie nach Abb. 43 zu konstruierende Resultante nicht horizontal verlaufen, sondern nach oben geneigt, weil die eine Komponente im Raum senkrecht zu $d e$ liegt. Der Druck der Brennstoffsäule läßt naturgemäß ein bemerkbares Ausweichen kaum zu, aber beim Öffnen von den in Rosthöhe liegenden Schürlöchern kann man meist konstatieren, daß die Asche vor der schiebenden Kante dichter liegt. Einen Beweis für das Gesagte kann man auch beim ersten Anlassen der Generatoren beobachten. Wenn die Schlacke vor dem Anstecken nach der Linie $i k$ eingefüllt ist und man den Rost rotieren läßt, so ergibt sich schon nach einmaliger Umdrehung eine augenfällige Verminderung des Böschungswinkels, bis sich bei fortgesetzter Rotation die obere Begrenzungslinie etwa nach der in Abb. 44 stark eingezeichneten Linie einstellt.

Die beiden zuletzt dargelegten Einflüsse erklären nun das leicht eintretende Schiefhängen des Feuers, weil dasselbe vor dem ausladenden Teil des Rostes höher liegt als hinter demselben. Aus dem gleichen Grunde kann man z. B. bei exzentrisch gesetzten Rundrosten und geeigneten Brennstoffen (hochwertiger Braunkohle) ein Rundwandern des Feuers mit dem Rost in geringem Maß beobachten. Solche und ähnliche Erscheinungen werden sich um so mehr bemerkbar machen, je steiler der Oberteil des Rostes gestaltet ist. Die Entwicklung des Generatorbaues bietet hierfür kennzeichnende Beispiele. Nach den Erfolgen des Kerpely-Generators strebten die ersten späteren Bauarten noch eine Vergrößerung der Wirkung an, indem sie Rostformen großer Steilheit (Rehmann) oder solche mit Ansätzen wählten, um die Brennstoffsäule besonders in vertikaler Richtung zu beeinflussen. Wenn auch diese Überlegung nicht unrichtig war, so ergaben diese Rostformen doch keine günstigen Ergebnisse, weil der ganze Betrieb zu empfindlich wurde, und man hat in der späteren Entwicklung (seit etwa zehn Jahren) durchweg flache Rostformen bevorzugt. Steile Formen haben zwar bei einzelnen Brennstoffen gute Ergebnisse gezeitigt, doch stellen dieselben eben nur Ausnahmefälle dar.

Wie aus den obigen Darlegungen hervorgeht, erzielt die Bauart des üblichen Drehrostes die angestrebte Wirkung auch ohne Hilfe des Staubleches. Dieses unterstützt lediglich die Wirkung des Rostes, weil das feststehende Staublech in ähnlicher Weise wie der feststehende Tauchmantel bewegungshemmend wirkt. Die Asche, welche im Verlauf der Bewegung der Schüssel gegen das Staublech stößt, wird vollständig

in der Weiterbewegung behindert und steigt daher unter dem Druck der nachschiebenden Aschenmassen an dem Staublech hoch. Aber auch bei nicht vollständig bis auf den Boden der Schüssel reichendem Staublech zeigt sich die Wirkung, und zwar dann in vollständig dem gleichen Sinne wie am Tauchmantel.

Die Wirkung des Staubleches ist daher grundsätzlich ganz unabhängig von der Wirkung des Rostes und kann hauptsächlich darin erblickt werden, die unter der Wirkung des Rostes in der Schüssel langsam hochsteigende Asche völlig über den Rand der Schüssel abzuwerfen.

Wie man sieht, bewirkt der Drehrost in erster Linie eine Bewegung der Aschenschichten. Aber eine Bewegung der Brennstoffschichten ohne entsprechende Bewegung der Aschenschichten ist glatterdings undenkbar. Denn an derselben Stelle, wo die intensive Vergasung eintritt, erfolgt die Bildung der Rückstände, der Aschen und Schlacken. Zwischen der kalten, ausgebrannten Aschenschicht im alleruntersten Teil des Generators und derjenigen untersten Brennstoffschicht, welche tatsächlich noch als Brennstoff zu bezeichnen ist, liegen daher räumlich ziemlich ausgedehnte Übergangsschichten, die man weder als Aschenschichten, noch als Brennstoffschichten bezeichnen kann; man nennt dieselben Vergasungsschichten. Dieselben sind besonders bei aschenreichen Brennstoffen ziemlich hoch, und dies ist der Grund, weshalb die ältesten Roste im prismatischen Teil Windschlitzze tragen, um die selbstverständlich langsame Endvergasung möglichst vollständig zu gestalten.

An Drehrostgeneratoren im Betriebe wurde wiederholt festgestellt, daß der Einfluß der Rostbewegung auf die über denselben befindlichen Schichten etwa 40—50 cm weit reicht. Jedenfalls bedingt die Bewegung des Rostes eine dichtere Lage des Brennstoffbettes (in ähnlicher Weise wie Schütteln), und nur dadurch läßt sich die angestrebte Steigerung der Vergasungsleistung erzielen. Andererseits verhindert die fortdauernde Beeinflussung der Aschenschichten, besonders bei solchen mit niedrigem Schmelzpunkt (oder bei Beimischung erheblicher Mengen von Schwefelkies), ein größeres Verschlacken und die Bildung von Aschenklumpen, die die Vergasung stören. Die Vermeidung solch großer Stücke bzw. deren nachträgliche Zermahlung ist aber eine Grundbedingung für die anstandslose Arbeitsweise eines Generators.

Zur Feststellung der günstigsten Höhe des prismatischen Teiles und der richtigen Neigung des konischen Teiles wurden vom Erfinder systematische, lang ausgedehnte Versuche gemacht. Der wichtige Gesichtspunkt in der Entwicklung der Drehrostgaserzeuger war nun, die richtigste und einfachste Bauart zur Erzielung der exzentrischen Wirkung zu finden, und wird an späterer Stelle gezeigt werden, welche Mittel hierzu bei den verschiedenen Bauarten gebraucht werden.

IV. Bauarten der Gaserzeuger.

1. Geschichtliche Entwicklung des Gaserzeugerbaues.

Bereits nach den vorstehenden Ausführungen kann man ermessen, wie zahlreich die verschiedenen Ausführungsformen der Gaserzeuger sind. Allein die Patentliteratur auf diesem Gebiete ist eine sehr umfangreiche. Da aber zahlreiche Vorschläge nur auf dem Papier stehen und nie in die Praxis übergeführt wurden, so wäre eine möglichst umfassende Anführung dieser teilweise nur wenig abweichenden Bauarten wohl für erfahrene Kenner interessant, insbesondere weil man die teils langsame, teils wieder sprunghafte Entwicklung einzelner Grundideen verfolgen kann und sieht, wie oft die Ideen dem technischen Stand vorauseilten, während es andererseits wieder an Ideen mangelte und konstruktive Bleistiftphantasien vergeblich ein Problem zu meistern versuchten; für denjenigen, der sich mit dem Gebiet vertraut machen will, oder der praktisch auf demselben tätig ist, ist aber die Beschreibung weniger Bauarten förderlicher, wenn dabei die vergleichende Beschreibung möglichst weitgehend berücksichtigt wird, um die Zusammenhänge klar zu erkennen. Die Kombination verschiedener Grundideen, die so oft in der Patentliteratur angetroffen wird, erübrigt sich dabei, weil die möglichst exakte Feststellung der Vorgänge, die Beobachtung der Zusammenhänge und die klare Übersicht der chemischen und technischen Mittel jeden einzelnen in die Lage versetzt, das Wesentliche zu erkennen, das Beiwirk auszuscheiden und das Richtige für die örtlichen und zeitlichen Verhältnisse in der Praxis zu wählen.

Ich verzichte daher mit Bewußtheit darauf, eine irgendwie vollständige Aufzählung der Bauarten zu bringen; im Gegenteil will ich dieselbe soweit als möglich beschränken. Dagegen glaubte ich eine kurze geschichtliche Entwicklungsstudie vorausschicken zu sollen, an welcher die Entwicklung einzelner Grundideen verfolgt werden kann. Ich habe dabei auf die einschlägigen Patente verwiesen und bei diesen das Kennzeichnende ausgesucht, weil tatsächlich unglaublich viele Wiederholungen, aber wenig grundlegende Ideen anzutreffen sind.

Die Schaffung des ersten Gaserzeugers verdanken wir zweifellos dem württembergischen Hüttenmann Faber du Faur¹⁾. — Wohl hatte man schon früher im Mittelalter die Beobachtung gemacht, daß man durch einen beschränkten Luftzutritt unter die Kohlschicht aus den festen Brennstoffen Gase erhält, die dann mittels einer sekundären

¹⁾ Vgl. Dr.-Ing. Eduard Herzog: F. d. F.'s Arbeiten und Erfindungen auf dem Gebiete der Winderhitzung und Gasfeuerung. St. u. E. 1917, S. 102.

Luftzuführung unmittelbar bei ihrem Austritt aus dem Brennstoffe verbrannt wurden, und Ferdinand Fischer bezeichnet daher den „fulen heintzen“ (faulen Heintzen) bei Brunschwyk und Ulstadius mit Recht als einen Vorläufer der Gasfeuerung¹⁾, ebenso wie die Halbgasfeuerung, welche diesem Verfahren sehr ähnelt, im Grunde eine Abart der Gasfeuerung ist. Eine Gaserzeugung und sinngemäß ein Gaserzeuger liegt aber erst dann vor, wenn die Verwendung des Gases von der Erzeugung völlig getrennt ist, d. h. die Einrichtungen vorhanden sind, um das Gas völlig nach Wahl zu gebrauchen.

Für diese Entwicklung war natürlich die technisch mögliche und zugleich notwendige Verwendung von Gas Voraussetzung, und diese ist erst mit dem Gasofen Faber du Faur's gegeben. Man hatte zwar schon früher die Destillationsgase der Steinkohle für besondere Verwendungszwecke, und zwar neben der Beleuchtung viel zu Heizzwecken herangezogen, aber damit war für eine industrielle Nutzung noch keine Möglichkeit vorhanden. Als Faber du Faur in den Jahren 1837—1839 seine Versuche in dem Betriebe der ersten Schmelzöfen mit Hochofengas durchführte und dieses Verfahren als erfolgreich dastand, war es naturgemäß eine Zeitforderung, sich vom Hochofengas unabhängig zu machen und auf einem ähnlichen Weg ein Gas herzustellen, so daß die Schmelz- bzw. Raffinieröfen von den Hochöfen sowohl in der Anlage als auch im Betrieb getrennt werden konnten. Bei dem Interesse, mit welchem das gesamte Hüttenwesen die Versuche Faber du Faur's verfolgte, kann es daher nicht wundernehmen, daß ungefähr gleichzeitig der Weg der Gaserzeugung ohne Hochofenbetrieb von mehreren Seiten vorgeschlagen wurde, aber das Studium der einschlägigen Literatur zeigt, daß alle diese Erfinder auf den Versuchen Faber du Faur's aufbauten, und dieser zweifellos als der geistige Schöpfer der Gaserzeugung anzusprechen ist. Es steht fest, daß in Wasseralfingen bereits vom 7. 11. 1840 ab ein Gasschweißofen mit Generatorgas neben Hochofengas betrieben wurde, weil die Gaserzeugung des Hochofens unregelmäßig war, und nur durch den Zusatz eines „besonderen Gases“ ein regelrechter Betrieb möglich war. Faber du Faur erkannte damals bereits den wichtigsten Punkt der Gaserzeugung, indem er Steinkohle und Torf von sehr schlechter Qualität vergaste, „Brennstoffe, die in gewöhnlichen (Hoch-) Öfen nicht verwendet werden konnten“. Er hat aber die Gasfeuerung auf diesem Wege, wobei er bereits Wasserdampf als Reaktionsgas benutzte, nicht als eine wesentliche Erfindung angesehen, da sein Hauptaugenmerk auf die Ausbildung der Gasöfen zum Puddeln und Schweißen gerichtet war, und so hat man vielfach anderen die Erfindung des Gaserzeugers zugeschrieben.

¹⁾ Vgl. Fischer: Kraftgas. 2. Aufl., S. 85.

So bezeichnet Fischer¹⁾ als den ältesten Gaserzeuger denjenigen von Bischoff, der wahrscheinlich Anfang 1841 in Lauchhammer erprobt wurde. Nach Bischoffs eigenen Angaben²⁾ hat er bereits 1839 seine Ideen entwickelt, die im Grunde auf einen Flammofen mit Halbgasfeuerung hinielen und die Ersparnis der vorausgehenden Kokerei oder Köhlerei beabsichtigten, indem man nicht mehr veredelte Destillationsprodukte der Brennstoffe (Koks oder Holzkohle) notwendig hätte, sondern die rohen Brennstoffe in Gasform indirekt zu dem Schmelzprozeß benutzen könne. In erster Linie zielte Bischoff auf eine Nutzbarmachung von Torf. Die Angaben Bischoffs sind jedoch zeitlich sehr ungenau, auch ist über die ersten Versuche nichts gesagt; dagegen war Bischoff im Jahre 1841 zum Studium in Wasseraffingen, und 1844 setzten dann seine weiteren Versuche ein, welche auch von Erfolg begleitet waren. Abb. 45 zeigt den in Mägdesprung verwendeten Gaserzeuger, der ein einfacher Schachtgaserzeuger mit Planrost ist. Der Planrost ist schwach geneigt, die Abmessungen waren $1,25 \times 1,25$ m im Quadrat. Sonst zeigt der Gaserzeuger nichts Wesentliches.

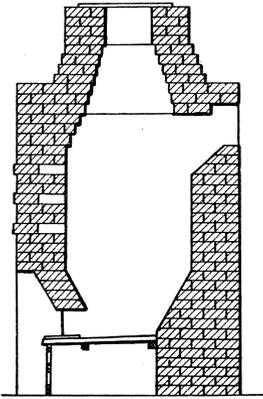


Abb. 45.
Gaserzeuger von Bischoff.

Andere Wege ging Ebelmen in Audincourt, der gleichfalls auf den Arbeiten Faber du Faur weiterbaute. Im Jahre 1838 hatte nämlich Robin in Kenntnis dieser Arbeiten ein Patent für ganz Frankreich ohne Einverständnis des Erfinders genommen und über Auftrag der französischen Bergwerksdirektion hatte Ebelmen 1839–1841

Untersuchungen von Hochofengas und Versuche an Gaspuddelöfen durchgeführt. Er versuchte dabei die Gaszusammensetzung des Hochofengases durch Einführung von Wasserdampf zu beeinflussen und kam beim Mißlingen dieser Versuche gleichfalls auf die Idee, die Gaserzeugung vom Hochofenprozeß unabhängig zu machen. Unter Hilfe seines Mitarbeiters Page, der vorher zu Studienzwecken in Wasseraffingen war, machte er 1841 einen eiligen Versuch³⁾, wobei es ihm gelang, Weißhitze im Ofen zu erzeugen und das Eisen zu schmelzen. Er folgert daher:

„Je crois cependant pouvoir en tirer cette conséquence: avec toute espèce de combustibles, même avec ceux très chargés des matières terreuses, on peut arriver à produire par l'emploi simultané de l'air et

¹⁾ Vgl. Fischer: Kraftgas. 1. Aufl., S. 85.

²⁾ Bischoff: Indirekte Nutzung der rohen Brennstoffe. 2. Aufl. Quedlinburg 1856.

³⁾ Nach seinem Bericht in Annales des Mines, Bd. 4, 1841, wurde der Versuchsofen und Gaserzeuger in 2 Tagen aufgestellt (?).

de la vapeur d'eau, un gaz dont la combustion par de l'air chaud peut donner les températures les plus élevées dont on ait besoin dans la métallurgie du fer.“

1842 nahm er die Versuche wieder auf, wobei er den in Abb. 46 dargestellten Gaserzeuger mit 1,00 m \varnothing verwendete. Dieser Gaserzeuger lehnt sich in seinem Bau und Querschnittformen völlig den Hochöfen an. Die Vergasungsluft wird mit durchschnittlich 35 mm Hg = 460 mm H₂O durch 2 Formen eingeblasen, die Schlacke unten flüssig abgeführt. Zur Verwendung als Brennstoff kam in erster Linie Holzkohle. Daneben wurden aber von Ebelmen in einem kleineren Gaserzeuger von 0,5 m \varnothing bereits systematische Versuche mit verschiedenen Brennstoffen und auch unter gleichzeitiger Zuführung von Wasserdampf durchgeführt. Dieser Gaserzeuger hatte nur eine Windform, während die Zuführung des Wasserdampfes 450 mm höher, etwa am unteren Ende der Rast erfolgte; der 200°–250° heiße Wasserdampf wurde durch einen Hahn der Menge nach geregelt. Die bei der Verwendung von Holzkohle erzielten Gaszusammensetzungen wurden bereits früher (Zahlentafel 17) erwähnt und können als durchaus normal und vorzüglich angesprochen werden. Bei den ersten Versuchen mit Einblasen von Dampf verminderte sich die Gastemperatur von 450° auf 240°, und die Weißglut vor den Formen verminderte sich bis zur Rotglut, die Schlacke floß nicht mehr ab. Das Gas war also

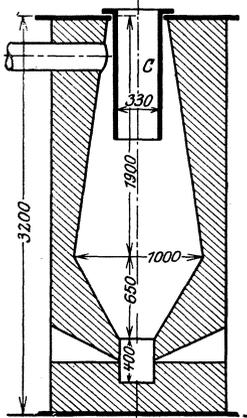


Abb. 46.
Gaserzeuger von Ebelmen.

zu kalt, während die Verminderung der Gastemperatur nur eine geringe war. Aus diesem Grunde griff Ebelmen zu dem Hilfsmittel einer Einführung des Dampfes in höheren Schichten, wobei die in der genannten Zahlentafel wiedergegebenen Resultate erzielt wurden.

Andererseits wurden auch Versuche mit anderen Brennstoffen durchgeführt und dabei besonders das Verhalten der Teerbestandteile und des Wasserdampfes studiert. So wurde bei der Holzvergasung eine mittlere Gaszusammensetzung von

7,23 % CO ₂	10,26 % H ₂
32,40 % CO	50,11 % N ₂

bei Versuchen mit Torf eine Zusammensetzung von

7,32–10,79 % CO ₂	5,92–9,36 % H ₂
23,63–21,04 % CO	64,13–58,81 % N ₂

gefunden. In den Analysen fehlt der Gehalt an CH₄, und scheint der CO-Gehalt bei der Holzvergasung unmöglich, weil wesentlich zu hoch.

Jedenfalls zeigten die Versuche, daß die Vergasung wohl möglich ist; besonders die Teerfrage bzw. die niedere Abgangstemperatur des Gases ließen aber die Versuche als nicht befriedigend erscheinen. Ebelmen konstatierte bereits damals, daß bei gut lufttrockenem Holz die Bildungswärme des CO in den unteren Schichten für die Trocknung und Destillation der Brennstoffe in den oberen Schichten ausreicht. Um nun den Wasserdampfzusatz zu ersparen, kam er auf den Gedanken, einen Gaserzeuger mit umgekehrter Verbrennung zu entwerfen, der in Abb. 47 dargestellt ist. Der eigentliche Schacht *A* hat keinen Gasabzug, sondern die Gase müssen durch den Hilfsschacht *B* entweichen, der mit glühenden Kohlen gefüllt ist. Ebelmen erzielte dabei aus Holz ein Gas von

13,20 % CO ₂	17,85 % H ₂
18,98 % CO	49,97 % N ₂

wobei der Teer in der Hauptsache zersetzt war. Diese Bauart ist eigentlich bereits ein Zwillingsgaserzeuger, obwohl derselbe nicht so entwickelt ist, daß ein dauernder Betrieb möglich war; auch scheinen die Versuche mit dieser Bauart nicht weiter durchgeführt worden zu sein.

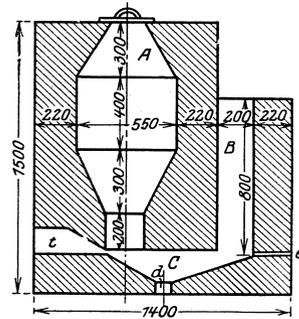


Abb. 47.
Gaserzeuger mit umgekehrter Verbrennung nach Ebelmen.

Ebelmen gebührt aber jedenfalls das Verdienst, die Möglichkeiten der Vergasung bereits in einem sehr weiten Umfang erprobt zu haben; und wenn man ihn auch nicht als Schöpfer des Gaserzeugers bezeichnen kann, so haben seine Versuche wohl zweifellos für dessen Einführung und auch als Grundlage späterer Entwicklung eine außerordentliche Bedeutung erlangt. Es ist auch interessant, daß gerade am Wirkungsorte Ebelmens in Audincourt viel später, nach 1900, die Versuche Sépulchres einsetzten, den Schlackenschmelzgaserzeuger wieder neuerdings in die Praxis einzuführen, während sich anfänglich diese Bauart nicht behaupten konnte und der einfache Planrostgaser Bischoffs die gebräuchlichste Bauart in der Praxis bildete. Jedenfalls haben die Arbeiten von Faber du Faur, Bischoff und Ebelmen innerhalb weniger Jahre nicht nur einen brauchbaren Gasofen, sondern auch einen brauchbaren Gaserzeuger geschaffen, der die beabsichtigte Herstellung eines Heizgases unabhängig von anderen Einrichtungen aus allen Brennstoffen ermöglichte.

In diesem Zusammenhang ist besonders ein Vorschlag Bischoffs heute von besonderem Interesse. Derselbe bezieht sich auf die Vergasung feinkörniger, sogenannter klarer Braunkohle, und zeigt der in Abb. 48 wiedergegebene Gaserzeuger 2 Schrägroste, die gegeneinander

geneigt sind und sich dem Fallwinkel des Brennstoffes anpassen. Dadurch ist die Schichthöhe des Brennstoffes im Zusammenwirken mit dem Füllschacht eine bestimmte und möglichst geringe, was bei dem dichtliegenden Brennstoff notwendig erscheint. Die Bearbeitung des Feuers und das Schüren der Kohle sollte durch seitliche Türen erfolgen.

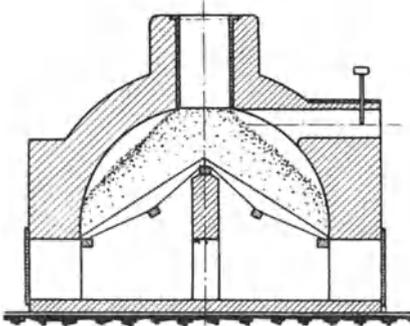


Abb. 48. Gaserzeuger von Bischoff für mulmige Rohbraunkohle.

Die Bestrebungen der genannten drei Bahnbrecher wurden bald, besonders in der Eisenindustrie durch maßgebende Leute verbreitet. So erwähnt Karsten in seiner Eisenhüttenkunde¹⁾ bereits 1841 sowohl die Vorschläge Bischoffs als auch die Versuche Ebelmens. Eine

weitere Förderung erhielt das Vergasungsproblem durch die Einführung des Regenerativofens durch F. Siemens im Jahre 1856²⁾. Siemens baute auf Bischoffs Erfahrungen auf, und sein Treppenrostgaserzeuger,

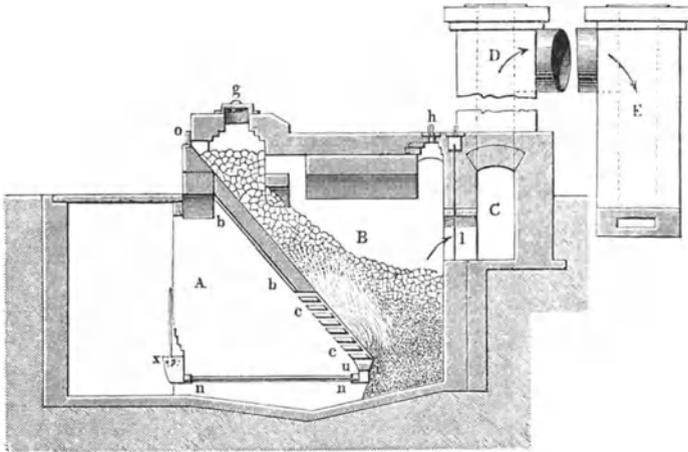


Abb. 49. Gaserzeuger nach Siemens.

Abb. 49, erinnert ganz wesentlich an die üblichen Schrägroste von Feuerungen. Die erste Idee betraf auch nicht einen Gaserzeuger, sondern bestand darin, bei Feuerungen vorgewärmte Luft zu verwenden (Vorschläge von Neilson im Jahre 1828, engl. Patent 5701), um das Feuer heißer zu treiben, und gab er darüber seinem Bruder Wilhelm die in

¹⁾ Bd. 3, S. 279.

²⁾ Preuß. Patent vom 2. 12. 1856.

Abb. 50 abgebildete Skizze. Bei *c* ist ein Kohlenfeuer, welches eine höhere Arbeitstemperatur ermöglichen sollte, als bisher erreichbar. Zu diesem Zwecke waren die beiden seitlichen Kanäle mit Gitterwerken

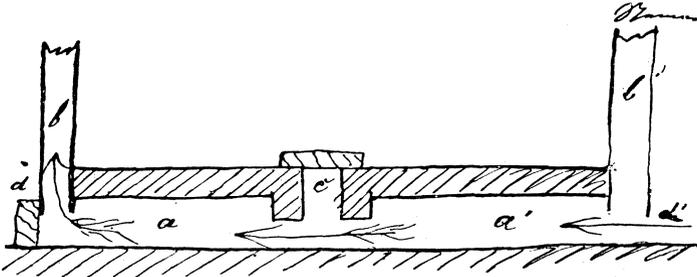


Abb. 50. Skizze von F. Siemens zum Regenerativofen.

angefüllt, die, während sie im abgehenden Strom lagen, Wärme aufnahmen, um dieselbe nach dem Umstellen an die Verbrennungsluft abzugeben. Dies ist das Prinzip der Regeneration, während Neilson eine Erwärmung der Luft außerhalb und unabhängig von der Feuerung vorgesehen hatte. Siemens fühlte sehr wohl, daß die Erwärmung der Verbrennungsluft eine weitgehende Verschlackung des Brennstoffes herbeiführen mußte, daß daher ein solches Verfahren betrieblich große Schwierigkeiten machen würde; im Jahre 1858 hatte er daher bereits einen Gasofen entwickelt, so wie er in Abb. 51 im Grundriß zu ersehen ist. Versuche damit wurden bei Schwartzkopff in Berlin mit Torfschwelgas durchgeführt¹⁾, bessere Ergebnisse zeigten weitere Versuche bei Wagemann, Seybel & Co. in Liesing bei Wien, und auf Grund dieser Erfahrungen wurde in Birmingham eine Glasfabrik errichtet. F. Siemens widmete sich in der Folge der Leitung der von ihm gegründeten Glasfabrik in Dresden, aber sowohl er als auch sein Bruder Wilhelm Siemens hatten ein außerordentlich großes Interesse für

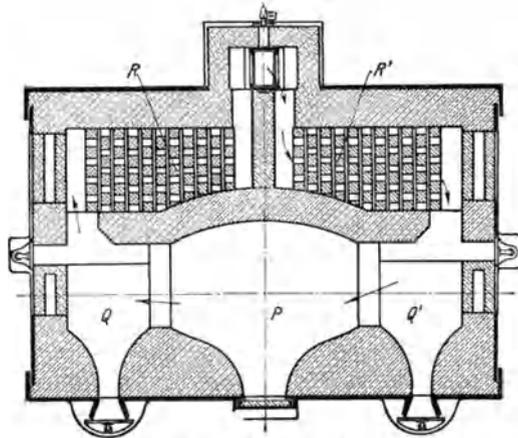


Abb. 51. Erster Siemensscher Gasofen.

¹⁾ Gesch. d. Industrie und Technik 1920.

die Gaserzeugung und Feuerungstechnik, so daß zahlreiche Vorschläge diesen beiden Pionieren zu verdanken sind; jedenfalls hat aber die Schaffung der Regenerativöfen die Gaserei erst zu der Höhe und Bedeutung gebracht, die sie später erhielt, da es mittels dieser Öfen möglich ist, wesentlich höhere Temperaturen als bei direkter Feuerung oder gewöhnlicher Gasfeuerung zu erzielen, ohne daß man eine umständliche Vorwärmung des Gases notwendig hat. Damit war die Anwendung der

Gasfeuerung eine geradezu unbeschränkte geworden.

Von den vielen Vorschlägen hinsichtlich geänderter Bauarten sind einige für die Entwicklung wesentlich. In dem englischen Patent vom Jahre 1864 (gemäß Abb. 52) finden

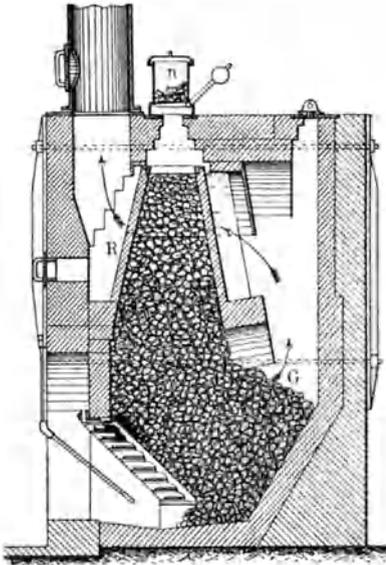


Abb. 52.

Gaser mit Füllschacht nach Siemens.

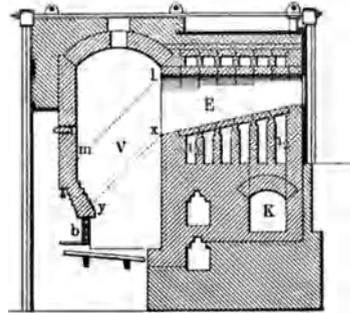


Abb. 53.

Gaserzeuger von Lürmann.

wir erstmalig den als Retorte ausgebildeten Füllschacht, der von den heißen Gasen umströmt wird, so daß dort die Entgasung vor sich geht; dieses Gas muß nach unten entweichen, und die Teer- und Wasserdämpfe werden derart in den heißen Zonen zerlegt. Erst wesentlich später wurde dieser Grundgedanke wieder aufgenommen und führte einerseits zu den Bauarten von Gröbe-Lürmann (D.R.P. 519, 1877 und 13617, 1880), welche eine Trennung des Destillationsvorganges von der eigentlichen Vergasung anstrebten und bereits auf S. 107 erwähnt wurden. Die erste Bauart betrifft einen Gaserzeuger mit vorgebauter horizontaler Retorte, deren Decke zugleich den Ofenherd bildet; die Abhitze des Ofens heizt in unter dem Boden der Retorte liegenden Zügen den Brennstoff zwecks Destillation an. Die spätere Ausführung von Lürmann ist in Abb. 53 gezeigt und ist durch die schräge Retorte baulich gekennzeichnet; die Heizung der Retorte erfolgt nicht durch Abhitze, da der Gaserzeuger vom Ofen getrennt gedacht ist, sondern

durch die Eigenwärme des Generatorgases. Im Prinzip ist diese Bauart ein Schwelgaserzeuger, obwohl er baulich wesentlich abweicht; aber die schrägliegende Retorte kehrt bei vielen späteren Vorschlägen wieder (z. B. Schraml, 1904¹).

In anderer Hinsicht entwickelten die Bauart der senkrechten Retorten besonders die nachfolgenden Erfinder. Gormann (D.R.P. 2155, 1877) hatte bereits den entscheidenden Gesichtspunkt erfaßt und führt in den Gaserzeuger von oben Wind ein, um die Entgasung durch die gleichzeitig eintretende teilweise Vergasung zu beschleunigen. Sonach handelt es sich um die besondere Anordnung eines mittleren Gasabzuges (vgl. S. 110ff.) bzw. eines Doppelfeuers. Kasalowsky (D.R.P. 2697 und 5163, 1877) hat Füllschächte bzw. Retorten sowohl bei Dampfkesselfeuerungen, als auch bei Gaserzeugern in ähnlicher Weise und Bauart vorgeschlagen, wie dies Siemens tat. Möller (D.R.P. 6113, 1878) bringt zuerst die Unterteilung der Retorten, um eine bessere Destillation zu erreichen und ordnet einen Kohlenbehälter mit Kohlenstandsanzeiger an. Diese Vorschläge haben heute geringeres Interesse, das Patent ist aber lehrreich aus dem Grunde, weil in demselben bereits bewegliche Roste vorgeschlagen sind, wie solche von Dougall bereits bei Kesselfeuerungen eingeführt worden waren (1877). Es sind zwei Systeme von Roststangen (eines Planrostes) angeordnet, die in ihrer gegenseitigen Höhenlage veränderbar sind, ohne daß der Gaserzeuger dazu geöffnet werden braucht; das Rostsystem ist teilweise durch wassergekühlte Rohre gebildet. Der Mantel ist als Doppelmantel ausgebildet, um eine Vorwärmung der Vergasungsluft zu ermöglichen. In D.R.P. 7024, 1879 des gleichen Erfinders ist die Unterteilung der Retorte noch weiter durchgeführt (4 Quadranten), eine obere Windzuführung in halber Höhe der Retorte ist vorgesehen, und der Kühlmantel ist im oberen Teil als Dampfkessel ausgebildet. Nehse (D.R.P. 8668, 1879) benutzt die Wärme des Generatorschachtes zur Vorwärmung der Verbrennungsluft, indem er an den Gaserzeuger unmittelbar den Ofen anschließt. Krupp (D.R.P. 13282, 1886) bringt erstmalig ringförmige Retorten, um die Heizfläche möglichst zu vergrößern.

Wichtiger erscheint die Grundidee, die Destillationsgase abzusaugen und unten wieder einzuführen, um die Zersetzung derselben zu erreichen. Der erste solche Vorschlag stammt von Nehse (D.R.P. 6015, 1878), der eigentlich einen Gaserzeuger mit umgekehrter Verbrennung baut und Abzugskanäle im oberen Teil anordnet, die in die Glutzone münden. Unterhalb letzterer ist der Gasaustritt. Einen ähnlichen und bereits besser ausgearbeiteten Vorschlag machte Bruckmann (D.R.P.

¹) Vgl. Fischer: Kraftgas. Bd. 2, S. 368.

5856, 1878 bzw. 9418, 1879) für einen Generatorzimmerofen, wo die Destillationsgase der Luft beigegeben wurden. Eine wirklich brauchbare Ausführung brachte schließlich Olschewsky (D.R.P. 15 147, 1880), der einen Gaserzeuger mit mittlerem Gasabzug bzw. mit zwei getrennten Gasabzügen brachte und somit an die Bauart von Gormann erinnert. Das Destillationsgas geht, wie Abb. 19 zeigt, in einen oberen Sammelkanal, von welchem eine Verbindungsleitung zum Luftkanal führt. Die ausströmende Luft wirkt nun injektorartig und setzt den Oberteil des Gaserzeugers unter Saugung. Die Destillationsgase des oberen Schachtteiles streichen somit zusammen mit der Vergasungsluft durch die unteren heißen Brennstoffschichten und ziehen die nunmehr teerfreien, wohl aber auch an gasförmigen Kohlenwasserstoffen armen

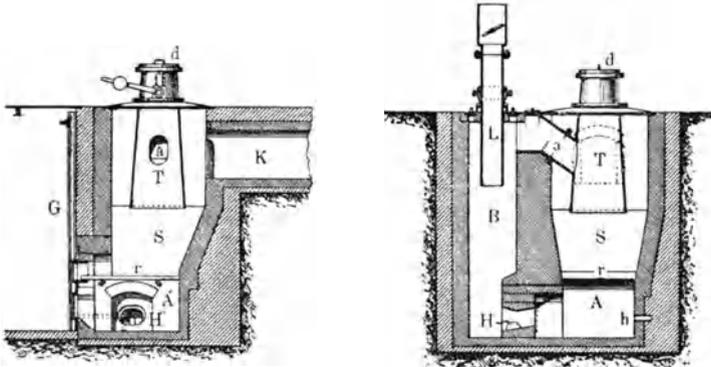


Abb. 54. Gaserzeuger von Siemens für die chemische Regenerierung.

Gase durch den mittleren Gasabzug der Verwendungsstelle zu. Die Bauart führt daher zu einer völligen Zersetzung der Destillationsbestandteile; da jedoch für den Ofenbetrieb eine Zersetzung derselben nicht unbedingt erforderlich ist und nur insoweit geboten erschien, um den Teer zu zerstören, der sonst zu lästigen Verschmutzungen der Leitungen, Ventile u. dgl. führte, so boten diese verschiedenen Ausführungen wohl viele Vorschläge, waren aber in der Praxis ziemlich selten angewendet. Sie erhielten erst später erhöhte Bedeutung, als man Gas für Motorenbetrieb anwendete.

Erwähnenswert sind die Vorschläge von W. Siemens (D.R.P. 16223, 1881 und 20726, 1882), welche eine weitgehende Vorwärmung der Vergasungsluft anstreben; zugleich soll in der mit Wasser gefüllten Aschenschüssel eine reichliche Verdampfung erzielt werden, um den Zusatzdampf möglichst zu ersparen.

Das Arbeitsgebiet, welches später W. Siemens am meisten beschäftigte, war die sogenannte chemische Regenerierung zwecks Ersparnis von Brennstoffen. Das älteste dieser Patente (D.R.P. 69650,

1891) zeigt baulich einen Gaserzeuger, wie in Abb. 54 dargestellt, somit der Bauart nach Abb. 52 ähnlich, nur mit der Maßgabe, daß die Destillationsgase aus der Retorte oben entnommen und in einer neben dem eigentlichen Gaserzeuger angeordneten schachtartigen Kammer verbrannt werden. Die teerigen Bestandteile sind so in CO_2 übergeführt, zugleich ist in diesen Verbrennungsgasen viel Wasserdampf (teilweise auch aus der Brennstofffeuchtigkeit) enthalten; diese Verbrennungsgase werden nun unten mit der Luft in den Gaserzeuger eingeführt, wobei eine Dampfduüse als Injektor benutzt wird. Im Gaserzeuger wird nun das CO_2 wieder zu CO reduziert. Außer den von den Destillationsgasen herrührenden Verbrennungsgasen können auch andere Abgase (von Öfen) zugesetzt werden. Das Prinzip der chemischen Regene-

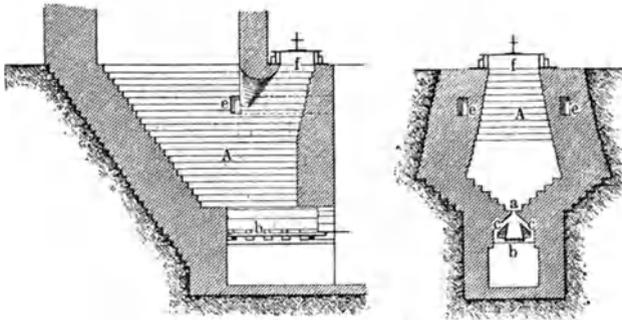


Abb. 55. Gaserzeuger nach Liegel.

ration ist bereits früher (vgl. S. 68ff.) ausführlich behandelt worden, so daß hier die kurze Beschreibung der Einrichtung genügen mag. D.R.P. 72891, 1892 bringt eine Erweiterung des vorstehenden Patentes hinsichtlich Zuführung der Abgase, also die eigentliche chemische Regenerierung der Abgase, während D.R.P. 72899, 1892 eine bauliche Anordnung zeigt, die es ermöglicht, in einem Gaserzeuger ohne Rost mit entsprechend geneigter Rutschfläche die Vergasung in Verbindung mit chemischer Regenerierung von Abgasen durchzuführen.

Aus dieser Entwicklungszeit verdienen noch folgende Vorschläge Erwähnung. Liegel (D.R.P. 31, 1877) schlägt bereits einen rostlosen Gaserzeuger vor, der einen treppenartig nach unten verengten Schacht aufweist, um schließlich in einen schmalen Schlitz zu münden, zu dem die Luft aus zwei seitlichen Kanälen tritt (vgl. hierzu Abb. 55); unterhalb der Windeintrittsöffnung ist in dem Schlitz ein Notrost angebracht. Die Bauart will durch den verengten Schacht das Hochziehen der Luft an den Wänden vermeiden, indem dieselbe immer wieder direkt auf Kohlenstückchen trifft. Den verengten Schacht finden wir später wieder bei Zahn (D.R.P. 35262, 1885) und selbst noch in neuester Zeit, wo diese Bauart als rostlose wieder in Aufnahme kam.

E. Brook und Wilson (D.R.P. 5588) schlagen einen gleichfalls rostlosen Gaserzeuger vor, bei dem der Brennstoff direkt auf dem Boden aufliegt, der durch darunterliegende Luftkanäle gekühlt ist. Die Luft strömt seitlich durch zwei Windkästen ein, während auf den beiden anderen Seiten die Schlacktüren angebracht sind. Die Bauart hat sich später als Wilson-Gaserzeuger, mit geringfügigen Änderungen,

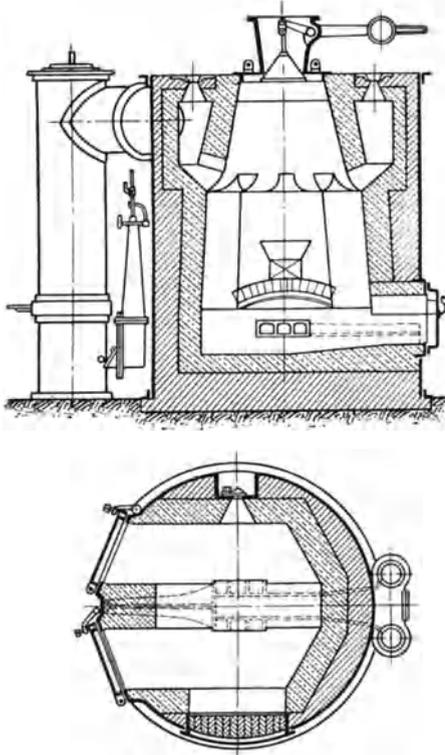


Abb. 56. Gaserzeuger von Wilson.

besonders in Belgien und Frankreich eingeführt, und zeigt diese spätere Konstruktion einen mittleren Windkasten mit mehreren Austrittsöffnungen. Diese spätere Bauart ist in Abb. 56 gezeigt.

Eine wesentliche Beeinflussung erfuhr der Gaserzeugerbau durch die Einführung des Gasmotors von Langen und Otto (1867). Die erste Bauart derselben war für Leuchtgas bestimmt, aber sehr bald machte sich das Bestreben geltend, dafür das wesentlich billigere Generatorgas zu verwenden. Nachdem bereits Ebelmen (1843) gezeigt hatte, daß man durch Zersetzung der Teerdämpfe über glühendem Kohlenstoff ein sehr reines Gas gewinnen konnte, und auch die Bauarten mit mittlerem Gasabzug und Umföhrung der Destillationsgase (Gormann, Olschewsky und viele andere vgl. S. 111) diese Möglichkeiten erweiterten, so wandten sich in der Folge viele Konstrukteure

dieser verlockenden Aufgabe zu. Eine beachtliche Weiterbildung des Vorschlages von Ebelmen brachte der Zwillingsgaserzeuger von Thwaite (D.R.P. 15621, 1880 vgl. S. 108). Eine Vervollkommnung ist weiter der Gaserzeuger von Sutherland (D.R.P. 24238, 1883), der aus zwei Gesichtspunkten besonders erwähnenswert ist. Die beiden gekuppelten Gaserzeuger haben oben eine als Gasabzug dienende Verbindungsleitung; ferner hat jeder derselben einen Abzug knapp über dem Rost für das zersetzte Gas, welches den zweiten Gaserzeuger verläßt dieses Gas führt eine hohe fühlbare Wärme mit sich, die bei einer späteren Reinigung verlorengehen würde. Sutherland führt nun dieses

Gas durch einen Regenerator, der jeweils seitlich des Gaserzeugers steht und wärmt diesen auf, um die Wärme nach dem Umschalten zur Erhitzung der Vergasungsluft zu gebrauchen. Außerdem bringt der Gaserzeuger eine Neuerung in der Hinsicht, daß die Aschenräume auf Wagen mit Schrauben zum Anheben gesetzt sind, so daß man dieselben auswechseln kann. Der Rost selbst ist allerdings fest mit dem Gaserzeuger verbunden. Diese Grundidee eines ausfahrbaren Rostes (mit darüber einsteckbarem Notrost) finden wir erweitert wesentlich später wieder bei Blezinger (D.R.P. 167469, 1904 und 173405, 1904), einer Bauart, die mehrfach in der Praxis angewendet wurde.

Mit Rücksicht auf die notwendige Reinigung des Gases hatte man bei der Kraftgaserzeugung das Bestreben, die fühlbare Wärme des Gases herabzusetzen, indem man reichlich Wasserdampf der Vergasungsluft zusetzte; schon Ebelmen hatte auf Grund älterer Vorschläge dahingehende Versuche gemacht (vgl. S. 138). Constable hatte darauf noch 1845 ein englisches Patent erhalten, und auch Pfeiffer (D.R.P. 15210, 1880) konnte ein solches erlangen, indem er mittels Dampfstrahlapparaten ein variables Mischungsverhältnis anstrebte. Entscheidend für diese Entwicklung waren aber die Arbeiten Dowsons (D.R.P. 27165, 1883), der als erster eine brauchbare

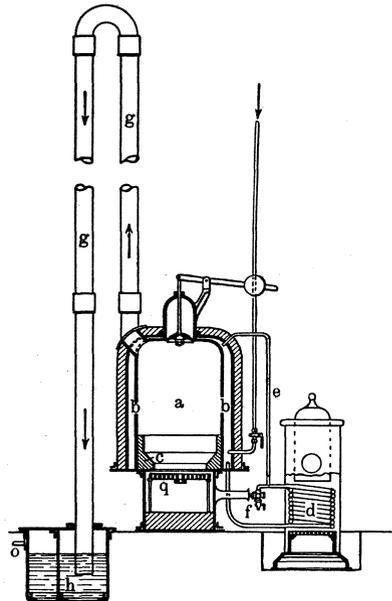


Abb. 57. Gasanlage nach Dowson.

Apparatur für die Erzeugung von Kraftgas angab. Der Gaserzeuger (vgl. Abb. 57) hat einen doppelten Mantel, in dem Wasser vorgewärmt und dann in einer besonderen Heizschlange verdampft wird. So gelang es, den Dampf verhältnismäßig billig herzustellen. Zur Kühlung des Gases dient ein verlängertes Rohr, das eine große Oberfläche hat und sodann ein Waschgefäß, in dem das Gas durch Wasser streichen mußte, um seine Verunreinigungen abzugeben. Schließlich hat Dowson auch bereits ein Gasometer zwecks Druckausgleich und Speicherung vorgeschlagen. Obwohl gegen das damals Bekannte die Zusammenstellung kaum etwas wesentlich Neues aufwies, war dieser Apparat doch der erste, der Erfolg hatte, und so sehr rechnete man dies der Einrichtung an, daß man das so erzeugte Halb(wasser)gas lange Zeit allgemein als Dowsongas bezeichnete, obwohl es durchaus dem entspricht, welches bereits

Ebelmen gewann. Nach einem eigenen Bericht Dowsons zeigt dasselbe bei Verwendung von Anthrazit (also gasarmen Brennstoffen) folgende Zusammensetzung

6,57 % CO_2	18,73 % H_2
25,07 % CO	0,03 % O_2
0,31 % CH_4	48,98 % N_2 .
0,31 % C_nH_m	

Die Bauart wurde in der Folge besonders von der Deutzer Gasmotorenfabrik und von Körting entwickelt welche beide Firmen

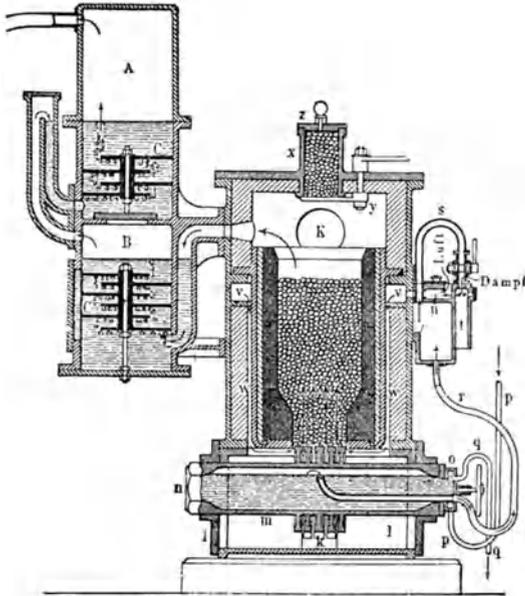


Abb. 58. Gaserzeuger von Bénier.

für die Anwendung der Gasmotore bahnbrechend waren. Der Gaserzeuger selbst blieb immer ein einfacher Schachtgaserzeuger und beziehen sich die Neuerungen meist auf die Reinigungsanlagen u. dgl., worüber noch später berichtet wird (vgl. S. 252). Die Gasmotorenfabrik Deutz hat dann auch die von Taylor angegebene Gaserzeugerbauart übernommen und weiter entwickelt, worauf hier hingewiesen sei.

Eine wesentliche Neuerung brachte Bénier (D.R.P. 73945, 1892), der mit dem Motor eine Pumpe verband, welche das Gas ansaugte, so daß eine Zu-

führung der Luft unter Druck überflüssig war. Damit war das Sauggasverfahren ins Leben gerufen, das besonders für kleinere Anlagen wichtig wurde, weil auch der Gasometer entfällt, die Anlage einfacher und billiger wurde und sich der Betrieb selbst regelte. Als Dampferzeuger dient bei Bénier ein eigenartig geformter Hohlrost, den Abb. 58 erkennen läßt. Auch die Reinigungsapparatur ist besonders ausgebildet.

Überhaupt ist bei den Kraftgasanlagen stets großer Wert darauf gelegt worden, den Dampf in der Anlage selbst zu erzeugen, um dieselbe unabhängig zu machen¹⁾. Auch in anderer Hinsicht wurden an

¹⁾ Für die zahlreichen diesbezüglichen Vorschläge, deren Aufzählung hier zu weit führen würde, vgl. Fischer: Kraftgas. 1. und 2. Aufl. Spamer.

solche Einrichtungen ganz wesentlich verschiedene Anforderungen gestellt, die naturgemäß eine besondere Anpassung notwendig machten, deren Ausführung hier aber unterbleiben muß.

Während man anfänglich mit Vorliebe gasarme Brennstoffe (Koks und Anthrazit) verwendete, wandte sich später mehr und mehr die Aufmerksamkeit den billigeren, gasreichen Brennstoffen zu (Steinkohle, Braunkohle, Torf und Holz). Die hierfür in Frage kommende Gaserzeugerbauart war diejenige mit mittlerem Gasabzug, und griff man daher die bekannten Bauarten wieder auf und entwickelte sie weiter. Eine sehr gefällige Ausführungsform zeigt z. B. der bei der Kraftgasanlage in Gröditz¹⁾ verwendete Gaserzeuger, der in Abb. 59 gezeigt ist. Derselbe läßt erkennen, daß man die auf anderen Gebieten gemachten Erfahrungen benutzte, ohne etwas Besonderes zu bringen. Auch die Zwillingsgaserzeuger fanden wieder Aufnahme, besonders für die Verarbeitung von Holz u. dgl. (Bauart Riché); andererseits finden wir auch Gleichstromgaserzeuger (wie z. B. denjenigen der Görlitzer Maschinenfabrik für Torf, die Bauarten von Deschamps und Faugé für Holz).

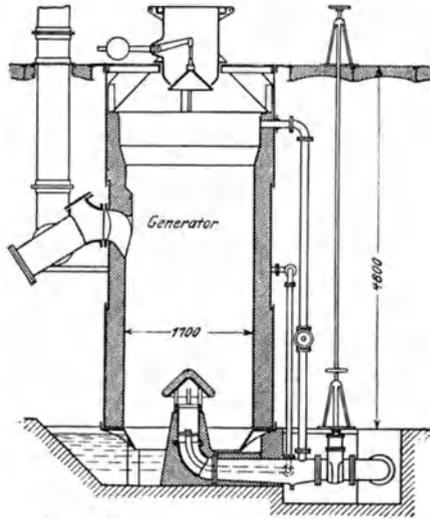


Abb. 59. Gaserzeuger im Werk Gröditz.

Ein anderer wesentlicher Gesichtspunkt in der geschichtlichen Entwicklung ist die Aufgabe der Aschenentfernung, die im Zusammenhang mit derjenigen der mechanischen Beeinflussung überhaupt steht. Abgesehen von den Bestrebungen am Anfang der Entwicklung, die dahin zielten, die Asche geschmolzen als Schlacke abzuziehen, verwendete man anfänglich Plan- oder schwachgeneigte Schrägroste. Erst mit Siemens tritt der stärker geneigte Treppenrost hinzu. Dabei hatte man manchmal unter dem Rost ein Wasserbad angeordnet, um die Asche abzulöschen. Etwa zu Beginn der 80er Jahre trat als eine neue Form der Windzuführung die zentrale Windhaube auf, die aus England kam, und in dem D.R.P. 29316, 1884 von Brook und 50137, 1889 von Taylor zu den ältesten Gaserzeugern mit drehbarer Windhaube bzw. drehbarem Aschenteller führte, welche den Ausgangspunkt der neueren Entwicklung bilden. Zahlreiche andere Vorschläge zur

¹⁾ Vgl. E. Krumbiegel: Braunkohle. Jg. 8, S. 563.

Entfernung der Asche wären erwähnenswert: Schnecken zum Herausbefördern empfiehlt bereits Sickel (D.R.P. 937, 1877) und Hering (D.R.P. 9364, 1879), welch letzterer auch eine Schnecke zur Einführung des Brennstoffes vorschlägt. Die fahrbaren Aschenwagen von Sutherland (vgl. S. 146) wurden bereits erwähnt. Früher schon hatte Gröbe (D.R.P. 7003, 1878) den Vorschlag gemacht, den Treppenrost fahrbar zu machen, um die Schütthöhe nach Bedarf regeln und bei entsprechenden Störungen den Rost mitsamt dem Feuer entfernen zu können.

Die drehbare Windhaube von Brook, die bereits in Abb. 37 wiedergegeben wurde, scheint sich in der Praxis nicht wesentlich eingeführt zu haben, wenigstens ist in der zeitgenössischen Zeitschriftenliteratur

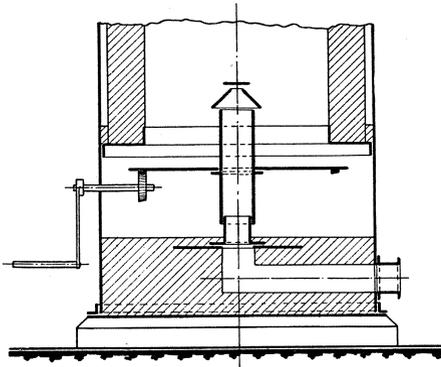


Abb. 60. Gaserzeuger von Taylor (Patent).

nichts darüber zu finden. Es wäre dies auch erklärlich, denn durch den festen Zusammenbau mit der den Abschluß bildenden Platte und die spitz zulaufende Form in Verbindung mit dem verengten Schacht kann dieser Windhaube eine wesentliche Wirkung nicht zugesprochen werden. Die Asche wird dem bei der Drehung nach außen wirkenden Druck, der allerdings durch die Stufenanordnung der Schnecken verstärkt ist, leicht

nach oben ausweichen können und die Austragungswirkung mußte eine geringe sein. Die für damalige Verhältnisse komplizierte und teure Bauart brachte wohl keinen großen Vorteil.

Dagegen ist der drehbare Aschenteller nach Taylor, der in Abb. 60 gemäß der Patentschrift gezeigt ist, wesentlich einfacher in der Bauart. Durch die Anwendung der fest am Mantel angebrachten Aschenräumer kann man nun je nach Einstellung dieser und der Geschwindigkeit der Platte, das Aschenbett leicht beeinflussen und den Generatorgang wirklich regeln. Es ist daher einleuchtend, daß sich diese Ausführung schnell in die Praxis einführt und weiter entwickelt wurde. Die Bauart von Taylor zeigt eine feststehende Windhaube.

Andere Konstrukteure versuchten dagegen die drehbare Platte selbst als Rost, also Zuführungs- und Verteilungsorgan der Luft auszubilden. So zeigt das Patent von Hopcraft (52296, 1889) eine schräggestellte rotierende Scheibe mit Windschlitzten; die Bauart ist mehr für Feuerungen als für Gaserzeuger gedacht. Ketchum (D.R.P. 71778, 1893) benutzt bei Gaserzeugern zwei drehbare Scheiben übereinander, von denen die obere mit Windschlitzten versehen, die untere voll ist, da-

zwischen ist ein Austragkreuz mit vier Armen eingebaut, die feststehend sind. Die durch die Windschlitze der oberen Platte durchfallende Asche sammelt sich auf der unteren Platte und wird im Verlaufe der Drehung an den Armen gestaut, zum Rande befördert und von der unteren Platte abgeworfen.

Eine eigenartige Bauart bringt Kitson (D.R.P. 81763, 1893), die einen ringförmigen kammartigen Rost am unteren Ende des Schachtes zeigt, darin eine drehbare und hebbare Platte, die mit geneigtem Schamottefutter ausgekleidet ist. In der Mitte trägt diese Platte einen kleinen zentralen Planrost, der mit Schamottestücken oder Asbest derart belegt wird, daß dieser Trichter nicht als Hohlraum in Erscheinung tritt, sondern die geneigte Fläche der Platte ununterbrochen gewahrt bleibt. Die Bauart erlaubt nun folgende Möglichkeiten. Im gesenkten Zustand der Platte geht der Wind vorzugsweise durch den peripheren Rost mit senkrechten Windschlitzen. Senkt man die Platte, so wird die an dem Rand sitzende Schlacke unter dem Druck der Beschickungssäule nach unten abfallen. Haben sich Ansätze gebildet, so kann man dieselben durch Heben bzw. durch gleichzeitiges Drehen, wobei die erhöhte Seite der Platte in Funktion tritt, von der Wand abbrechen und durch nochmaliges Senken austragen. Schließlich kann man aber auch die Platte so hoch heben, daß die peripheren Windschlitze ganz verdeckt sind und der mittlere Rost wird trotz des größeren Widerstandes in Aktion treten. Wie man sieht, erlaubt diese Bauart eine sehr weitgehende Anpassung; es ist in der Praxis nur schwer, wenn nicht unmöglich, das Feuer so genau zu beobachten und die notwendigen Bewegungen durchzuführen. Die Bauart ist aber wegen der vertikalen Einwirkung von Interesse, denn auch beim Drehrost strebte man nach den ersten Erfolgen eine derartige Verbesserung an, allerdings ebenso wie hier ohne Erfolg¹⁾.

Eine weitere Bauart, die als Vorläufer der Drehrostgaserzeuger zu bezeichnen wäre, ist die von Müller, Ruhrort (D.R.P. 87444, 1895), welche in Abb. 61 dargestellt ist. Der Schachtabschluß wird durch

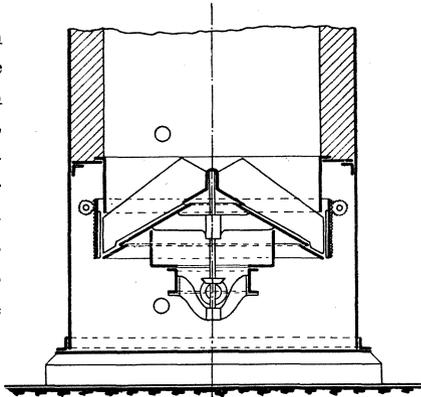


Abb. 61. Gaserzeuger von Müller.

¹⁾ Mit D.R.P. 108183 von 1897 hat Kitson die Bauart geändert, indem die Asche durch die schrägeloche Rostplatte treten muß. Diese Bauart erinnert an die wesentlich ältere Bauart von Hopcraft und zeigt uns, daß die sehr gut ausgedachte Konstruktion in der Praxis sich wohl nicht bewährte.

eine kegelförmige Platte gebildet, die ziemlich am Rande die Windschlitzte trägt. Der unterste Teil der Schachtwand ist hebbar ausgebildet, damit man die Asche entfernen kann, bzw. damit diese beim Anheben infolge Neigung des Bodens von selbst abrutscht. Die Spitze des Kegels ist nun drehbar angeordnet und trägt vier Flügel, welche die kegelförmige Platte bis zur Schachtwand bestreichen. Diese dienen als Aschenräumer. Zugleich ist an dem Zusammenstoß von feststehendem Kegelstützen und drehbarer Haube nochmals eine ringförmige Wind Eintrittsstelle geschaffen.

Eine andere Bauart von drehbaren Rosten ist die (D.R.P. 81545, 1894 und 88565, 1896) von de Laval. Anstatt einer Platte finden wir mehrere, übereinander gelagerte von immer kleiner werdendem Durchmesser, welche horizontal überdachte Windschlitzte ergeben. Gegenüber den einfachen gelochten Scheiben, die sich sofort verstopfen mußten, ist hierin ein wesentlicher Fortschritt zu ersehen. Diese Bauart war auch der Ausgangspunkt für die Erfindung des Drehrostes durch von Kerpely (1900), indem dieser einen aus einzelnen Platten bestehenden Rost in ähnlicher, nur konstruktiv verbesserter Ausführung exzentrisch in dem Generator lagerte und den untersten Ring als Mahlring von größerer Höhe ausbildete. Dieser erste Rost war auf Tragarmen, wie bei de Laval verlagert. Der Gaserzeuger hatte ähnlich wie der Morgangaserzeuger unteren Wasserabschluß und die höher oben zerbrochenen Aschen fielen zwischen Mahlring und Schachtwand in das Wasserbad, wo sie von Hand aus, aber nun wesentlich leichter, ausgetragen wurden. Da man aber bei dieser Bauart weder die regelbare und gleichmäßige Verteilung der Vergasungsluft hatte, zudem die Bauart noch etwas instabil und daher großem Verschleiß ausgesetzt war, so befriedigte sie nicht ganz. Erst die Kombination dieses Rostes mit der gleichzeitig drehbaren, fest verbundenen Aschenschüssel brachte dann (1902) die Lösung, wobei man gleichzeitig die selbsttätige Entfernung der Asche erreicht hat (vgl. S. 128ff.). Aus dieser ersten Bauart des österreichischen Patentes (16700, 1903) entwickelte sich weiter diejenige des D.R.P. 168874, 1904 und in der Folge die große Anzahl weiterer Bauarten, die im folgenden Abschnitt noch teilweise beschrieben und gezeigt werden sollen.

Die Voraussetzung der endgültigen Lösung war das Wasserbad. Auch diese stammt ebenso wie die Windhaube aus der Praxis, und zwar gleichfalls aus England. So zeigt der Gaserzeuger von Wilson (engl. Patent 4697, 1882) bereits einen Wasserabschluß in einer seitlichen Wassertasse, die eine Schnecke zur Entfernung der Asche aufweist. Auch der erste Mond-Gaserzeuger aus dem Jahre 1883 hatte ebenfalls Wasserabschluß, in Verbindung mit einer Windhaube, während die späteren Bauarten des gleichen Erfinders den bekannten Korbrost

mit Wasserbad zeigen. Auch für Korbrost wurden Vorschläge zur Bewegung gemacht, um die Schlacken abzustoßen. (Schneefuß D.R.P. 165061, 1904, Schüttelkorbrost von Smith D.R.P. 291500.) Um 1895 war die Bauart des unteren Wasserabschlusses in Verbindung mit der zentralen Windhaube bereits eine allgemein gekannte, zahlreiche englische und amerikanische Patente weisen dieselben auf. Die bekannteste Bauart ist die von Morgan (vgl. S. 169), die etwa aus dem Jahre 1896 stammt. Auch der ältere Gaserzeuger von Duff (vgl. S. 170) zeigt das Wasserbad in zweiseitiger Anordnung mit quer-durchlaufendem Sattelrost.

Ein letzter wichtiger Gesichtspunkt in der Entwicklung betrifft die Kühlung der Schachtwand, um das Ansetzen von Schlacken zu vermeiden. Ebenso wie man schon zeitig versuchte, den Rost bzw. die Rostträger zu kühlen (Möller D.R.P. 6113, 1878, vgl. S. 143), und auch den Oberteil des Schachtes als Doppelmantel zur Kühlung und zugleich zur Dampferzeugung dienend ausbildete (Möller D.R.P. 7024, 1879, vgl. S. 143), zeigte sich die Notwendigkeit, den Schacht dort, also knapp über dem Rost, zu kühlen, wo sich am leichtesten bei den hohen Umsetzungstemperaturen infolge Verflüssigung der Asche Ansätze bildeten. Der erste Vorschlag stammt von Knaudt (D.R.P. 18719, 1881), doch liegt dabei der Kühlkasten fast ganz hinter dem Mauerwerk verborgen und geschützt, indem man durch die Kühlung der Ausmauerung den Zweck zu erreichen dachte. Meist sind es offene Kühlkästen und finden sich ähnliche Vorschläge mehrmals. Erst wesentlich später ging man dazu über, die Ausmauerung an diesen Stellen ganz fallen zu lassen und eiserne gekühlte Körper als Schachtwand auszubilden, wie dies Dowson (vgl. S. 147) macht. Derartige Kühlmäntel, manchmal innen durch Ausmauerung geschützt, die teils mit Wasser und teils mit Luft beschickt werden, findet man bei Kraftgasanlagen sehr häufig, da bei diesen die Dampfbeschaffung von Wichtigkeit ist; die Verhinderung von Schlackenansätzen tritt bei dem meist unterbrochenen Betrieb zurück. Zielbewußt wegen der Verhinderung von Verschlackungen wurde der Kühlmantel in weitem Umfang von Kerpely angewendet, und zwar bei sehr vielen Kohlen mit vollem Erfolg. Da die Kühlmäntel anfänglich konstruktive Mängel aufwiesen, und besonders bei heißgehendem Betrieb leicht litten, so suchte man die Anwendung später wieder mehr einzuschränken. Man sagte dabei dem Kühlmantel nach, daß die Schlacken durch die Abkühlung erstarren und sich dadurch erst recht am Mantel festsetzen; das ist zweifellos eine Unmöglichkeit. Die durch die Kühlung entzogene Wärme ist nicht bedeutend (höchstens 2%, während die Strahlungsverluste naturgemäß kleiner werden); trotzdem wird man den in der Anschaffung teureren Kühlmantel vermeiden, wo er nicht nötig ist. Aber gerade unter den

aschereichereren Brennstoffen sind sehr viele, die bei Benutzung von Kühlmänteln nicht nur wegen der verhinderten Verschlackung ein besseres Gas geben, sondern auch eine wesentlich besser ausgebrannte Asche. Die Fälle, wo der Kühlmantel unvermeidlich ist, sind aber zweifellos nicht allzu häufig. Von anderer Seite (Stapf, D.R.P. 175 131, 1905) wurden gußeiserne Kühlringe mit eingegossenen Rohrschlangen verwendet, durch die das Kühlmittel fließt; die gleiche Bauart verwendet auch Turk (Abb. 64 nach dem D.R.P. 131529).

Auch einfache eiserne, von außen berieselte Mäntel sind angewendet worden (vgl. die Ausführung des Blechwalzwerkes Schulz-Knaudt¹⁾).

Die geschichtlichen Entwicklungen der Bauarten in anderer Beziehung (Beschickung und sonstige Details) würden einen zu breiten Raum einnehmen. Die wichtigen Vorschläge sind ja meist in der Praxis beibehalten worden und können aus den Abbildungen der einzelnen Bauarten im nächsten Abschnitt ersehen werden. Die Entwicklung der Beschickungsvorrichtungen wurden bereits (vgl. S. 112ff.) kurz behandelt. Jedenfalls verdient der obere und untere Abschluß des Schachtes, d. h. zugleich die Zuführung des Brennstoffes und die Abführung des Gases bzw. die Abführung der Schlacke und die Zuführung der Luft, die Aufmerksamkeit in erster Linie, denn durch die diese Teile betreffenden Ausführungen ist nicht nur das Verfahren im chemischen, sondern auch im mechanischen Sinne gekennzeichnet²⁾.

2. Beschreibung gebräuchlicher Bauarten.

a) Planrostgaserzeuger.

Diese Bauart geht auf den Gaserzeuger von Bischoff zurück und stellt die einfachste Bauart des Schachtgaserzeugers dar. Der gemauerte Schacht trägt oberhalb des Aschenfalles einen aus Roststäben gebildeten ebenen Rost, der die Brennstoffsäule trägt und zugleich für die Zuführung der Vergasungsluft dient. Die Rückstände sammeln sich mit der fortschreitenden Vergasung auf dem Rost an und müssen von Zeit zu Zeit entfernt werden, zu welchem Zwecke über dem Planrost seitliche Türen angebracht sind. Der Windraum unter dem Rost trägt gleichfalls eine Aschentür, weil ein Teil der Rückstände durch die Spalten des Rostes durchfällt.

Diese Gaserzeuger sind heute fast nur bei Anlagen kleiner Leistung in Verwendung und insbesondere bei solchen Brennstoffen, die eine

¹⁾ Vgl. Simmersbach: St. u. E. 1912. S. 1478.

²⁾ Hinsichtlich der vielen Bauarten sei auf das Werk Fischer-Gewsdz: Kraftgas, sowie namentlich auf folgende zwei Veröffentlichungen verwiesen: Körting: St. u. E. 1907. H. 20 und J. Hofmann: St. u. E. 1910. S. 493.

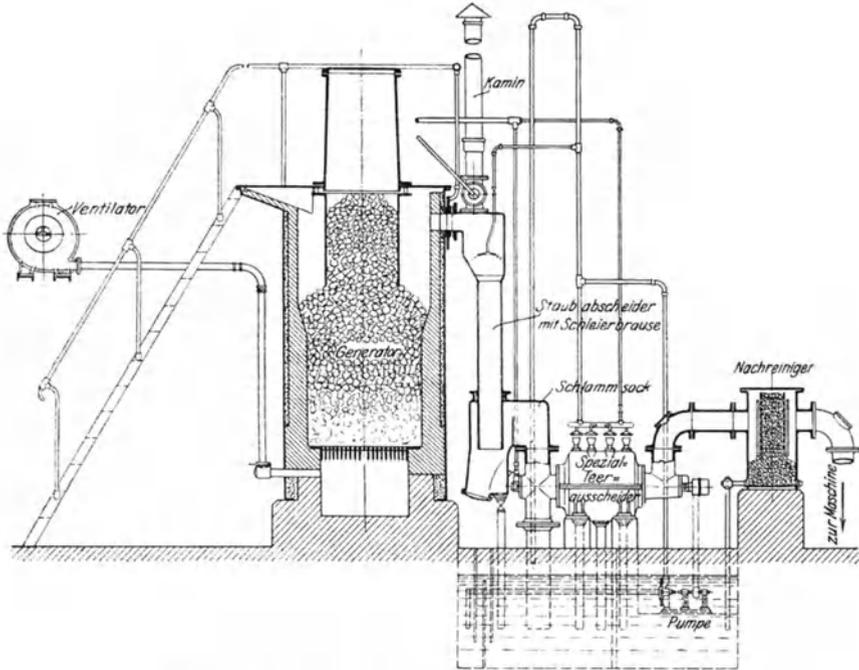


Abb. 62. Sauggasanlage der Motorenfabrik Deutz.

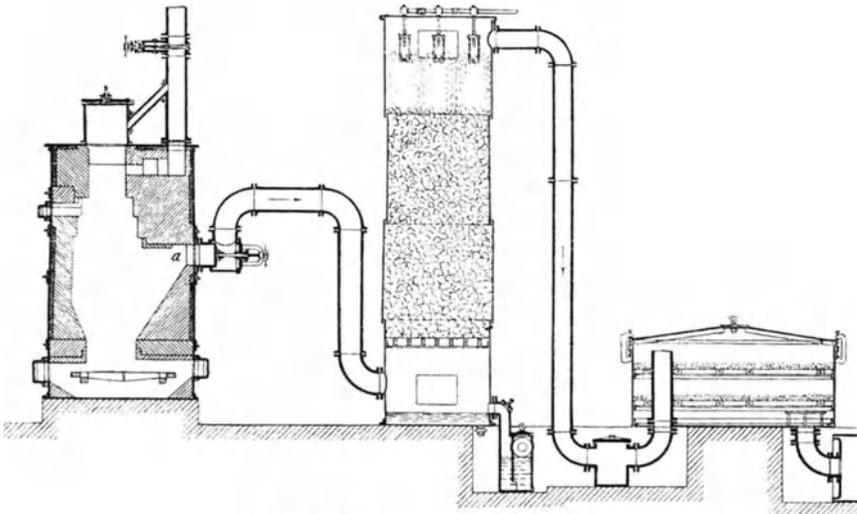


Abb. 63. Sauggasanlage von Gebr. Körting.

sehr gutmütige Asche haben, also nicht zu Verschlackungen neigen. Insbesondere für Kraftgas kann man sie noch vielfach treffen, und ist in Abb. 62 eine Anlage der Gasmotorenfabrik Deutz, welche für die Vergasung von Holz, Torf und Rohbraunkohle bestimmt ist, abgebildet.

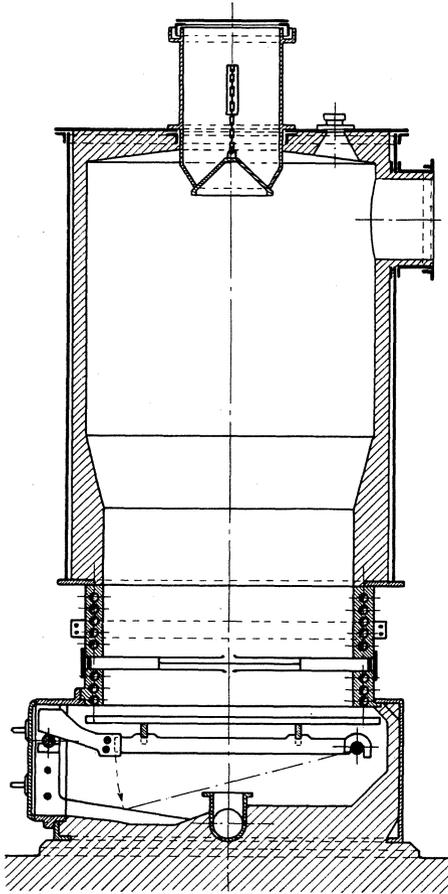


Abb. 64. Gaserzeuger von Turk.

Wie diese Abbildung zeigt, ist hier der Planrost beibehalten, obwohl es sich um eine relativ neue Bauweise handelt, und ist der Gaserzeuger beispielsweise mit Füllschacht versehen, um das Mitreißen von Staub zu vermeiden.

Eine ähnliche Bauart des Gaserzeugers zeigt auch die in Abb. 63 wiedergegebene Sauggasanlage für Briketts der Firma Gebr. Körting, welche einen Gaserzeuger mit mittlerem Gasabzug darstellt; in dieser Bauart ist die Zugängigkeit des Rostes besonders gut zu sehen.

Planrostgaserzeuger sind auch heute noch in jenen Ländern vielfach in Anwendung, wo man hauptsächlich auf Holz und Torf als Brennstoff angewiesen ist, wie z. B. in Schweden, und sei diesbezüglich auf die eingehenden Arbeiten von R. Ackermann¹⁾ verwiesen.

Für alle Brennstoffe mit höherem Aschengehalt und mit einer nicht so leicht zu behandelnden Asche waren naturgemäß die einfachen Planrostbauarten nicht zweckentsprechend.

Wenn man daher die Planroste beibehielt, suchte man ein Hilfsmittel, um die Aschenentfernung leichter durchführen zu können. Es ist dies der sogenannte Notrost, ein gleichfalls aus Roststäben hergestellter Planrost, der etwa $\frac{1}{2}$ m über dem eigentlichen Rost durch Spalten im Mauerwerk eingeschoben wird. Dieser Notrost trägt dann während der Entschungsarbeit

¹⁾ In Jernkontorets Ann. aus den Jahren 1878—1891.

die Brennstoffsäule, so daß man für das Losstemmen der Aschen und für das Herausräumen der größeren Mengen die Möglichkeit schafft. Derartig einfache Planrostgaserzeuger mit Notrosten findet man noch sehr häufig bei den für kleine Leistungen bestimmten Gaserzeugern auf den verschiedenen Gaswerken im Zusammenbau mit Retortenöfen. Die Benutzung des Notrostes hat aber naturgemäß zur weiteren Ausbildung der Planrostkonstruktion geführt; dadurch, daß die Brennstoffsäule nicht mehr auf dem Rost auflagert, war man in der Lage, eine gewisse Mechanisierung einzuführen. Als Beispiel für diese Bestrebungen sei der klappbare Planrost von Turk erwähnt, welcher in Abb. 64 dargestellt ist. Nach Einführung des Notrostes wird der Planrost gekippt, so daß die ganzen Rückstände, welche zwischen Notrost und dem eigentlichen Rost lagern, in den Aschenraum fallen. Nachdem der Planrost wieder in seine Lage gebracht ist, wird der Notrost entfernt und die Brennstoffsäule fällt unter Beihilfe von der Stochöffnungen aus auf den Planrost herunter.

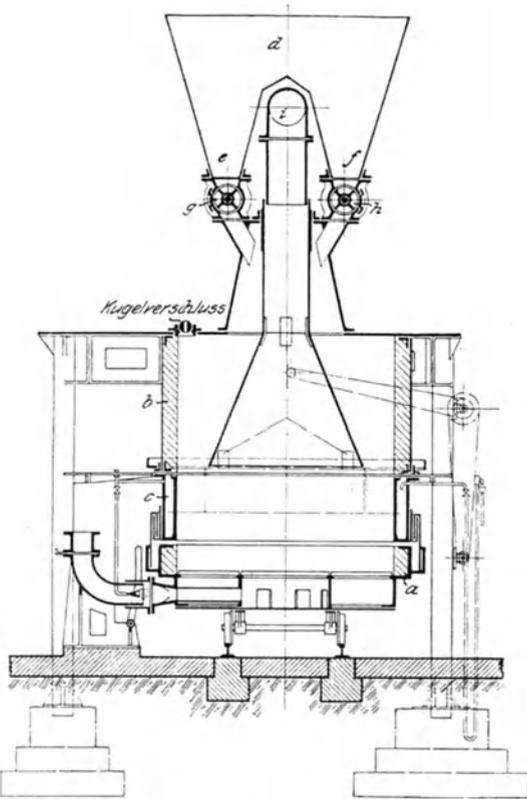


Abb. 65. Gaserzeuger von Blezinger.

Dieselbe Grundidee liegt auch den fahrbaren Rosten zugrunde, wofür der in Abb. 65 dargestellte Gaserzeuger von Blezinger als Beispiel dienen kann. Auch hier wird nach Einführung eines Notrostes und Hochziehen des unteren Mantels der Rostwagen mit den unterhalb des Notrostes befindlichen Rückständen ausgezogen und an dessen Stelle ein anderer Rostwagen, welcher mit einer dünnen Schicht körniger Asche bedeckt ist, eingefahren. Sodann wird der Notrost wieder entfernt. Bei diesen Bauarten ist die Arbeit der Entaschung ganz wesentlich vereinfacht und insbesondere zeitsparend gedacht. Diese Bau-

arten haben sich aber trotzdem nicht bewährt. Einerseits ist es klar, daß in den Rückständen stets eine erhebliche Menge unvergaster Brennstoffe zugleich mit der Asche ausgetragen wird, die verlorengeht, wenn man nicht eine nachträgliche Aufarbeitung der Rückstände durchführt. Weiter ist das Nachstürzen der Beschickung nach Entfernen des Notrostes besonders bei größeren Schachtquerschnitten sehr unangenehm, weil die Brennstoffsäule nicht gleichmäßig nachsinkt, sondern je nach den gebildeten Verschlackungen nur stellenweise; dadurch wird sehr oft ein kaum in Glut geratener Brennstoff in die Aschenzone gebracht und die ganze Glut durcheinander geworfen, so daß es meist nach der Entaschung eine längere Zeit dauert, bis der Vergasungsprozeß wieder regelmäßig vor sich geht. Man hat also zwar die Entaschungsarbeit selbst zeitlich verringert, aber die durch Entaschungsarbeit bedingte Störung des Generatorganges erstreckt sich ungefähr auf die gleiche Zeit wie früher. Überhaupt ist ohne weiteres einzusehen, daß der Vergasungsvorgang ein wechselnder ist, je nach der Stärke der Aschenzone, und infolgedessen empfiehlt sich eine derartige zeitweise Entfernung der Asche nicht.

Man hat daher ebenso wie bei den Kesselfeuerungen versucht, die Konstruktion des Planrostes derart auszugestalten, daß die Entfernung der Asche eine kontinuierliche bleibt, indem man in gleicher Weise wie bei den Feuerungen Wanderroste anwandte. Diese Bauart, welche mehrfach vorgeschlagen wurde, hat sich aber in der Praxis kaum eingeführt, weil die Bedingungen doch wesentlich andere als bei einer Feuerung sind. Durch den Widerstand der daraufliegenden Brennstoffsäule ist erklärlicherweise die Austragung der Asche auch mit Wanderrosten bei Gaserzeugern sehr erschwert und keineswegs so gleichmäßig als wie bei Feuerungen. Da zudem der Wanderrost eine sehr teure und der Abnutzung außerordentlich unterworfenen Bauart des Rostes ist, erscheint derselbe für den Betrieb von Gaserzeugern nicht geeignet.

Planroste sind in neuerer Zeit wieder mehrfach für solche minderwertige Brennstoffe vorgeschlagen worden, die bei der Vergasung infolge ihres hohen Feuchtigkeitsgehaltes und ihrer feinkörnigen Beschaffenheit nur mit niedriger Glutzone vergast werden können, und hat man für derartige Planrostgaserzeuger verschiedene mechanische Aschenausstragungsrichtungen entworfen, die entweder die Asche seitlich mit Hilfe beweglicher Pflüge über den Rand des Planrostes abwerfen oder aber durch die hin- und hergehende Bewegung eines Aschenräumers die Asche vom Rost abdrücken, wie z. B. das Patent von F. Hoffmann (288 127) erkennen läßt. Ähnliche Vorschläge sind auch von der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, von der A.-G. für Brennstoffvergasung und anderen bekannt, wobei diese Bau-

arten meist rechteckige Schachtgaserzeuger betreffen¹⁾. Aber auch bei Rundrostgaserzeugern, und zwar in Verbindung mit der Bauart der drehbaren Schüssel hat man neuerdings Planroste entworfen, wie die Bauart von Goetz (Eisenhüttenwerk Keula) erkennen läßt. In diesem Falle rotiert ein spiralartiger Aschenräumer über den runden, nur ganz wenig geneigten Planrost und wirft die Asche über den Rand des Rostes in die bewegliche Schüssel ab. Aus dieser werden die Rückstände in vollständig gleicher Weise wie bei den Drehrostgaserzeugern entfernt. Dieser Planrostgaserzeuger ist in Abb. 66 dargestellt. Eingehende Versuche mit diesem Gaserzeuger sind von Roth²⁾ beschrieben worden und lassen erwarten, daß man bei bestimmten Brennstoffen günstige Ergebnisse erzielen kann. Es ist zweifellos, daß man bei allen Brennstoffen, die nur eine niedrige Glutschicht ermöglichen, in der ebenen Ausbildung des Rostes einen Vorteil erblicken muß, andererseits wird aber die Entfernung der Asche auch mit mechanischen Hilfsmitteln auf einem Planrost nie eine gleichmäßige sein können, weil die Ablenkung der Rückstände aus der vertikalen Bewegung im Schacht in die horizontale Bewegung über den Rost stets eine Störung und Stauung hervorrufen muß. Infolgedessen erscheint auch die moderne Bauart der Planroste keine endgültige Lösung eines Gaserzeugers für minderwertige Brennstoffe zu bringen, und dürften aus den genannten Gründen diese Versuche zur Wiederbelebung der Planrostbauart keinen nachhaltigen Erfolg haben.

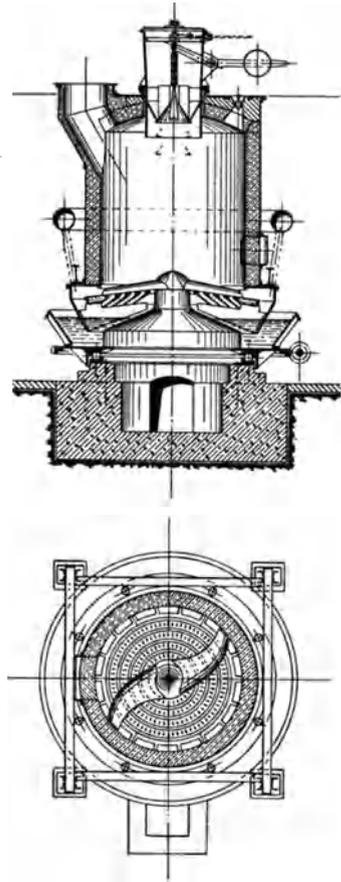


Abb. 66. Plan-Drehrostgaserzeuger nach Goetz (Eisenhüttenwerk Keula).

b) Treppenrostgaserzeuger.

Diese Bauart geht auf den in Abb. 49 dargestellten Gaserzeuger von Siemens zurück, wobei allerdings zu beachten ist, daß geneigte Roste schon viel früher u. a. auch von Bischoff vorgeschlagen wurden. Der geneigte Rost kann nun grundsätzlich entweder aus geneigten

¹⁾ Vgl. hierzu die Patentliteratur und den Aufsatz von Gwodz: Ft., Jg. 10. S. 269. ²⁾ Braunkohle. Jg. 21, S. 754.

Rostplatten gebildet werden oder aber durch übereinanderliegende gestaffelte horizontale Rostplatten. Die letztere Bauart ist die bevorzugte, während wir geneigte Rostplatten wieder bei der Konstruktion der Korbroste finden.

Der Siemens-Gaserzeuger besitzt eine rechteckige Gaserzeugerkammer, die an einer Seite abgeschrägt ist und unten den Rost trägt; über den der Brennstoff in starker Schicht herabgleitet, in dem Maße, als durch die Vergasung eine Volumenminderung eingetreten ist. Am unteren Ende ist entweder ein Planrost angeschlossen oder ein offener Aschenfall vorgesehen, von wo die Asche zeitweise, etwa einmal in

12 Stunden, entfernt wird. Das Deckengewölbe trägt am vorderen Ende den Fülltrichter, am hinteren Ende den Gasabzug; dazwischen ist ein Quergewölbe gespannt, das die Stärke der Kohlschicht

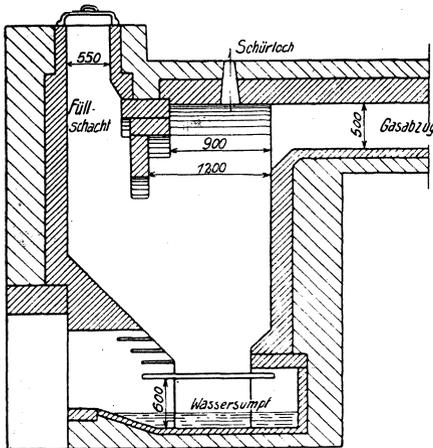


Abb. 67. Neuerer Siemens-Gaserzeuger.

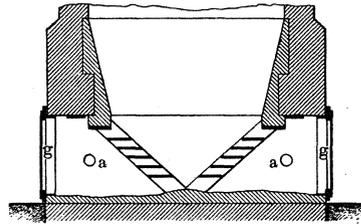


Abb. 68. Gaserzeuger nach Odelstjerna.

regelt und ein Durchtreten des Gases beim Füllen verhindern soll. Dieser Gaserzeuger gleicht vollständig den sogenannten Halbgasfeuerungen, bei denen an Stelle des Gasabzuges die Feuerbrücke mit der sekundären Windzuführung angeordnet ist. Denkt man sich eine Halbgasfeuerung vom Ofen räumlich getrennt, so ist der Siemens-Gaserzeuger in seiner ursprünglichen Form wiedergegeben.

Mit Rücksicht auf den großen Widerstand der Beschickungssäule für den Durchtritt der Luft und die manchmal auftretenden Schwierigkeiten durch Verschlackung griff man bereits anfänglich zu einer Beimischung von Dampf, indem die Luft mittels Körtingscher Dampfstrahlgebläse zugeführt wurde; hierbei mußte der Raum unter dem Rost von der Außenluft abgesperrt werden, was durch eine einfache Blechverkleidung erreicht wurde, die meist abhebbar oder türähnlich angeordnet ist, um zwecks Schlackenarbeit an den Rost heranzukommen. Diese Abschlußtüren wurden auch teilweise mit jalousieartigen Klappen versehen, um den Lufttritt regeln zu können.

Eine neuere Bauart des Siemens-Gaserzeugers mit kombiniertem Treppen- und Planrost zeigt Abb. 67. Derartige Gaserzeuger sind auch heute noch für die Vergasung von Braunkohle vielfach angewendet.

Wie bereits früher ausgeführt, hat man den Siemens-Gaserzeuger im Laufe der Entwicklung immer mehr schachtartig ausgebildet, und hat man sich daher mit einer einseitigen Anordnung des Treppenrostes

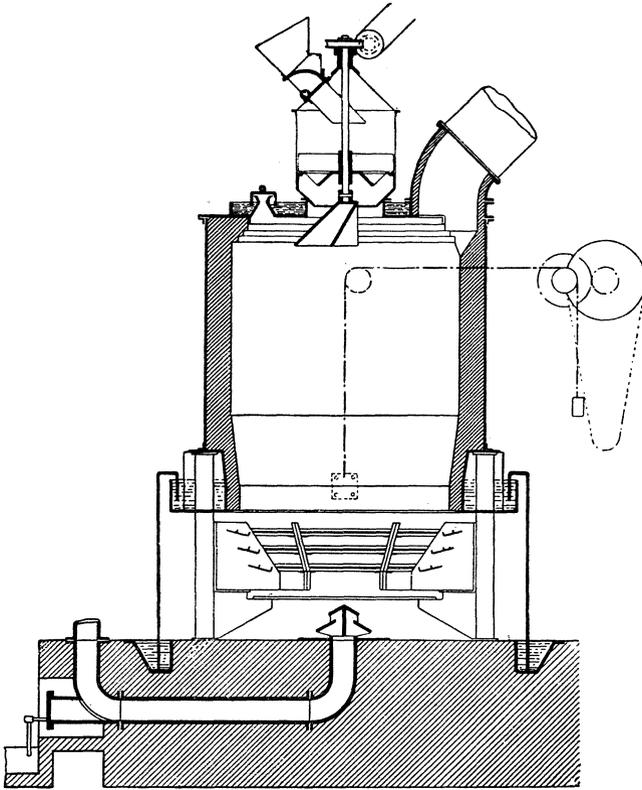


Abb. 69. Treppenrostgaserzeuger.

nicht begnügen können. Schon die Kombination mit dem Planrost bringt eine wesentliche Vergrößerung der Rostfläche. Vielfach hat man aber den Oberteil als Rundschaft ausgebildet und den Treppenrost entweder zweiseitig oder als Polygonrost rundherum gehend um den Schacht ausgebildet. Bei der Ausbildung mit zwei gegenüberliegenden Treppenrosten, wie sie z. B. in Abb. 68 nach Odelstjerna zu sehen ist, hat man im Aschenraum die seitlichen Türen beibehalten. Bei dem in Abb. 69 dargestellten Gaserzeuger mit Polygonrost hat

man den Unterteil meist mit einem hebbaren Mantel ausgestattet, um allseitig an den Rost herankommen zu können. Diese Bauart ist bis in die letzte Zeit verhältnismäßig viel verbreitet gewesen, naturgemäß mit verschiedenen Abweichungen, die insbesondere die Windzuführung betreffen. In der Abbildung ist ein Gaserzeuger mit Polygonrost und zentraler Windhaube dargestellt, was bereits einer späteren Ausführung entspricht. Anfänglich führte man die Luft meist durch die Tragsäulen dem Rostraum zu, oder man hatte einfach in dem Fundament Schlitz für den Eintritt der Luft, welche nur zum Schutz gegen das Hineinfallen von Asche überdeckt waren.

Denkt man sich an Stelle des Polygonrostes einen in gleicher Weise geneigten Rost mit senkrechten Roststäben, so ist dies ein Korbrost, welcher gleichfalls vielfach angewendet wurde und insbesondere von den ersten Mondgaserzeugern her bekannt ist. Auch bei dieser Bauart hat man versucht, die Roste beweglich zu machen, um das Losstoßen der Asche von den Rostschlitzen zu erleichtern, wie bereits früher ausgeführt wurde (S. 153).

Durch die schachtartige Bauart ist man in der Lage, mit wesentlich höheren Luftdrücken zu arbeiten und größere Leistungen je qm Schachtfläche zu erreichen. Während man beim Siemens-Gaserzeuger selbst bei gutartigen Brennstoffen nicht mehr als 30—40 kg je qm/h rechnen kann, erzielt man bei Schachtgaserzeugern bei gleichem Brennstoff 50—65 kg je qm/h. Bei dieser Bauart wird die Vergasung während der Schlackarbeit und dem Entfernen der Asche eingestellt oder stark vermindert; der Betrieb ist daher unregelmäßig und leicht gestört; oft treten Verschlackungen der Roste ein, wenn das Feuer zu tief gezogen wird und glühende Kohle unmittelbar auf die Roststäbe oder Windhauben zu liegen kommt. Stets muß eine gewisse Aschenmenge zurückbleiben; da man nicht gleichmäßig von allen Seiten zugleich Asche entnehmen kann, fällt unverbrannte Kohle oft zwischen die Asche und geht verloren; die Feuerschicht, die für die Bildung eines guten Gases wichtig ist, wird beim Abschlacken stark verschoben, so daß nach diesem ein kräftiges Durchstoßen von oben stattfinden muß, um die Beschickungssäule wieder möglichst gleichmäßig zu gestalten.

c) Rostlose Gaserzeuger.

Auch der rostlose Gaserzeuger ist, wie bereits früher gezeigt wurde, eine sehr alte Bauart. Der Grundgedanke desselben ist, den Generatorschacht nach unten derart zu verengen, daß man einen eigentlichen Rost nicht notwendig hatte, sondern daß der Brennstoff durch die geneigten Schachtwände getragen wird. Diese Bauart ist in neuerer Zeit besonders wieder von Heller vorgeschlagen und ausgebildet worden, und zeigt Abb. 70 diese Bauart. Die Windzuführung erfolgt ent-

weder von seitlichen Windkästen aus durch Schlitzte in den vertikalen Wandungen des verengten Schachtes, oder bei den älteren Bauarten durch einen mittleren Windkasten, welcher gleichfalls Austrittsöffnungen in dem unteren Schachtteil besitzt. Der Gaserzeuger hat gewöhnlich rechteckigen Querschnitt, die Bauart kann aber auch selbstverständlich für runde Gaserzeuger Verwendung finden. Bei den ersten Ausführungen wurde die Asche aus dem Aschensack seitlich von Hand aus entfernt; bei den neueren Ausführungen hat man bereits ein Wasserbad mit seitlichen Trögen vorgesehen, um die Asche ohne Unterbrechung des Betriebes herausfordern zu können.

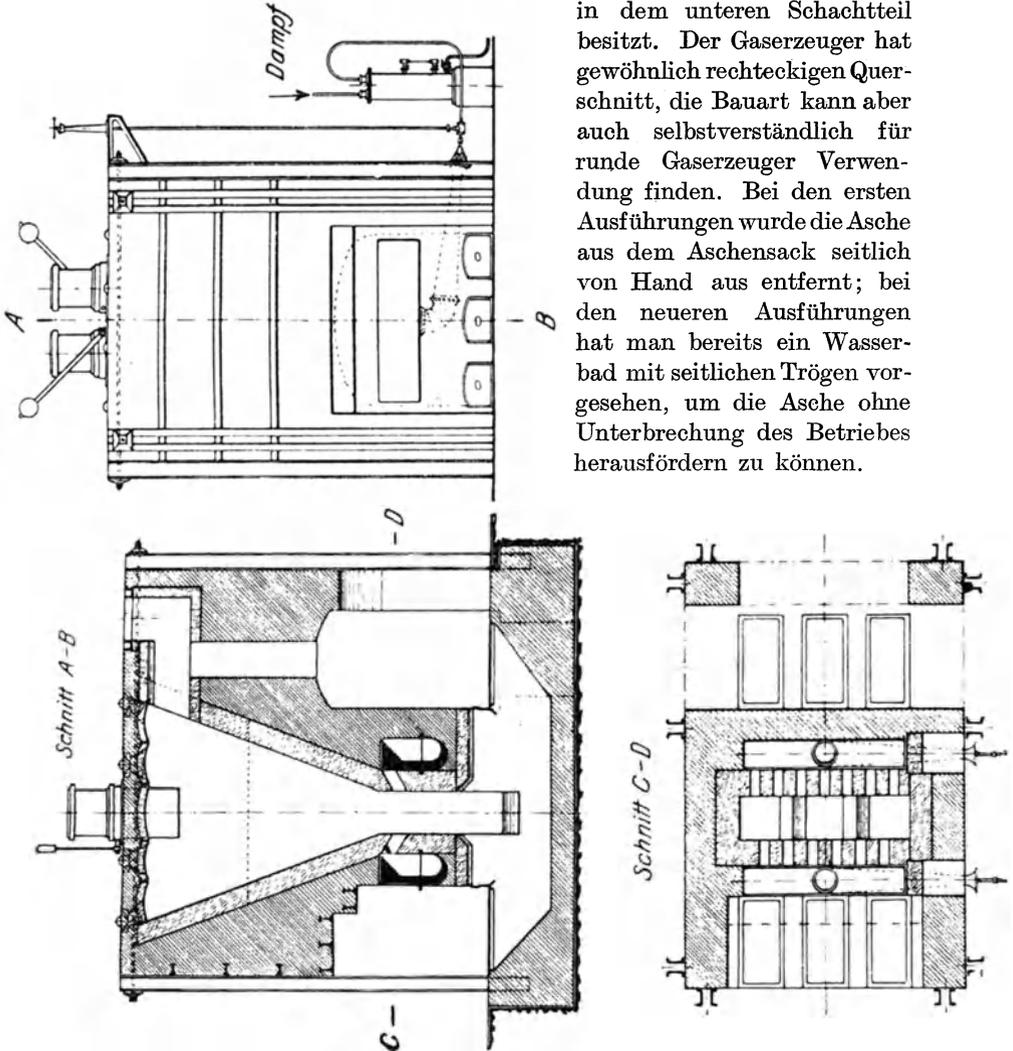


Abb. 70. Gaserzeuger von Heller.

Jedenfalls ist diese Bauart stets auf verhältnismäßig geringe Abmessungen beschränkt. Da nach allen Erfahrungen nur die Querschnittsfläche in der Vergasungszone für die Leistung maßgeblich ist,

bleibt die starke Erweiterung des Schachtes nach oben für die Vergasungsleistung ohne Belang. Da die Abmessungen des Aschensackes wenigstens nach einer Dimension nur sehr geringe sein können, so eignet sich diese Bauart nur für kammerartige Gaserzeuger, doch wird in allen Fällen die Leistung kleiner sein als bei schachtartigen Gaserzeugern, und es ist kein Grund erfindlich, in welcher Hinsicht diese Bauart besondere Vorteile bieten könnte.

Mit der starken Verengung im unteren Teil wird eine intensive Reaktion vor den Luftdüsen erzielt; man will nun beim Heller-Generator die Beobachtung gemacht haben¹⁾, daß im Gegensatz hierzu die dort herrschende Temperatur eine sehr niedrige ist (650—750°), und man will dies darauf zurückführen, daß sich hier grundsätzlich andere Verbrennungsvorgänge abspielen, was durch Analysen aus dieser Zone, welche 22—23 % CO enthalten, bewiesen werden soll. Es ist seit den grundlegenden Versuchen Dr. Wendts (1905)²⁾ eine erwiesene Tatsache, daß der Sauerstoff der Luft gleich vorwiegend zu CO umgesetzt wird; die Arbeiten Neumanns³⁾ bestätigen dies durchaus. Die Temperaturen bei der Mischgaserzeugung sind nach diesen Versuchen etwa 950—1000°, was auch mit anderen Beobachtungen übereinstimmt. Der Heller-Generator wird meist mit reichlichem Dampfzusatz (da Dampfstrahlgebläse verwendet werden) betrieben, und es erscheint daher nicht unmöglich, daß dadurch die Temperatur niedrig gehalten wird, obwohl Temperaturen unter 900° nach allen Erfahrungen für die chemischen Umsetzungen kaum in Frage kommen. Da die Analysen bei Dr. Wendts Versuchen und beim Heller-Gaserzeuger nahezu vollkommen übereinstimmen, liegt aber keinerlei Grund zu der Annahme vor, daß sich im Heller-Generator andere Vorgänge abspielen, was auch chemisch durchaus unwahrscheinlich ist. Auch die Betriebsergebnisse zeigen nichts Überraschendes, weder hinsichtlich der Gaszusammensetzung noch hinsichtlich des Wirkungsgrades⁴⁾. Die Leistung pro Quadratmeter Schachtfläche ist bei Rohbraunkohle etwa 50 kg, und bei den kleinen Abmessungen des Gaserzeugers ist zwar im allgemeinen mit billigen Anschaffungs- und Instandhaltungskosten für die Gaserzeuger allein zu rechnen, die Betriebskosten werden jedoch keineswegs günstige sein. Eine Entwicklung dieses Gaserzeugers über die heutige Konstruktion und dadurch bedingte kleine Leistung hinaus ist aber nur dadurch zu erreichen, daß man dieselbe den anderen Bauarten anpaßt.

¹⁾ Vgl. J. f. G. 1913, S. 692. ²⁾ Dr. Wendt: Untersuchungen an Gaserzeugern. Forschungsarbeiten. H. 31.

³⁾ Neumann: Die Vorgänge im Gasgenerator auf Grund des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik. Forschungsarbeiten. H. 140.

⁴⁾ Die z. B. in der Zeitschrift Braunkohle, Jg. 17, H. 41/42 von Kreyszig wiedergegebenen Versuchsergebnisse sind nicht als einwandfrei zu bezeichnen, da sich bei der Nachrechnung unmögliche Wirkungsgrade ergaben.

Als ein rostloser Gaserzeuger kann auch der von Bender & Främb's in Vorschlag gebrachte und in Abb. 71 dargestellte Gaserzeuger bezeichnet werden¹⁾. Auch bei dieser Bauart finden wir den nach oben erweiterten Schacht, sowie die Windkammer für die Zuführung der Vergasungsluft. Die Verengung des Schachtes nach unten ist aber hier eine wesentlich geringere, und durch den verhältnismäßig großen Querschnitt des Aschenraumes wird die Abführung der Asche erschwert; es eignet sich daher diese Bauart nur für bestimmte, leicht zu vergasende Brennstoffe. Man kann naturgemäß durch den Einbau

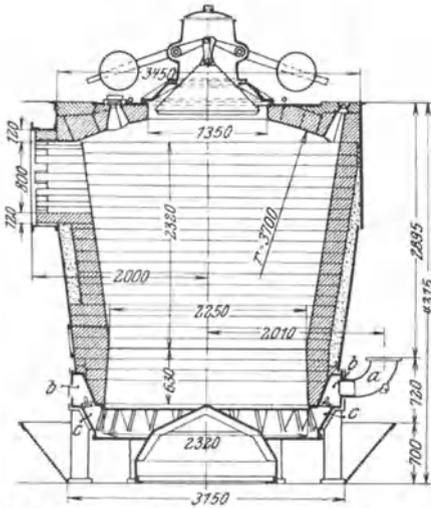


Abb. 71. Gaserzeuger von Bender & Främb's.

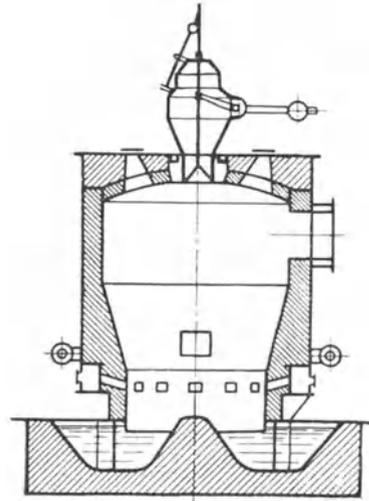


Abb. 72. Gaserzeuger von Hinselmann.

eines feststehenden mittleren Kegels die Abführung der Asche nach außen erleichtern. Ähnlich ist die in Abb. 72 gezeigte Bauart von Gebr. Hinselmann, Essen/Ruhr. Der Grundgedanke des restlosen Gaserzeugers dürfte aber eine Weiterentwicklung kaum ermöglichen, wenn man nicht auf eine Schmelzung der Asche ausgeht, weil sonst die gleichmäßige Abstützung der Beschickungssäule eine außerordentlich schwierige ist.

d) Schlackenschmelzgaserzeuger.

Diese Bauart geht auf die ursprüngliche Bauart von Ebelmen zurück. Augenscheinlich wurde sie verhältnismäßig bald verlassen. Der Grundgedanke eines Gaserzeugerbetriebes mit Entfernung der Schlacke im geschmolzenen Zustand wurde jedoch von Sailer in Witkowitz wieder aufgenommen (vgl. S. 99), und standen derartige

¹⁾ Vgl. Krieger: St. u. E. 1919, S. 1202.

Gaserzeuger bis 1890 dort in Betrieb. Später hat S epulchre in Audincourt diese Bauart wieder eingeführt und mit zufriedenstellendem Erfolg minderwertige Lignite vergast. Von dort übernahm die Firma Fichet & Heurtey diese Bauart im Jahre 1907 und führte sie als S.-F.-H.-Generator in die Praxis wieder ein. Um die Weiterentwicklung machte sich besonders Paul Würth in Luxemburg verdient, und ist in Abb. 73 dieser letztere Gaserzeuger dargestellt. Die Bauart ist von der Querschnittsform des Hochofens mehr unterschieden, als die ursprünglichen Gaserzeuger nach diesem Grundgedanken, indem man

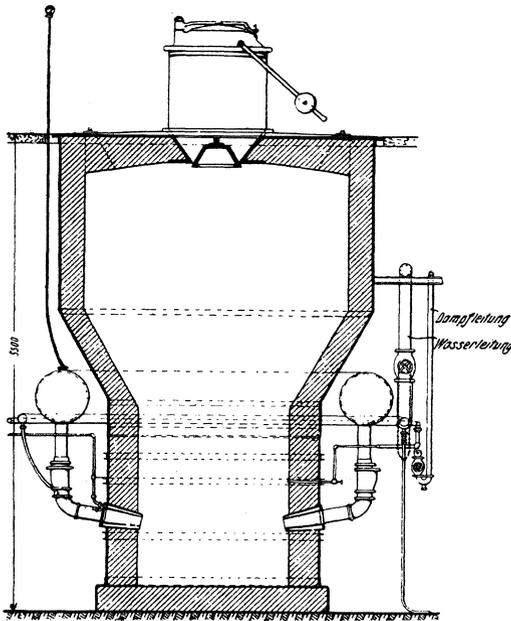


Abb. 73. Gaserzeuger von Würth.

die Formebene gegenüber der Rostfläche reichlicher ausgestaltete. Es war dies notwendig, um die angestrebten hohen Leistungen zu erzielen. Diese Gaserzeuger haben bei der Vergasung von Koks sehr gut entsprochen, da die hohen Instandhaltungskosten durch die außerordentlich großen Vergasungsleistungen wettgemacht werden. Man hat Stundenleistungen bis zu 1350 kg/qm Gestellfl ache bzw. 300 kg/qm Schachtl ache erzielt, während man vom gleichen Brennstoff in Drehrostgaserzeugern nicht mehr als 180 kg/qm Schachtl ache stündlich vergasen kann. Die höhere Leistung

wird naturgemäß die Strahlungsverluste verringern. Dagegen ist besonders ungünstig die große Staubbildung bei Anwendung hoher Drücke, so daß w armewirtschaftlich ein großer Vorteil gegenüber den Drehrostgaserzeugern nicht festzustellen ist. Lediglich für die Vergasung von Koks erscheint diese Bauart vorteilhaft, wenn man mit einer gleichmäßigen Gasabnahme rechnen kann. Die Gewinnung flüssiger Schlacke, die anderweitig verwendet werden kann, sowie die Gewinnung von flüssigem Eisen dabei erscheint zwar verlockend, doch ist zu bedenken, daß dagegen auch der Beschickung Zuschläge für die Schlackenbildung beigemischt werden müssen.

Eine ähnliche Bauart ist später von der Georgs-Marien-Hütte entwickelt bzw. von der Firma Eickworth & Sturm in Bochum

in die Praxis eingeführt worden. Bei dieser Bauart ist das Gestell im Verhältnis zum Schacht noch weiter gehalten, so daß man eine außerordentlich schachtähnliche Form erhält. Der Betrieb der Gaserzeuger der Georgs-Marien-Hütte unterscheidet sich von denjenigen nach der Bauart Würth lediglich dadurch, daß erstere auf die Anwendung von Dampf verzichten und auf ein sehr heißes, aber trockenes Gas hinarbeiten. Über Betriebserfahrungen und Ergebnisse mit den beiden genannten Bauarten berichtet ausführlich Markgraf¹⁾. Auch andere Firmen haben sich in der letzten Zeit dieser Bauart zugewandt, da es z. B. insbesondere für chemische Zwecke und für manche andere Gasverwendung von Wert ist, ein Gas mit sehr hohem CO-Gehalt zu erzielen; so baut die Firma Pintsch und die Firma Koppers ganz ähnliche Gaserzeuger, und hat besonders letztere Firma zahlreiche Patente für die Ausgestaltung von Details an solchen Gaserzeugern erworben. Auch die Firma Rehmann, Düsseldorf, hat Schlackenschmelzgas-erzeuger ausgearbeitet, insbesondere einen solchen für feinkörnige Brennstoffe mit angebauten großen Staubkammern, welche Bauart Interesse besitzen dürfte²⁾. Allerdings ist dieselbe meines Wissens noch nicht erprobt. Der Schlackenschmelzgenerator ist diejenige Bauart, welche zusammen mit dem Drehrostgaserzeuger heute als die vorteilhafteste bezeichnet werden kann; mehrfach ist man sogar der Ansicht, daß der Schlackenschmelzgenerator dem Drehrostgaserzeuger überlegen ist. Wie noch an anderer Stelle (vgl. S. 213) gezeigt werden wird, ist dies durchaus nicht der Fall, wenn auch nicht geleugnet werden darf, daß die hohen Vergasungsleistungen desselben die Betriebskosten verbilligen. Entscheidend werden aber immer die Brennstoffkosten bzw. die Höhe der Verluste bei der Vergasung sein, und infolgedessen kann der Schlackenschmelzgenerator nur bei sehr aschenarmen Brennstoffen eine Überlegenheit aufweisen; aber auch nur dann, wenn es möglich ist, die fühlbare Wärme des Gases in vollem Umfange zu erhalten und nutzbar zu machen. Für die Weiterentwicklung der Schlackenschmelzgeneratoren wäre es auch eine unerläßliche Bedingung, daß man diese Bauart für andere Brennstoffe anwenden könnte, während sie bisher nur bei der Vergasung von Koks wirklich entsprochen hat.

e) Gaserzeuger mit Windhauben und Wasserbad.

Schon bei dem in Abb. 69 dargestellten Gaserzeuger ist eine Windhaube einfacher Bauart verwendet. Diese Bauart hat sich vielfach eingebürgert, da die Windhaube in wesentlich vollkommenerem Sinne eine

¹⁾ St. u. E. 1919, S. 649.

²⁾ Vgl. Hermanns: Z. d. V. d. I. 1920, S. 351.

zwangläufige Zuführung der Vergasungsluft bedeutet. Während bei dem älteren Planrost- und Treppenrostgaserzeuger bei zunehmender Schlacke der Zutritt des Windes durch den Rost sehr ungleichmäßig wird und man bei den angewendeten verhältnismäßig großen Rostflächen andererseits nur mit kleinen Winddrücken arbeiten konnte, waren diese Verhältnisse durch

Einführung der Windhaube vorteilhafter gestaltet. Auch ist es ja eine alte Erfahrung, daß die Vergasung am Rande am schnellsten vor sich geht, und insofern ist die Zuführung der Vergasungsluft in der Mitte durchaus richtig angewandt.

Diese Bauart wurde insbesondere für die Weiterentwicklung des Gaserzeugerbaues von Wichtigkeit, weil sie die Anwendung neuer Gesichtspunkte für die Entaschung ermöglichte. Schon in den achtziger Jahren kam Taylor auf den Gedanken, in Verbindung mit der Windhaube eine selbsttätige Entaschung mittels drehbarer Platte und vom Rand verstellbaren Aschenräumen durchzuführen. In Abb. 60 ist die der Patentschrift zugrunde gelegte Bauart dargestellt, und wurde dieselbe in der Folge besonders von der französischen Firma Fichet & Heurtey sowie von der Deutzer Gasmotorenfabrik weiterentwickelt. Die diesbezüglichen Bauarten sind aus der Literatur bekannt und bieten gegenüber der ursprünglichen keine wesentlichen Fortschritte.

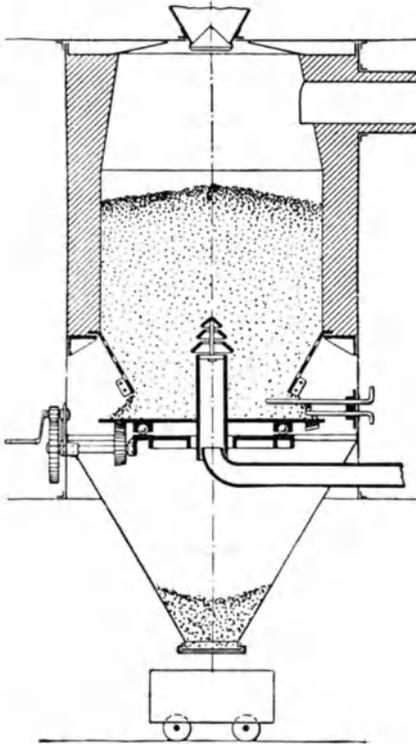


Abb. 74. Taylor-Gaserzeuger neuer Bauart.

Die Bauart mit Aschenteller ist aber besonders in Amerika bis in die letzte Zeit beibehalten worden, indem man unterhalb des Aschentellers einen konischen Trichter anordnete, in welchem die Asche gesammelt und dann leicht entfernt werden konnte. Eine solche Bauart ist in Abb. 74 gezeigt und wurde z. B. auch beim Hughes-Generator (vgl. Abb. 99) lange Zeit angewendet. Sie kann geradezu als die normale amerikanische Generatorbauart um die Jahrhundertwende bezeichnet werden.

Diese Bauart hat sich jedoch in Europa nicht dauernd einbürgern können, und zwar wohl aus dem Grunde, weil die mechanisch bewegten

Teile unter dem Einfluß der heißen Asche sehr stark zerstört wurden und dadurch nicht nur leicht Betriebsstörungen, sondern vor allen Dingen auch hohe Betriebsunkosten verursacht waren.

Man hatte nun, wie bereits früher gezeigt (S. 152), um dieselbe Zeit bereits den Gedanken des Wasserbades entwickelt, um die Asche vor der Entfernung aus den Gaserzeugern abzukühlen, dieselbe auch abzuschrecken und dadurch die Schlackarbeit zu erleichtern. Diese Bauart finden wir in der zeitgenössischen Literatur immer wieder erwähnt, ohne daß derselben damals ein wesentliches Augenmerk geschenkt wurde.

Erst Ende der neunziger Jahre erlangten zwei derartige Bauarten größere Verbreitung und Bedeutung. Die eine Bauart ist der Morgan-Gaserzeuger, welcher in Abb. 75 wiedergegeben ist¹⁾. Rund um die Windhaube ist im Fundamentmauerwerk ein ringförmiges Wasserbad gebildet, in welches der Unterteil der Schachtwände, welcher als gußeiserner Tragring ausgebildet ist, eintaucht. Die dauernd mit dem Fortschreiten der Entgasung in das Wasserbad gelangende Asche sollte unter dieser

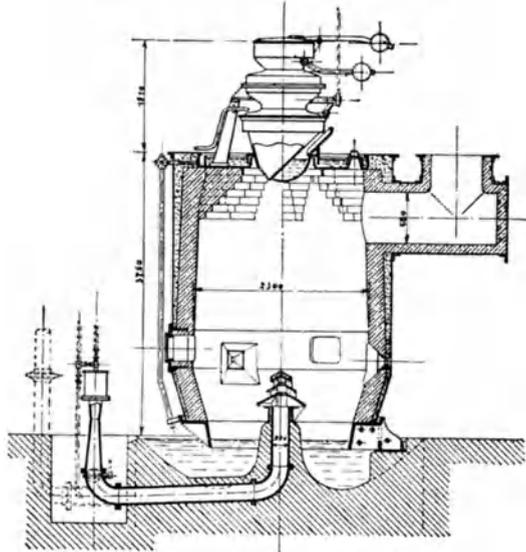


Abb. 75. Gaserzeuger von Morgan.

Schachtwand durch das Wasserbad mittels Schaufeln ausgehoben werden. Diese Arbeit kann nun dauernd und ohne Störung des Betriebs vorgenommen werden, wobei noch der Umstand hinzutritt, daß die noch heiße Asche im Wasser zerplatzt und kleinstückig wird; auch der durch das Ablöschen der Asche im Wasserbad entstehende Dampf wirkt in den höheren Zonen zersetzend auf die Asche und befördert den Gang. Trotzdem ist die Arbeitsweise dieses Gaserzeugers nur in seltenen Fällen ununterbrochen. Wenn auch das Wasserbad allseitig ausgebildet und die Zugängigkeit des Generatorunterteiles eine vollkommene ist, bilden sich aber doch noch oft Schlackenklumpen über und um die Windhauben, so daß ein öfteres Niederschlacken von den Türen im Mantel aus notwendig ist, das naturgemäß mit einer zeitweisen Verminderung der Gaserzeugung verbunden sein muß.

¹⁾ Vgl. Wolff: St. u. E. 1905, S. 387.

Einen ähnlichen Aufbau zeigt auch der Duff-Gaserzeuger, welcher in Abb. 76 wiedergegeben ist. Derselbe besitzt an Stelle der zentralen runden Windhaube einen quer durch den Gaserzeuger gehenden Sattelrost und infolgedessen ein zweiteiliges Wasserbad. Diese Bauart erscheint zwar ungünstiger als die des Morgan-Gaserzeugers, ist aber in Europa weiter verbreitet als letztere, weil man bei den hiesigen Kohlen stets eine größere Rostfläche bevorzugte. Andererseits unterstützt der Sattelrost an den beiden Seiten, wo kein Wasserbad vorhanden ist, das Aufhängen der Beschickung an der Schachtwand, und die Aschenentfernung gelingt daher nicht ohne kräftiges Nachstoßen von oben. Meist muß

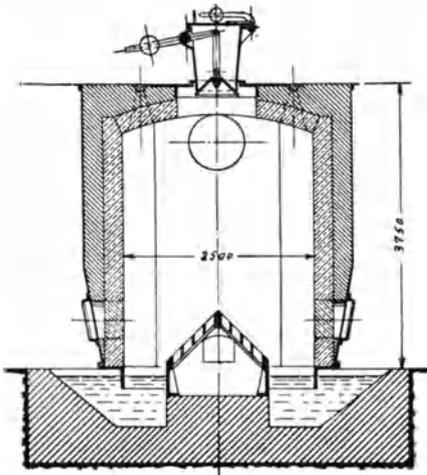


Abb. 76. Gaserzeuger von Duff.

man sogar alle 24 Stunden die Schlacktüren öffnen und einen Teil der Schlacke vom Rost abziehen, um eine gute Entaschung zu erzielen. Insbesondere gelingt es selten, größere Schlackenklumpen durch das Wasserbad auszuziehen. Sehr oft legen sich diese quer zwischen Schachtwand und Sattelrost, die darunter befindliche Asche wird durch das Wasserbad entfernt, und beim Nachstoßen von oben brechen die glühenden Schlackenklumpen zusammen und stürzen in das Wasserbad, wobei eine explosionsartige Verdampfung eintritt, welche mehr-

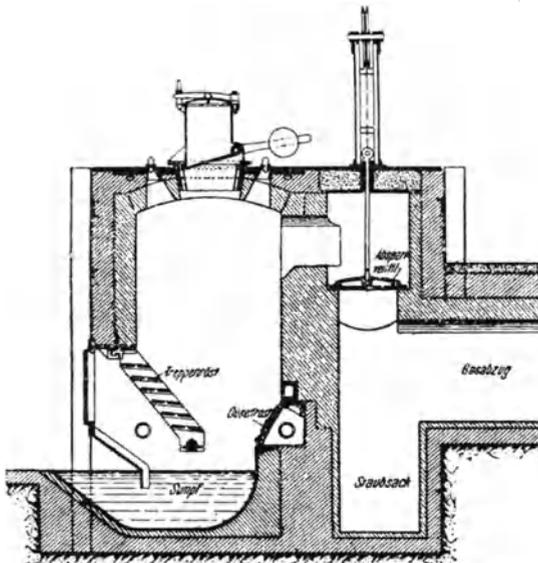


Abb. 77. Siemens-Gaserzeuger mit Düsenrost und Wasserbad.

mals zu Beschädigungen der mit der Rostarbeit betrauten Arbeiter geführt hat. Trotzdem haben sich die Wasserbadgaserzeuger umfangreicher eingeführt

als die Gaserzeuger mit drehbaren Tellern. In ähnlicher Weise wie in Verbindung mit dem Sattelrost hat man das Wasserbad auch in Verbindung mit Treppenrosten angewendet, wie Abb. 77 zeigt, wobei gegenüber dem Treppenrost ein Düsenkasten angebracht wurde, um eine gleichmäßige Windverteilung über den ganzen Querschnitt zu erzielen.

Insbesondere die Bauart der Wasserbadgaserzeuger mit Windhauben ist noch heute vielfach verbreitet. Man hat letztere in ihrer Form und

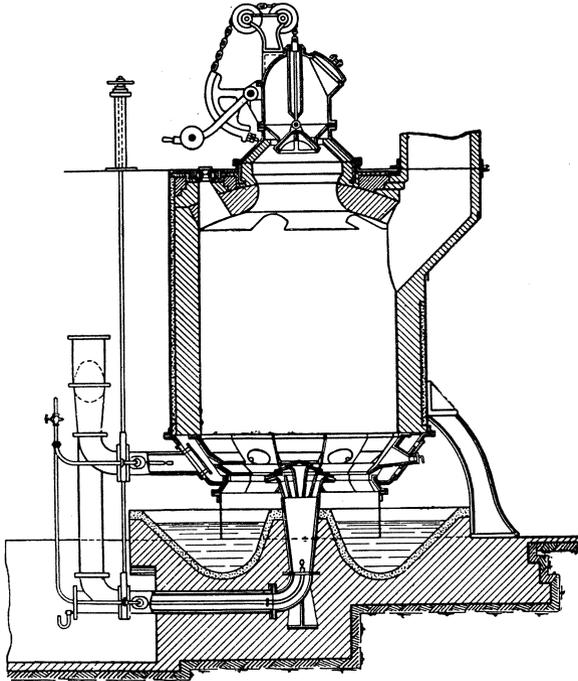


Abb. 78. Gaserzeuger mit Windhaube und peripheren Düsen.

Ausführung vielfach geändert und entwickelt, um eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Vergasungsluft über den ganzen Schachtquerschnitt zu erreichen. Auch hat man vielfach eine Windzufuhr vom Rande her beigefügt, indem man den unteren Schachtteil als Windkasten mit Schlitzen oder Düsen ausbildete, wie Abb. 78 zeigt. Die zentrale Windhaube mit ihren kleinen Abmessungen wird aber stets leicht zur Bildung von Aschenklumpen, Brücken und Hohlräumen führen, wenn nicht ein ganz gleichmäßiges und grobgekörntes Aschenbett die Verteilung der Luft unterstützt. Das Zusammenbacken und Verschlacken bringt zugleich den weiteren Nachteil mit sich, der mehr oder weniger allen bisher erwähnten Bauarten zukommt, daß die Asche

teilweise mit unverbrannter oder nicht ganz vergaster Kohle vermischt ist. Die Entaschungs- oder besser gesagt Entschlackungsarbeit ist bei allen diesen Bauarten eine immerhin noch schwere.

f) Drehrostgaserzeuger.

Wie bereits an einer anderen Stelle gezeigt wurde, hat man die verschiedensten Wege versucht, um Verschlackungen zu vermeiden oder leicht zu beheben. Tatsächlich war es leichter, den chemischen Vor-

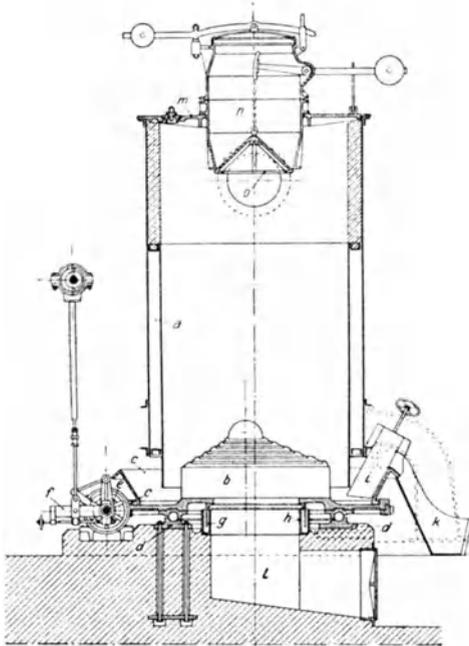


Abb. 79. Drehrostgaserzeuger nach Kerpely für Braunkohle.

gang der Vergasung zu beherrschen und so auszugestalten, wie man es wünschte, während die Entfernung der Rückstände und die durch die Rückstände bedingte Verteilung der Vergasungsluft in gleichmäßiger Weise über den ganzen Querschnitt des Gaserzeugers wesentlich schwieriger war. Die bahnbrechende Bauart für die Behebung dieser Schwierigkeiten war der Drehrostgaserzeuger, dessen Aufbau und Wirkungsweise bereits früher (vgl. S. 128 ff.) gezeigt worden ist. Es sind in der Folge zahlreiche Bauarten entwickelt worden, welche sich aber nur unwesentlich von einander unterscheiden.

Die in Abb. 79 dargestellte ältere Form des Dreh-

rostgaserzeugers wurde von Kerpely in dem steiermärkischen Eisenwerk Donawitz entwickelt, wo man neben älteren Treppenrostgaserzeugern solche Bildtscher und Morganscher Bauart ohne durchgreifenden Erfolg erprobt hatte. Zur Vergasung gelangte eine hochwertige alpine Braunkohle von geringem Feuchtigkeitsgehalt und etwa 5000 Kal. Heizwert, die aber nicht nur aschenreich (13—20%) ist, sondern deren eisenreiche Asche auch stark zu Verschlackungen neigt. Mit Rücksicht darauf zeigt der Gaserzeuger in Abb. 79 einen sehr hohen Kühlmantel, der der ungefähren Beschickungshöhe entspricht. Der Drehrost ist ein exzentrisch gesetzter Rundrost von großer Oberfläche und geringer Höhe, der aus einzelnen Ringen gebildet ist, die durch Distanzstücke die über-

dachten Windschlitze auf etwa $\frac{3}{4}$ des Umfanges bilden. Der Unterteil des Rostes war anfänglich sehr hoch ausgestaltet, um etwa gebildete Schlackenklumpen zu zerkleinern; derselbe trägt auch im zylindrischen Teil noch Windschlitze, um eine vollständige Ausbrennung der Asche zu gewährleisten. Die Aschenschüssel ist am Umfang mit einem Zahnkranz versehen, der durch eine Schnecke langsam bewegt wird; die Schnecke sitzt auf der Welle eines Triebwerkes, das mittels Klemmbackenantrieb und Exzenter von der gemeinsamen Antriebswelle der Gaserzeugeranlage ruckweise bewegt wird. Zwecks Austragung der Asche war gegenüber vom Antrieb ein radial gesetztes Staublech in die Aschenschüssel eingesetzt, das bis auf den Boden, und infolge der Neigung desselben, bis unter die Schachtwand reichte; dieses Staublech war an einer der Tragsäulen des Schachtes bzw. an der Schachtwand festgemacht.

Diese Bauart hatte gleich einen durchgreifenden Erfolg, indem in erster Linie die Durchsatzleistung der älteren Bauarten auf das Doppelte gesteigert werden konnte; außerdem war die Gaszusammensetzung wesentlich besser und der Verlust in der Asche ein sehr geringer. Damit sind naturgemäß zahlreiche andere Vorteile verbunden, die im nachstehenden zusammenfassend angeführt werden sollen:

1. größere Durchsatzleistung,
2. gleichmäßigeres Gas,
3. besseres Ausbrennen der Asche,
4. Fortfall der Löhne für das Austragen der Asche,
5. Möglichkeit der Anwendung billigerer Kohlsorten,
6. ununterbrochener mehrmonatiger Betrieb bei geringeren Ausbesserarbeiten,
7. geringerer Raumbedarf,
8. Fortfall des Staubes beim Entschlacken.

Dabei ist der Kraftverbrauch für den Antrieb des Drehrostes ein verschwindender, der nur 0,5—1,5 PS beträgt, da die Aschenschüssel mit Rost eine Umdrehung in 1—5 Stunden zu machen hat.

Diese ursprüngliche Bauart hat sich für die Vergasung von Braunkohlen fast unverändert erhalten. Auf Grund der ersten Erprobungen hat man lediglich den Rost niedriger gestaltet und später die oblonge (polygonale) Form bevorzugt (vgl. S. 132), weil bei dieser die Beanspruchung der Schüssellagerung und des Antriebes eine geringere und daher die Abnutzung dieser Teile eine mäßigere war. Die im Unterteil des Schachtes angebrachten Schutzringe, die sich unter dem Einfluß der Erhitzung deformierten, wurden durch einen starken gußeisernen Tragring ersetzt, der gegen den Kühlmantel zu abgedichtet war. Mit dieser veränderten Form entsprach der Gaserzeuger auch bei der Verarbeitung von Steinkohlen, nur mußte mit Rücksicht auf den heißen Gang der Kühlmantel derart geändert werden, daß Nietnähte vermieden wurden,

weshalb sich geschweißte und gebördelte Kühlmäntel empfohlen. Um die Entwicklung dieser Bauart hat besonders die Firma Thyssen & Co. große Verdienste, welche diese Gaserzeugerbauart in Rheinland-Westfalen einführte. In Abb. 80 ist die Ausführung eines Kerpely-Gas-

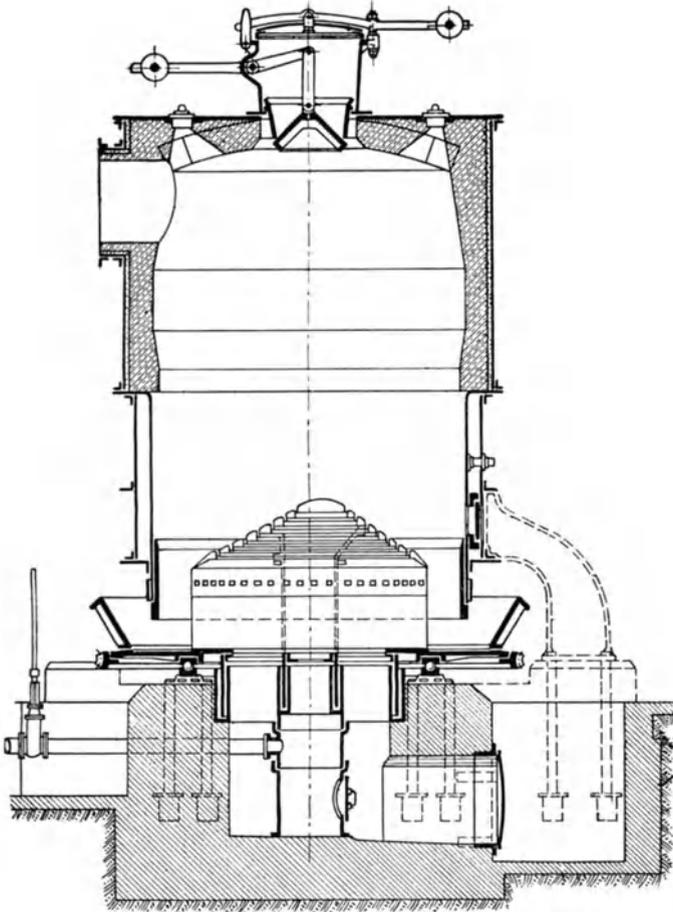


Abb. 80. Drehrostgaserzeuger nach Kerpely für Steinkohle.

erzeugers mit Polygonrost für die Vergasung von Steinkohlen wiedergegeben.

Die Bedeutung dieser Gaserzeugerbauart wurde von der Industrie bald erkannt, und es kamen, zuerst langsam, dann immer häufiger Verbesserungen und Umgehungen auf den Markt. Der Grundgedanke hat aber eine wesentliche Weiterentwicklung kaum gefunden, und es sind in der Hauptsache bauliche Änderungen, die vielfach zum Patent erhoben

wurden. Es kann an dieser Stelle keine vollständige Aufzählung der vielen Typen stattfinden, denn zur Zeit stehen in Deutschland allein 28 Firmen mit sogenannten eigenen Bauarten in Wettbewerb; daneben haben zahlreiche Werke Sonderbauarten oder Verbesserungen entwickelt. Auch in Belgien, Frankreich, England sind einige Bauarten entwickelt worden. An Deutschen Reichspatenten sind auf diesem Gebiete nach Kerpely bis Ende 1922, also im Verlaufe von 18 Jahren 85 Stück zu verzeichnen, wovon nur 7 auf ausländische Firmen lauten, wenn man die deutschen und österreichischen Firmen zusammengreift.

Besondere Beachtung verdienen aus der Entwicklungszeit die Arbeiten Hugo Rehmanns. Dieser war bestrebt, den Rostkörper mit stärker ausladenden Vorsprüngen zu versehen, um die Brennstoff-

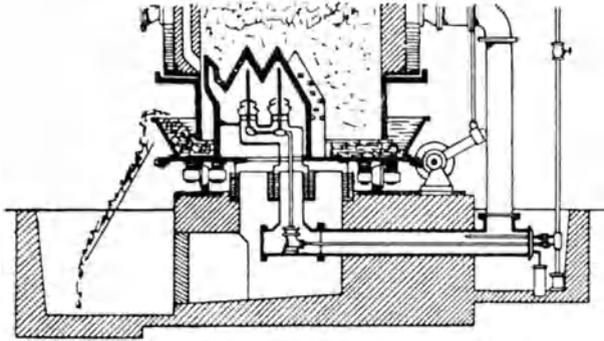


Abb. 81. Drehrost nach Rehmann (Patentzeichnung).

säule stärker und auch bis in höhere Zonen zu beeinflussen. Abb. 81 zeigt das Unterteil dieses Rostes nach Patent 216786 (19. 6. 1906), das erst nach einem langen Patentstreit erteilt wurde. Es kann nicht geleugnet werden, daß diese Rostart bei manchen Brennstoffen gute Ergebnisse ergibt, aber auch Rehmann ist später zu einer einfacheren und flacheren Rostbauart zurückgekehrt, die in Abb. 82 ersichtlich ist. Die Grundrißzeichnung läßt aber deutlich die polygonale Ausbildung mit wechselnden Abständen vom Mantel erkennen und zeigt die zur Erhöhung der Rührwirkung dienende, aber wieder fast zentrale Rostspitze. Die Bauart von Rehmann ist auch in baulicher Hinsicht beachtenswert. Anstatt des Kugellagers verwendete er erstmalig Rollenlager, die später von mehreren Firmen übernommen wurden. Der Kühlmantel ist innen mit einer Schutzschicht aus Schamotte versehen, wodurch die gebördelte Ausführung desselben erspart werden kann; Rehmann ließ auch im Kühlmantel einen Windraum frei und führte die Vergasungsluft dort durch, so daß sich dieselbe mit Feuchtigkeit aus dem heißen Kühlwasser sättigen konnte.

Eine besonders weitgehende Beeinflussung der Beschickung wollte Küppers (D.R.P. 210889, 1908) mit seinem Rost erzielen, der radiale messerartige Schneiden trägt. Später hat er auch den Schachtmantel mit solchen Messern versehen und gegenläufig drehen lassen. Diese Bauart hat aber infolge ihrer Kompliziertheit versagt.

Das Bestreben, die Bauart zu vereinfachen, welches wichtiger war als dieselbe zu komplizieren, führte zu der von Hilger entworfenen

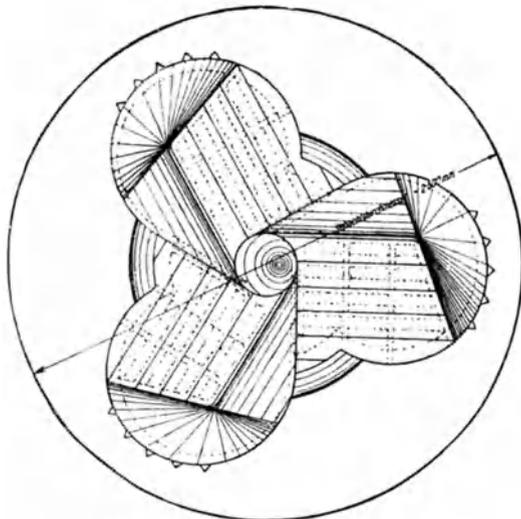
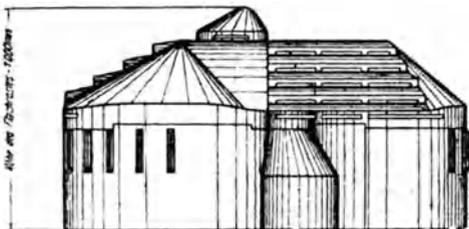


Abb. 82. Neuerer Flachrost von Rehmann.

Bauart der Poetter G. m. b. H. (D.R.P. 230124, 1909), die in Abb. 83 dargestellt ist. Der Rost ist wesentlich niedriger und sternförmig ausgebildet, lediglich an seiner Sitzfläche kreisrund, so daß nasenartige Vorsprünge entstehen, die die exzentrische Wirkung ausüben. Die Windzuführung ist durch einen höheren Windschlitz gebildet, der vollständig überdeckt ist, um das bisweilen beobachtete Durchfallen der Asche durch die Rostschlitze zu vermeiden; der Rost erinnert also gleichsam an eine rotierende Windhaube, weil der Oberteil, der den Windschlitz trägt, im Verhältnis zur Schachtfäche sehr klein ist. Diese Rostbauart ist zweifellos billig und wird bei allen Brennstoffen genügen, wo ein gleichmäßiges Aschenbett vorhanden ist, das die Verteilung des Windes übernimmt. Bei schwierigeren Brennstoffen erscheint dieselbe aber nicht genügend, um so mehr als auch die exzentrische Wirkung sehr verringert und der Höhe nach besonders beschränkt ist. Der Poetter-Gaserzeuger erfuhr aber besonderes Interesse durch die sogenannte Pilgerschrittbewegung des Rostes, bei der eine Drehung nach beiden Richtungen möglich ist. Man wollte damit eine stärkere Be-

Abb. 83. Poetter-Gaserzeuger.

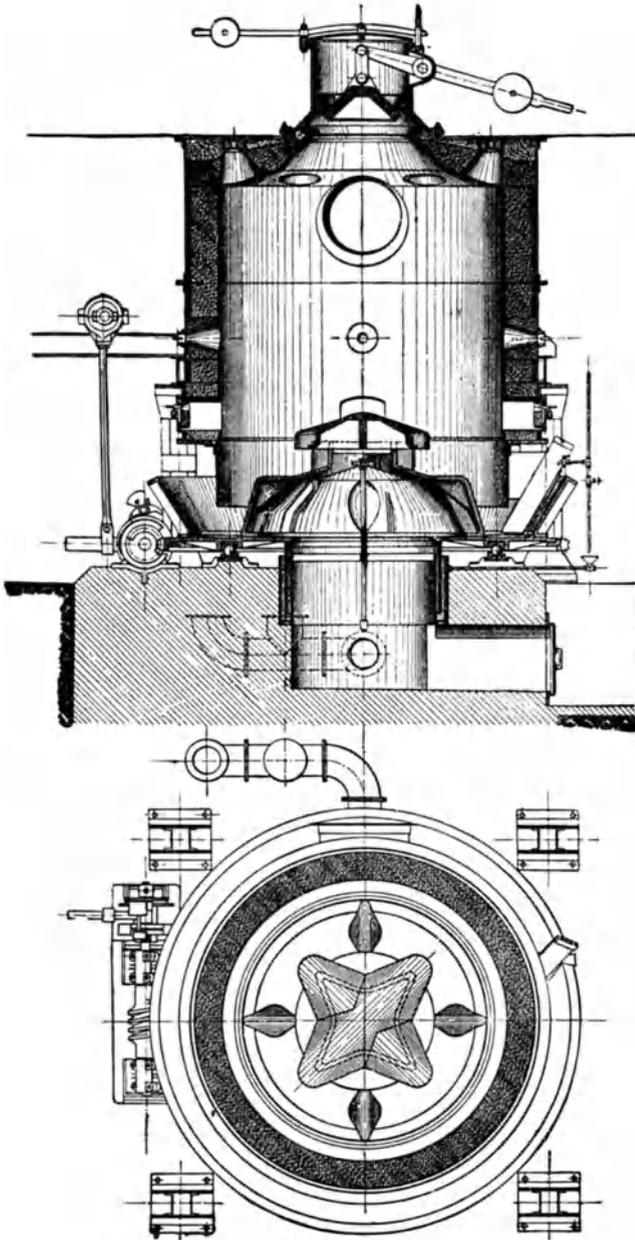


Abb. 83. Drehrostgaserzeuger von Hilger (Poetter-G. m. b. H.).

einflussung der Beschickung erzielen, ohne dabei Asche auszutragen, weil eine Austragung nicht eintreten sollte, wenn die Vor- und Rückwärtsbewegung gleich gemacht wurden. Zur Erzielung dieser Doppelbewegung war ein Zahnrad mit Doppelklinken anstatt des Klemmbackenrades in den Antriebsmechanismus eingeführt. Diese Pilgerschrittbewegung hat sich durch-

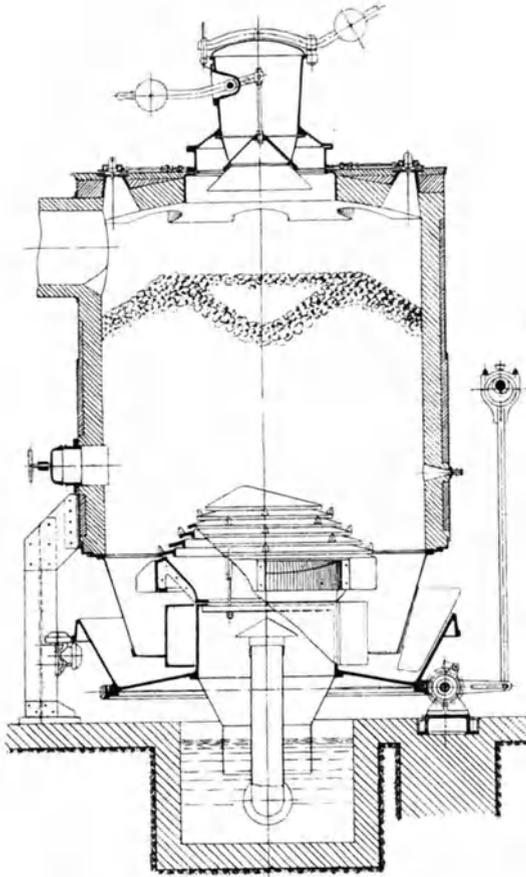


Abb. 84. Drehrostgaserzeuger der M.A.N.

aus nicht bewährt und wurde bald ganz aufgegeben, weil Vorteile nicht nachgewiesen werden konnten und die wechselnde Einstellung eine Schwierigkeit für die Betriebsführung ergab.

Weiter hat diese Bauart grundsätzlich auf den Kühlmantel verzichtet, dem sie einen ungünstigen Einfluß zuschrieb. Es ist dies zweifellos nicht zutreffend, und gibt es zahlreiche Brennstoffe, bei denen der Kühlmantel Vorteile bringt. Andererseits hat sich aber gezeigt, daß man vielfach auf denselben verzichten kann, ohne einer Verschlackungsgefahr ausgesetzt zu sein oder den Gang ungünstig zu beeinflussen. Durch entsprechende Auswahl des ff. Materials kann man selbst noch in schwierigen Fällen ohne Kühlmantel aus-

kommen, doch muß man stets eine reichere Stocharbeit in Kauf nehmen. Empfehlenswert ist in solchen Fällen eine Dampfzuführung am Umfang, wie sie z. B. das Eisenwerk Kladno erprobt, und später auch die Firma Huth & Röttger, Dortmund, ausgeführt hat. Erstere benutzen einen im Schachtmauerwerk an tiefster Stelle geschützt eingebauten Dampfverteilungsring, der mit kleinen Bohrungen versehen ist, welche einfache Bauart dem Zweck genügt.

Huth & Röttger benutzen Dampfdufen, die im Schacht angebracht sind und außen an einem Dampfverteilungsring angeschlossen werden, so daß jede Düse für sich an- und abgestellt werden kann.

Von anderen Firmen, die sich um die Entwicklung und Einführung des Drehrostgaserzeugers verdient gemacht haben, verdienen noch Erwähnung: Gute-Hoffnungs-Hütte, Ehrhardt & Sehmer, Pintsch A. G., Bamag, König Friedrich-August-Hütte, M.A.N. Große, Barth, Goetz, Poetter & Co., de Fontaine u. a. m. Konstruktiv ist die Bauart der M.A.N. nach Abb. 84 besonders beachtlich, weil die ganze Schüssel mit Rostunterteil als ein Gußstück aus-

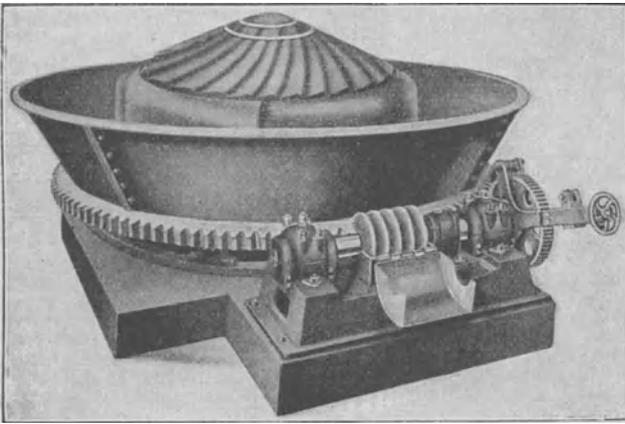


Abb. 85. Drehrost der Bamag.

gebildet ist, so daß Undichtigkeiten vermieden werden und eine wesentliche Verbilligung der Herstellungskosten eintritt.

Als Rostbauart ist hervorzuheben der sogenannte Fächerrost der Bamag (vgl. D.R.P. 255341), der in Abb. 85 zu sehen ist. Derselbe ist vollkommen rund und befindet sich zentrisch in der Aschenschüssel. Lediglich das Unterteil besitzt Ansätze, welche die Bewegung der Beschickung und die Austragung der Asche bewerkstelligen. Während die alten Rostformen entweder exzentrisch gesetzte Rundroste oder irgendwie polygonähnliche, ausgebildete Grundrißformen zeigen, gebrauchte man später oft zentrische Rundroste mit derartigen Ausladungen oder Ansätzen (Nasen). Kein in der Praxis bewährter Rost verzichtet jedoch auf die exzentrische Wirkung vollständig; die Bauarten weichen aber sehr ab, indem teilweise nur der Oberteil exzentrisch ausgebildet wurde (z. B. von Pintsch) und teilweise wieder nur der Unterteil. Es ist dies erklärlich, da die Drehbewegung in Verbindung mit dem allgemein verwendeten Staublech stets eine selbsttätige Aschenentfernung mit sich

bringt und so naturgemäß ein Nachsinken der Beschickung unter dem Einfluß der Belastung stattfindet, selbst wenn in diesen oberen Zonen eine exzentrische Einwirkung nicht vorhanden ist. Für durchschnittliche Verhältnisse wird man aber eine größere Einwirkung, ähnlich wie beim Kerpely-Rost, bevorzugen müssen, weil man es leichter in der Hand hat, diesen Einfluß durch Verlangsamen der Bewegung, durch Verringerung der Aschenabfuhr usw. zu verringern, während es unmöglich ist, eine Beeinflussung über das mögliche Maximum hinaus zu verstärken.

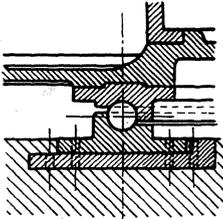


Abb. 86. Kugellagerung.

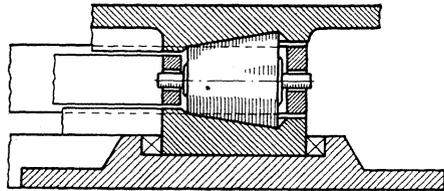


Abb. 87. Rollenlagerung mit Führungsring.

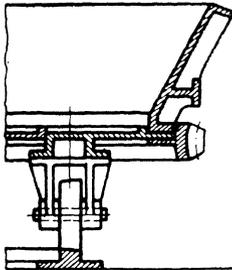


Abb. 89. Lagerung mit Laufrollen und Schiene.

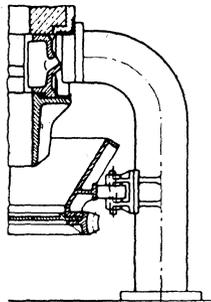


Abb. 90. Seitliche Führungsrolle.



Abb. 88. Lagerung auf Rollenböcken.

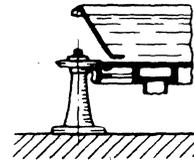


Abb. 91. Seitliche Führungsrolle.

Viele der vorgeschlagenen Verbesserungen haben sich als Spielereien oder manchmal sogar als Verböserungen herausgestellt. Stets haben sie eine größere Empfindlichkeit der mechanischen Teile zur Folge, was für die praktische Erprobung von Nachteil ist. Allgemein hat man später folgende Gesichtspunkte beim Bau aufgenommen. Die Rostspalten werden entweder stark überdeckt oder der Drehrichtung abgewendet (wie beispielsweise beim Fächerrost ausgeführt), um ein Durchfallen der Asche und ein Festsetzen von Schlackenklumpen zu vermeiden. Das Staublech wird nicht radial eingesetzt, sondern etwas tangential und geneigt, um eine leichtere Austragung zu erreichen, und eine allzu große Rückstauung am Umfang der Schüssel zu vermeiden.

Auch hat man den Aschenräumer in der Höhe verstellbar gemacht, um zeitweise die Austragung verringern zu können.

Konstruktiv ist besonders die Lagerung und der Antrieb wichtig und seien daher einige Hinweise gemacht. Als Lagerung verwendet man entweder Kugeln oder Rollen. Die Kugellagerung nach Abb. 86 ist einfacher, weil sie keine getrennte Führung benötigt. Sie verschmutzt dagegen leichter. An manchen Stellen hat sie nicht entsprochen; wenn man jedoch auswechselbare Laufkränze und entweder gedrehte oder mit Toleranz geschmiedete Stahlkugeln verwendet, so genügt sie nach langjähriger Erfahrung durchaus. Die zuerst angewendete Rollenlagerung

mit losen Rollen, die durch Flacheisenringe zentriert sind, wie in Abb. 87 gezeigt, hat sich mehrfach nicht bewährt, weil die Rollen leicht auspringen und die Führungsringe verzogen werden. Man verwendet daher fast nur Rollenböcke nach Abb. 88, oder Laufrollen mit Schienen nach Abb. 89. In jedem Falle muß jedoch eine seitliche Führung wie nach Abb. 90 oder Abb. 91 erfolgen. Die Rollenlagerung ist nicht so geschlossen wie die Kugellagerung, sie ist daher leicht zugänglich und besser kontrollierbar. Sie gibt aber insofern leichter zu Störungen Anlaß, als Fremdkörper in die Rollenbahn gelangen können. Wenn man daher Rollenlagerung bevorzugen will, so sind Rollenböcke am empfehlenswertesten, besonders weil dieselben auch eine leichte Montage erlauben, wenn man alle Böcke auf eine gemeinsame Grundplatte setzt, was allerdings die Anschaffungskosten erhöht. Man ist daher vielfach wieder zur einfachen Kugellagerung zurückgekommen.

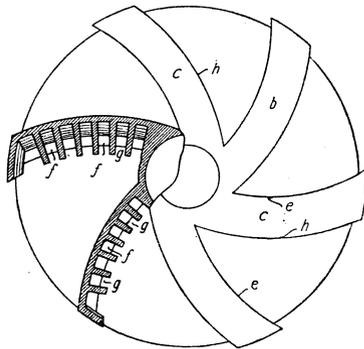
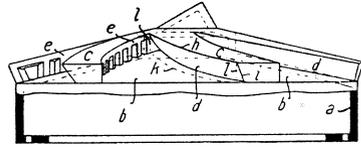


Abb. 92. Fräserrost nach Koller.

wertesten, besonders weil dieselben auch eine leichte Montage erlauben, wenn man alle Böcke auf eine gemeinsame Grundplatte setzt, was allerdings die Anschaffungskosten erhöht. Man ist daher vielfach wieder zur einfachen Kugellagerung zurückgekommen.

Die Bewegung der Schüssel erfolgt mit einem am Umfang angebrachten Schneckenrad und Schnecke. Die Schnecke sitzt auf der Antriebswelle und das Antriebsrad hat entweder einen Klemmbacken-antrieb oder einen Klinkhebelantrieb, um die Verlangsamung der Transmissionsgeschwindigkeit ($n = 45 - 60$) auf die Schneckenwellengeschwindigkeit ($N = 2 - 0,3$) zu erzielen. Die Schüsselgeschwindigkeit selbst ist sehr klein, meist 1—0,2 Umdrehungen pro Stunde. Mit den erwähnten Antriebsarten sind sehr wechselnde Erfahrungen gemacht worden, was wohl an den örtlichen Verhältnissen und der Aufmerksamkeit der Bedienung liegt. Man hat auch versucht, den Klinkhebelantrieb

für die Schüssel unmittelbar zu verwenden (Ratschenantrieb von Barth, Düsseldorf), wobei man die Geschwindigkeitsverminderung

entweder durch ein Schnecken-vorgelege oder durch ein Klinkenrad ausführt. Diese Bauart ist zwar billiger, erscheint aber nicht so betriebssicher; die Kraftleistung an der Schüssel selbst ist bei der stoßweisen Wirkung teilweise doch so groß, daß Klinken nicht empfehlenswert erscheinen.

Zur Erleichterung der Austragung bei aschenreichen Brennstoffen sind mehrfach Vorschläge gemacht worden, so von Kerpely eine Schüssel mit mehreren an derselben befestigten Mitnehmerblech n, während der Schachtunterteil in der Drehrichtung ansteigende Flächen trägt, die den vollen Querschnitt zwischen Schüssel und Schacht ausfüllen. Diese Flächen entsprechen also langsam ansteigenden Staublechen, während die an der Schüssel befestigten drehbaren Mitnehmerbleche

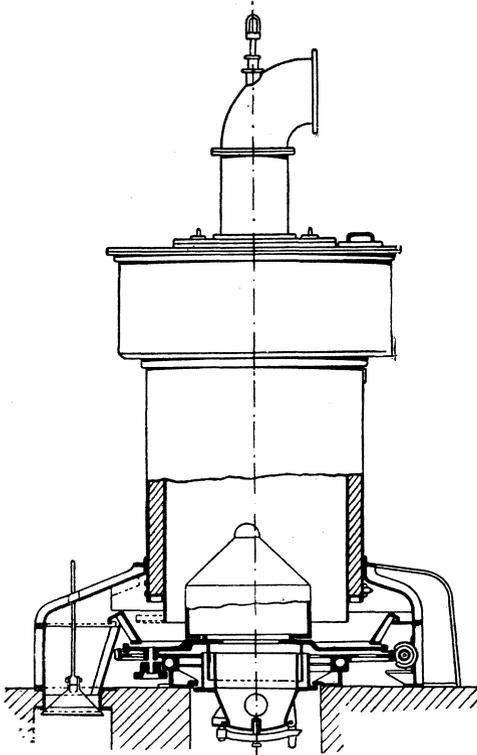


Abb. 93. Hochdruckgaserzeuger von Kerpely.

die Asche weiterführen und nicht zurückweichen lassen (D.R.P. 221 170, 1910). Diese Bauart empfiehlt sich für tiefe Aschenschüsseln, die

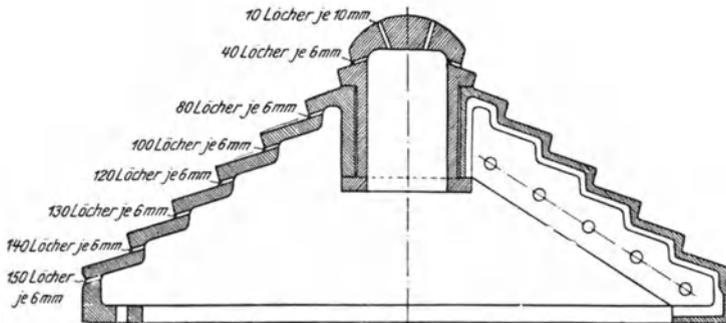


Abb. 94. Nadelrost für Hochdruckgaserzeuger von Kerpely.

für einen Betrieb mit hohem Winddruck in Frage kommen. An diese Lösung erinnert die Bauart von Koller (vgl. D.R.P. 242 685 u. 287 525), welche in Abb. 92 dargestellt ist und die auf dem geneigten Schlüsselboden spiralig geformte Mitnehmer für die

Asche aufweist. Diese Bauart wird neuerdings als Fräserrost bezeichnet; die mit Windaustrittsöffnungen versehenen Mitnehmer sichern eine gute Verteilung der Vergasungsluft, während die exzentrische Wirkung sehr gering sein muß, da der Rost selbst in seinen Abmessungen an eine Windhaube erinnert; die Bauart erscheint daher nur für wenig schlackende Braunkohle, geeignet.

Eine Weiterbildung des von ihm angegebenen Dreh-

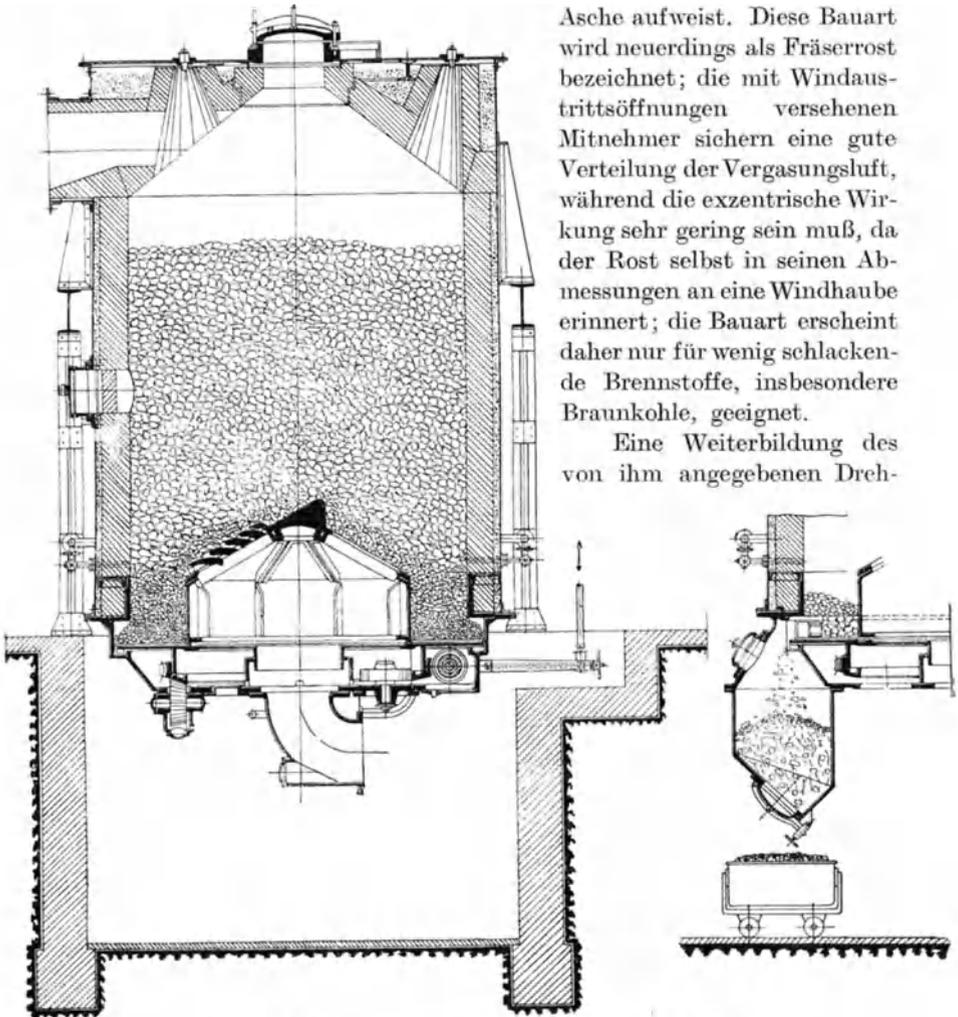


Abb. 95. Drehrostgaserzeuger mit trockener Entaschung der Asche.

rostgaserzeugers versuchte Kerpely in seinem Hochdruckgaserzeuger (Abb. 93), der für die Vergasung feinkörniger und staubreicher Brennstoffe bestimmt war. Der Grundgedanke ist, einerseits die Rostöffnungen noch kleiner zu gestalten (Nadelrost, vgl. Abb. 94), um eine bessere Verteilung

der Vergasungsluft zu erzielen, und andererseits über der Aschenschüssel einen luftdichten Abschluß durchzuführen; beides zu dem Zweck, den Gaserzeuger mit höheren Winddrücken zu betreiben. Der Hochdruckgaserzeuger hat trotz teilweise günstiger Resultate die in ihn gesetzten Erwartungen nicht erfüllt. Der Grundgedanke des luftdichten Abschlusses wurde jedoch bei den Gaserzeugern mit trockener Aschenaustragung benutzt, die besonders bei Brennstoffen mit kalkreicher, zementierender Asche verwendet werden. Die trockene Aschenaustragung hat sich daher besonders bei rheinischen Braunkohlen bewährt, und sind die Ausführungen der König-Friedrich-August-Hütte, Gute-Hoffnungs-Hütte, Pintsch, Rehmann und Bamag erwähnenswert, von denen letztere in Abb. 95 wiedergegeben ist. Während die ursprüngliche Bauart von Kerpely die voll ausgebildete Schüssel wahrte und man zwecks trockener Austragung ohne Wasser in derselben arbeitete, haben die späteren Bauarten, welche diese allein anstreben, auf die Schüssel verzichtet und nur den Schüsselboden beibehalten, von dem mittels Abstreifer die Asche an einer oder mehreren Stellen abgeworfen wird. Diese Bauart erinnert daher an die alte Ausführungsform von Taylor (vgl. S. 150).

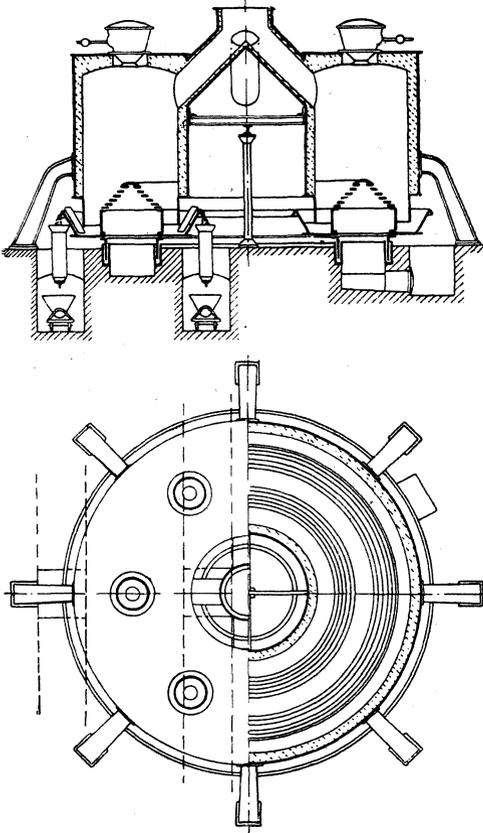


Abb. 96. Ringgaserzeuger von Pintsch A.-G.

Als Sonderbauart des Drehrostgaserzeugers für große Leistungen wurde von Pintsch ein Ringgenerator entworfen (Abb. 96), der aber bisher in größeren Betrieben noch nicht erprobt ist. Zusammenfassend kann man sagen, daß heute der Drehrostgaserzeuger alle älteren Bauarten im Großbetrieb verdrängt hat. Für den einfachen Schachtgaserzeuger ist nur in kleineren Betrieben und dort eine Verwendung mög-

der bei den Gaserzeugern mit trockener Aschenaustragung benutzt, die besonders bei Brennstoffen mit kalkreicher, zementierender Asche verwendet werden. Die trockene Aschenaustragung hat sich daher besonders bei rheinischen Braunkohlen bewährt, und sind die Ausführungen der König-Friedrich-August-Hütte, Gute-Hoffnungs-Hütte, Pintsch, Rehmann und Bamag erwähnenswert, von denen letztere in Abb. 95 wiedergegeben ist. Während die ursprüngliche Bauart von Kerpely die voll ausgebildete Schüssel wahrte und man zwecks trockener Austragung ohne Wasser in derselben arbeitete, haben die späteren Bauarten, welche diese allein anstreben, auf die Schüssel verzichtet und nur den Schüsselboden beibehalten, von dem mittels Abstreifer die Asche an einer oder mehreren

lich, wo der Brennstoff sehr aschenarm ist und die Asche nicht zu Verschlackungen neigt. Es wird aber von dem zukünftigen Verhältnis der Anschaffungs- bzw. Instandhaltungskosten zu den Betriebslöhnen abhängen, ob sich solche einfache Bauarten in Zukunft noch wirtschaftlich rechtfertigen lassen.

Wie groß die Vorzüge des Drehrostes, insbesondere durch Verringerung der Stocharbeit, bessere Ausnutzung des Brennstoffes und Wegfall der Schlackarbeit sind, kann man am besten daran sehen, daß man diese Rostbauart auch bei den Wassergaserzeugern, den Doppelgaserzeugern und den Mondgaserzeugern anwendete (vgl. Abb. 108 und die nebenstehende Abb. 97, welche einen neueren Mondgaser darstellt).

Die Entwicklung der Drehrostbauarten im Ausland lehnt sich eng an die erwähnten Bauarten an. Eine der ältesten ist von dem Franzosen Chavanne (D.R.P. 211 167, 1907). In England sind eigene Bauarten sehr spät entstanden, es sei hier nur die von Lymn und Rambush (D.R.P. 271 995, 1913) angeführt. Am spätesten setzte die Entwicklung in Amerika ein; hier war es die bekannte Gaserzeugerbaufirma, die Morgan Construction Co., Worcester, welche mit dem D.R.P. 304 986 voranging; eine dieser ähnlichen Bauart zeigt der in Abb. 101 gezeigte Chapman-Gaserzeuger

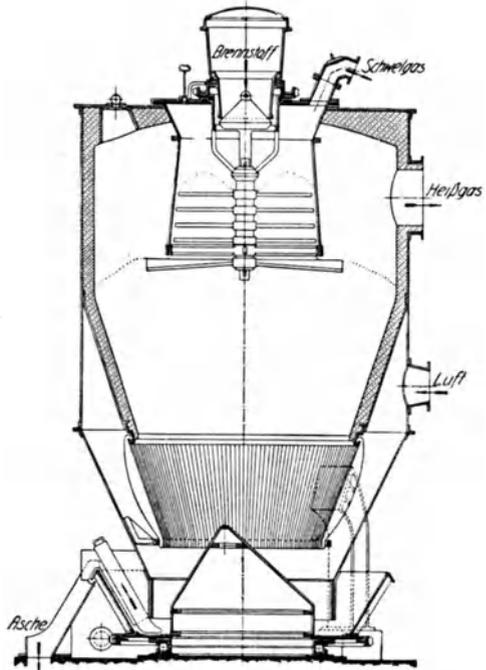


Abb. 97. Korbrostgaserzeuger mit selbsttätiger Entaschung der Deutschen Mondgas- und Nebenprodukten-G. m. b. H.

g) Gaserzeuger mit selbsttätigen Stochwerkzeugen.

Die Hauptentwicklung des Drehrostgaserzeugers war in Deutschland und Österreich-Ungarn. In Frankreich, Belgien und England sind meist deutsche Bauarten eingeführt worden. Wesentlich anders war die Entwicklung des Gaserzeugerbaues in den Vereinigten Staaten.

Wenn wir nun diese Entwicklung im Vergleich mit derjenigen anderer Länder betrachten, so fallen uns wesentliche Unterschiede auf, und es genügt nicht, sich über die Verschiedenartigkeit dieser Ent-

wicklung einfach mit einer Feststellung der Tatsache hinwegzusetzen. Denn wir können aus der Entwicklung in anderen Ländern vieles lernen, wenn wir uns stets die maßgebenden Einflüsse für diese geänderten Verhältnissen vor Augen führen. So ist zweifellos das Zurückbleiben der englischen Gaserzeugerindustrie teilweise auf den Umstand zurückzuführen, daß dort leicht vergasbare Kohlen viel billiger als in Deutschland zur Verfügung stehen. Ähnliche Beispiele lassen sich viele anreihen. Stets sind es wirtschaftliche Gesichtspunkte, die die Entwicklung bedingen, und daher möge im nachstehenden eine Sonderbauart betrachtet werden, die zur Zeit wesentlich erscheinen muß.

Die Vergasung backender Steinkohle ist bekanntlich eine sehr schwierige, und es war daher stets mehr oder weniger das Bestreben, möglichst nichtbackende Kohle für den Gaserzeugerbetrieb heranzuziehen. Auch ist zu erwarten, daß die großen Entwicklungsfragen, welche zur Zeit unser besonderes Interesse in Anspruch nehmen, nämlich die Urteergewinnung aus den rohen Brennstoffen bei gleichzeitiger Gewinnung von Halbkoks, die Vergasungsfrage wesentlich beeinflussen werden.

Es ist aber noch nicht zu übersehen, in welchem Tempo sich diese Entwicklung abspielen wird und ob eine für alle Fälle anwendbare Lösung erreichbar ist. Andererseits müssen wir damit rechnen, daß die nichtbackenden Steinkohlen des Saarreviers und Oberschlesiens, die außerhalb des rheinisch-westfälischen Industriereviers vorzugsweise für die Vergasung herangezogen wurden, uns in Zukunft ganz oder teilweise fehlen werden. Der Ersatz durch Braunkohlenbriketts ist beschränkt; gute heizkräftige Braunkohlen sind verhältnismäßig selten, die Vergasung wasserreicher minderwertiger Rohbraunkohle muß leider noch als eine nicht ganz gelöste Aufgabe betrachtet werden. Daraus folgt, daß die Vergasung backender Steinkohlen in Zukunft mehr Aufmerksamkeit gewinnen muß als bisher; während seit 1900 das Braunkohlenbrikett nach und nach selbst im Kohlenrevier die Steinkohle als Betriebsstoff für die Vergasung stellenweise verdrängen konnte, dürfte sich in den kommenden Jahren eine gegenteilige Entwicklung einstellen.

Wir müssen daher bedacht sein, die Vergasung backender Steinkohlen so zu gestalten, wie es die gegenwärtigen und zukünftigen Betriebsbedingungen erfordern. Diese sind gekennzeichnet durch: Hohe Löhne, Unlust zu schwieriger Arbeit, Mangel an geschulten Arbeitskräften, Schwierigkeit dauernder Überwachung. Wem fielen dabei nicht amerikanische Verhältnisse ein! Es sei deshalb die Entwicklung des amerikanischen Gaserzeugerbaues einer Prüfung unterworfen.

Amerika gilt als das Land der Mechanisierung. Es muß daher verwundern, daß sich dort der Drehrostgaserzeuger so außerordentlich

langsam einbürgerte. Man hatte zwar schon früher einer leichten und möglichst automatischen Entfernung der Asche sowie einer selbsttätigen Beschickung Aufmerksamkeit geschenkt (vgl. die bekannten Bauarten von Taylor, Morgan u. a.¹⁾), aber den Drehrost finden wir bis vor Kriegsbeginn kaum vertreten. Es erklärt sich dies aus zwei Umständen, welche in den Vereinigten Staaten ausschlaggebend sind. Man rechnet dort:

1. mit billigen Kohlen; Brennstoffverluste in der Asche sind daher nicht ausschlaggebend;
2. mit ungeschulten Arbeitskräften; es besteht daher die Gefahr des Verbrenens des Rostes und ähnlicher im Feuer liegender Teile, sowie unrichtiger Behandlung.

Sehr weitverbreitet ist die automatische Beschickung der Gaserzeuger (Bauart von Morgan) und schon frühzeitig finden wir das Streben nach selbsttätigen Rührwerken und Stochvorrichtungen²⁾. Die älteste Bauart von Talbot (1897) bzw. Frazer-Talbot nach Abb. 98 besitzt eine durch die Mittellinie des Gaserzeugers gehende mit Wasser gekühlte Achse, die mit horizontalen oder schwach geneigten

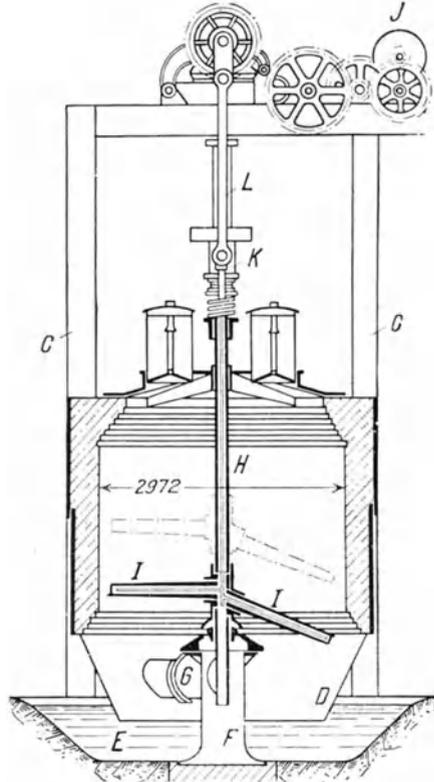


Abb. 98. Gaserzeuger von Frazer-Talbot.

Armen versehen ist; dieses Rührwerk wird in einer dauernden Bewegung gehalten, um die Brennstoffsäule aufzulockern. Wegen des hohen Kraftverbrauches und der vielen Brüche und Betriebsschwierigkeiten hat sich diese Bauart nicht bewährt und niemals in größerem Umfange einführen können.

Eine weitgehende Verbreitung hat dagegen die Bauart von Hughes³⁾ gefunden. Bei diesem Gaserzeuger trägt die Decke einen gleichfalls wassergekühlten Rührarm, und wird der Generatorschacht

¹⁾ Vgl. Körting über Gasgeneratoren. St. u. E. 1907, Nr. 20.

²⁾ Vgl. Denk: Die Entwicklung der amerikanischen Gaserzeuger. Feuerungstechnik. Jg. 2, S. 218.

³⁾ Vgl. Quasebarth: Der Gaserzeuger von Hughes. F. T. Jg. 1, S. 398.

mit dem gesamten Brennstoffinhalt gedreht. Der Rührarm selbst ist durch Vermittlung eines Klinkwerkes in schwingende Bewegung gesetzt, so daß im Verlaufe einer Umdrehung des Schachtes sämtliche Teile der Kohlschicht beeinflusst werden. Abb. 99 zeigt den Aufbau dieses

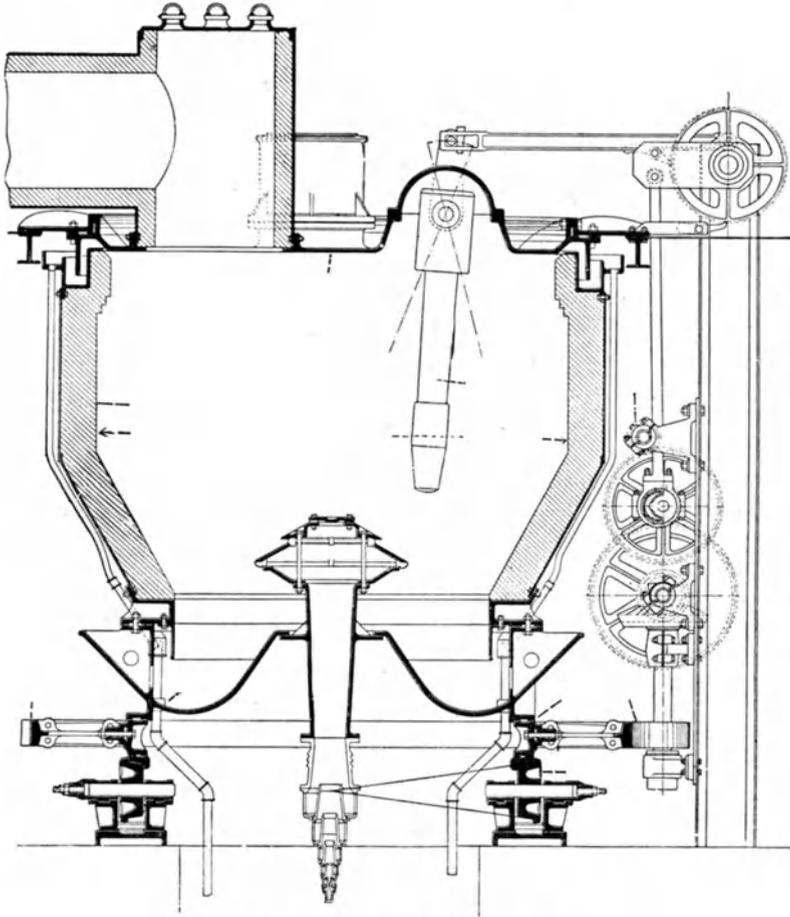


Abb. 99. Gaserzeuger von Hughes.

Gaserzeugers und läßt die Wirkungsweise der Einrichtung sehr gut erkennen. Ähnlich der Hughes-Stochvorrichtung ist auch die Bauart der Morgan Construction Co. In den letzten Jahren vor dem Kriege wurden dann noch neuere Bauarten entwickelt, wie z. B. der Gaserzeuger System Forter-Trump, welcher in Abb. 100a und b¹⁾ wiedergegeben

¹⁾ Nach Feuerungstechnik 1913/14, S. 220.

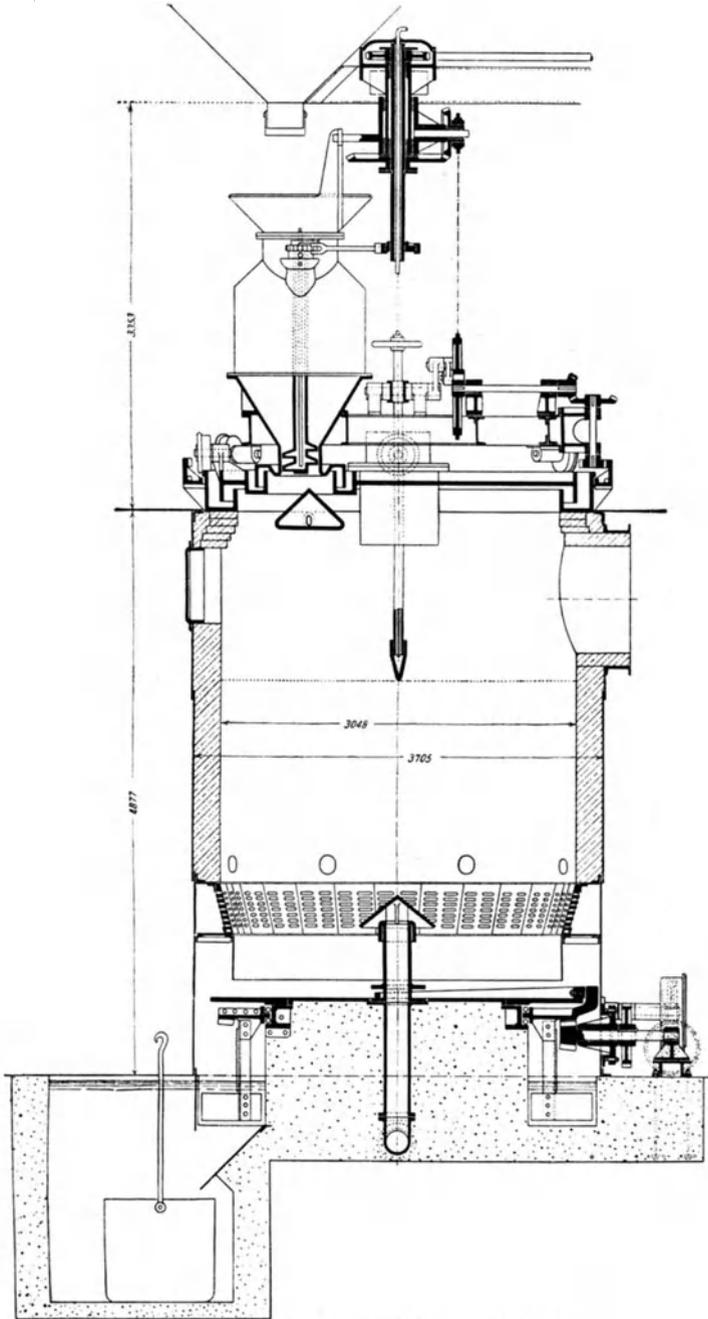


Abb. 100a. Gaserzeuger nach Forter-Trump.

ist, sowie der Gaserzeuger von Chapman, welcher aus Abb. 101¹⁾ zu ersehen ist. Die erstere Bauart besitzt eine drehbare Abschlußdecke,

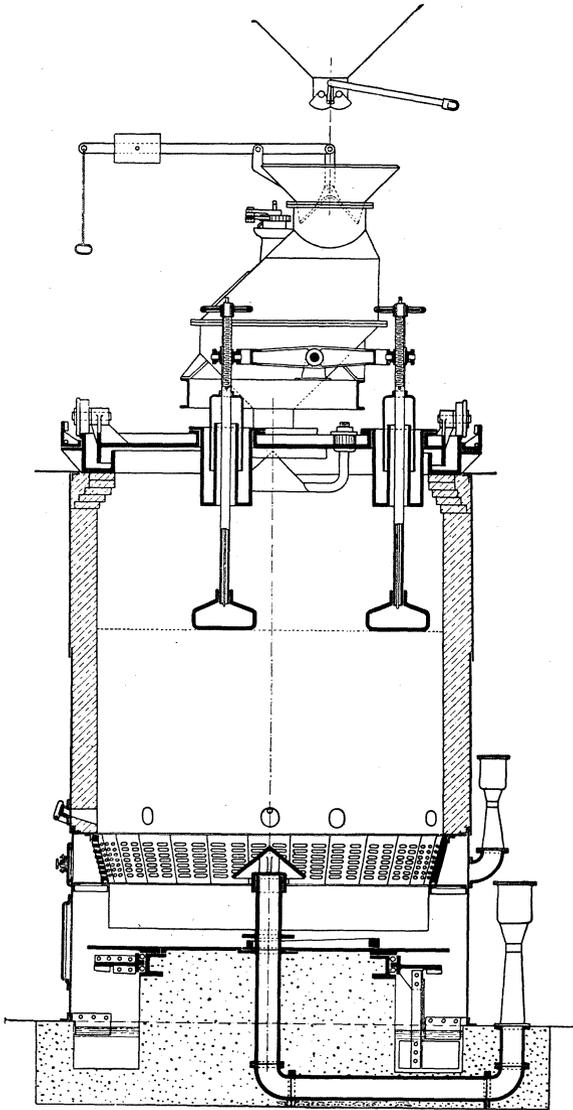


Abb. 100b. Gaserzeuger nach Forter-Trump.

gute Einebnung des Brennstoffes an. Durch die dauernde Bewegung werden vorhandene größere Kohlenstücke zerdrückt und

welche mit dem Fülltrichter und der Stochvorrichtung ausgestattet ist. Die Stochvorrichtung besteht aus zwei wassergekühlten, messerartigen, exzentrisch angeordneten Rührern, die sich während der Bewegung der Decke auf- und abbewegen, dabei in die Brennstoffschicht einschneiden, und dadurch die gebildeten Koksdecken zertrümmern. Die beiden Stocher beschreiben bei der Drehung eine kreisförmige Bewegung, und es verläuft die Bahn des einen nahe der Mitte, während die andere nahe am Rande liegt. Die Stocher können je nach Bedarf höher oder tiefer gelegt werden und werden bei richtiger Einstellung zugleich für die Einebnung des Brennstoffes benutzt. Die Bauart von Chapman verzichtet auf eine eigentliche Stochvorrichtung und strebt durch den an der Decke angeordneten Verteilungszylinder in Verbindung mit dem drehbaren Schacht eine

¹⁾ Nach Feuerungstechnik 1913/14, S 240.

dabei auch die gebildeten Koksbrücken zertrümmert, so daß auch diese Bauart eine wesentliche Erleichterung der Stocharbeit mit sich bringt.

Die vorstehend beschriebenen Bauarten sind nur einige ausgewählte und besonders charakteristische, um die Grundlinien der Entwicklung zu kennzeichnen. Ein Blick in die amerikanische Patentliteratur zeigt, welche große Aufmerksamkeit man der Entwicklung dieser Bauart gewidmet hat. Tatsache ist, daß vor dem Kriege mindestens 70% aller neu aufgestellten Gaserzeuger mit Stochvorrichtung versehen wurden. Die am meisten angewendete Bauart war die von Hughes, und es schwankte die Zusammensetzung des erzeugten Gases bei den verschiedenen Bauarten und den verschiedenen Brennstoffen (meist Förderkohle) nur wenig, und zwar in den Grenzen von

- 5 — 7 % CO₂
- 21 — 24 % CO
- 11 — 13 % H₂
- 2,5 — 4 % CH₄.

Zur Beurteilung der Verhältnisse mag folgendes dienen. Die Kohlenkosten waren meist niedrig. Die Herstellungskosten der Gaserzeuger waren etwa das 1,35fache derjenigen in Deutschland. Die Reparaturen waren sowohl wegen der teureren Herstellungskosten als wegen der kostspieligen Montage teuer. Die Lebensdauer der Rührarme war sehr beschränkt. Trotzdem finden wir die allgemeine Anwendung dieser mechanischen Einrichtung, weil die Löhne etwa das 2,5fache gegenüber Deutschland betragen und außerdem nur ungeschulte Kräfte zur Verfügung standen, da zu diesen schweren Arbeiten meist nur frisch eingewanderte Arbeiter herangezogen werden konnten. Bei einem Werk, welches Gaserzeuger mit und ohne Stochvorrichtungen im Betriebe hatte, zeigten die Betriebsaufzeichnungen folgende Ergebnisse:

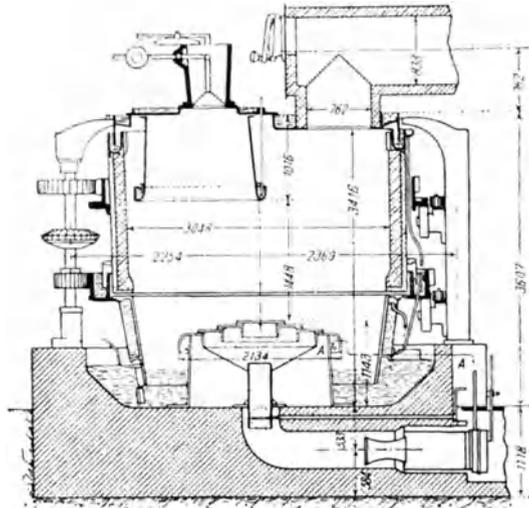


Abb. 101. Gaserzeuger von Chapman.

Kosten je Tonne	Duff-Gaserzeuger	Hughes-Gaserzeuger
Reparaturen	4 cts	14 cts
Löhne für Bedienung der Gaserzeuger	24 „	6 „
	<u>28 cts</u>	<u>20 cts</u>

Es bediente dort ein Mann 6 Hughes-Gaserzeuger bzw. 2 Duff-Gaserzeuger, und es war bei gleichen Schachtabmessungen der Durchsatz der ersteren 16 t, derjenige letzterer 10—12 t.

Wir haben heute hohe Löhne. Zudem ist die Stocharbeit keine beliebte. Es lohnt daher, einmal die Frage zu prüfen, ob für unsere heutigen Verhältnisse solche Einrichtungen in Frage kommen.

Als Grundlage mögen Betriebsaufstellungen von verschiedenen Anlagen mit Drehrostgaserzeugern dienen, welche der Verfasser unter den verschiedensten Arbeitsverhältnissen gesammelt hat. Es sind zwar Aufstellungen aus der Vorkriegszeit, welche heute der Höhe nach nicht maßgeblich sind; zu einem Vergleich sind sie aber besonders wegen der Genauigkeit außerordentlich geeignet, und es kann der bestehenden Verteuerung bei einem Vergleich Rechnung getragen werden.

Zahlentafel 29. Betriebskosten von Drehrostgaserzeugern.

	Vergasungsbrennstoff		
	Braunkohle	Magere Steinkohle	Backende Steinkohle
Löhne für Gaserzeuger	0,210	0,648	} 1,97
„ „ Aschenbeförderung	0,055	0,061	
„ verschiedene	0,028	—	
Instandhaltung, Löhne	0,227	} 0,425	} —
„ „ Material	0,127		
Putz- und Schmiermaterial	0,064	0,088	
Elektrische Kraft	0,175	0,252	0,103
Dampf	0,318	0,247	1,048
Wasser	0,007	—	—
Bruttounkosten	1,211	1,721	3,121
Amortisation und Verzinsung	0,52	0,85	1,55
Gehälter, Laboratoriumsanteil usw.	0,08	0,14	—
Vergasungskosten je t Mk.	1,811	2,711	4,671
Gasausbeute je t cbm	2000	3200	3600
Vergasungskosten je cbm Mk.	0,09	0,085	0,13

Man kann dabei für den in der letzten Zahlenreihe gegebenen Fall annehmen, daß etwa 1,10—1,20 Mk. für reine Generatorlöhne entfallen, während der Rest an Löhnen für Instandhaltung u. dgl. aufgewendet wurde. Der Betrag von 1,55 Mk. umfaßt nicht nur Amortisation und Verzinsung, sondern auch Instandhaltung (Material), Putz- und Schmiermaterial und allgemeine Unkosten.

Die Zusammenstellung zeigt anschaulich die Verhältnisse bei den verschiedenen Brennstoffen und insbesondere die Zusammenhänge zwischen Brennstoff und Löhnen. Wenn wir, um vergleichbare Ziffern zu erhalten, die reinen Bedienungslöhne auf 1 cbm Gas beziehen, so schwanken dieselben von 0,01 Pf. bei Braunkohle bis 0,03 Pf. bei backender Steinkohle. Der Unterschied beträgt somit bis zum Dreifachen.

Es ist aber anzunehmen, daß viele Werke noch höhere Lohnanteile aufzuweisen haben, denn allgemein rechnet man für einen Gaserzeuger mit 15 t Tagesleistung bei Steinkohle einen geschulten Bedienungsmann. Man sollte nun glauben, daß im Zusammenhang damit mindestens eine befriedigende Gaszusammensetzung erzielt wird; aber dies trifft kaum zu. Als große Durchschnittsanalyse bei Vergasung von Steinkohlen auf verschiedenen Anlagen kann gelten:

5 % CO_2
23—24 % CO

12—13 % H_2
2—3 % CH_4 .

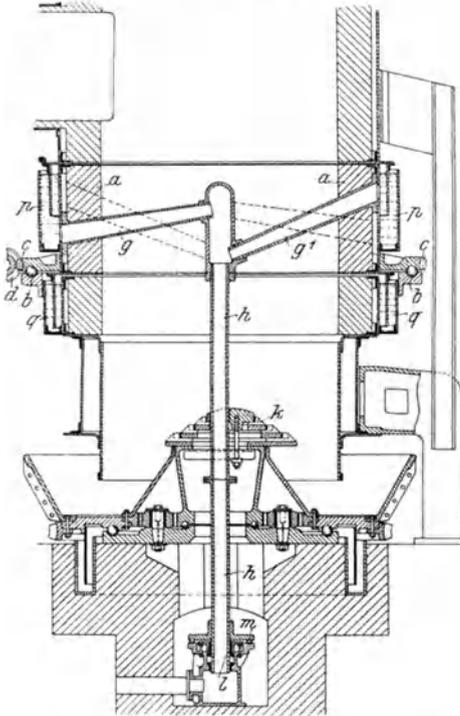


Abb. 102. Gaserzeuger mit Rührwerk
der Gute-Hoffnungs-Hütte.

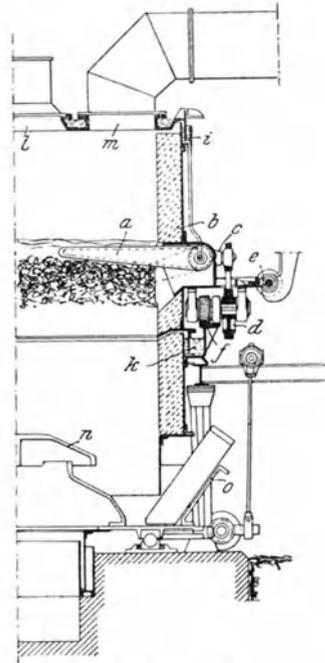


Abb. 103. Stochvorrichtung
der Poetter-G. m. b. H.

Auf vielen Werken ist jedoch die Gaszusammensetzung wesentlich schlechter. Während des Krieges wurden die Verhältnisse immer ungünstiger. Heute für die Bedienung der Gaserzeuger genügend geschulte Kräfte zu finden ist fast unmöglich. Eine Erleichterung der Bedienung würde daher nicht nur den Werken, sondern auch für die Arbeiter eine große Hilfe bedeuten.

Die gegenwärtige Gestaltung der Verhältnisse hat eine Entwicklung im vorstehenden Sinne noch nicht einsetzen lassen. Man hat sich

aber auch in Deutschland schon frühzeitig mit diesen Fragen beschäftigt. So sei auf das Patent von Wiedenbrüg (76967, 1894) verwiesen, der bereits fallende Stößel zum Stochen und Zertrümmern der Koksdecken vorschlug. Derselbe Grundgedanke liegt dem D.R.P. 77554 von Hall, Chicago, zugrunde.

Ähnlichkeit mit der Bauart von Talbot weist das D.R.P. 229879 (1909) der Gute-Hoffnungs-Hütte auf, das in Abb. 102 ersichtlich ist. Besser erscheint die Bauart der Poetter-G. m. b. H. nach D.R.P.

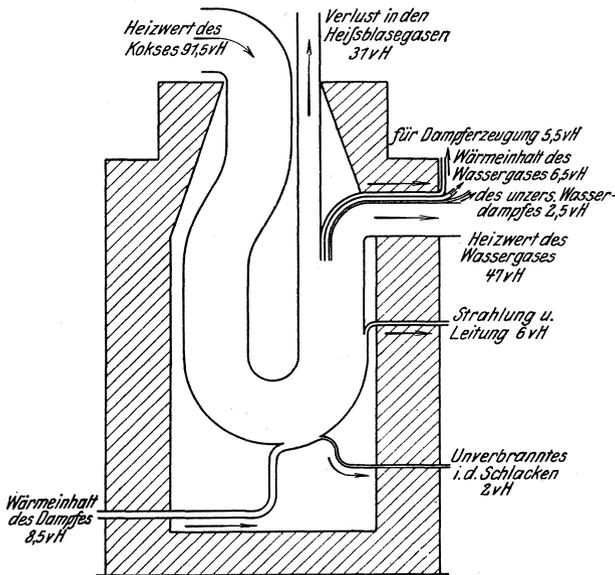


Abb. 104. Wärmebilanz des Wassergasverfahrens.

In dieser Hinsicht sei auch nochmals auf die Bestrebungen von Koppers (vgl. S. 133) verwiesen. Zusammenfassend erscheint als die aussichtsreichste Bauart die von Forter-Trump, und wäre eine Entwicklung in dieser Hinsicht sehr zu begrüßen.

h) Wassergaserzeuger, Doppelgaserzeuger, Dampfesselgaserzeuger.

Ebenso wie bei den Sauggasanlagen sind auch bei der Wassergaserzeugung meist einfache Planrostgaserzeuger in Verwendung. Oft läßt man sogar den Brennstoff auf der Schachtsohle aufrufen, weil sich bei dem heißen Gang leicht Verschlackungen bilden und der Rost leidet. Wegen der Eigenart des Verfahrens müssen die Wassergaserzeuger einerseits für hohen Winddruck gebaut sein, andererseits muß auf hohe Wider-

283196 (1913), welche in Abb. 103 wiedergegeben wird. Beide erfordern keine Erklärung. Erwähnenswert erscheinen noch die einfacheren Anordnungen von Dichmann (D.R.P. 238597, 1911) und Eyer mann (291225, 1913), die aber noch zu viel Handarbeit erfordern. Unter Berücksichtigung der amerikanischen Erfahrungen kann man jedenfalls sagen, daß horizontal bewegte Rührwerke keinen vollen Erfolg versprechen, während gerade die vertikale Bewegung vorteilhaft ist, wenn zugleich eine gewisse Planierarbeit durchgeführt wird.

standsfähigkeit der Steuerungsteile für die Umschaltung und auf völlige Dichtigkeit der Apparate Wert gelegt werden. Sowohl bei den oberen Füllöffnungen (Fülltrichtern) als auch bei den Schlacktüren verwendet

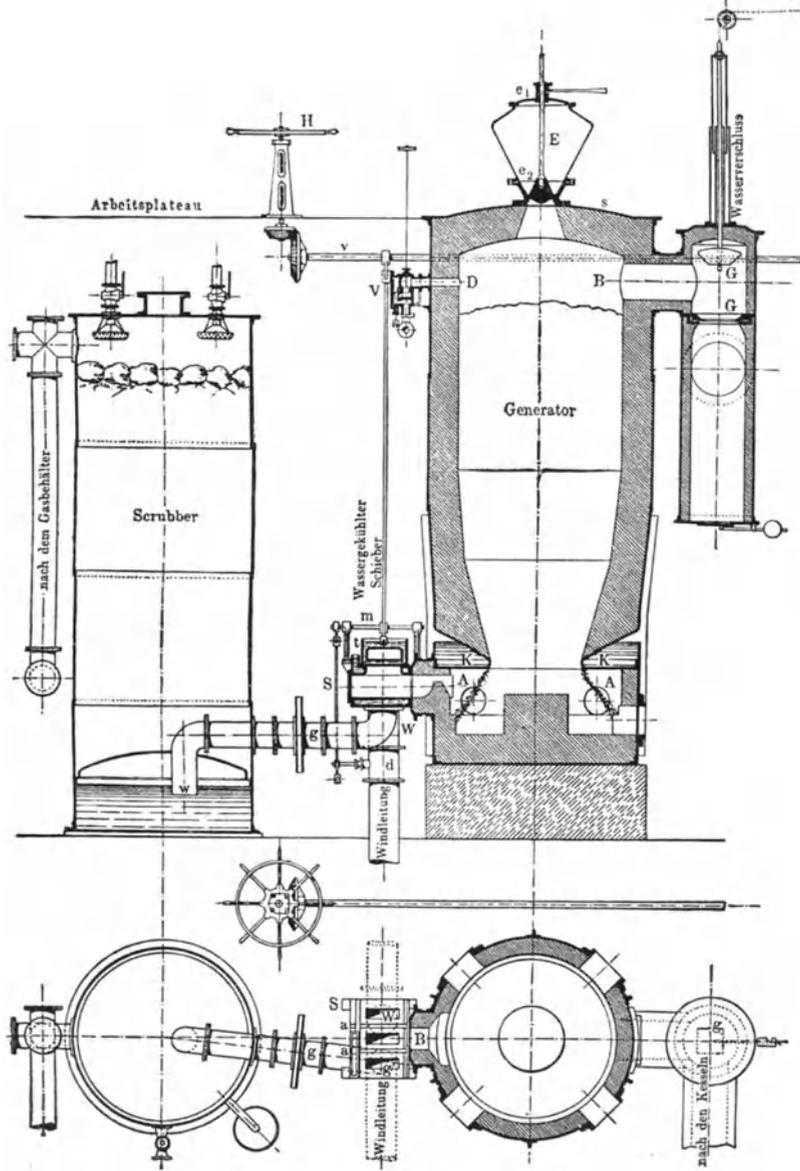


Abb. 105. Wassergasanlage nach Blaß.

man daher meist Morton-Verschlüsse. Das Abschlacken wird mittels Notrost vorgenommen und ist außerordentlich mühsam. Bei großen Gaserzeugern erfordert es 4 Mann und $\frac{1}{2}$ –1 Stunde, bei kleinen 1–2 Mann; alle 6, 8 oder längstens 10 Stunden ist dies zu wiederholen. Durch die oftmalige Schlackarbeit sind auch höhere Verluste in der Asche bedingt, so daß sich die Wärmebilanz des Prozesses nach prak-

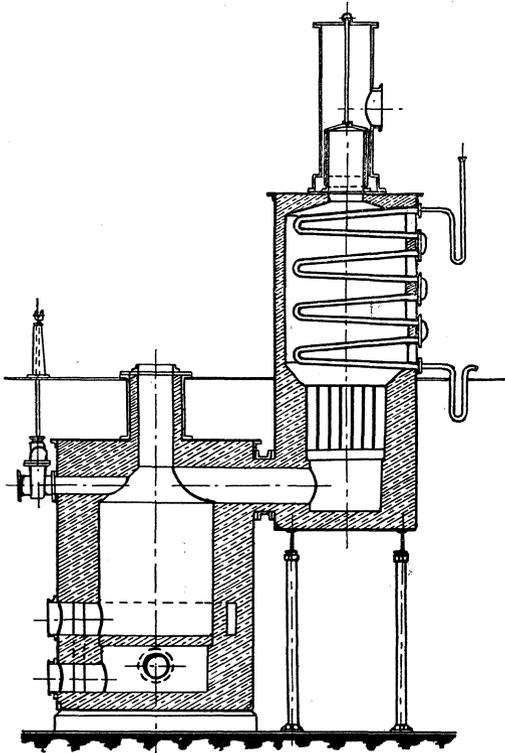


Abb. 106. Dellwickscher Wassergaserzeuger mit Verdampfer.

tischen Gesichtverhältnissen nicht günstig stellt, wie Abb. 104 nach Prof. Dr. Karl Bunte¹⁾ ersehen läßt; dabei sind oft die Verluste in den Schlacken noch höher, und der Wärmehalt des Wassergases sowie des unzersetzten Dampfes geht bei der unvermeidlichen Kühlung und Reinigung verloren.

Um das Festsetzen der Schlacken am Schachtmauerwerk zu vermeiden, wird der Unterteil oft mit einem Kühlring ausgestattet, wie der in Abb. 105 dargestellte, von Blaß konstruierte Apparat der Europäischen Wassergas A.-G. zeigt, eine Bauart, die von vielen Firmen (Pintsch A.-G., Warsteiner Gruben- und Hüttenwerke) übernommen wurde. Durch das Zurückspringen des Mauerwerkes unter dem

Kühlring soll eine gleichmäßige Windverteilung erzielt werden. Diese Bauart ist dadurch gekennzeichnet, daß das Warmblasen von unten nach oben, das Gasen mit Dampf stets von oben nach unten erfolgt.

Wesentlich anders sind die von Dellwick und Fleischer entworfenen Gaserzeuger gebaut, die einen Planrost besitzen, und welche nicht stets im gleichen Sinne, sondern abwechselnd gegast werden. Das Warmblasen erfolgt auch hier von unten nach oben, während das Gasen in beiden Richtungen erfolgen kann; aus diesem Grunde besitzt

¹⁾ Die Wärmewirtschaft auf Gaswerken. J. f. G. 1920, S. 477.

der Gaserzeuger zwei Gasauslässe, die eine zentrale Umschaltanlage erforderlich machen, um so eine zwangläufige Einstellung zu sichern. Bei den älteren Bauarten ist über dem auf der Arbeitsbühne angeordneten Abgasventil unmittelbar ein Schornstein angeordnet; da aber die Abgase nicht nur aus CO_2 bestehen, wie theoretisch angestrebt wird, sondern stets CO enthalten und mit hohen Temperaturen abziehen, so hat man versucht, diese verlorene Wärme für den Prozeß nutzbar zu machen, indem man nach den Vorschlägen Straches Verdampfer und Überhitzer für den Dampf einbaute. Ein solcher Verdampfer in Verbindung mit einem Dellwickschen Gaserzeuger ist in Abb. 106 dargestellt. Man kann damit indirekt erhebliche Mengen an Brennstoff durch den Wegfall der Kesselfeuerung sparen.

In neuerer Zeit hat man auch bei Wassergaserzeugern die Bauart des Drehrostes angewandt. Dieselbe mußte gerade in diesem Falle große Vorteile versprechen, da die häufige und schwierige Schlackearbeit und die damit im Zusammenhang stehenden Verluste wesentlich waren. Die Anwendung des Drehrostes machte zwar anfänglich Schwierigkeiten, da die Schüsseln für die hohen Winddrücke von 600 mm WS und darüber nicht ausreichten. Die Einführung der Drehrostgaserzeuger setzte daher erst dann ein, als man diejenige mit trockener Aschenaustragung (vgl. S. 184) durchgebildet hatte. Besonderes Verdienst gebührt auf diesem Gebiete der Bamag und der Firma J. Pintsch A.-G. Durch die Einführung der Drehrostgaserzeuger gelang es auch die Leistungen der älteren Gaserzeuger, welche 180—200 cbm Wassergas = 100—120 kg Koks je Std. betragen, wesentlich zu steigern, ja beinahe zu verdoppeln.

Bei den Wassergasanlagen liegt der Schwerpunkt mindestens ebenso sehr auf den Nebeneinrichtungen wie in der Gaserzeugerbauart selbst. Es kann aber im Rahmen dieses Buches nicht näher auf diese Details eingegangen werden (z. B. Schaltungen, Dampfschlußmelder, Reinigungs- und Karburiereinrichtungen¹⁾). Dagegen sollen noch die Bauarten erwähnt werden, die auf die Verwendung roher Brennstoffe anstatt Koks beim Wassergasprozeß hinzielen (vgl. S. 75). Hierher gehört in erster Linie der von Strache entworfene und 1913 in Bergedorf bei Hamburg erprobte Doppelgaserzeuger, der in Abb. 107 gezeigt

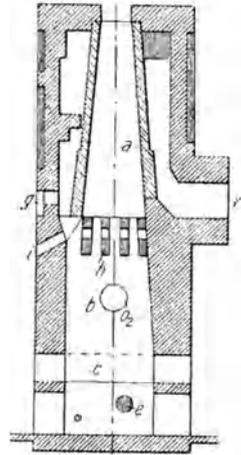


Abb. 107. Doppelgaserzeuger von Strache.

¹⁾ Vgl. Handbuch der Gastchnik. Bd. 9. Oldenbourg.

ist. Dieses Bild läßt anschaulich sowohl den Grundgedanken, als auch die Lösung der Aufgabe erkennen; über dem Gaserzeuger ist unmittelbar eine Retorte aufgebaut, welche mittels des heiß abziehenden Warmblasegases durch die Außenwand hindurch erhitzt werden sollte, um den rohen Brennstoff zu verkoken, bevor er in den Generatorschacht gelangte. Oberhalb der Schlitzte, welche vom Schacht in die Heizkanäle münden, um den Übertritt der Warmblasegase zu ermöglichen, ist eine sekundäre Luftzuführung angeordnet, um die CO-haltigen Abgase vollständig zu verbrennen. Das Destillationsgas tritt oben neben dem Fülltrichter aus der Retorte aus, wobei dieser Abzug so weit gedrosselt wird, daß nicht gleichzeitig Warmblasegas durch die Retorte geht. Das Gasen erfolgt bei diesem Gaserzeuger in gleichem Sinne wie das Warmblasen von unten nach oben, und strömt das Wassergas durch die Retorte, um die Verkokung schneller auszuführen und die Destillationsgase abzuleiten. Die ersten Versuche zeigten bereits, daß dieser Weg durchführbar ist, da die Verkokung bei der Innenheizung bereits in etwa 2 Stunden vollendet ist, während sie in von außen beheizten Retorten mindestens 4 bis 6 Stunden in Anspruch nimmt.

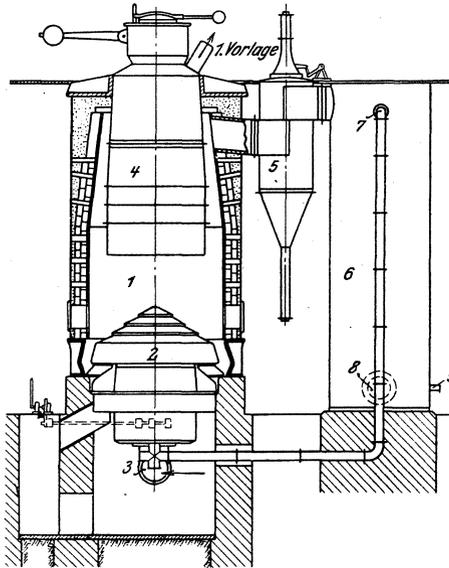


Abb. 108. Neue Bauart des Doppelgaserzeugers.

Leider haben die ungünstigen Betriebsverhältnisse (halbtägiger Betrieb) die Versuche nachteilig beeinflusst und die Entwicklung der Bauart verzögert. Neue Versuche in Wien-Simmering (1916) bestätigten jedoch die Erwartungen, und die neuere Bauart des Doppelgaserzeugers nach Abb. 108 ergab zufriedenstellende Ergebnisse, die gerade in der Zeit des Kohlenmangels nach dem Kriege zum Bau weiterer Anlagen geführt haben, die sich wirtschaftlich gut bewährten. Bei dieser neuere Bauart¹⁾ verzichtet man auf die Außenbeheizung der Retorte, die den bei der Urteergewinnung gewonnenen Erfahrungen nachgebildet ist und nutzt die fühlbare Wärme des Warmblasegases in dem nachgeschalteten Überhitzer aus. Auch legt man keinen grundsätzlichen Wert mehr

¹⁾ Vgl. Strache: Das Doppelgas und seine Verwendung in Gaswerken. J. f. G. 1920, S. 230.

darauf, die Ausströmung von Warmblasegas durch die Retorte zu vermeiden, weil die Verschlechterung des Gases durch den Stickstoffballast insofern unwesentlich ist, als die Warmblaseperioden nur 1 bis 2 Minuten gegenüber 6—8 Minuten Gasungszeit dauern. Gerade bei minderwertigen Brennstoffen zeigte es sich auch, daß die fühlbare Wärme des Wassergases für die Destillation und notwendige Vortrocknung des rohen Brennstoffes nicht ausreicht; man kann dieses Manko einerseits durch eine möglichst starke Überhitzung des Dampfes wettmachen; einfacher ist es jedoch, wenn man einen Teil des Warmblasegases (das in der Zusammensetzung Luftgas entspricht) durch die Retorte leitet. Daß dies der Fall ist, zeigen sowohl die Analysen bestehender Doppelgasanlagen als auch eine Nachrechnung der thermischen Verhältnisse.

Während man diese Beimischung beim Doppelgasverfahren nur als Ausweg benutzt, wird sie beim sogenannten Trigasverfahren der Dellwick-Fleischer Wassergas-Ges. bewußt durchgeführt. Auch bei diesem Verfahren hat man Gaserzeuger mit Drehrosten verwendet wie bei den neueren Doppelgasern, und zwar zwei Roste, da im Unterteil zwei getrennte Schächte vorhanden sind und man das Heißblasen von oben nach unten, zugleich aber auch über die Trennwand der beiden Schächte gemäß Abb. 109 durchführt¹⁾. Die Entwicklung des Grundgedankens ersieht man aus den D.R.P. 275221, 278512, 286600, 287252 und 294333 aus den Jahren 1913—1915. Reicht die fühlbare Wärme des Wassergases für die Destillation nicht aus, so wird aus den mittleren Luftzulässen zugeblasen und so Generatorgas dem Gemisch von Wasser- und Destillationsgas beigemischt. Das Trigasverfahren hat infolge seiner komplizierten Gaserzeugerbauart und Betriebsweise nicht so gut entsprochen wie das Doppelgasverfahren von Strache, und werden jetzt beide Verfahren vereinigt von der A.-G. für restlose Vergasung in Frankfurt a. M. ausgeführt.

Um ein Beispiel für die Wirkungsweise des Doppelgasverfahrens zu geben, seien die nachfolgenden, bei der Vergasung von Steinkohle der Emmagrube (O.-S.) in Graz gewonnenen Ergebnisse²⁾ im Auszug

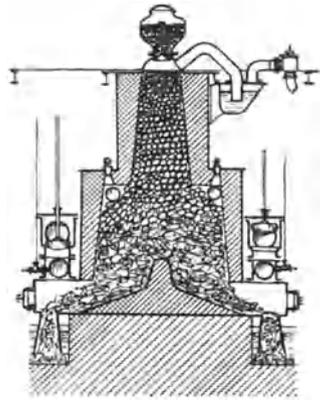


Abb. 109. Schema eines Trigas-gaserzeugers.

¹⁾ Vgl. Dolensky: Wirtschaftliche Kohlenverwertung (vollkommene Auflösung der Kohle). Selbstverlag Frankfurt a. M., sowie Dolensky: Dauerbetriebsergebnisse im Trigasverfahren. J. f. G. 1919, H. 20.

²⁾ Strache, Breisig und Groß: Wärmebilanz des Doppelgaserzeugers. J. f. G. 1920, S. 399.

angeführt. Erzeugt wurden aus 8115 kg Trockengewicht Kohle und 1145 kg Koks (zum Auffüllen nach dem Schlacken) insgesamt 12630 cbm Doppelgas (0° und 760 mm) mit einem durchschnittlichen unteren Heizwert von 3826 WE. Die Zusammensetzung des H₂S-frei gerechneten Gases war

7,8 % CO ₂	50,1 % H ₂
33,8 % CO	2,3 % N ₂
5,0 % CH ₄	0,2 % O ₂
0,8 % C _n H _m	

Die Bilanz stellte sich wie folgt:

1. Aufgewendet:	
a) fühlbare (Eigen-) Wärme des Brennstoffes	0,1 %
" " " " Dampfes	0,8 %
" " " " der Luft	0,4 %
b) Verbrennungswärme des Brennstoffes	98,7 %
	100,0 %
2. Abgeführt:	
a) fühlbare (Eigen-) Wärme des Doppelgases	2,2 %
" " " " Dampfes	1,4 %
" " " " Teerdampfes	0,1 %
" " " " der Abgase	6,6 %
" " " " Schlacke	0,1 %
b) $\frac{1}{2}$ Verbrennungswärme des Doppelgases	60,2 %
" " " " der Abgase	7,3 %
" " " " des Teeres	8,3 %
" " " " C in Schlacke und Flugasche	3,3 %
	100,0 %

Nutzbar gemacht sind somit 60,2% im Gas und 8,3% im Teer, zusammen 68,5%, was wesentlich mehr ist als beim Wassergasprozeß erreichbar.

Es wurde im vorstehenden bereits der Vorschläge gedacht, die fühlbare Wärme des Warmblasegases zur Dampferzeugung und Dampfüberhitzung zu verwenden. Dieses Bestreben zeigte sich auch bei gewöhnlichem Generatorgas dann, wenn die fühlbare Wärme sehr hoch war und die Gase mit Rücksicht auf den Verwendungszweck gereinigt werden mußten. Das ist besonders auf den Gaswerken bei der Koksvergasung der Fall, und es wurden daher beim Bau der Gasanstalt Wien-Leopoldau (1911) gemäß einer Anregung von H. Koppers die älteren Vorschläge wieder aufgenommen, den Gaserzeuger im Oberteil als Dampfkessel auszubilden. Obwohl die erste Ausführung in baulicher Hinsicht nicht ganz entsprach¹⁾, so zeigte sich doch die Richtigkeit des Verfahrens in dem besonderen Falle, und ist die neuere Bauart als Dampfkesselgaserzeuger nach Marischka bekanntgeworden und in Abb. 110 wiedergegeben.

¹⁾ Vgl. Ernst: Generatordampfkessel. Z. d. Dampfkr. Unts. u. Vers. Ges. Jg. 1921, H. 3—4.

Der als Feuerbüchse dienende Unterkessel von etwa 2,5 m Höhe ist im Wasserraum gegenüber der ersten Bauart von 178 mm auf 500 mm verbreitert und trägt nach oben ringförmig angeordnet ein Wasserrohrbündel von 600 mm Höhe, durch welches das Gas seitlich abströmt. Die Wasserrohre münden in einen gleichfalls ringförmigen Obermantel von 930 mm Höhe, der zugleich Dampfraum ist. Die Konstruktion wahrt die glatte zylindrische Schachtform des Gaserzeugers und trägt auf einer einfachen Abdeckplatte den Fülltrichter. Die Generatorgase umspülen nach dem Passieren des Rohrbandels den Unterkessel nochmals von außen und werden aus dem ringförmigen, mit feuerfestem Material geschützten Sammelraum unten abgeführt. Die Bauart zeigt bei einer etwas kleineren Heizfläche von 55 qm (gegen 60 qm) einen größeren Wasserinhalt und weist sowohl in konstruktiver als auch in betrieblicher Hinsicht erhebliche Vorteile gegenüber der ersten Bauart auf. Eine andere Bauweise ist beispielsweise von Dr. Otto & Co., Dahlhausen¹⁾, ausgebildet worden und ist in Abb. 111 dargestellt. Die Röhrenkessel sind unmittelbar hinter

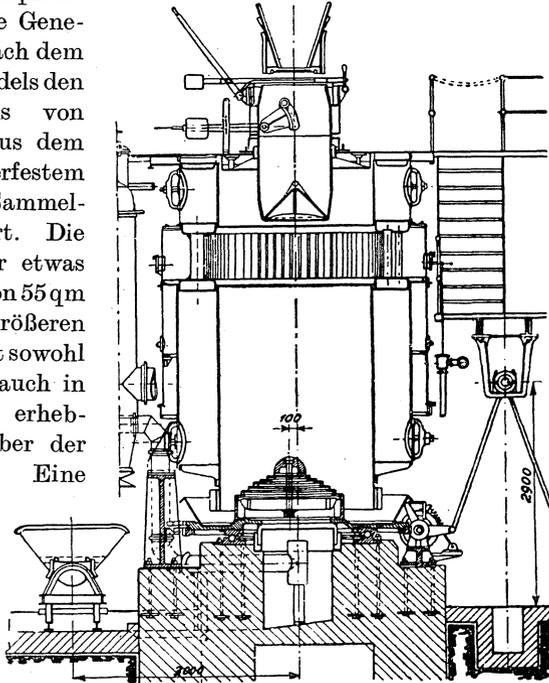


Abb. 110. Drehrost-Dampfkesselgaserzeuger nach Marischka.

die Gaserzeuger geschaltet und dienen zugleich als Staubsäcke. Ähnliche Anordnungen wurden auch von anderen Firmen gewählt, und erlaubt letztere Lösung die Zusammenfassung der Dampfkessel in zentraler Weise für mehrere Gaserzeuger, und wäre noch zu untersuchen, ob der Zusammenbau von Gaserzeuger und Dampfkessel wirtschaftlich günstiger ist als die Anlage zentral angeordneter Kessel nach Art der Abhitzeessel in der Gassammelleitung solcher Anlagen; denn die Anlagekosten der Generatordampfkessel sind so außerordentlich hohe, daß nur ein wesentlich besserer Wärmewirkungsgrad deren Anschaf-

¹⁾ Vgl. Gasinstitut Karlsruhe: Beheizung von Kammeröfen des Gaswerkes Kiel mit Zentralgeneratoren. J. f. G. 1920, S. 589.

fung rechtfertigen könnte. Bei den vielfach gesteigerten Anschaffungs- und Instandhaltungskosten der Jetztzeit haben sich daher vielfach solche brennstoffsparende Einrichtungen nicht einführen oder behaupten können, und es dürfte daher für eine günstige Weiterentwicklung auf diesem Spezialgebiet notwendig sein, den gleichen oder wenigstens einen annähernd gleich guten Erfolg mit wesentlich billigeren Einrichtungen zu erzielen.

Es sei schließlich noch auf die Wärmeverteilung bei solchen Anlagen hingewiesen. Nach Untersuchungen von Dr. Bunte und seinen

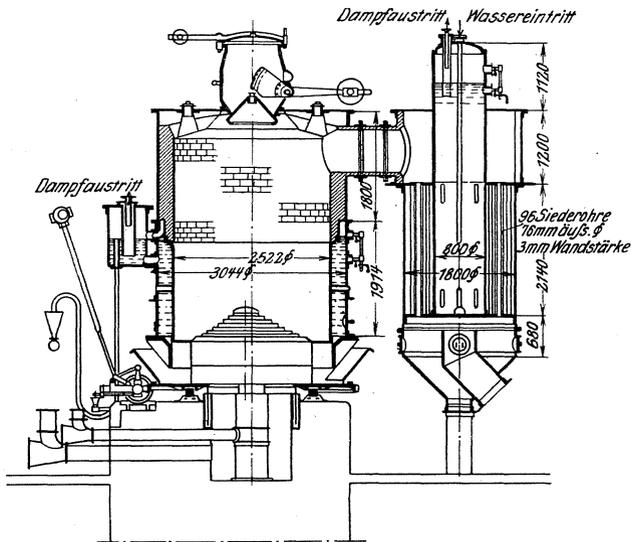


Abb. 111. Drehrostgaserzeuger mit Verdampfer von Dr. Otto & Co.

Mitarbeitern auf den beiden genannten Anlagen in Wien und Kiel zeigte sich folgendes. Bei dem Marischka-Dampfkessel in Wien wurden 81,93% im Gas und 15,99% in Dampfform gewonnen; als fühlbare Wärme im Gas verbleiben 2,45%, und sind somit 78% der ursprünglich fühlbaren Wärme nutzbar gemacht. Der Strahlungsverlust des Gaserzeugers betrug 1,69%. Bei der Anlage von Dr. Otto & Co. in Kiel wurden 81,1% im Gas und 10,0% in Dampfform gewonnen. Als fühlbare Wärme verblieben 5,1%, der Strahlungsverlust betrug 5,9%; demgemäß wurden bei der getrennten Anordnung von Gaserzeuger und Dampfkessel nur etwa 66% der fühlbaren Wärme ausgenutzt, und geht ein erheblicher Teil der fühlbaren Wärme durch Strahlung verloren. Immerhin ist die Eigenwärme in beachtenswertem Umfange nutzbar gemacht, und zwar bei zweifellos geringeren Anlagekosten. Der Dampfkesselgaserzeuger von Marischka dürfte daher nur in Sonderfällen

zweckmäßig sein, abgesehen davon, daß sich die Bauart ja bei allen teerhaltigen Gasen verbietet, da eine außerordentlich schnelle Verschmutzung des Dampfkessels eintreten würde. Wenn man bei anderen Gasarten, wo nur sehr wenig Teer im Gas vorhanden ist, ähnliche Anordnungen wünscht, so wird man die getrennte Bauart schon aus dem Grunde vorziehen, weil eine Reinigung wesentlich leichter ist. Wir sehen daher auch die getrennte Anordnung sehr häufig bei Sauggasanlagen und dort besonders aus dem Grunde, weil man meist eine andere Dampfquelle nicht zur Verfügung hat.

In ähnlicher Weise könnte man Dampfkessel für die Beschaffung des Dampfes, der für die Vergasung benötigt wird, auch bei anderen Brennstoffen dann berücksichtigen, wenn man die teearmen Heißgase getrennt abzieht (vgl. S. 257).

3. Betriebsergebnisse einzelner Bauweisen und Verfahren.

a) Allgemeines.

Im vorigen Abschnitt habe ich mich auf die Beschreibung der einzelnen Bauweisen beschränkt und will im nachfolgenden zusammenfassend über die Betriebsergebnisse berichten. Gerade in dieser Hinsicht ist aber eine kritische Stellungnahme sehr notwendig. Man trifft sehr oft die Ansicht, daß eine gute Gaszusammensetzung das Kennzeichen eines guten Gaserzeugers ist und umgekehrt; tatsächlich ist ein gutes Gas meist nur der Beweis einer richtigen Behandlung, also der richtigen Durchführung des Verfahrens, und setzt nur selbstverständlich eine entsprechende Ausführung voraus. Die Gaszusammensetzung hängt aber im wesentlichen vom Brennstoff und von dem angewendeten Verfahren ab. Arbeitet man z. B. aus einem bestimmten Grund mit höherem Dampfzusatz, so wird die Gaszusammensetzung unbedingt etwas ungünstiger ausfallen, jedenfalls der CO_2 -Gehalt ein höherer sein. Trotzdem kann und ist meist der Wirkungsgrad ein besserer als bei geringerem Dampfzusatz und auch der Gasheizwert leidet im allgemeinen keinen Schaden. Man darf daher bei der Beurteilung sich niemals auf einzelne Zahlen beschränken. Sehr anschaulich geht dies aus den Zahlentafeln 19 und 21 hervor, auf die hier verwiesen sei.

Ferner muß man sich bei jedem Gaserzeuger vor Augen halten, daß die tatsächlichen Verluste nur geringe sind, wie noch später ausgeführt wird; eine schlechtere Gaszusammensetzung oder geringere Gasausbeute steht daher meist mit einer Erhöhung der fühlbaren Wärme im Zusammenhang; letztere kann einen Verlust bedeuten, muß dies aber nicht sein; im Gegenteil legt man manchmal auf einen hohen An-

teil an fühlbarer Wärme Wert. Man kann daher ein Verfahren abschließend nur auf Grund einer vollständigen Wärmebilanz beurteilen, und gerade in dieser Hinsicht lassen viele Veröffentlichungen zu wünschen übrig. Da sie meist Paradeversuche betreffen, so ist nichts verfehlter, als sich bei der Beurteilung auf solche Einzelzahlen zu stützen; jedes Ergebnis hat seinen Grund, und nur wenn dieses nicht auf Verfahren und Brennstoff zurückgeführt werden kann, besteht die Möglichkeit, es der Bauart zuzuschreiben. Meist legt man auf die Bauart einen zu großen Wert, denn in der Regel handelt es sich kaum um wesentliche Unterschiede, sondern nur um Verbesserungen der Detailkonstruktion, die sich in den seltensten Fällen in der Gaszusammensetzung, eher noch in der Wärmebilanz, meist aber nur in den Instandhaltungskosten u. dgl. auf Grund längerer Betriebsergebnisse zeigen. Ich habe mich daher in dem vorhergehenden Abschnitt auf die Anführung der wesentlichen Merkmale und Unterschiede beschränkt und vermeide es daher, Betriebsergebnisse einzelner Bauarten anzuführen, insoweit sie nicht für die Charakteristik wichtig erscheinen. Es liegt mir lediglich daran, typische Beispiele zu geben, und kann unter Benutzung der früheren Ausführungen jedermann besondere, ja selbst absonderliche Fälle wohl richtig beurteilen und bewerten, wenn das vorstehend Gesagte beherzigt wird.

In erster Linie werden die Betriebsergebnisse von dem Zustande des Brennstoffbettes abhängig sein, worüber bereits auf S. 92 ff. eingehend gesprochen wurde. Betrachten wir zuerst die Vergasungsleistung: diese wird gewöhnlich je Quadratmeter Schachtfläche und Stunde angegeben. Bei Gaserzeugern mit erweitertem Schacht wird man dabei die Größe des Horizontalschnittes in etwa 500—800 mm Abstand von der Mitte des Rostes zugrunde legen. Die Leistung hängt weitgehend vom Brennstoff und insbesondere von seiner Korngröße und von den dadurch bedingten Widerständen der Brennstoffsäule gegenüber dem durchtretenden Wind- bzw. Gasstrom ab. Denn die anzuwendenden Drucke sind nicht nur durch die Bauart der Gaserzeuger bedingt (Wasserverschlüsse), sondern dürfen ein bestimmtes Maß nicht überschreiten, weil sich bei ungleichmäßiger Beschickung zu leicht Kanäle bilden, in denen die Luft ohne genügende Umsetzung durchtritt, so daß Oberfeuer, also ein Verbrennen von Gas im Gasraum des Gaserzeugers, auftritt. Die Folge davon ist eine schlechte Gaszusammensetzung und hohe Gastemperatur. Da die Beschickung besonders am Rand stets weniger dicht liegt, so ist der größtmögliche Winddruck bei normalen Brennstoffen etwa 250—400 mm WS, bei sehr feinkörnigen kann man bis 600 mm gehen, und nur bei besonderen Bauarten wird man bis zu 1000 mm steigen können. Das Gesagte gilt für Druckgasanlagen, wie sie für alle Heizgasanlagen und auch mehr und mehr für Kraft-

gasanlagen in Anwendung stehen. Dagegen wird man bei Sauggas-
anlagen nur einen geringeren Druckunterschied überwinden können,
der etwa 60—100 mm WS beträgt; aus diesem Grunde ist man hier auf
grobkörnige Brennstoffe angewiesen.

Zahlentafel 30. Vergasungsleistungen verschiedener Bauarten
bei verschiedenen Brennstoffen.

Durchsatz in t je 24 Stunden bei Vergasung von	Gaserzeugerbauart		Planrost- sauggas			Gaserzeuger mit fester Windhaube			Drehrost- gaserzeuger		
	Schachtdurchmesser in mm		600	1000	1500	2000	2500	2100	2600	3000	
	Schachtquerschnittfläche qm		0,283	0,785	1,767	3,142	4,91	3,46	5,31	7,07	
Nußkoks, 20—40 mm Korn . .	0,4	1,2	5	8	12	14	20	25			
Anthrazit, 8—20 mm Korn . .	0,6	2,0	6	8	12	12	18	24			
Fördersteinkohle	—	—	3	5	8	10	14	18			
Westfälische Flammkohle, Nuß .	0,6	2,0	5	9	12	12	16	22			
Magerkohle, gewaschene Nuß . .	0,7	2,4	5	9	12	14	18	24			
Backende Steinkohle, Würfel . .	—	—	—	6	9	10	14	18			
Böhmische Braunkohle, Nuß II .	1,0	3,0	8	12	20	18	25	32			
Braunkohlenbrikett	0,6	2,0	6	10	16	14	22	28			
Lignit, stückig	—	—	6	10	16	16	24	30			
Mitteldeutsche Knorpelkohle . .	—	—	5	8	12	12	18	22			
Mitteldeutsche Rohkohle	—	—	4	5	8	8	12	15			
Maschinentorf gebrochen	0,6	2,0	6	10	16	14	22	28			
Aschenreiche Abfallkohle	—	—	—	5	8	10	15	20			

In Zahlentafel 30 sind einige Vergasungsleistungen für verschiedene
Schachtdurchmesser und verschiedene Brennstoffe angeführt, die nach
dem Gesagten nur ungefähre mittlere Werte darstellen können. Bei
normalen Brennstoffen kann man für Sauggasanlagen mit 50 bis
60 kg/qm/Std., bei gewöhnlichen Druckgaserzeugern mit 60—100, bei
Drehrostgaserzeugern mit 100—200 kg rechnen.

Die Leistung ist naturgemäß auch abhängig von der angestrebten
Gasqualität, bzw. umgekehrt. Je langsamer der Gaserzeuger betrieben
wird, desto günstiger wird die Gaszusammensetzung. Die in der Zahlen-
tafel angegebenen Leistungen lassen sich jedoch ohne Anstrengung
erreichen.

Wie sehr die Belastung für die Gaszusammensetzung und den Wir-
kungsgrad des Gaserzeugers ausschlaggebend ist, kann man im Betrieb
immer wieder feststellen; daß aber auch umgekehrt ein zu langsam be-
triebener, bzw. zu schwach belasteter Gaserzeuger ungünstige Ergebnisse
zeigt, wird seltener beobachtet. Trotzdem trifft es zu und ist auch er-
klärlich; je geringer nämlich der Winddruck, was bei jeder Drosselung
des Betriebes notwendig ist, desto leichter schalten einzelne Partien
des Schachthaltens, deren Widerstand eben größer ist, aus; der an-
gewendete Druck genügt nicht für den Brennstoff. Die Folge ist gerade
in solchen Fällen eine leichte Kanalbildung, die um so mehr unter-

stützt wird, weil die Abführung der Asche und die notwendige Auflockerung der Rückstände seltener ausgeführt wird. Obwohl dieser Umstand bei dem mechanischen Drehrostgaserzeuger an Bedeutung verliert, so kann die fortschreitende Minderung auch bei diesen eintreten, wenn eine dauernde Leistungsverringerung verlangt wird. Noch viel mehr ist dies bei Planrostgaserzeugern der Fall, und zeigt die folgende Zahlentafel 31 ein solches Beispiel von einer mit hochwertigem Anthrazit (7715 Kal. Heizwert) betriebenen Sauggasanlage der Firma Pintsch in Fürstenwalde.

Zahlentafel 31. Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Belastung.

Belastung cbm Gas/Std.	Unterer Heizwert Kal./cbm	Gasausbeute cbm/1 kg Anthrazit	Wirkungsgrad des Gaserzeugers
24,9	954	5,53	0,683
30,9	1087	5,11	0,721
43,6	1188	5,46	0,840
81,6	1203	5,64	0,880

Zahlentafel 32. Gaszusammensetzung und Wirkungsgrad bei verschiedenen Brennstoffen.

	Brennstoff						
	Anthrazit		Koks		Braun- kohlen- briketts	Braun- kohle	
Unterer Heizwert des Brennstoffes Kal./kg	7630	7630	7000	7000	4839	4212	
Eingeblassener Wasserdampf kg/kg	0,486	— ¹⁾	0,345	— ¹⁾	— ²⁾	0,214	
Absoluter Dampfdruck Atm.	7,9	—	8,0	—	—	7,8	
Erzeugte Gasmenge (15 ⁰ 1 Atm.) cbm/kg	5,34	5,45	5,26	5,43	3,47	2,49	
Gaszusammensetzung	CO . . . %	27,9	27,1	29,9	30,6	20,8	27,0
	H ₂ . . . %	16,5	8,9	8,8	1,4	16,2	13,5
	CH ₄ . . . %	0,9	1,3	0,1	0,0	1,4	4,9
	C ₂ H ₄ . . . %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3
	CO ₂ . . . %	3,4	3,2	2,4	0,9	9,2	4,7
	O ₂ . . . %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,2
N ₂ . . . %	51,3	59,5	58,8	67,1	51,7	49,2	
Brennbare Bestandteile . . . %	45,3	37,3	38,8	32,0	38,6	45,7	
Unterer Heizwert des Gases (15 ⁰ 1 Atm.) Kal./cbm	1198	1035	1045	889	1107	1495	
1 kg Kohle liefert im Gas . Kal.	6390	5640	5500	4810	3840	3700	
Auf 1 qm Schacht werden stünd- lich vergast kg	122,0	89,3	214,0	209,0	184,5	108,1	
Wirkungsgrad des Gaserzeugers	0,80	0,73	0,76	0,69	0,79	0,77	

¹⁾ Luftgas.

²⁾ Sauggas. Zusatzdampf wird durch strahlende Wärme auf eine freie Wasserfläche erzeugt, wurde nicht bestimmt.

Zahrentafel 33. Gasanalysenverlauf während einer Beschickungsperiode (mit großer Füllung, Braunkohlenbriketts).

	Zeit						Kurz vor dem Füllen
	10 ⁴⁰	11 ¹⁰	11 ²⁵	11 ⁴⁵	12 ⁰⁵	12 ⁴⁵	
CO ₂	7,6	8,0	8,6	9,0	9,0	8,6	4,8
O ₂	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2
CO	27,6	25,6	24,0	23,0	21,0	23,2	27,0
H ₂	13,8	14,4	13,0	11,8	11,2	11,2	7,0
CH ₄	4,8	4,0	4,8	5,4	6,2	6,6	6,2
Kal.	1607	1430	1477	1467	1460	1663	1535
Gastemperatur . .	250	310	310	325	335	385	450
Taupunkt	52	52	52	50,5	50	48,5	—

Ein sehr anschauliches Beispiel für die Abhängigkeit der Gaszusammensetzung von den Brennstoffen, bzw. dem angewendeten Verfahren gibt die in Zahrentafel 32 wiedergegebene Zusammenstellung von Kurt Neumann¹⁾. Man sieht daraus, daß eine gute Gasanalyse keineswegs ein Kriterium für hohen Wirkungsgrad ist und wird daher eine genaue Prüfung der Gasanalysen zweckmäßig erachten (vgl. S. 86 ff.). Leider halten die meisten in der Literatur angeführten Analysen einer solchen Kritik nicht stand²⁾, insbesondere weil nur selten die Brennstoffverhältnisse und sonstigen Ergebnisse angegeben werden. Besonders sei auch noch folgendes hervorgehoben. Bei der normalen Beschickung wird sich die Zusammensetzung des Gases im Verlaufe eines solchen Zeitraumes stets ändern, weil die anfänglich notwendige Trocknung und Destillation des Brennstoffes Wärme entzieht. Es kann dies sowohl zu einer Verbesserung der Zusammensetzung (wenn der Gaserzeuger vorher zu heiß war) oder auch zu einer Verschlechterung (z. B. bei feuchten Brennstoffen) führen. Auch verschiebt sich dabei die Temperatur des Gases, und hat dies auf den Wirkungsgrad Einfluß. Einzelproben sind daher für die Beurteilung der Wirkungsweise nicht maßgeblich und können nur zu Vergleichen in ein und demselben Betrieb dienen. In Zahrentafel 33 ist der Verlauf der Gaszusammensetzung zwischen zwei Füllungen bei mitteldeutschen Braunkohlenbriketts gezeigt und erkennt man daraus die großen Schwankungen. Stets findet man die dort ersichtliche Zunahme des CH₄-Gehaltes, die zum Schluß meist wieder abfällt, während meist auch der CO-Gehalt ansteigt (im vorliegenden Falle scheint der Gaserzeuger zu heiß betrieben worden zu sein und Kanäle gehabt zu haben, die überdeckt wurden, so daß sich der CO-Gehalt anfänglich höher stellte, und beim Aufbrechen der Kanäle wieder sank). Außergewöhnlich hoher CH₄-Gehalt wird stets eine Folge solcher Bedingungen sein, die nicht als normale und durchschnittliche angesehen werden können; entweder einer Gasprobenentnahme sofort nach dem Be-

¹⁾ St. u. E. 1919, S. 1238. ²⁾ Hoffmann: Z. f. angew. Chem. 1916, S. 41.

schicken oder fehlerhafter Analyse (vgl. S. 342) oder schließlich zu rascher Füllung überhaupt, d. h. mangelhafter Vergasung und schlechter Ausnutzung des Brennstoffes. So kann man oft bei alten Siemens-Treppengaserzeugern sehr gute Gasqualitäten, besonders hohen CH_4 -Gehalt feststellen; geht man der Sache auf den Grund, so findet man, daß es sich gar nicht um eine wirkliche Vergasung, sondern vorzugsweise um eine Entgasung handelt, daß also der Verlust an Brennstoff in den Rückständen ein außergewöhnlich hoher ist. In ähnlicher Weise kann man bei kurzen Paradeversuchen sehr leicht gute Gaszusammensetzung vor-täuschen, wenn man vorher den Gaserzeuger sehr heiß treibt und dann sehr rasch beschickt. Es ist nicht nur ein hoher CH_4 -Gehalt feststellbar, sondern auch ein hoher CO -Gehalt, weil die erhöhte Brennstoffschicht eine gute Reduktion der gebildeten CO_2 bedingt. Zugleich erscheint auch der Durchsatz ein sehr großer. In ähnlicher Weise wirkt auch ein Wechsel im Brennstoff und andere Maßnahmen, deren Anführung aber hier zu weit führen würde.

Für die verschiedenen Verfahren Betriebsziffern zu bringen, ist unmöglich, da dieselben ja ineinander übergehen. Nur einzelne Beispiele seien erwähnt. So sei für eine mit Anthrazit von Langenbrahm betriebene Sauggasanlage der von Stauß¹⁾ ausgeführte Versuch gebracht, welcher in Zahlentafel 34 wiedergegeben ist.

Zahlentafel 34. Versuche an einer Deutzer Sauggasanlage von Stauß.

Brennstoff-analyse (Anthrazit von Langenbrahm)		Gas-analysen	
C	84,60 %	CO_2	5,8 %
H_2	3,49 %	O_2	0,7 %
$\text{O}_2 + \text{N}_2$	3,97 %	CO	22,0 %
S	0,92 %	H_2	17,0 %
Asche	5,82 %	CH_4	1,8 %
H_2O	1,20 %	N	52,7 %
Unterer Heizwert	7756		51,3

	Kal.	%	Kal.	%	
Stündlich verfügbare Energie	228 492	100,00	198 941	100,00	
Chemische Energie im Gas	197 325	86,36	172 721	86,82	
Wärmeabfuhr im Scrubber	20 207	8,84	17 766	8,93	
Volumarbeit (0,69 %) und Erwärmung des Gases	1 417	0,62	1 273	0,64	
Wärme zur Sättigung des Gases mit Wasser	1 394	0,61	1 313	0,66	
Strahlung und Leitungsverluste (Restglied) des Generators	8 149	3,57	5 868	2,95	
Für den Motor	Äquivalent der indizierten Arbeit	46 367	20,29	45 886	23,07
	„ „ effektiven „	41 112	17,99	40 998	20,61
	„ „ Reibungsarbeit „	5 255	2,30	4 888	2,46
	Wärme im Motorkühlwasser	68 064	29,79	61 944	31,14
	Wärme und kinetische Energie der Abgase	82 894	36,28	64 891	32,61
	Strahlungs-Leitungsverlust				

¹⁾ J. f. G. 1902, S. 517.

Zahlentafel 35. Untersuchung einer Doppelfeuergaserzeuger-anlage für Briketts von Benz & Co. durch K. Neumann.

		Brennstoff		
		Anker-brikett 40·40·55 mm	Hansa-brikett 70·60·55 mm	
Analyse derselben	C	%	53,54	53,71
	H ₂	%	4,14	3,98
	O ₂	%	21,48	22,49
	N ₂	%	0,55	0,19
	Asche	%	6,86	5,87
	H ₂ O	%	13,43	13,76
Unterer Heizwert	Kal.	4839	4802	
Versuchsdauer	Std.	10	10	
Barometerstand	mm QS	727	728	
a) Gasmaschine:				
Bremsgewicht	kg	180,8	175,8	
Mittlere Umlaufzahl in der Minute		191,2	191,7	
Mittlerer positiver indizierter Druck	Atm.	5,62	5,26	
„ negativer „ „ „ „		0,13	0,13	
Mittlere Lufttemperatur am Saugstutzen	°C	22	21	
Mittlerer Unterdruck in der Gasleitung mm/WS		120	160	
Kühlwasserabfluß-temperatur	{ am Auspuffventil	°C	31,0	24,2
	{ „ Zylinderkopf	°C	37,5	31,5
	{ „ Zylindermantel	°C	49,0	42,5
b) Kühlwasserpumpe:				
Geförderte Kühlwassermenge	kg/Sek.	1,209	0,841	
Förderhöhe	m	4,32	4,32	
Umlaufzahl in der Minute		122	85	
c) Gaserzeuger:				
Beschickung während der Versuchsdauer	kg	330,0	390,0	
Auffüllen nach Versuchsschluß	„	80,0	80,0	
Zurückgewogen	„	3,2	—	
Schlacke, oberhalb des Rostes gewonnen	„	15,8	26,1	
Asche	„	12,3	19,5	
Mittlere Abgastemperatur	°C	360	396	
Mittlerer Unterdruck in der Gasleitung am Austritt des Gaserzeugers	mm/WS	40	90	
Mittlere Gaszusammensetzung	{ CO ₂	Vol. %	9,18	9,30
	{ C _n H _m	„	0,23	0,16
	{ O ₂	„	0,45	0,46
	{ CO	„	20,76	20,90
	{ H ₂	„	16,23	14,80
	{ CH ₄	„	1,43	1,17
	{ N ₂	„	51,72	53,21
d) Maschine:				
Indizierte Leistung	PS	90,50	84,60	
Abgebremste Leistung	„	69,36	67,62	
Pumpenleistung	„	1,17	0,82	
Nutzleistung	„	70,53	68,44	
Mechanischer Wirkungsgrad		0,78	0,80	
Stündlicher Brennstoffverbrauch für 1 PSe	kg	0,450	0,555	
„ „ „ 1 PSi		0,576	0,688	
„ „ Wärmeverbrauch für 1 PSe	Kal.	2175	2662	
„ „ „ 1 PSi		2790	3305	

Trenkler, Gaserzeuger.

Zahlentafel 36. Sauggas aus Senftenberger Briketts nach P. Fuchs.

		1	2	3	4
Brennstoff- zusammensetzung	C %	49,21		48,42	
	H ₂ %	4,29		4,37	
	O ₂ + N ₂ %	27,15		24,49	
	S %	1,60		1,29	
	Asche %	4,57		4,93	
	H ₂ O %	13,18		11,50	
Heizwert	Kal.	4718		4622	
Zusammensetzung des Sauggases am Motor	CO ₂ %	11,91	9,35	11,40	9,50
	CO %	15,18	17,34	16,39	19,35
	C _n H _m %	0,15	0,00	0,00	0,00
	H ₂ %	26,71	25,18	26,99	24,80
	CH ₄ %	2,24	2,11	2,80	1,19
	N ₂ %	43,81	46,02	42,23	45,16
	H ₂ S %	Spur	Spur	Spur	Spur
SO ₂ %	0,00	0,00	0,00	0,00	

Zahlentafel 37. Versuche an einer Görlitzer Torfgasanlage von Dr. Wolff und Prof. Baer.

		I	II
Zusammensetzung des Torfes	C %	29,06	41,65
	H ₂ %	3,06	4,10
	O ₂ + N ₂ %	19,56	26,35
	Asche %	2,51	4,10
	Wasser %	45,54	23,80
Oberer Heizwert	Kal./kg	2799	3949
Unterer Heizwert		2360	3585
Zusammensetzung des Gases	CH ₄ Vol. %	0,86	1,35
	C _n H _m „	0,18	0,11
	H ₂ „	19,25	17,13
	CO „	14,96	15,85
	CO ₂ „	14,74	12,34
	O ₂ „	0,28	1,02
	N ₂ „	49,73	52,20
Unterer Heizwert	Kal./cbm	1028	1120
1 kg Torf gibt Gas	cbm	1,73	2,59
Wirkungsgrad	%	75,3	80,9
Maschinenleistung	PS	223,5	314
Bei Versuch II: Bei Maschinenleistung von 146 PS		182,8	260
Torfverbrauch für 1 PS/Std.		1,16	0,98
„ „ 1 kW/Std.		1,45	1,16
			0,99

Die Wirkungsweise eines Doppelfeuergaserzeugers beim Betriebe mit Braunkohlenbriketts zeigt die eingehende Untersuchung von K. Neumann¹⁾ an einer von Benz & Co. gelieferten Anlage gemäß

¹⁾ Z. d. bayr. Rev. Ver. 1917, Nr. 4/5.

Zahlentafel 35. Andere Versuche von P. Fuchs¹⁾ zur Herstellung von Kraftgas aus Braunkohlenbriketts zeigt Zahlentafel 36.

Für die Arbeitsweise von Gleichstromgaserzeugern der Görlitzer Maschinenfabrik sind die Versuche von Dr. Wolff und Prof. Baer²⁾ kennzeichnend, die in Zahlentafel 37 wiedergegeben sind.

Bei der Erzeugung von Heizgas in gewöhnlichen Schachtgaserzeugern wurden früher selten so ausführliche Versuche gemacht, daß man Wärmebilanzen aufstellen konnte. Eine Ausnahme bilden die an ein-

Zahlentafel 38. Vergasungsergebnisse von Drehrostgaserzeugern.

Herkunft des Brennstoffes	Brennstoffzusammensetzung			Leistung kg/qm/Std. Schachtfäche	Gaszusammensetzung				
	H ₂ O	Asche	unt. Heizwert		CO ₂	CO	CH ₄	H ₂	unt. Heizwert
	%	%	Kal./kg		%	%	%	%	Kal.
Westf. backende Steinkohle	4,0	8,0	6700	125	2,7	27,5	3,2	6,0	1310
Westf. Gasflammkohle	2,0	7,5	7100	115	3,6	27,3	2,6	10,5	1370
Saarkohle von Spittel	8,3	11,7	5660	110	1,7	30,5	3,3	9,0	1495
Oberschles. Steinkohle	4,1	7,8	7000	130	3,2	26,8	5,6	9,3	1540
Oberschles. Steinkohle (Sandkohle)	3,3	9,5	6750	155	1,8	30,4	3,4	12,6	1530
Ostrauer Steinkohle	3,7	14,8	6100	120	4,0	25,0	1,5	13,0	1220
Englische Steinkohle von Newcastle	5,8	6,5	6700	140	2,2	28,6	2,2	9,0	1320
Böhmische Steinkohle	8,0	11,9	6400	170	4,0	27,5	2,2	10,0	1290
Böhmische Braunkohle	25,0	16,9	4100	300	2,6	30,7	2,1	14,0	1440
Alpine Glanzkohle	7,2	13,1	5400	270	2,5	31,0	2,0	14,5	1510
Rheinische Braunkohlenbriketts	13,3	4,6	4800	190	3,4	31,5	2,5	11,0	1450
Mitteldeutsche Braunkohlenbriketts	16,5	11,2	4300	175	5,8	28,8	6,0	7,4	1665
Mitteldeutsche knorpelige Rohbraunkohle	45,0	6,0	2950	100	7,0	25,0	3,0	9,0	1250
Mitteldeutsche mulmige Förderkohle	53,0	6,0	2300	75	11,2	17,8	4,6	7,8	1160
Lignitische Braunkohle	40,0	9,0	3150	140	7,0	22,6	2,8	13,2	1270
Lignitische Abfallkohle (Schiefer)	18,6	36,7	2600	150	7,8	20,1	4,0	13,7	1300
Schieferkohle von Saarkohle	2,4	27,0	5600	110	3,5	27,0	2,6	9,0	1320
Schieferkohle von Oberschlesien	7,0	37,0	4000	115	13,0	14,6	1,8	17,3	1045
Schlammkohle von Saarkohle	35,0	30,0	3000	105	9,5	15,0	1,2	12,0	870
Waschberge und Lese-schiefer	—	45,0	—	135	10,7	12,8	—	28,5	1225
Anthrazit	3,3	23,5	5800	155	4,7	26,8	0,6	10,9	1100
Nußkoks	12,0	10,0	5700	240	3,6	27,3	—	7,9	1035

¹⁾ Z. f. V. d. I. 1904, S. 145 und 1272.

²⁾ Z. d. V. d. I. 1911, S. 370 und 1912, S. 585.

Zahlentafel 39. Wärmebilanzen von Kerpely-Gaserzeugern.

		Brennstoff			
		Steirische Braunkohle	Nicht-backende Steinkohle	Backende Steinkohle	
Zusammensetzung der Brennstoffe	C	%	57,7	63,2	68,65
	H ₂	%	4,43	3,92	4,08
	N ₂	%	0,78	1,05	0,93
	O ₂	%	15,55	10,4	5,62
	S	%	1,28	1,43	0,92
	H ₂ O	%	7,17	11,5	7,45
Asche	%	13,1	8,5	12,35	
Mittlere Zusammensetzung des Gases	CO ₂	%	2,8	1,4	4,5
	CO	%	30,5	31,0	25,4
	CH ₄	%	2,0	2,2	3,33
	H ₂	%	14,0	12,4	8,6
H ₂ O-Gehalt in 1 cbm Gas	g	80	29,6	42,5	
Teergehalt in 1 cbm Gas	g	25,0	11,5	8,7	
C im Teer je 1 cbm Gas	g	19,4	8,2	5,2	
Heizwert des Brennstoffes	Kal.	5400	5850	6520	
„ „ Gases	„	1420	1450	1350	
„ „ Teeres in 1 cbm Gas	„	200	90	—	
Temperatur des Gases am Austritt	°C	430	455 ¹⁾	750 ¹⁾	
Fühlbare Wärme im Gase	Kal.	158	155	250	
Wärme des verbrauchten Dampfes	„	118	164	78	
Brennbares in der Asche	%	3,0	5,8	9,26	
Brennstoffverlust der Asche	%	0,41	0,52	1,26	
Aus 1 kg Brennstoff entsteht Gas	cbm	2,77	3,26	3,74	
Kohlenstoff in 1 kg Brennstoff	g	577	632	686,5	
„ in den brennbaren Gasbestandteilen des daraus erzeugten Gases	g	522,4	607	595,4	
Nutzbare Kohlenstoffumsetzung	%	90,5	96,0	89,1	
Wirkungsgrad	%	88,89	91,38	86,56	

fachen Planrostgaserzeugern mit böhmischer Steinkohle durchgeführten Versuche von Dr. Wendt, die in Zahlentafel 15 angeführt wurden. Für die heute überwiegend angewendeten Drehrostgaserzeuger gibt Zahlentafel 38 eine Übersicht, wobei die verschiedensten Brennstoffe herangezogen wurden, um Vergleiche zu ermöglichen.

Vollständigere Untersuchungen liegen besonders von Kerpely-Gaserzeugern (aus dem Jahre 1911) vor, und sind in Zahlentafel 39 drei Versuche angeführt, welche mit verschiedenen Brennstoffen gewonnen wurden und für gute Leistungen aller bestehenden Bauarten im Durchschnitt gelten können.

Eine vollständige Übersicht über an Drehrostgaserzeugern und Schlackenschmelzgaserzeugern — den beiden Bauarten, die jetzt im Vordergrund des Interesses stehen — gewonnenen Wärmebilanzen gibt Zahlentafel 40, welche sehr gut einen Vergleich der beiden Systeme durchführen läßt. Die Schlackenschmelzgaserzeuger erzielten bei der

¹⁾ Geschätzt.

Zahlentafel 40. Wärmebilanzen von Schlackenschmelz- und Drehrostgaserzeugern.

Gaserbauart	Würth ¹⁾	Georgs-Marienh. ¹⁾	Kerpely-Marischka ²⁾	Kerpely ³⁾	Drehrost ⁴⁾
Brennstoff	Perlkoks	Perlkoks	Koksbroeze	Braunkohle	Nußkoks
Eingeführt:					
Kohle %	100	100	100	100	100
Dampf %	2,95	—	3,07	2,86	3,5
Windvorwärmung . . %	3,4	0,95	—	—	—
Zusammen %	106,35	100,95	103,07	102,86	103,5
Nutzbar:					
Gasheizwert %	79,0	72,66	81,93	72,9	81,1
Fühlbare Wärme . . %	15,63	18,51	2,45	11,75	5,1
Dampferzeugung . . %	—	—	15,99	—	6,5 + 3,5
Teer %	—	—	—	10,25	—
Zusammen %	94,63	91,17	100,37	94,90	96,2
Verluste:					
Staub %	6,23	1,26	0,35	1,34	} 1,4
Schlacke %	0,97	1,51	0,66	0,90	
Kühlwasser %	1,10	3,86	—	1,21	} 5,9
Strahlung usw. . . %	3,42	3,15	1,69	4,51	
Zusammen %	11,72	9,78	2,70	7,96	7,3

Vergasung von gesiebttem Perlkoks 300 bzw. 360 kg Leistung je qm Schachtfläche (1150 bzw. 625 kg je qm Gestellfläche), während vom gleichen Brennstoff im Drehrostgaserzeuger kaum mehr als 180 kg stündlich vergast werden können. Diese höhere Leistung wird naturgemäß die Strahlungsverluste verringern. Im übrigen ist aber die Wärmewirtschaft bei dieser Bauart nicht günstiger, da die Gesamtverluste im Durchschnitt mit 11% höher sind als diejenigen von Drehrostgaserzeugern mit 7%. Es ist zweifellos, daß die hohe Leistung der Schlackenschmelzgaserzeuger die Anlagekosten verringert. Dagegen sind die Instandhaltungskosten wegen der oftmaligen Gestellreparaturen hoch, und es bleibt dieser Bauart wohl nur ein spezielles Anwendungsgebiet, dasjenige der Vergasung von Koks, vorbehalten. Insbesondere bei aschenreichen Brennstoffen werden die notwendigen Zuschläge für die Schlackenbildung sehr reichliche werden, was die Betriebskosten erhöht und die Wärmewirtschaft verschlechtert.

Die vorstehenden Hinweise gelten in der Hauptsache für normale Brennstoffe. Es muß aber noch ausdrücklich auf den Einfluß der Brennstoffbeschaffenheit verwiesen werden, der sich naturgemäß bei minder-

1) Nach Markgraf: St. u. E. 1918, S. 649.

2) Nach Bunte und Terres: J. f. G. 1918, S. 447.

3) Nach Veröffentl. d. Ges. f. Gasfeuerungsstechnik (Kerpely-Patente) G. m. b. H.

4) Nach Bunte, Viehoff und Czako: J. f. G. 1920, S. 589.

wertigen Brennstoffen ganz besonders zeigen wird, weshalb diese Verhältnisse im nachfolgenden bei den drei Hauptgruppen der minderwertigen Brennstoffe betrachtet werden sollen.

b) Vergasung aschenreicher Brennstoffe.

Die Schwierigkeit bei aschenreichen Brennstoffen liegt neben der Menge der Rückstände in erster Linie an den Verschlackungen und der dadurch bedingten ungleichmäßigen Verbrennung. Da man bei der Vergasung — von seltenen Fällen abgesehen — stets mit einem Gemisch von Luft und Wasserdampf arbeitet, so werden naturgemäß die dem Rost zunächstliegenden Aschenschichten stets gekühlt. Besonders der Wasserdampf braucht erhebliche Wärmemengen zu seiner Überhitzung und führt eine Abschreckung der etwa gebildeten Schlacken herbei. Man ist somit in der Lage, durch einen etwas gesteigerten Dampfzusatz die Bildung von Schlackenklumpen weitgehend zu vermeiden und die Rückstände verhältnismäßig leicht zu entfernen. Für den Gaserzeuger liegt daher die Schwierigkeit nur in der Wegschaffung der großen Schlackemengen, und hierfür waren die älteren Konstruktionen wenig geeignet. Bei den Gaserzeugern mit Handentschlackung ging man wohl selten über einen Aschengehalt von 15—20 % hinaus. Eine Spezialkonstruktion für die Verarbeitung solcher Brennstoffe ist der Ringgenerator von Jahns¹⁾, bei welchem die Vergasung in mehreren hintereinandergeschalteten Kammern stattfindet. Dadurch erzielt man eine sehr große Schütthöhe bzw. einen langen Weg des Gases und ist so in der Lage, sehr aschenreiche Brennstoffe mit verhältnismäßig gutem Erfolg auszunutzen. Die jeweils am längsten im Betrieb befindliche Kammer wird schließlich abgestellt und vollständig entleert. Trotz der guten Vergasungsergebnisse hat sich der Generator nicht eingebürgert, wohl in der Hauptsache, weil die Durchsatzmenge eine sehr geringe und im Zusammenhang damit die Anlagekosten hohe waren; außerdem sind auch die Betriebskosten bei der notwendigen Handarbeit zum Entleeren ungünstige.

Die Frage der Aschenentfernung war jedoch gelöst, als man den Drehrostgenerator mit automatischer Entschlackung erfunden hatte (von Kerpely 1903, Abb. 79). Zugleich erhielt man bei diesem Gaserzeuger eine sehr gleichmäßige Windverteilung, was ungleichmäßige Verbrennungen und daher Verschlackungen zu seltenen Schwierigkeiten machte. Die Drehrostgeneratoren der verschiedenen Bauarten, welche ja in ihrer Wirkungsweise kaum Unterschiede aufweisen, haben sich in der Folge an vielen Stellen für den besagten Zweck eingeführt. In Zahlentafel 41 sind Betriebsergebnisse sowohl mit ver-

¹⁾ D.R.P. 144 826, 147 061, 154 759 und 169 998. Vgl. Z. d. V. d. I. 1904, S. 311; 1905, S. 793 und 2037. F. T. Jg. 1, S. 225.

schiedenen Gaserzeugern als auch mit verschiedenen Brennstoffen von 20—45 % Asche wiedergegeben. Naturgemäß lassen sich auch andere Gaserzeugerkonstruktionen beim Zusammenbau mit einer automatischen Entschlackung für solche Brennstoffe mit Vorteil verwenden, und zwar nach dem eingangs Gesagten besonders solche Gaserzeuger, welche mit einem reichlichen Dampfzusatz betrieben werden. Aschenreiche Brennstoffe eignen sich daher für die Vergasung bei gleichzeitiger Nebenproduktengewinnung.

Es wäre nun beinahe zu erwarten, daß man die Vergasung solcher Stoffe bei jedem beliebigen Aschengehalt durchführen kann, solange dieselben einen Heizwert aufweisen, der genügt, um die Asche auf die notwendige Mindesttemperatur bei der Vergasung (etwa 900—1000°) zu erwärmen.

Tatsächlich ist es schon bei einem Aschengehalt von 50% schwer, einen geregelten Gang des Gaserzeugers aufrechtzuerhalten und stellt dies die praktische Grenze dar, über welche man für den Großbetrieb nicht hinausgehen kann.

Diese Erfahrung läßt sich auch rechnermäßig überprüfen. Bei einer geregelten Gaserzeugung wird man erwarten müssen, ein Gas von mindestens 1100 Kalorien (ausschließlich des Teerheizwertes) zu erhalten. Unter dieser Voraussetzung soll der wärmetechnische Wirkungsgrad 88 % sein; das Gas,

Zahlentafel 41. Vergasung aschenreicher Brennstoffe.

Gaserbauart	Brennstoff und Herkunft	Zusammensetzung des Brennstoffes		Unterer Heizwert Kal./kg	Leistung kg/qm Schlacke- fläche	Gaszusammensetzung				Unterer Heizwert Kal./qhm
		H ₂ O	Asche			CO ₂	CO	CH ₄	H ₂	
Ringgaser von Jahns Feinkohlengaser von Pintsch	Abfallkohle von der Saar	—	25	—	rd. 65	13,6	8,2	3,6	21,9	1120
	Rauchkammerlöse	2,9	19,2	6070	—	5,0	26,0	0,2	12,0	1110
Drehrostgaser ver- schiedener Bauarten	Abfallkohle von der Saar	2,4	27,0	5600	110	3,5	27,0	2,6	9,0	1320
	Schieferkohle von Oberschlesien	7,0	37,0	4000	115	13,0	14,6	1,8	17,3	1045
	„ Schweden	10,0	45,0	3000	125	9,9	17,7	4,5	11,2	1215
	Minderwertiger Anthrazit	3,3	23,5	5800	155	4,7	26,8	0,6	10,9	1100
	Braunkohlenschiefer	15,9	19,7	4200	220	9,3	21,0	1,8	16,3	1210
	Lignitabfall vom Westerwald	18,6	36,7	2600	rd. 150	7,8	20,1	4,0	13,7	1300
Mondgaser	Waschberge und Leseschiefer	—	—	—	„ 135	10,7	12,8	—	28,5	1226
	Abfallkohle von Oberschlesien	11,1	21,5	5900	„ 90	16,0	11,6	3,8	24,4	1330

welches in 1 cbm mindestens 160 g C enthält, gehe bei der denkbar niedrigsten Temperatur von 100° ab. Hat 1 kg Reinkohlesubstanz mit 800 g C einen Heizwert von 7500 Kalorien, so treten bei der Erzeugung von 1 cbm Gas unter Berücksichtigung der Teerbildung und C-Verluste $7500 \cdot \frac{160}{800} = 1500$ Kalorien in Reaktion, wenn wir die Gesamtheit der chemischen Vorgänge vom Gasraum bis zur Gasbildungszone gemeinschaftlich betrachten. Das Gas führt ab:

1100 Kal. an Heizwert
 50 „ im enthaltenen Teer
 38 „ an Eigenwärme

die Verluste betragen etwa $0,12 \cdot 1500 = 180$ „
 insgesamt 1368 Kal.

so daß auf je 160 g C 132 Kalorien frei werden, d. i., da die Reinsubstanz 80% vergasten C enthalten soll, für 1% brennbare Substanz im Rohmaterial 6,6 Kalorien. Diese frei werdende Wärmemenge muß nun ausreichen, den Brennstoff von 0° auf die mindeste Reaktionstemperatur von 900° zu erwärmen. Bei 0,2 spezifischer Wärme der Asche und 0,3 des reinen Brennstoffs und einem angenommenen Feuchtigkeitsgehalt von 10% ergibt sich daher, wenn x der Aschengehalt ist, der Ansatz:

$$\frac{x \cdot 0,2}{100} + \frac{(90 - x) \cdot 0,3 \cdot 900}{100} + \frac{10 \cdot 600}{100} = (90 - x) 6,6$$

$$x = 51 \%$$

Diese Rechnung ist naturgemäß nur eine ungefähre, zeigt aber deutlich den Einfluß der einzelnen Faktoren. Will man mit höherem Aschengehalt den Betrieb aufrechterhalten, so muß man sich mit einem schlechteren Gas begnügen. Im Zusammenhang damit wird allerdings auch der Wirkungsgrad schlechter und man erkennt, daß bei weiterer Steigerung des Aschengehaltes über 50% hinaus nur durch wesentliche Einbußen an der Wirtschaftlichkeit der Vergasung der Betrieb geführt werden kann.

Von besonderer Wichtigkeit ist hier die Frage der Nutzbarmachung von armen Ölschiefern u. dgl. Dieser Stoff, der in den meisten Fällen etwa 8—10% brennbare Stoffe, meist Bitumen, enthält, gibt bei der Destillation etwa 3—5% Öle. Die restlichen etwa 3% brennbaren Stoffe stehen zur Verfügung, um die Destillation durchzuführen. Es sind nun neuerdings hierfür auch Gaserzeuger vorgeschlagen worden. Nach dem Gesagten kommt aber eine Gaserzeugung bei diesen Verhältnissen nicht mehr in Frage, wie die oben angestellte Rechnung zeigt; bei dem notwendigerweise niedrigen wärmetechnischen Wirkungsgrad werden 5% brennbare Stoffe gerade zur Deckung des Wärmeaufwandes für die Erwärmung von 90 Teilen Asche ausreichen. Entweder muß man daher die bei niederen Temperaturen gewonnenen Schwelgase durch Ver-

brennung zur Beheizung der Destillationsapparate verwenden oder den Stoff durch eine innere Verbrennung vollkommen ausnutzen. Der erstere Weg wurde früher und allgemein bei der Verarbeitung von Ölschiefern in Retorten angewendet, welches Verfahren sowohl von der schottischen Schieferdestillation, als auch von der Gewerkschaft Messel (bei Darmstadt) bekannt ist. Es wird eine Destillation bei ziemlich niedriger Temperatur durch Außenheizung durchgeführt, wobei ein Schwelgas von etwa 3000 Kalorien Heizwert und Öl gewonnen wird. Das gewonnene Gas dient zur Beheizung der Retorten und steht ein Überschuß an Gas meist nicht zur Verfügung. Es lag nun nahe, wegen der automatischen Austragung der Rückstände Retorten von ähnlicher Konstruktion wie Gaserzeuger mit Drehrost zu verwenden und den Prozeß durch Innenheizung zu führen, dergestalt, daß das in den unteren Schichten gebildete Gas in den oberen mit überschüssiger Luft verbrannt wird, um die Destillation der leicht flüchtigen Öle durchzuführen. In diesem Falle ist der Apparat aber richtig nicht mehr als Gaserzeuger, sondern als ein Destillationsofen mit Innenheizung zu bezeichnen. Der so durchgeführte Prozeß dürfte gegenüber den älteren Verfahren zweifellos Vorteile aufweisen, es werden aber noch eingehende Versuche notwendig sein, um diesen Weg in der Praxis mit Erfolg durchzuführen. Nach Studien des Verfassers ist die Durchführung nur so möglich, daß man den Destillationsraum vom Gaserzeuger trennt und letzteren auf Kosten einer schlechten Gaszusammensetzung so heiß betreibt als möglich; es ist somit eigentlich kein Gaserzeuger mehr notwendig, sondern nur eine Verbrennungskammer für die Rückstände der Destillation; die Temperaturregelung führt man am besten mittels Zumischung von Wasserdampf durch, was den Schwelprozeß bzw. die Qualität des destillierten Schiefertees begünstigt.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Vergasung aschenreicher Brennstoffe bei einem Gehalt bis 50% in Drehrostgaserzeugern mit selbsttätiger Aschenabfuhr mit guten Resultaten möglich ist, falls nicht eine sehr ungünstige Aschenzusammensetzung, d. h. niedrige Schmelztemperatur vorliegt. Die stets verhältnismäßig hohe Aschenschicht sorgt für eine gute Verteilung der Vergasungsluft. Die Leistung je Quadratmeter Schachtfläche ist etwa die gleiche wie bei der Vergasung von Kohle; den Abmessungen des Rostes entsprechend müßte sie zwar größer sein, ist es jedoch nicht, weil sich die chemischen Prozesse wegen des großen Wärmetransportes nur langsam abspielen. Abgesehen von der Ausgestaltung der Aschenaustragung wäre daher das Hauptaugenmerk auf eine reichliche Bemessung der Schachtquerschnittsflächen und genügende Höhe des Schachtes zu legen.

Ein Punkt von Bedeutung könnte es auch sein, bei sehr aschenreichen Brennstoffen mit vorgewärmter Vergasungsluft zu arbeiten,

indem man vorhandene Abwärmequellen ausnutzt. Durch diese Maßnahmen würde man in der Lage sein, auch noch Brennstoffe mit höherem Aschengehalt als 50% auszunutzen.

e) Vergasung wasserreicher Brennstoffe.

Was die Vergasung der wasserhaltigen Brennstoffe anbetrifft, so liegt die Aufgabe augenscheinlich einfacher, da das Wasser bereits in den oberen Schichten ausgetrieben wird und somit den Gaserzeugergang vor dem Rost nicht beeinflußt. Es wird naturgemäß auch hier eine Grenze geben, über die hinaus man nicht gehen kann. Diese liegt nach den Erfahrungen zwischen 50—55%, soweit man mit einer normalen Gaszusammensetzung rechnet. Es gilt dies im übrigen nur für Brennstoffe mit entsprechender normaler Körnung, also nicht für Staubkohle.

Auch dieser Grenzwert läßt sich rechnerisch ungefähr ermitteln. Die Verhältnisse sind folgende: Während bei trockenen Brennstoffen das oben austretende Gas eine Eigentemperatur von 500° bis 800° aufweist, ist sie um so niedriger, je höher der Wassergehalt wird, da die fühlbare Wärme des Gases zur Trocknung des Brennstoffes gebraucht wird. Chemische Umsetzungen zwischen Gas und Brennstoff sind in dem Bereich etwa unter 900° nicht anzunehmen, und der für die Schwelung selbst möglicherweise notwendige Wärmeverbrauch kann vernachlässigt werden. Nach den neueren Anschauungen benötigt die einmal eingeleitete Schwelung keine Wärmezufuhr, sondern dürfte sogar wärmeentbindend verlaufen, da die Bildung der Oxyde des C und H₂ und die Spaltung der Kohlenwasserstoffe Wärme freigibt. Der geringe Wärmeverbrauch für die Verdampfung des Teeres und Überführung der einzelnen Bestandteile in Gasform dürfte damit leicht gedeckt werden. Tatsächlich werden bei sehr wasserhaltigen Brennstoffen meist Gastemperaturen von nur 100° erzielt. Wenn wir nun annehmen, daß die chemischen Umsetzungen bei 900° vollendet sind, so muß die bei dieser Temperatur im Gas enthaltene fühlbare Wärme ausreichen, um den niedergehenden Brennstoff bis auf die entsprechende, etwa 100° niedrigere Temperatur zu erwärmen und die Verdampfung der Feuchtigkeit durchzuführen. Da hier durchweg jüngere Brennstoffe mit hohem Sauerstoffgehalt in Frage kommen, so sei der Heizwert der aschenhaltigen, aber trockenen Kohlensubstanz mit 5700 Kalorien angenommen (für junge Braunkohlen, Torf und Holz kann diese Ziffer noch bis unter 5000 Kalorien fallen). Unter Berücksichtigung des Teeranfalls kann daher für 1 kg solche Reinkohlensubstanz mit einer Gasausbeute von 3,5 cbm gerechnet werden. Es gilt dann, wenn x der zu bestimmende Feuchtigkeitsgehalt ist

Düsseldorf-Oberkassel¹⁾ ausgeführter Versuch, der die in Zahlentafel 43 stehenden Ergebnisse zeitigte.

Es kann zusammenfassend gesagt werden, daß die Vergasung innerhalb der praktisch vorkommenden Wassergehaltsziffern möglich ist, sofern ein einigermaßen stückiges Material verwendet wird und die Kohle keine allzu große Neigung zum Zerfall aufweist. Wegen der wegzuführenden großen Dampfmengen ist die Leistung je Quadratmeter Schachtfläche verhältnismäßig gering, dadurch wird die Wirtschaftlichkeit ungünstig beeinflußt, und ist die Vortrocknung des Materials von besonderer Bedeutung. Die Vergasung geht an sich leicht und verhältnismäßig schnell vor sich, wohl infolge des hohen Sauerstoffgehaltes der Brennstoffe. Um so mehr muß auf eine genügend hohe Brennstoffsicht geachtet werden, besonders da viele Brennstoffe (wie Lignit, Holz, Sodentorf) sperrig und lose liegen. Mit Rücksicht darauf verwendet man Gaserzeuger mit sehr hohem Schacht (bis 6—8 m) und geringem Schachtdurchmesser, um die Bildung von Randfeuer möglichst zu vermeiden. Die Konstruktion des Rostes kann bei den Brennstoffen, welche meist wenig Asche aufweisen, eine einfache sein, und hat man daher mit einfachen Planrostgeneratoren bei der Vergasung von Holz und Torf gute Ergebnisse erzielt (Zeile 1—3 der Zahlentafel 42).

d) Vergasung feinkörniger Brennstoffe.

Wesentlich anders geartet sind die Bedingungen bei der Vergasung feinkörniger Brennstoffe. Hier handelt es sich nicht um wärmetechnische Fragen, sondern darum, die Vergasungsluft durch das großen Widerstand bietende Material in ruhigem Strom und gleichmäßig durchzuschicken. Man kann den Betrieb mit feinkörnigen Brennstoffen in normalen Gaserzeugern verhältnismäßig gut führen, wenn die Körnung des Brennstoffes eine sehr gleichmäßige ist und man eine erhebliche Minderung des Durchsatzes in Kauf nehmen will. So gelingt es z. B. aus gesiebttem Anthrazitklein (4—6 mm) ein durchaus normales Gas mit etwa 27% CO zu erzielen, also von gleicher Güte wie aus grobstückiger Kohle. Der Durchsatz beträgt aber hierbei nur etwa ein Drittel, die Schütthöhe des Brennstoffes im Generator nur etwa die Hälfte, und erfordert der Betrieb daher eine ungleich höhere Aufmerksamkeit. Noch schwieriger wird die Aufgabe jedoch, wenn die Körnung des Brennstoffes ungleichmäßig ist bzw. noch weiter abnimmt. Um hierfür eine Beurteilungsgrundlage zu haben, ist die Prüfung der Brennstoffe mittels Siebung angezeigt, was im allgemeinen noch viel zu wenig Eingang gefunden hat.

¹⁾ St. u. E. 1920, S. 1065.

Zahlentafel 43. Versuchsergebnisse von Becker und Weiß mit Rohbraunkohle und Braunkohlenbriketts.

	Brennstoff		
	Rohbraunkohle	Braunkohlenbriketts	
Unterer Heizwert des Brennstoffes Kal.	2090	4800	
Kohlenschichthöhe mm	1350	1100	
Feuerzonenhöhe "	175	250	
Durchsatz in 24 Std. t	21,5	15,8	
„ je qm und Std. kg	109	124	
„ von trockenem Brennstoff in 24 Std. . t	9,2	13,4	
„ „ „ „ je qm u. Std. kg	72,5	105	
Vergleichszahl des Durchsatzes an trockenen Brennstoffen	0,69	1,0	
Winddruck mm/WS	193	200	
Dampfdruck Atm.	—	$\frac{1}{2}$	
Gastemperatur am Gaserzeuger °C	200	420	
Gaszusammensetzung, trocken	$\left\{ \begin{array}{l} \text{CO}_2 \dots \text{Vol. \%} \\ \text{CO} \dots \text{ } \\ \text{CH}_4 \dots \text{ } \\ \text{H}_2 \dots \text{ } \\ \text{N}_2 \dots \text{ } \end{array} \right.$	9,3	3,7
		23,3	30,0
		1,4	2,0
		11,9	10,7
		54,0	53,9
Gaszusammensetzung, feuchtes Gas	$\left\{ \begin{array}{l} \text{H}_2\text{O} \dots \text{ } \\ \text{CO}_2 \dots \text{ } \\ \text{CO} \dots \text{ } \\ \text{CH}_4 \dots \text{ } \\ \text{H}_2 \dots \text{ } \\ \text{N}_2 \dots \text{ } \end{array} \right.$	35,9	13,4
		6,0	3,2
		14,9	26,0
		0,9	1,7
		7,6	8,7
	34,6	46,7	
Unterer Heizwert bez. auf 15°C und 1 kg/qcm Kal./cbm	1044	1236	
Auf 1 cbm trockenes Gas von 15° kamen Wasserdampf g	372	106	
Taupunkt des Gases °C	75	53	
Gasdruck mm WS	40	40	
Brennbare Bestandteile im trockenen Gas . . Vol. %	36,6	42,1	
Kohlenstoff im Gaserzeugerrückstand %	8,1	13,7	
Ausbeute trockenen Gases bez. auf 15° und 1 kg/qcm cbm/kg	1,59	3,11	
1 kg Brennstoff erzeugt im Gas Kal.	1660	3830	
Wärmetechnischer Wirkungsgrad $\eta =$	0,80	0,79	
Erzeugte gebundene Wärme im trockenen kalten Gas in 24 Std. Mill. Kal.	35,7	60,5	
Vergleichszahl zur Hervorbringung derselben Wärmemengen	0,59	1,0	
Verbrennungstemperatur des kalten trockenen Gases °C	1629	1783	
Verbrennungstemperatur des kalten feuchten Gases ohne Teer °C	1288	1665	
Verbrennungstemperatur des kalten feuchten Gases mit Teer (10 g in 1 cbm) °C	1334	1701	

Die Leitidee für die Ausgestaltung der Generatoren ist, wie aus dem oben Gesagten hervorgeht, die Anwendung niedriger Brennstoffschichten bei Anwendung von normalen Winddrücken oder aber die Zuführung von Luft unter hohem Druck. Die ältesten Gaserzeugerbauarten für feinkörnige Brennstoffe verfolgen den ersten Gedanken

CO₂ bildete, das beim Durchstreichen durch die oberen Schichten zu CO reduziert wird. Dieser richtige Gedanke und die darauf gegründete Konstruktion war jedoch nicht von Erfolg begleitet, weil die zwangläufige Führung des Brennstoffes außerordentlich schwierig ist, durch die ungleichmäßige Verbrennung sich Kokskuchen und Schlackenklumpen bilden und so die Durchführung eines regelrechten Betriebes unmöglich machen.

Derselbe Grundgedanke liegt bereits dem Verfahren von Timm (D.R.P. 132562) zugrunde, der einen Teil der Kohle im Drehrohrofen mit Staubfeuerung zu CO₂ verbrennen und durch einen im Gegensinne durch die Trommel geschickten anderen Teil des Brennstoffes die Gase zu CO reduzieren will. Leider scheiterte dieses Verfahren an konstruktiven Schwierigkeiten, obwohl sich später noch viele Erfinder mit diesem Problem beschäftigt haben.

Weiter benutzt den gleichen Grundgedanken der sogenannte Staubblasegenerator von Marconnet (D.R.P. 161980), der in einer vorgeschalteten Kammer Kohlenstaub durch eine Staubfeuerung verbrennen und das gebildete CO₂ in einem Schacht in üblicher Weise reduzieren will. Von dieser Bauart hat man nichts Abschließendes gehört. Schwierigkeiten machte jedenfalls die Entfernung der Asche aus der vorgeschalteten Kammer, und Marconnet scheint später auf eine Abführung der Schlacke in flüssiger Form übergegangen zu sein, wie solche Bauarten schon früher bekannt waren. Man ist bei diesen Schlackenschmelzgaserzeugern in der Lage, mit hohen Drücken zu arbeiten und große Leistungen zu erzielen, es hat sich aber als unmöglich herausgestellt, Staubkohle oder sehr staubreiche Kohlen zu vergasen. Mit Feinkohle bzw. Feinkoks hat man ausgezeichnete Gaszusammensetzungen und hohe Schachtleistungen (bis 300 kg) erzielt. Demnach dürfte es nicht als ausgeschlossen gelten, daß auch durch entsprechende Anpassung die Vergasung von Staubkohlen erreicht werden kann.

Erwähnenswert ist an dieser Stelle auch der Staubkohlenvergaser von Hirth nach Abb. 112. Der 6 m hohe Vergaser hat eine ringförmige Kammer *a*, in die das Kohlenstoff-Luft-Gemisch in ähnlicher Weise wie bei den Kohlenstofffeuerungen tangential eingeblasen wird; bei *c* münden vor einer Verengung des Schachtes vier Dampfdufen *e*, wodurch die bei der Verbrennung des Staubes entstandene überschüssige Wärme aufgezehrt und so die Möglichkeit einer Umsetzung zwischen dem mitgerissenen glühenden Kohlenstaub und dem Wasser-

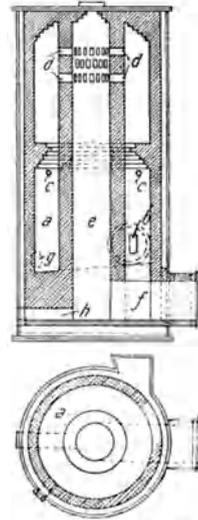


Abb. 112. Staubkohlengaserzeuger von Hirth.

Zahlentafel 45. Vergasung feinkörniger Brennstoffe.

Gaserzeugerbauart	Brennstoff und Herkunft	Zusammensetzung und Heizwert des Brennst.		Körnung des Brennstoffes					Ständl. Leisig. kg/(qm Sch.-Fl.)	Gaszusammensetzung				Unt. Heizwert Kal./cbm
		H ₂ O %	Asche %	-1 mm	1-5 mm	5-12 mm	>12 mm	CO ₂ %		CO %	CH ₄ %	H ₂ %		
Gaserzeuger der Gasgeneratoren G. m. b. H., Dresden	Böhmische Braunkohle, 0-10 mm	30	7	—	—	—	—	79	5,1	25,2	2,3	16,5	1409	
		13,5	16	—	—	—	—	53	4,8	22,3	—	—	—	
		46,8	7	—	—	—	—	53	10,5	22,7	1,7	12,7	1175	
Feinkohlengenerator Pintsch	Rauchkammerlöse . . .	2,9	19,2	—	—	—	—	—	5,0	26,0	0,2	12,0	1110	
		12	17	20	41	30	9	110	2,4	32,5	0,6	12,3	1155	
Hochdruck-Gaserzeuger Patent Kerpely	Koksasche, westfälische . . .	15	15	34	50	16	—	105	5,9	26,1	0,6	11,3	1130	
		9	15	11	50	34	5	130	5,2	26,7	1,9	15,0	1350	
		33	14	8	46	41	5	125	7,0	27,4	2,5	18,3	1520	
		20	12	4	71	23	2	105	10,0	21,9	2,0	22,2	1410	
	Anthrazitfeinkohle . . .	8	20	6	44	29	21	170	4,3	28,3	0,3	11,0	1160	

dampf gegeben werden soll. Die Verengung wird zweifellos das weitere Mitreißen von Staub verhindern. Die Gasbildung ist danach in dem oberen Teil des ringförmigen Schachtes bereits beendet. Die Gase treten durch die Öffnung *d* in den mittleren Schachtteil *e* und werden bei *f* abgeführt. Die Schlacke soll bei *g* bzw. *h* abfließen. Bei der Ritter Conley Co. in Leedsdale lieferte ein Gaserzeuger von 3 m Ø das Gas für eine 3000-PS-Gasmaschine¹⁾, und wäre diese Leistung eine zufriedenstellende. Das Gas schwankte in seiner Zusammensetzung allerdings sehr, und zwar von

2,8-9,4 % CO₂
 2,1-5,17 % CH₄
 12,2-27,5 % CO
 6,17-12,2 % H₂

woraus man auf Schwierigkeiten in der Beherrschung des Vorganges schließen muß.

Die Anwendung hohen Druckes hat sich bei den älteren Gaserbauarten nicht eingeführt, weil stets Kraterbildung und ungleichmäßiges Feuer auftrat. Auch als man dazu überging, die Drehrostgeneratoren speziell für die Anwendung hoher Drucke auszubilden (Hochdruckgenerator Kerpely D.R.P. 242017, Abb. 93, ähnliche Konstruktionen von Gutehoffnungs-Hütte, Pintsch u. a.), wurde man der

¹⁾ Journal of the Americ. Soc. of Mech. Eng. Dez. 1910.

Zahlentafel 46. Versuche von Pfeiffer mit Koksgrieß am Gaswerk zu Budapest.

	Kal.	%
Oberer Heizwert des Gases	4333	67,75
Verlust in der Asche	427	6,88
„ im Flugstaub	27	0,42
Fühlbare Gaswärme (Gastemperatur = 315°)	355	5,55
Verluste der Strahlung und Leitung	989	15,46
Zusammen	6396	100,00

Schwierigkeiten erst Herr, nachdem man erkannte, daß es notwendig war, die einzelnen Windströme möglichst aufzuteilen. Anstatt der Roste mit Windschlitzten verwendete man daher gebohrte Nadelroste mit Löchern von 6–22 mm Durchmesser (vgl. Abb. 94). Man erzielte so sehr gute Resultate, welche zusammen mit denjenigen anderer Bauarten in Zahlentafel 45 wiedergegeben sind. Trotzdem hat sich die Anwendung der Hochdruckgeneratoren in sehr beschränkten Grenzen gehalten, wohl mit Rücksicht auf die schwierige Betriebsführung. An manchen Stellen wurden sehr zufriedenstellende Ergebnisse erzielt. Pfeiffer stellte bei einem Leistungsversuch an einem Hochdruckgas-erzeuger von 2,6 m Ø im Budapester Gaswerk die in Zahlentafel 46 gegebene Wärmeverteilung fest, wobei aus Feinkoks von 5–10 mm Korn mit 69,9% C, 19,48% Asche und 7,36% H₂O ein Gas von 5,1% CO₂, 26,26% CO, 1,1% CH₄, 10,82% H₂, 56,56% N₂ und 1171 Kal. unterem Heizwert erzeugt wurde. Die Gasausbeute war 3,7 cbm, der Durchsatz 508 kg stündlich, somit etwa 96 kg je qm, der Dampfverbrauch war 0,484 je 1 kg Brennstoff.

Bei den unvermeidlich wechselnden Stückgrößen werden sich leicht Störungen ergeben, die nur durch peinliche Überwachung auf ein Mindestmaß zu beschränken sind. Trotzdem erscheint mir das Problem der Hochdruckvergasung heute wichtiger als je, und sind die erhaltenen Resultate ermutigend genug, um die Arbeiten daran wieder aufzunehmen. Nachdem die Hauptaufgaben durchaus günstig gelöst sind, werden auch die noch verbleibenden Teilaufgaben durch zweckmäßige Konstruktionen erledigt werden können. Es kommt besonders eine mechanische Stochovorrichtung mit Planiereinrichtung in Frage, und sind ja auch hierfür bereits aussichtsreiche Konstruktionen bekannt.

e) Vergasung von Rohbraunkohle.

Sehen wir also schon im Allgemeinen Schwierigkeiten bei der Vergasung feinkörniger Kohle, um wieviel mehr sind solche bei Brennstoffen zu erwarten, die nicht nur feinkörnig, sondern auch

wasserhaltig sind, wie z. B. die mitteldeutsche und rheinische Rohbraunkohle. Die stückige Knorpelkohle ist selbstverständlich ohne weiteres als ein günstiges Vergasungsmaterial anzusprechen, aber das sind nur wenige Prozente der Förderung. Die mulmigen Kohlen — die in bedenklicher Weise an minderwertigen Schnupftabak erinnern — das sind die Hauptmassen. Die Vergasung dieses Materials kann leider als eine gelöste Aufgabe noch nicht betrachtet werden. Von den bekannten Konstruktionen ausgehend, könnte man eine Vergasung der Förderkohle als möglich betrachten, wenn man eine sehr geringe Belastung des Schachtquerschnittes (etwa 60 bis 80 kg/qm) zugrunde legte. In Anbetracht des geringen Heizwertes der Kohle müßte man dann aber selbst bei mittlerer Größe der Anlagen mit einer so großen Anzahl von Gaserzeugereinheiten rechnen, daß die Wirtschaftlichkeit allein durch die Bedienungskosten und die Schwierigkeit der Kontrolle in Frage gestellt wird. Hier liegt daher eine besondere Aufgabe vor, die Schaffung eines Großleistungsgenerators. Eine sehr beachtenswerte Lösung dieser Aufgabe ist durch das D.R.P. 284264, den Ringgenerator der Firma Pintsch, Abb. 96, angebahnt. Andererseits wurden hierfür rechteckige Gaserzeuger vorgeschlagen, die aneinandergereiht werden können und daher eine zweckdienliche billige Beschickung und vor allen Dingen billige Baukosten versprechen, noch billigere wie die Bauart des Ringgenerators.

Der rechteckige Kammergaserzeuger verspricht sicher die geringsten Baukosten, besonders wenn man auf eine Ummantelung des Schachtes verzichtet. Die Unterteilung eines Großleistungsgenerators in einzelne Kammern erscheint aber schon aus dem Grunde geboten, um bei Störungen und Betriebsschwankungen einzelne Kammern abstellen zu können, ohne z. B. bei Außerbetriebnahme den ganzen Brennstoffinhalt zu verlieren. Diese Anregung von Geh. Rat Wittfeld führte zu einem Verlassen der Bauart des Ringgaserzeugers und veranlaßte die Entwicklung von rechteckigen Kammergaserzeugern, für welche in den letzten Jahren mehrere bauliche Vorschläge bekanntgeworden sind, besonders hinsichtlich der Rostbauart und Aschenaustragung (vgl. S. 158). Der rechteckige Schachtquerschnitt ist aber für die Vergasung nicht sehr gut geeignet, weil eine Windverteilung über die ganze Fläche sehr schwierig, ja beinahe unmöglich ist, und die toten Ecken eine Anstauung der Asche unterstützen. Es sei daher hier nur auf einige dieser Bauarten verwiesen, ohne dieselben näher zu beschreiben. Man vergleiche hierzu die D.R.P. 288127 v. F. Hoffmann, 296335 der Bamag, 315014 der M.A.N.¹⁾ und viele neuere Vorschläge. Eine befriedigende Lösung ist aber nach Ansicht des Autors bisher noch nicht gefunden.

¹⁾ Vgl. Fischer: Kraftgas. 2. Aufl., S. 177ff.

Solange man brauchbare Konstruktionen für die Vergasung von Rohbraunkohle noch nicht zur Verfügung hat, und aus wirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Gründen von der Vergasung von Briketts absehen will, ist es zu erwägen, mehr als bisher Naßpreßsteine für die Vergasung zu verwenden. Bei wesentlich geringeren Herstellungskosten gegenüber den Briketts sind die Naßpreßsteine als ein für den Generatorbetrieb durchaus geeigneter Stoff zu bezeichnen; wenn auch der Zerfall leichter eintritt als bei Briketts, so erfolgt er bereits in einer Zone, wo er keine einschneidende Bedeutung hat. Es wäre auch durchaus nicht notwendig, die Steine bis auf 20% und 25% Wassergehalt herunterzutrocknen, sondern es würde ein leichtes Nachtrocknen genügen, das in

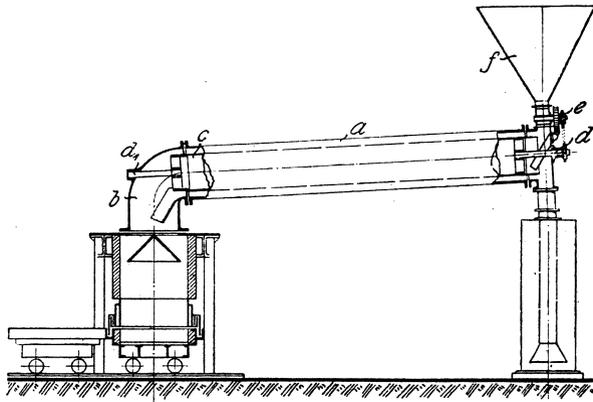


Abb. 113. Gaserzeuger mit Trockentrommel von Blezinger.

4–7 Tagen beendet sein kann, wenn man kleine Steinformen anwendet. Beachtenswert sind auch neue Vorschläge, die Festigkeit durch Beimengungen zu erhöhen (vgl. D.R.P. 323588). Sonst muß man Rohbraunkohle mit Briketts mischen.

Auf der anderen Seite ist die Vortrocknung der Rohkohle ein Mittel, die Vergasung zu ermöglichen. Man hat bereits früher versucht, die Trockenzone räumlich zu trennen und den Vorgang so zu führen, daß die Bildung von breiigen Massen vermieden wird. Dies will z. B. Blezinger, Abb. 113, durch eine vorgeschaltete Trommel erreichen, durch welche die Gase aus dem Schacht ziehen. Anlagen in dieser Bauart sollen in zufriedenstellendem Betrieb stehen, doch sind eingehende Ergebnisse nicht bekanntgeworden¹⁾. Noch weniger Aussicht auf Erfolg bieten die Bauarten, welche die strahlende Wärme des Gaserzeugers zur Vortrocknung verwenden wollen. Bessere Resultate wird man natürlich erreichen, wenn man die Trocknung nicht mit dem Gas selbst durch-

¹⁾ Vgl. Gießerei-Zeit. 1914, S. 633.

führt. Wenn dieselbe dann auch einen Verbrauch an Brennstoff mit sich bringt, so läßt sich diese Wärme teilweise wieder nutzbar machen, indem man die vorgewärmte Vergasungsluft für die Trocknung benutzt und auf diese Weise durch den aufgewendeten Brennstoff an Dampf für den Vergasungsbetrieb spart (vgl. Eckardt D.R.P. 302827, 1914 und 306060, 1916). Die Vortrocknung kann auch durch die Abgase von Feuerungen oder von Gasmotoren durchgeführt werden (vgl. Pintsch D.R.P. 209387).

Mit dieser Aufgabe hat sich besonders die A. G. für Brennstoffvergasung beschäftigt, und sei hier auf die Veröffentlichungen von Müller¹⁾

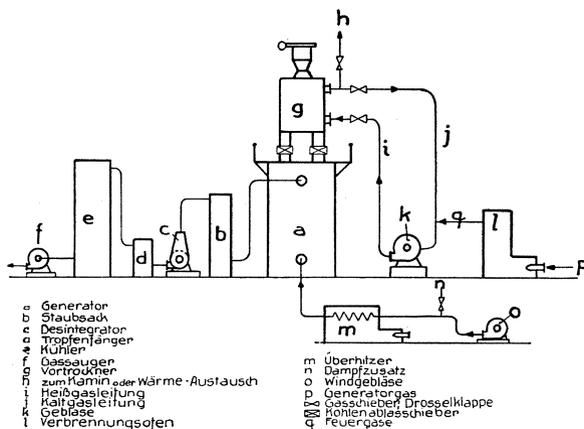


Abb. 114. Vergasungsanlage mit Vortrocknung der A. G. für Brennstoffvergasung.

und Dubois²⁾ verwiesen. Aus diesen geht hervor, daß augenscheinlich das Gleichstromverfahren für die Trocknung überlegen ist, daß man aber sehr sauerstoffarme Umlaufgase für den Vorgang benötigt. Über die Wirtschaftlichkeit der Trocknung selbst ist in den Aufsätzen nichts Ausführliches gesagt, und sei diesbezüglich auf die Kritik des Eckardtschen Verfahrens — und um dieses handelt es sich im Prinzip — durch de Grahl³⁾ verwiesen; die spärlichen Angaben in den obigen Veröffentlichungen scheinen dieselbe durchaus zu rechtfertigen. Das Schema der Gesamtanlage ist in Abb. 114 ersichtlich. Die vorgetrocknete Kohle (des rheinischen Reviers) wurde in verschiedenen Versuchen mit 20% und 40% Feuchtigkeit in einem Gaserzeuger mit Schiebeplanrost neuer Bauart erprobt, wobei man mit verschiedenen Sättigungstemperaturen der Vergasungsluft arbeitete. Der Gaserzeuger ist in Abb. 115 dargestellt.

¹⁾ Braunkohle 1921/22, S. 1 u. ff.

²⁾ Z. d. V. d. I. 1922, S. 821.

³⁾ Wirtschaftliche Verwendung der Brennstoffe. 2. Aufl., S. 98—100.

Die Ergebnisse waren durchaus zufriedenstellend, wie ja zu erwarten war; die Leistung war 130 kg je qm und Std. Die Gasanalysen, die in Zahlentafel 47 für zwei verschiedene Versuche wiedergegeben sind, zeichnen sich durch deren hohen Gehalt an CH_4 aus, der durch die gün-

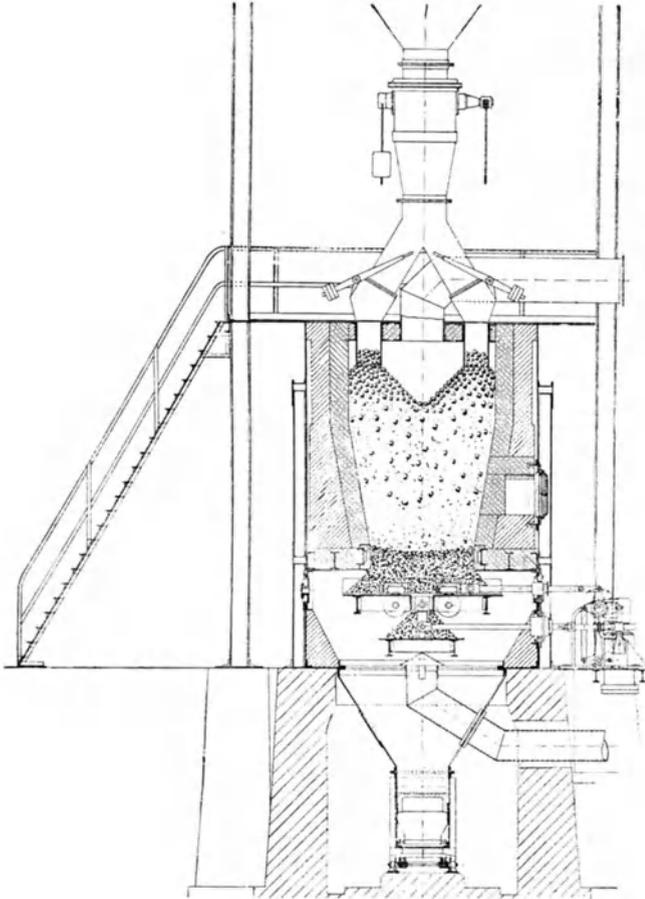


Abb. 115. Gaserzeuger mit Schiebepanrost.

stigeren Destillationsverhältnisse gegenüber einer Vergasung von Rohkohle bedingt ist. Der Wärmeinhalt im reinen und kalten Gas war 73,5 % vom Brennstoffheizwert. Die Höhe der Glutschicht ist bei der leicht vergasbaren Braunkohle wegen der dichten Lagerung in derselben sehr beschränkt und legt man daher auf eine ruhende Glutschicht großen Wert; aus diesem Grunde hält man vielfach den Drehrostgaserzeuger nicht für diese Aufgabe geeignet, obwohl sich eine Anpassung

Zahlentafel 47. Vergleichende Vergasungsergebnisse.

	Bansen Rohkohle mit 58% H ₂ O	Weiß & Becker Rohkohle mit 57% H ₂ O	Müller Trockenkohle mit 40% H ₂ O 70° Sättigung	Müller Trockenkohle mit 20% H ₂ O 75° Wind- sättigung
CO ₂ %	8,62	9,3	9,4	13,4
CO %	23,50	23,3	22,7	18,9
CH ₄ %	0,49	1,4	3,8	4,1
H ₂ %	10,90	11,9	17,2	20,5
C _m H _n %	0,2	—	—	—
Heizwert. . . Kal./cbm	1082	1114	1458	1452
Verbrennungstempe- ratur °C	1610	1620	—	1715

zweifellos durchführen lassen müßte. Eine solche stellte gewissermaßen der neue Planrostgaserzeuger von Goetz (Eisenhüttenwerk Keula) dar (vgl. S. 159), doch erscheint die Stauung der Asche auf dem Rost nicht ganz vorteilhaft, und vor allen Dingen ist bei dieser Bauart keine Möglichkeit gegeben, die Leistung zu steigern oder zur Erreichung dieses Zieles die Rostfläche zu vergrößern. Obwohl man daher in dieser Lösung eine beachtliche Weiterbildung sehen kann, dürfte sie eine endgültige und wirkliche Erledigung des Problems nicht bringen. Einen völlig ähnlichen Gaserzeuger hat in der letzten Zeit die A.G. für Brennstoffvergasung — Lurgi G. m. b. H., Frankfurt a. M. (System Müller) — auf den Markt gebracht, über den aber Erfahrungen noch nicht vorliegen.

Auf Grund aller verschiedenen Erprobungen kann aber zusammenfassend festgestellt werden, daß sich eine Vergasungsleistung von mehr als 120—150 kg/Stunde/qm Schachtfläche bei mulmigen Braunkohlen nicht erzielen lassen dürfte; diese Zahl ist von der Rostbauart ganz unabhängig, weil sie durch die Verhältnisse im Brennstoffbett bedingt ist. Höhere Zahlen (wie z. B. bei den Versuchen von Goetz¹⁾) sind entweder auf bessere Brennstoffverhältnisse oder einen nicht gleichmäßigen Betrieb zurückzuführen (während der Ruhezeit oder geringerer Belastung erholt sich der Gaserzeuger, die Glutschicht wird ausgeglichen und verstärkt, so daß später eine vorübergehende Forcierung ohne Verschlechterung der Gaszusammensetzung möglich erscheint). Die Aufgabe ist demnach — wenn man das Problem der Vortrocknung ausschaltet —, eine große Schachtfläche und zugleich Rostfläche mit billigen Anlagekosten zu schaffen und die gleichmäßige Verteilung des Brennstoffes auf diesem großen Rost sowie die selbsttätige Entfernung der Rückstände zu sichern.

¹⁾ Vgl. Roth: Br. Jg. 21. S. 754.

V. Aufbau der Gesamtanlagen.

1. Anordnung der Gaserzeuger mit Nebeneinrichtungen.

Die Anordnung der Gaserzeuger geschieht meist reihenweise, weil dies nicht nur für rechteckige Schächte die von selbst gegebene ist, sondern auch für runde Schächte mit Rücksicht auf die Nebeneinrichtungen vorteilhaft erscheint. Von diesen kommen außer denjenigen für Beschaffung und Zuführung der Vergasungsluft, Zufuhr des Brennstoffes und Abfuhr der Rückstände, insbesondere die für die Abführung und Weiterleitung des erzeugten Gases in Frage. Bei der Aufstellung mehrerer Gaserzeuger kommt, wie Abb. 116 erkennen läßt, in erster Linie bei zentraler Anordnung ein Absperrventil und meist zur Ablagerung des mechanisch mitgerissenen Staubes ein Staubsack in Frage. Vom Ventil weg gelangt das Gas in eine gemeinsame oberirdische Leitung oder in einen gemauerten Kanal.

In erster Linie wäre die Frage zu prüfen, ob die zentrale Anordnung vorzuziehen ist. Im Anfange der Entwicklung wählte man gewöhnlich für jede Verbrauchsstelle einen oder mehrere entsprechend bemessene Gaserzeuger und gestaltete die Weiterleitungswege des Gases möglichst kurz; es war dies besonders geboten, solange man der Luftgasherstellung den Vorzug gab, da dann die Eigenwärme des Gases eine hohe ist und zur Vermeidung von Verlusten erhalten werden mußte. Ein wesentlicher Nachteil der Einzelanordnung liegt in dem Umstande, daß jede Erzeugungsstätte mit einem Reservegaserzeuger ausgestattet werden mußte, wenn man nicht Störungen der angeschlossenen Betriebe in Kauf nehmen wollte. Dieser Gesichtspunkt spielte so lange keine ausschlaggebende Rolle, als man sehr einfache Gaserzeuger (wie z. B. den Siemens-Gaserzeuger) benutzte, deren Anschaffungskosten gering waren und deren Reparaturbedürftigkeit keine schnell eintretende sein konnte bzw. deren Schadhafwerden durch eine kleine Einschränkung des Betriebes (weil bei den kleinen Einheiten meist mehrere Gas-

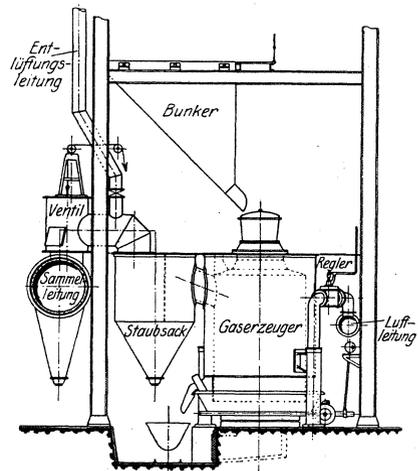


Abb. 116. Anordnung von Gaserzeugern mit Staubsäcken, Ventilen u. dgl.

erzeuger für einen Ofen od. dgl. entfielen) behoben werden konnte. Die Zusammenfassung der Gaserzeuger brach sich aber immer mehr Bahn mit Rücksicht auf eine billigere und vereinfachte Zufuhr und Stapelung der Brennstoffe, sowie Ersparnisse in der Bedienung und Überwachung. Man hat allerdings vielfach Zentralanlagen geschaffen, worin die Gasableitung genau so gehandhabt wird wie bei Einzelanlagen; dieser Anordnung kann außer der Ersparnis an Transportkosten kaum ein Vorzug zugesprochen werden, weil die Verluste in den Leitungen dieselben sind wie bei Gesamtanlagen. Die Anpassung der jeweils in Frage kommenden Gaserzeugergruppe an die Betriebsverhältnisse der angeschlossenen Öfen u. dgl. ist aber nicht entscheidend, weil auch bei zentraler Anordnung diesen Erfordernissen nachgekommen werden kann, wenn die Anlage richtig bemessen ist. Der Hinweis auf zweckmäßige Überwachung und besonders auf Verbrauchskontrolle dürfte vollends jedem offenkundigen Betriebsmann nicht wesentlich erscheinen; denn dieser kennt die vielen verschiedenen Einflüsse und kann sie auch ohne Zahlen richtig beurteilen; jedenfalls hat man sich schließlich fast allgemein zu einer objektiven und gleichfalls zentralisierten Überwachung entschlossen, was die Haltlosigkeit dieser Begründung beweist.

Die Verluste an fühlbarer Wärme bei der Weiterleitung sind große und bedingen leicht Verluste bei zentralen Anlagen. Man darf aber diesen Einfluß auch nicht überschätzen. Nach allgemeiner Erfahrung rechnet man bei gemauerten Kanälen (Doppelsteinstärke) mit $0,5^{\circ}\text{C}$ und bei ausgemauerten (Halbsteinstärke) Leitungen 1°C Temperaturverminderung pro laufenden Meter; diese Zahlen gelten für mittlere Gastemperaturen von 300° – 400° und sind naturgemäß bei höheren Temperaturen wegen des wesentlich größeren Temperaturgefälles gesteigerte. Es ist dies der Grund, weshalb z. B. der Verlust im Staubsack und Ventil meist größer ist als in 50 m der anschließenden Leitung bzw. in 100 m Kanal. Es kommt also selten der etwas weiteren Entfernung eine entscheidende Bedeutung zu, wenn man mehr der bereits ausgesprochenen Forderung Rechnung tragen würde, den Gaserzeuger so kalt als möglich zu betreiben.

Die sonach mit Berechtigung vorgezogene zentrale Anordnung von Gaserzeugern ist, wie bereits gesagt, von alters her gewohnheitsmäßig eine lineare. Gerade bei kleineren Anlagen wäre aber vielleicht die Anregung zu geben, ob nicht eine Anordnung im Kreis bzw. Halbkreis (beispielsweise für 3–5 Gaserzeuger) Vorteile bietet. Man würde beispielsweise bei Kübelbeschickung mit einem Drehkran die Beschickung ohne Bunker leicht bewerkstelligen können. Für die Gaserzeuger könnte ein gemeinsamer (im Mittelpunkt liegender) Staubsack angeordnet werden. Auch die Tragkonstruktion der Generatorschächte könnte

vielleicht vereinfacht werden; ja man könnte sogar daran denken, den Schächten eine gemeinsame Ummantelung zu geben u. dgl. Wichtig wäre dabei auch der geringe Platzbedarf, während zuungunsten die schlechte Erweiterungsmöglichkeit spricht; bei mechanisch betriebenen Gaserzeugern bereitet auch die Verlegung der Transmission Schwierigkeiten, doch erscheint dieser Punkt nicht hindernd. Weil aber diese Anordnung bisher meines Wissens nie benutzt wurde, so wird im nachfolgenden nur auf lineare Anlagen Bedacht genommen, und sei es bei dem vorstehenden Hinweis belassen.

Betrachten wir vorerst die Gasabführung. Als Absperrorgane eignen sich Schieber wegen der leichten Verschmutzung nicht oder nur in einfacher Ausführung, ähnlich den Brillenschiebern bei Hochofengasleitungen, die allerdings nur dann am Platze sind, wenn keine häufige Betätigung notwendig ist. Oft hat man solche einfachen Schieber neben Ventilen an gewissen Stellen vorgesehen, um eine absolut gasdichte Absperrung herbeiführen zu können. An brauchbaren Schieberkonstruktionen seien Zahnstangenschieber oder Rollenschieber mit Abdruckschrauben erwähnt, durch welche letztere eine Lockerung der Verschmutzung möglich ist. Allgemeiner sind Ventile im Gebrauch, selten solche mit Wasserabschluß wegen der eintretenden Verdampfung und Verschmutzung des Wassers. Bei niedrigen Gastemperaturen sind Klappen mit Wasserabschluß am einfachsten. Bei höheren Gastemperaturen nimmt man Tellerventile, deren Gehäuse und Teller durch feuerfeste Ausmauerung geschützt werden. Die Befestigung des Tellers geschieht an glatten Gestängen mit Seilzug oder an Spindeln; letztere lassen ein besseres Abdichten des konischen Tellers auf dem Sitz zu, doch ist die Betätigung umständlicher und langsamer; auch ist die Abdichtung oft durch Koks- und Teeransätze am Sitz erschwert. Am entsprechendsten für normale Betriebsverhältnisse sind daher Ventile mit Seilzug, die von der Bedienungsbühne leicht und schnell bedient werden können.

Vor dem Ventil ist gewöhnlich eine Entlüftungsklappe angebracht oder ein über die Bedienungshalle hochgeführtes Entlüftungsrrohr mit leicht zu betätigender, gut dicht schließender Klappe, um beim Schließen des Ventils dem Gas sofort einen Austritt zu geben. Das Ventilgehäuse trägt meist eine Explosionsklappe, die zugleich als Reinigungs-klappe dient. Das Ventil sitzt entweder auf der Gassammelleitung oder mittels Standrohr auf dem Gaskanal derart, daß das Gas aus dem Gehäuse im geöffneten Zustand nach unten durch den Sitz strömt. Die umgekehrte ältere Anordnung ist zu verwerfen. Schließt das Ventil nicht vollkommen dicht, so kann man nach Öffnen der Explosionsklappe mit Sand oder Lehm nachdichten.

Zwischen Gaserzeuger und Ventil ordnet man meist Staubsäcke an, da fast jeder Brennstoff durch Verrieb Staub enthält. Meist kann

man sie aber nicht so groß ausgestalten, daß die Verringerung der Geschwindigkeit allein zum Ausfallen genügt, daher sieht man mehrfache Richtungsänderung vor. Bei derart geteilten Staubsäcken ist es richtig, dem aufsteigenden Strom einen größeren Querschnitt zu geben als dem absteigenden. Allzu große Staubsäcke sind wegen der großen Abkühlungsverluste und den gerade dabei festgestellten Rußabscheidungen nicht zu empfehlen. Man kann für 1 t Stundendurchsatz, bzw. 5 Mill. Kal. stündlichem Gasheizwert mit 0,5 qm Querschnittsfläche bei 600° Gastemperatur und mit 0,25 qm bei Gastemperaturen bis 300° für Rohrleitungen und Ventilquerschnitte rechnen. Bei den Staubsäcken rechnet man für die gleiche Leistung im aufsteigenden Ast mindestens 5 qm Querschnitt, also das Zehnfache. Vorstehende Abmessungen genügen, wenn die Leitungen einmal monatlich gereinigt bzw. ausgebrannt werden; mit Rücksicht auf letzteres darf die feuerfeste Ausmauerung nicht zu gering gewählt werden. Die Staubsäcke erhalten unten einen Verschluß mit Konus, der zugleich als Explosionsklappe dient oder auch Wasserabschluß, außerdem sind oben und an den Seitenwänden Reinigungsöffnungen und Klappen anzubringen. Bei Richtungswechsel in den Leitungen sind stirnseitig große Explosionsklappen vorzusehen, die zugleich als Abzugsöffnung beim Ausbrennen dienen, falls man kein anderes Hilfsmittel benutzt. Die Absperrventile der Öfen bzw. anderen Gasabnahmestellen, die meist auf den Gasleitungen und Kanälen aufsitzen, damit sie beim Schließen auch nicht unter Gas stehen, werden meist mit Spindeln ausgeführt.

Über die Ausführung der Gaserzeuger selbst braucht hier kaum etwas gesagt zu werden, da die Details dieser ja aus den gebrachten Abbildungen hervorgehen. Die Abstände der einzelnen Gaserzeuger werden sich je nach dem Schachtdurchmesser und der Bauart richten; bei mechanisch betriebenen wird man eine engere Anordnung wählen können, weil die viel Raum beanspruchende Schlackearbeit in Wegfall kommt. Man kann die Abstände mit 1,5—3 m größer als den äußeren Schachtdurchmesser rechnen, und wird man nie eine zu gedrängte Anordnung wählen, falls nicht vorhandene Gebäude od. dgl. benutzt werden müssen. Der Schacht selbst ist bei den neueren Bauarten mit Aschenschüsseln durch Tragfüße gegen das Fundament abgestützt; man hat diese auch hohl gestaltet und für die Zuführung der Vergasungsluft benutzt, wodurch nicht nur eine geringe Kostenersparnis, sondern vor allen Dingen eine Platzersparnis erzielt wird. Die Schächte zeigen den unteren gußeisernen Tragring aus mehreren Segmenten zusammengesetzt und darüber den schmiedeeisernen Mantel, der innen die Ausmauerung aufnimmt; beim Einbringen derselben muß man einen kleinen Luftraum lassen, der mit Sand oder Kieselgur gefüllt wird, um eine Ausdehnung des feuerfesten Materials zu ermöglichen. Die Decke ist meist aus Guß-

eisen und trägt die Stochlöcher; bei größerem Schachtdurchmesser nimmt man mehrere Segmente. Schmiedeeiserne Abdeckplatten sind nicht empfehlenswert, weil sie sich beim Heißwerden verziehen. Die Ausmauerung des Schachtes ist oben als Gewölbe ausgebildet, das Öffnungen für die Stochlöcher und Fülltrichter besitzt. Bei Braunkohle kann man dieses Gewölbe ganz entbehren oder wird es wenigstens sehr schwach halten. Die Deckplatte trägt einen oder mehrere Fülltrichter.

Alle heute verwendeten Fülltrichter haben doppelten Verschuß, einen unten abdichtenden Verteilungskegel und einen oben abgedichteten drehbaren oder klappbaren Deckel, so daß beim Füllen nur die Gasmenge verlorengeht, die im leeren Fülltrichter eingeschlossen ist und durch etwaige Undichtigkeiten austritt. So groß manchmal die derart entweichende Gasmenge erscheinen mag, so gering ist sie tatsächlich; aber dieser Gasaustritt ist eine unangenehme Belästigung der Bedienung und der Umgebung. Es empfiehlt sich daher, die Füllung gleich nach dem Gichten vorzunehmen, weil sonst die unteren Teile des Fülltrichters zu heiß werden und dann der eingefüllte Brennstoff sofort entgast. Vielfach entzündet man das Gas beim Öffnen des Deckels, um den Qualm zu vermeiden; es ist dies ein ganz ungefährliches Mittel, wenn nicht irgendwelche Baulichkeiten es verbieten. Mit Vorteil kann auch eine Dampf- oder Windbrause im Fülltrichter angewendet werden, die in ähnlicher Weise wie die Dampfstochlöcher wirkt.

Die Größe des Fülltrichterinhaltes soll so bemessen sein, daß alle 30—40 Minuten begicht werden kann. Ist der Fülltrichter zu groß, so behilft man sich mit halben Füllungen. Zwecks besserer Kontrolle der Durchsatzleistung ist es vorzuziehen, den Fülltrichter teilweise auszumauern, weil man sich dadurch geänderten Betriebsbedingungen leicht anpassen kann.

Die Stochlöcher sind meist einfache Kegel. Viel verwendet sind mit einer Bohrung versehene Kugeln (D.R.P. 69433 von Krupp, 1892), die mit einem kleinen Segment aufsitzen. Man kann daher die Stochstangen bereits in die Kugel einführen, ohne daß Gasverluste entstehen, und dreht die Stange mit der Kugel dann erst in die senkrechte Stellung zur Einführung in den Gaserzeuger. Die Belästigung der Arbeiter ist daher sehr gering. Neuerdings führt man die Stochlöcher gern mit Wind- oder Dampfverschlüssen aus, indem man durch feine abwärts gerichtete Schlitzte dem austretenden Gasstrom Wind oder Dampf entgegenbläst, um so den Gasaustritt zu vermeiden und die Stocharbeit zu erleichtern. Eine einfache Bauart ist in Fig. 117 dargestellt, vielfach verwendet sind auch die Bauarten von Spetzler, Düsseldorf, und J. Pintsch, A.-G., Berlin, die ein beim Wegdrehen des Stopfens mittelbar geöffnetes Ventil und daher eine zwangsläufige Abhängigkeit dieser beiden Handhabungen aufweisen, wie Abb. 118 zeigt. Ähnlich ist auch der Verschuß von

Dango & Dinnendahl in Siegen, der eine drehbare Klappe als oberen Verschuß hat, die gleichfalls zwangsläufig das Dampfabsperrenteil betätigt; die Deckelverschlüsse sind aber nie so dicht und arbeiten sich leicht aus, weshalb man der früher angeführten Bauart den Vorzug geben muß. Ungünstig ist bei den automatischen Verschlüssen nicht nur der Umstand, daß die Anlagekosten durch die notwendige Dampfleitung mit Ventilen sehr verteuert wird, sondern vor allen Dingen, daß in den Leitungen sehr bedeutende Kondensationen eintreten, weil ja die Betätigung der Verschlüsse bei gutem Betrieb mög-

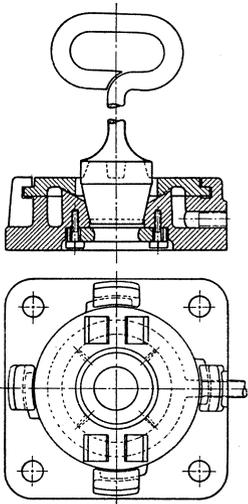


Abb. 117. Einfacher Dampfstoßlochverschluß.

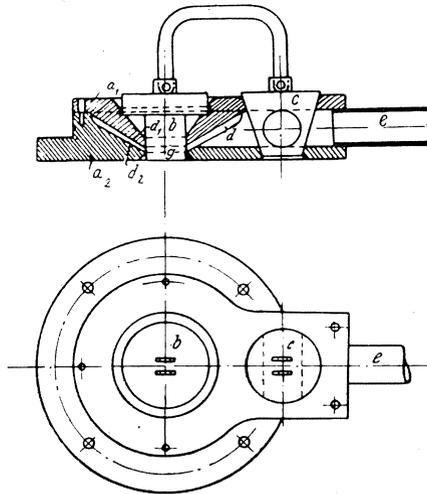


Abb. 118. Dampfstoßloch von Spetzler.

lichst selten vor sich gehen soll; ferner ist die Ringleitung für die Bedienung der Gaserzeuger leicht störend, besonders des Nachts. Beachtenswert sind daher die tragbaren bzw. abhebbaren Dampfstoßlochverschlüsse des Eisenwerkes Manstaedt & Co. (D.R.P. 299565). Man benötigt nicht nur weniger Apparate für eine große Anlage und beläßt die einfachen Stopfen, die z. B. beim Beobachten des Feuers ohnedies günstiger sind, weil der Dampfschleier bzw. die abwärts gerichtete Flamme hinderlich einwirken; ferner verlegt man eine gemeinsame Dampfleitung seitlich von den Gaserzeugern, die gut isoliert werden kann und sieht für jeden Gaserzeuger einen Anschluß mit Ventil und biegsamem Metallschlauch vor. Besonders bei vorhandenen Anlagen erscheint diese Bauart von einem durchaus richtigen Gedanken auszugehen.

Für die Windbeschaffung benutzt man elektrisch angetriebene Ventilatoren (notwendiger Druck 200—400 mm WS). Die früher oft

angewendeten Dampfstrahlgebläse werden jetzt meist nur als Aushilfe benutzt, da sie eine zu große Dampfbeimischung zur Vergasungsluft geben und ein dauerndes, unangenehmes Geräusch verursachen, das im Betriebe störend ist. An Stelle dieser sind für den Fall von Stromunterbrechungen auch Ventilatoren mit direkt gekuppelten Dampfturbinen empfehlenswert, deren Abdampf als Zusatzdampf verwendet werden kann, bzw. es erscheint vorteilhaft, diese Gebläse mit Dampfantrieb normal zu benutzen und elektrisch angetriebene als Reserve vorzusehen, weil man derart die Antriebskraft so gut wie kostenlos hat. Daß diese Lösung vorteilhafter ist als die sogenannten Körting-Düsen (Dampfstrahlgebläse) zeigt nachstehende Rechnung. Letztere erfordern im günstigsten Fall 180 g Dampf für die Förderung von 1 cbm gegen 200 mm WS. Meist ist der Dampfverbrauch wegen unrichtiger Wartung noch größer. Dagegen ist der Kraftverbrauch eines guten Kreiselgebläses gegen 400 mm WS nur etwa 20 PS für 100 cbm minutliche Luftmenge. Der Dampfverbrauch wird bei Gegendruckarbeit (der Dampf muß bei Überhitzung mit mindestens 1,8 Atm., sonst mit 2,5 Atm., entnommen werden, um eine beachtliche Kondensation beim Zusammentreffen mit dem kalten Luftstrom zu vermeiden) etwa 25—35 kg Dampf je PS/Std. je nach der Dampfspannung sein. Es entfallen daher für 1 cbm Luft nur 80—120 g Dampf, entsprechend 45°—52° Taupunkt, was mittleren Betriebsverhältnissen entspricht, während die Dampfmenge bei Körting-Düsen etwa 58° Sättigungstemperatur gleichkommt und daher zu hoch ausfällt. Der Windbedarf berechnet sich mit 3,25—3,50 cbm für 1 kg zu vergasenden C, die Geschwindigkeit in den Luftleitungen kann mit 20 m/Sek. gewählt werden. Zur Regelung der Windpressung sind Schnellschußschieber gegenüber Drosselklappen zu bevorzugen.

Vielfach hat man Regler für die Einstellung der Luftmengen im Gebrauch (Bauarten von Pintsch, A.V.G. u. a. m.). Deren Anbringung bietet zwar unbestreitbar Vorzüge, da aber eine Regelung von Hand aus nicht ganz entbehrt werden kann, und diese auch sehr einfach ist, so haben sich solche Regler nur wenig eingebürgert und erscheinen auch nicht erforderlich.

Andererseits hat man zum Einbau in die Windleitung auch Sicherheitsvorrichtungen vorgeschlagen, die beim Versagen des Gebläses einen Rücktritt von Gas in die Windleitung verhüten sollen, bzw. die Bedienung aufmerksam machen (Vorschlag von Erbreich), oder schließlich selbsttätig ein Dampfstrahlgebläse in Wirkung setzen (Vorschlag von Poetter G. m. b. H.)¹⁾. Über Erfahrungen mit allen diesen Einrichtungen ist nichts bekanntgeworden, sie sind auch sehr spärlich ver-

¹⁾ Vgl. Fischer: Kraftgas. 2. Aufl., S. 192.

breitet. Wenn man nicht elektrischen Strom, sondern Dampf für die Windbeschaffung wählt, so werden solche Vorkommnisse sehr selten eintreten, und lassen sich Explosionen im Windraum durch die allgemeine Vorsichtsmaßregel, bei Stillstand des Gebläses gleich die Windraumtür zu öffnen, leicht vermeiden. Die Störungen durch das notwendige Umschalten sind aber von so geringer Dauer, daß derartige Einrichtungen entbehrlich erscheinen.

Die Dampfleitung führt man meist getrennt von der Luftleitung bis dicht unter den Rost, um Kondensation zu vermeiden; tatsächlich liegt darin kaum ein Vorteil, weil die möglicherweise eintretende Kondensation lediglich durch die notwendige Erwärmung der Luft bis auf Sättigungstemperatur bedingt ist; auch kann diese Anordnung ungleichmäßige Verteilung des Dampfes mit sich bringen. Zeigt sich unter dem Rost erhebliche Kondensatbildung, so ist

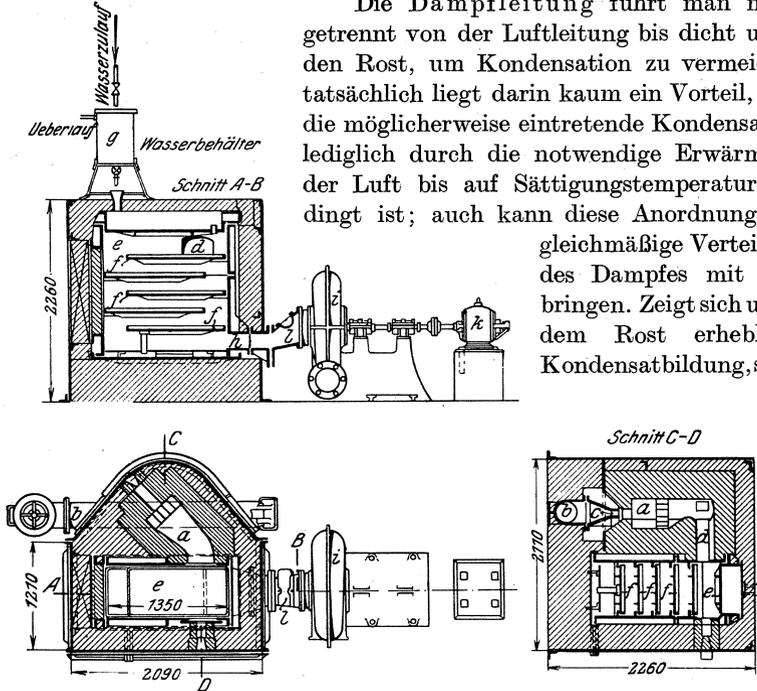


Abb. 119. Verdampfer von Bender & Främb's.

überhitzter Dampf anzuwenden. In diesem Falle kann der Dampf ohne Bedenken schon in der Leitung beigemischt werden, weil dadurch eine bessere Mischung erzielt wird. Hierbei läßt sich auch durch einfache Temperaturmessung unter dem Rost die Sättigungstemperatur der Luft und damit der Dampfzusatz verläßlich überwachen.

Besondere Erwähnung verdienen die Verdampferanlagen, die besonders dann wichtig sind, wenn Dampfzentralen nicht vorhanden oder weit entfernt sind. Die älteste und verbreitetste Anordnung ist die von Bender & Främb's¹⁾ nach Abb. 119, die auch wärmetechnische Vorteile verspricht. Man sättigt in dem Verdampfer Abgase von hoher

¹⁾ Vgl. Krieger: St. u. E. 1919, S. 1202.

Temperatur mit Feuchtigkeit und mischt diese der Vergasungsluft zu; die Abgase werden durch Verbrennung eines geringen Teiles (etwa 3%) des gewonnenen Gases erzeugt und streichen über Platten, die mit Wasser berieselt werden; durch Regelung der Wasserzufuhr hat man die Sättigung vollständig unter Kontrolle; daneben wirkt auch der CO_2 -Gehalt der Abgase kühlend auf den Vergasungsvorgang, wodurch die Wirkung des Wasserdampfes unterstützt wird (vgl. D.R.P. 241586).

Ähnliche Einrichtungen wurden von Hinselmann u. a. vorgeschlagen, bei denen auch die Abgase von Öfen Verwendung finden können; im letzteren Fall wird aber die Regelung eine schwierigere sein. Will man solche zu dem genannten Zweck ausnutzen, so erscheint es vorteilhafter, einen Winderhitzer einzubauen, wie dies z. B. die Gesellschaft für Abwärmeverwertung, Berlin, vorschlägt. Durch die Vorwärmung der Luft kann man dann die Verdampfung wesentlich weiter treiben, ohne zu große Mengen von Abgasen beimengen zu müssen.

Der Antrieb der mechanisch angetriebenen Gaserzeuger geschieht von einer Transmission aus, die vorteilhaft über Flur angeordnet wird. Bei tiefliegenden Transmissionskanälen tritt zu leicht eine Verschmutzung ein, auch ist die Überwachung erschwert. Über die Antriebsteile, z. B. bei Drehrostgaserzeugern, wurden bereits bei den einzelnen Bauarten Hinweise gemacht.

Die Aschenabfuhr der Drehrostgaserzeuger wurde ebenfalls bereits besprochen. Die über den Rand der Schüssel selbsttätig beförderten Rückstände gelangen durch eine Rutsche meist direkt in Kippbühnen. Dieselben sind vertieft aufgestellt, wie beispielsweise Abb. 116 erkennen läßt. Über den Weitertransport der Asche wird noch später einiges zu sagen sein.

2. Brennstofflagerung und Förderung.

Die Frage der Stapelung von Brennstoffvorräten ist meist eine Angelegenheit, die ein ganzes Werk betrifft, und muß sich daher die Gaserzeugeranlage den allgemeinen Erfordernissen anpassen. Da aber gerade der Vergasungsbetrieb eine gleichmäßige Beschaffenheit des Brennstoffes sowohl hinsichtlich Herkunft, Beschaffenheit und Körnung verlangt, so kann man eine Stapelung an den Gaserzeugern selbst kaum entbehren. Früher und bei kleinen Anlagen speicherte man meist auf der Bedienungsbühne und daneben in offenen Lagern oder Hallen mit Flugdächern, von wo die Kohle mit Hand zugeführt wurde. Die Lagerung im Freien ist wegen der Niederschläge und besonders wegen des Einflusses der Sonnenbestrahlung (oder besser wegen des Wechsels zwischen diesen beiden) ungünstig, weil der Brennstoff verwittert und an Wert verliert. Manche Kohlen, wie z. B. Braunkohlen, neigen besonders zum Zerfall. Auch wenn sich dieser erst nach einiger Zeit stärker und

augenscheinlich bemerkbar macht, so ist ein derartig gelagerter Brennstoff doch minderwertiger, weil er im Gaserzeuger stärker zum Zerfall und zur Staubbildung neigt als frischer. Es ist daher unrichtig, dauernd über ein Lager zu arbeiten, wobei die Kohle nur etwa 2—3 Wochen gelagert bleibt, nicht nur weil diese Minderung eintritt, sondern auch weil die Kohle einer mehrfachen Umlagerung unterworfen wird, die den Verrieb begünstigt. Auch hat man bei dieser Handhabung nur eine verhältnismäßig geringe Reserve. Richtig ist vielmehr, den sogenannten eisernen Bestand getrennt zu lagern und nur 1—2mal im Jahr aufzuarbeiten bzw. zu wechseln. Diese Lagerkohle wird dann zwar erheblich gelitten haben, und man muß für diese Zeit die bekannten Nachteile bei Vergasung staubreicher Kohle in Kauf nehmen. Während des übrigen Jahres aber verarbeitet man frische Kohle, die mit möglichst wenig Umlagerung und Handhabung zum Gaserzeuger kommt. Ein zahlenmäßiges Beispiel soll dies erläutern, wobei die Minderung bei der Vergasung dem halben Staubgehalt gleichgesetzt wird:

FrISChe Kohle habe 5% Verrieb, bei fortlaufender Arbeit über ein Lager ergebe sich 10% Verrieb (niedrig gerechnet), ein Jahr lang gelagerte Kohle ergebe 30% Staub (hoch gerechnet, weil die Verwitterung hauptsächlich an der Oberfläche der Stapel eintritt); die Umsetzung des Lagers erfolge einmal im Jahr während drei Wochen. Der Verlust im ersten Fall ist dann bei a ts täglicher Vergasung

$$(360 \cdot a \cdot 5,0) : 100 = 18 a .$$

Im zweiten Fall ist derselbe

$$(340 \cdot a \cdot 2,5 + 20 \cdot a \cdot 15) : 100 = 11,5 a .$$

Der Unterschied ist daher erheblich.

Um die ungünstigsten Einflüsse der Witterung hintanzuhalten, empfiehlt sich die Lagerung unter Wasser (vgl. S. 32), die sowohl bei Steinkohle als auch bei böhmischer Braunkohle erprobt ist und sich voraussichtlich auch für alle übrigen Brennstoffe eignen dürfte.

Die Ausgestaltung der Brennstofflager steht mit der Wahl der Fördereinrichtungen im engsten Zusammenhang. Für die Auswahl letzterer sind die Werksverhältnisse und örtlichen Bedingungen (Höhenlage, Zufuhr u. dgl.) oft entscheidend; es kann daher diese Frage nicht allgemein beantwortet werden. Über die möglichen und brauchbaren Transporteinrichtungen geben die einschlägigen Handbücher Aufschluß. Zu beachten ist insbesondere folgendes: Der Brennstoff soll möglichst schonend behandelt werden, und ist eine mehrmalige Umlagerung zu vermeiden. Becherwerke und Transportbänder eignen sich daher weniger gut, besonders auch aus dem Grunde, weil die Abnutzung bei dem oft harten Brennstoffstaub eine große ist. Diese Einrichtungen

sind nur am Platz für Torf und evtl. Rohbraunkohle. Für Torf nimmt man auch vielfach die noch billigeren Kratzbänder.

Am vorteilhaftesten sind Tiefbunker und Kübelbetrieb, weil dabei die Kohle nur fällt und mechanisch wenig beansprucht wird. Die Kübel können sowohl bei Kranbetrieb als auch bei Laufkatzen und Katzen mit Fernsteuerung gebraucht werden. Vielfach hat man auch Kübel auf Laufbahnen für Handbetrieb mit Aufzügen zur Überwindung der Höhenunterschiede kombiniert. Für kleine Anlagen sind Laufkatzen für Handbetrieb oder mit Fernsteuerung am günstigsten; nur muß das Lager dicht neben den Gaserzeugern liegen und nicht sehr umfangreich sein, weil sonst die Bedienung schwierig wird. Auch hindern solche Einrichtungen oft die Erweiterungsmöglichkeit der Anlage, und sind daher Laufkatzen mit Führerstand besser; man ordnet dann das Lager meist parallel zur Gaserzeugeranlage an, so daß beide beliebig erweiterbar sind. Der Kranbetrieb erlaubt meist nur eine geringe Lagerung, er empfiehlt sich aber besonders bei doppelreihiger Anordnung der Gaserzeuger und dann, wenn der Kran auch die Aschenabförderung mit übernehmen soll. Die Bauart eines bewährten Kübels mit Bodenentleerung zeigt Abb. 120.

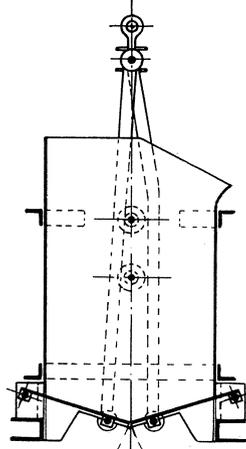


Abb. 120. Kohlenkübel mit Bodenentladung.

Anstatt der Kübel verwendet man neuerdings in steigendem Maße Greifer, weil man dabei an Entladekosten spart und auch die Anlagekosten der Tiefbunker geringere sind. Diesen erheblichen Vorteilen steht zwar der Nachteil einer ungünstigeren mechanischen Behandlung gegenüber, doch wird letzterer nur in seltenen Fällen ausschlaggebend sein. Die Greifer verwendet man in gleicher Weise wie die Kübel in Verbindung mit Kranen, Laufkatzen und ferngesteuerten Katzen.

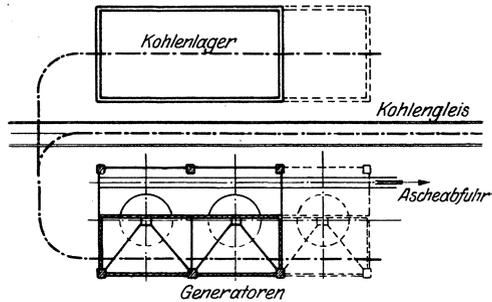


Abb. 121. Anordnung einer Gaserzeugeranlage mit Laufkatzenanlage.

Auch die Gesamtanordnung ist ungefähr die gleiche; beim Laufkatzenbetrieb ordnet man über dem Lager meist zwei Bahnen an, davon eine über dem Anfuhrgeleise zur direkten Entladung und eine zweite über dem Lager, wobei Bunker entbehrt werden können, bzw. einfache Behälter mit Um-

fassungswänden genügen. Eine derartige Anordnung zeigt Abb. 121. Bei Kranbetrieb wird die Spannweite und die Bunkerbreite größer und führt man das Geleise seitlich über den Bunker hinweg, oder man ordnet das Brennstofflager und das Einstellgeleise kopfseitig an. Letztere Anordnung ist billiger, hindert aber die Ausdehnung der Anlage und gibt nur beschränkte Lagermöglichkeiten; wählt man letztere Anordnung, so kann man einen Kran entbehren und sich mit Laufkatzen begnügen.

Neben den Kranen und Laufkatzen bzw. Hängebahnen haben für große Anlagen Seil- und Kettenbahnen vielfach Anwendung gefunden. Mit diesen hat man größere Beweglichkeit hinsichtlich der Füllstation



Abb. 122. Gaserzeugungsanlage mit Hängebahn.

und kann meist Tiefbunker entbehren, da man die Kohle entweder vom Schacht her oder von einem größeren zentralen Lager anführt. Dagegen hat man bei diesen Einrichtungen unbedingt Hochbunker notwendig, während man diese bei der Kübelbeschickung entbehren kann, falls Reserven vorhanden sind und beim Greiferbetrieb nur kleine Zwischenbunker benötigt werden. Eine Anlage mit Kettenbahn zeigt Abb. 122.

Als Entladevorrichtungen für kleinere Anlagen kommen fahrbare Becherwerksentlader (z. B. Bauart Heinzelmann & Sparmberg) in Frage, weil man Selbstgreifer selten genügend ausnutzen kann, und bei geringer Leistung derselben Werkskräfte vergeudet. Hinsichtlich der verschiedenen Entlademöglichkeiten sei auf die Ausführungen von Hermanns¹⁾ verwiesen.

Hochbunker werden bei den neueren Anlagen vorgesehen, um stets eine Brennstoffreserve zu haben und Reserven in den Fördereinrich-

¹⁾ Hermanns: Vergasung und Gaserzeuger. Halle: Knapp 1921.

tungen, die sich meist schwer anordnen lassen, entbehrlich zu machen. Gerade bei elektrischem Betrieb kommen oft Störungen vor, und ein auch vorübergehender Gasmangel kann große Betriebsverluste zur Folge haben. Die Hochbunker dienen auch dazu, um eine schwankende Anfuhr auszugleichen, besonders während der Sonn- und Festtage man bemißt sie daher für 24, oft 36—48 Stunden Fassung. Es sind dies daher große Behälter und auch die Tragsäulen werden von erheblichen Abmessungen; man hat daher mehr und mehr Betonbauten dafür herangezogen, welche sich billiger stellen. Bei einreihiger Anordnung der Gaserzeuger, welche vorzugsweise üblich ist, ist die Spannweite des Bunkers gegeben. Oft gestaltet man aber die Bunker schmaler als die Generatorhalle, oder man zieht das Bunkergerüst oben zusammen, um die Spannweite zu verringern. Die Anordnung der Bunker selbst ist entweder senkrecht oder seitlich über den Gaserzeugern; letztere Anordnung wird oft vorgezogen, weil die Zugängigkeit eine bessere und die Bedienung der Gaserzeuger günstiger ist. Erstere Anordnung gibt aber ein gleichmäßiges Nachrutschen des Brennstoffes im Bunker. Im allgemeinen zieht man die einseitige Anordnung der Bunker, wie in Abb. 119, vor.

Um die Anlagekosten der Hallen und Bunker zu verringern, empfiehlt sich die doppelreihige Anordnung der Gaserzeuger, wie in Abb. 122 zu sehen. Dabei kann man an Spannweite außerordentlich sparen, indem man die Überdachung der seitlich vorspringenden Generatorbühnen mit Flugdächern vornimmt. In einzelnen Fällen hat man versucht, bei doppelreihiger Anordnung der Gaserzeuger die Bunker für vier Gaserzeuger gemeinsam auszugestalten; bei der Anordnung im Kreis könnte man diese für noch mehr Gaserzeuger durchführen. Dieses Zusammenpassen geht meist auch mit einem Zusammenlegen der Staubsäcke Hand in Hand, die dann unter dem Bunker angeordnet werden, weil dieser Platz für andere Zwecke entbehrlich ist. Solche Anordnungen lassen erhebliche Ersparnisse zu, doch muß man auf richtige Gasführung und Bemessung Bedacht nehmen. So würde sich der Grundriß eines Staubsackes für vier Gaserzeuger derart stellen, wie in Abb. 123 gezeigt.

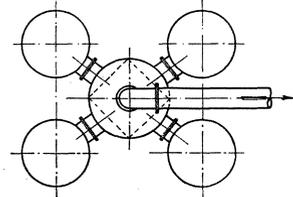


Abb. 123. Gemeinsamer Staubsack für 4 Gaserzeuger.

3. Aschenabfuhr.

Wie bereits früher ausgeführt, fällt bei dem mechanisch betriebenen Gaserzeuger die Asche über die Rutschen entweder in untergeschobene Hunde oder auch in Tiefbunker, von wo sie mit Hunden abgefördert

werden können. Auch in dieser Hinsicht ist die doppelreihige Anordnung sehr vorteilhaft, weil die gegenüberliegenden Fundamente zwangsläufig einen Aschenkanal ergeben. Mit den Hunden fährt man die Asche entweder direkt auf die Halde oder stürzt sie in einen neben der Anlage befindlichen Tiefbunker, von dem aus der Greifer- oder Kübelkran die Verladung in Vollbahnwagen oder in die sonst bestimmten Transportmittel durchführt.

Um den Abtransport der Hunde, der oft unregelmäßig sein muß, je nach den anfallenden Aschenmengen zu ersparen und die Aschenkanäle wesentlich kleiner halten zu können, ordnet man in diesen manchmal mechanische Transportmittel an, die dauernd in Bewegung sind, wie z. B. Transportbänder, Kratzbänder oder Schüttelrinnen. Die Transportbänder sind wegen der empfindlichen Lagerung bei dem harten Staub, ferner auch wegen der Verschmutzung der Kanäle durch Danebenfallen der Schlackenstücke nicht empfehlenswert. Die Kratzbänder leiden, selbst dann, wenn sie im Wasser laufen, unter der starken Abnutzung, die deren Betrieb stört. Daher haben sich Schüttelrinnen am besten bewährt. Neuerdings hat man auch ein Fortspülen der Asche mit Wasser oder eine Absaugung versucht. Über letztere beide Methoden sind aber abschließende Erfahrungen noch nicht bekannt. Das Fortspülen mit Wasser wird einen erheblichen Wasserverbrauch mit sich bringen und erscheint daher nur dort gerechtfertigt, wo man die Asche zum Spülversatz in benachbarten Bergwerken benötigt. Die Absaugung der Asche dürfte sich nur bei sehr feinkörnigen und weichen Aschenarten empfehlen, weil sonst eine zu große Abnutzung der Leitungen die Wirtschaftlichkeit in Frage stellen kann.

Die Asche gelangt bei den besprochenen mechanischen Transporteinrichtungen in Tiefbunker, wo sie gesammelt wird und von wo sie mittels Kran, Hängebahn od. dgl. entnommen und zum Abtransport verladen wird.

Bei den älteren Gaserzeugern mit Handentaschung ist die Abfuhr der Aschen meist sehr primitiv und geschieht von Hand aus in bereitstehende Hunde, oder gleichfalls mit Vollbahnwagen, die aber von Hand aus beladen werden. Nur in seltenen Fällen hat man auch bei derartigen Anlagen einen Aschenkanal mit Schüttelrinnen oder Kratzbändern verwendet, um wenigstens einen Teil der mühseligen Handhabung zu ersparen. Gerade wegen der Schwierigkeit der Entschungsarbeit und den hohen Kosten des Abtransportes der Asche von Hand hat sich der Drehrostgaserzeuger in so vollem Umfange an Stelle der älteren Gaserzeuger eingeführt.

VI. Reinigung der Gase und Nebenproduktengewinnung.

1. Gründe der Reinigung und grundsätzliche Verfahren.

Veranlassung zur Reinigung und Kühlung der Gase bei der Vergasung waren in erster Linie die Feuchtigkeit und die Teerbestandteile. Schon Siemens fand, daß sich bei der Abkühlung Teer und Wasser kondensierten und zu Verschmutzungen und Verstopfungen führten; er schlug die Anwendung eines Kühlrohres vor, um die mitgeführte Feuchtigkeit niederzuschlagen, und erhielt dabei ganz wesentliche Teerabscheidungen. Der erste Apparat, der in dieser Hinsicht gebaut wurde, ist der von F. Lundin in Carlstadt-Munkfors, Schweden (1863)¹⁾, der aus Kammern bestand, in denen das Gas mit einem Regen von Wasser zusammentraf, und aus einem eisernen Oberflächenkühler aus Röhren od. dgl., die mit Wasser gekühlt wurden und über welche das Gas streichen mußte; diese Bauart war bei der Vergasung von Sägespänen ausgeführt worden, weil es bei dem hohen Feuchtigkeitsgehalt der Gase sonst unmöglich war, Schweißhitze im Ofen zu erzeugen.

Besondere Veranlassung zur Reinigung gaben die Versuche, das Gas zu Kraftzwecken zu verwenden. In dieser Hinsicht sei auf die Vorschläge und Versuche von Ebelmen (vgl. S. 139) verwiesen. Andere erwähnenswerte Vorschläge stammen von M. Bérard (etwa 1864), der hauptsächlich die schwefligen Verbindungen entfernen wollte, von G. H. Benson (1868) und von Sutherland (1874), die wieder auf eine Zersetzung der Teerdämpfe hinzielen oder ein mit Luft gekühltes Kondensationsgefäß benutzen.

Um diese Zeit wandte sich die Aufmerksamkeit auf die Möglichkeit, neben dem Teer auch Ammoniak aus dem Gase zu gewinnen, ein Weg, der auch bei den mit Steinkohlen und Anthrazit betriebenen Hochöfen von Interesse war. Es wurden damals mehrere Verfahren vorgeschlagen und erprobt. Die bemerkenswertesten sind die Verfahren von Aitken aus Falkirk (englisches Patent Nr. 57 vom Jahre 1874), bei welchem das Ammoniak mit Wasser ausgewaschen wurde, das Langloan-Verfahren, das für die Bindung des Ammoniaks schweflige Säure in Gasform verwandte, und das Summerlee-Verfahren, welches das Gas mit verdünnter Schwefelsäure behandelte. Daneben wurden aber eine große Zahl weiterer Vorschläge gemacht, die kaum erwähnenswert sind. In dem Summerlee-Verfahren (G. Neilson der Summerlee-

¹⁾ Vgl. Rowan: Iron and Coal Tr. R. 1901.

eisenwerke in Schottland) finden wir jedoch bereits das Wesentlichste aller späteren Verfahren, soweit es die substantielle Gewinnung der Nebenprodukte betrifft. Hinsichtlich der Ausbeute an Nebenprodukten, besonders des Ammoniaks, begnügte man sich mit den Mengen, die bei der Verkokung in der damaligen Zeit als normal betrachtet wurden und die selbst bei den guten, leicht entgasbaren englischen Kohlen einer Stickstoffumsetzung von kaum über 20% entsprachen.

Die Gewinnung der Nebenprodukte erstreckt sich bei der Vergasung auf die gleichen Stoffe, die auch bei der Entgasung bzw. bei der Kokerei aus der Kohle gewonnen werden. Es sind dies Stickstoff in Form von Ammoniumsalzen und Teer oder Teerprodukte. Zyan und Zyanverbindungen spielen bei der Nebenproduktengaserei keine Rolle, da diese Bestandteile bis jetzt im Generatorgas nicht nachgewiesen worden sind. Dagegen könnten bei der Vergasung jüngerer Brennstoffe, wie Torf, Lignit u. dgl. Methylalkohol und essigsäure Salze unter gewissen Voraussetzungen gewonnen werden. In den letzten Jahren hat man auch verschiedentlich Versuche gemacht, den Schwefelgehalt der Kohle nutzbar zu machen, indem man ihn für die Bindung des Ammoniaks verwendete, ohne daß diese Verfahren bis jetzt einen vollen Erfolg hatten.

Da es sich sonach um die gleichen Produkte handelt, lag es nahe, daß man sich auch der gleichen und ähnlicher Mittel bediente, daß sich mithin die Entwicklung der Nebenproduktkokerei (und der mehr oder weniger damit zusammenfallenden Leuchtgaserzeugung) und der Nebenproduktengaserei in ähnlichen Bahnen bewegte.

Das Auftreten von Ammoniak bei der Erwärmung und Destillation der Kohlen war schon im Anfange des 18. Jahrhunderts bekannt. Erst um etwa 1840 fing man an, das Gaswasser zu Düngungszwecken zu verwenden. Besondere Verdienste in dieser Frage erwarb sich Liebig; Croll und Mallet schlugen 1840 vor, das entstehende Ammoniak mit Salzen oder Säuren zu binden; in der Folge entwickelte sich einerseits das besonders von Clegg ausgebildete Verfahren der Gewinnung von Ammoniakwasser, und andererseits durch die Anregungen von Laming, Addie und Neilson die Bindung desselben mit Schwefelsäure.

Ich möchte aber an dieser Stelle bemerken, daß es falsch ist, die Vergasung als einen vorgeschritteneren Wettbewerber der Kokerei zu bezeichnen, weil sie höhere Ausbeuten an Nebenprodukten erzielt. Zwischen beiden besteht tatsächlich kein Wettbewerb. Es wäre ebenso verkehrt, Kokskohle zu vergasen, da sie sich für den Generatorbetrieb keineswegs eignet, wie es unrichtig wäre, nichtbackende Kohlen zu verkoken. Denn hochwertiger Koks ist und bleibt das Hauptziel einer lohnenden Kokerei. Im Gegenteil stellen diese beiden Verfahren

gegenseitig eine ideale Ergänzung dar, da beide auf eine Nutzbarmachung der Kohle hinzielen, die uns nicht nur deren Wärmewert in geeigneter Form erschließt, sondern auch die Nebenprodukte in jeweils höchstmöglichem Ausmaße gewinnen läßt, welche für die Entwicklung unserer Industrien, unserer Landwirtschaft und nicht zum mindesten für unsere Kriegsrüstung von weitesttragender, ja geradezu von grundlegender Bedeutung geworden sind.

Es sind bei der Reinigung drei grundsätzliche Wege möglich. Entweder handelt es sich lediglich um eine Reinigung, ohne daß man den gewonnenen Stoffen wesentlichen Wert beilegt, dann wird man eine Kühlung des Gases in demselben Sinne durchführen, wie oben nach Lundin beschrieben; man bringt das Gas mit Wasser zusammen, um es schnell zu kühlen, und wird durch weitere Kühlung und Stoßwirkung die Feuchtigkeit sowie die Teerbestandteile abscheiden. Dabei sind die sonstigen Verunreinigungen, wie Schwefelverbindungen, in dem Wascher oder Kondenswasser enthalten. Es verbietet sich dieses Verfahren aber selbstredend, wenn man die Kühlung nicht weit genug treiben will, weil man dann nur Feuchtigkeitsballast in das Gas bringt, ohne die Verunreinigungen zu entfernen. Gerade diese einfachen Reinigungsmethoden werden oft ohne Überlegung angewandt. So wird manchmal eine Reinigung des Gases durchgeführt, um den mitgerissenen Staub auszuscheiden, d. h. es werden Staubsäcke mit Berieselung vorgeschlagen. Tatsächlich reißt dieser Regen einen Teil des schwebenden Staubes nieder, es ist dies aber sehr wenig, und würde man wohl eine gleiche Menge bei trockener Staubscheidung erhalten; man blüßt aber nicht nur fühlbare Wärme des Gases ein, sondern belastet es auch mit Feuchtigkeit, weil das Wasser gierig im Gasstrom verdampft wird. Andererseits sieht man auch Kühlanlagen, die nur ausreichend sind, um bis auf 70°–80° zu kühlen; mit solchen erreicht man gar nichts, meist nicht einmal die erstrebte Teerabscheidung. Aber welchen Wert soll diese haben, wenn man den Feuchtigkeitsballast im Gase läßt und auf halbem Wege stehenbleibt. Vielfach strebt man wieder in der Praxis an, die Feuchtigkeit zu entfernen und den Teer im Gase zu erhalten, um die leuchtende Flamme des Gases zu wahren. Es mag zugegeben sein, daß man durch weitgehende Kühlung bei ängstlicher Vermeidung von Stoßwirkung wenigstens einen Teil des Teeres im Gas behalten kann; aber wird man ihn auch bis zur Verwendungsstelle bringen? Es ist dies sehr zu bezweifeln, denn der unterkühlte Teer fällt bei jeder Richtungsänderung leicht aus, und bilden sich einmal irgendwo Teerabscheidungen, so setzt sich der Prozeß beschleunigt fort, indem er zu betrieblichen Störungen führt. Nur in seltenen Fällen glückt ein solch ausgeklügeltes Verfahren, und jede, oft geringe Änderung der Bedingungen, jede Übertragung auf andere ähnliche, aber doch nie gleiche Verhältnisse bringt Mißerfolge,

Ärger und — ein Zurückkehren zum Alten. Will man reinigen, und die Vorteile der Verwendung gereinigten Gases werden immer mehr anerkannt, so bleibe man nicht auf halbem Wege stehen und beachte vor allem die Grundbedingungen.

Um diese ungefähr klarzulegen, sei folgendes ausgeführt: Abgesehen von den gasförmigen chemischen Verunreinigungen (H_2S , SO_2 , NH_3 , Zyan u. dgl.) enthält das Gas Staub (feste Teilchen) und Dämpfe (Teer und Wasser). Der Teer ist ein Gemisch von zahlreichen Bestandteilen mit Siedepunkten von etwa 70° — 350° , der Siedepunkt des Wassers liegt bei 100° ; tatsächlich fallen diese Bestandteile aber erst unter ihrer Siedetemperatur aus, beim Taupunkt, der von dem Sättigungsgrad abhängt. Meist findet man bei Temperaturen über 250° keine merkliche Teerabscheidung, und auch dann scheiden zuerst pechreiche Teere aus, während die leichteren Öle, und besonders benzolartige Körper, wegen der hohen Tension auch noch bei Temperaturen von 30° und 40° in erheblichem Umfange im Gase verbleiben. Der Taupunkt hinsichtlich des Feuchtigkeitsgehaltes wird meist zwischen 80° und 40° schwanken. Es ist nun außerordentlich schwierig, den letzten feinen Staub aus dem Gase zu entfernen, ohne Teer und Wasser auszuschcheiden; denn die schwebenden festen Teilchen werden von den kondensierenden, sich langsam verdichtenden Dämpfen umgeben, sie bilden gewissermaßen Impfpunkte und fallen daher erst mit den Kondensaten aus. Will man daher den Staub weitgehendst abscheiden, so ist das Gas warm zu halten, daher sind Staubscheider stets auszumauern, denn sonst erhält man teerige Krusten, die außerordentlich schwer zu entfernen sind. Die Ausmauerung ist auch erforderlich, um, wie bereits betont, ein Ausbrennen durchführen zu können. Das gleiche gilt für die Hauptsammelleitungen. Bei längeren Gasleitungen überlege man sich nun aber, ob man Teerausscheidungen auch wirklich vermeiden kann, d. h. ob man das Gas mit mindestens 250° zur Verwendungsstelle bringt. Da die Abkühlung (vgl. S. 232) aber auch eine Funktion der Belastung ist, und die Leitungen mit Rücksicht auf eine eventuell eintretende Verschmutzung meist weit gewählt werden, so ist die Belastung und Geschwindigkeit in der Regel klein, die Abkühlung daher groß; und nun ist eben die Tatsache zu beachten, daß der Rest des schwebenden Staubes mit dem Teer zusammen ausfällt und die Leitungen und Kanäle verkrustet; auch eine Spülung der Leitungen mit Teer, wie in den Kokerreien, erscheint aussichtslos, wenn die Staubmengen etwas erheblicher sind, abgesehen von dem Umstande, daß die großen Durchmesser der Leitungen auch bei Spülung erhebliche Ansätze erlauben, die schwer zu entfernen sind. Dem Ofen kommt der Teer tatsächlich nur zum geringsten Teil zunutze, während man den Feuchtigkeitsballast gerade erhält, weil die Kühlwirkung der Gasleitungsflächen beim Erreichen des

Taupunktes eine sehr geringe ist. Wäre z. B. der Taupunkt eines Gases 64° ($= 250 \text{ g H}_2\text{O/cbm}$), so ist die Kühlwirkung eines bestimmten Rohrstücks vorher etwa 10° ($= 3,5 \text{ Kal./cbm}$); die gleiche Kühlwirkung genügt nur, um etwa $6 \text{ g H}_2\text{O}$ zu kondensieren, was einer Temperaturverminderung von $0,5^{\circ}$ entspricht. Man ersieht auch hieraus, wie unrichtig die Anwendung von Oberflächenkühlung ist, wenn sie nicht aus besonderen Gründen geboten erscheint. Enthält aber das Gas einen erheblichen Feuchtigkeitsgehalt (etwa über 100 g/cbm), so wird man stets gut tun, eine sachgemäße Reinigung mit Teergewinnung einzubauen; muß man Teerdämpfe im Gas haben, so kann man sie nachher in geringen Mengen wieder zuführen (durch Karburierung oder Einspritzung).

Der zweite grundsätzliche Weg ist jener, der auf die Teergewinnung allein hinzielt. Während man früher die Waschung meist mit Wasser durchführte (wie z. B. die Skrubber der Sauggasanlagen, die Mondschen Teerwäscher u. dgl.) und dabei stets einen sehr wasserhaltigen Teer gewann, benutzt man heute meist den gewonnenen Teer als Waschflüssigkeit und führt den Prozeß über dem Taupunkt des Gases aus, um eine Kondensation des Wasserdampfes zu vermeiden bzw. solches wieder zu verdampfen. Benutzt werden zu dem Verfahren meist Desintegratoren oder ähnliche Apparate, die ein Ausschleudern des Teeres durch starke Stoßwirkung erlauben (Näheres vgl. S. 266).

Der dritte Weg betrifft nun die Gewinnung der chemischen Nebenprodukte und insbesondere die des NH_3 . Dieser Weg ist eine Erweiterung des vorherigen. Nach den grundlegenden Arbeiten von Grouven¹⁾ (1878) über Ammoniakgewinnung aus Torf und denen von Forster und Beilby über die Destillation von Ölschiefer und Kohle brach sich der Gedanke Bahn, die Vergasung bei reichlicher Dampfbeimengung durchzuführen, um höhere Ammoniakausbeuten zu erzielen. 1883 wandte sich Mond diesem Gebiete zu, nahm mehrere Patente und setzte auch als erster im Jahr 1889 in England eine größere Anlage in erfolgreichen Betrieb. Das Sulfatausbringen war nach seiner Arbeitsweise gegenüber den älteren Ergebnissen mindestens verdreifacht und entsprach etwa einer Stickstoffumsetzung von 66%.

Mit der Ausbildung und Einführung dieses Verfahrens war wohl der wesentlichste Fortschritt in der Nebenproduktengaserei getan. In den folgenden Jahren wurden dann mehrere solcher Mond-Gasanlagen in England gebaut. Es mag verwundern, daß man anscheinend diesem Verfahren in Deutschland nicht die gleiche Aufmerksamkeit schenkte, obgleich Deutschland doch in der Nebenproduktenkokerei damals die erste Stelle einnahm und diese Industrie zu einer hohen Ausbildung

¹⁾ Vgl. Die landwirtschaftliche Versuchsstation. Bd. 28, 1883.

brachte. Bei näherer Betrachtung erklärt sich dieser Umstand gerade durch die Entwicklung der Kokerei, da im Zusammenhang damit und bei dem überragenden Reichtum Deutschlands an Kokskohle das Hauptaugenmerk diesen Kohlsorten galt und das Bestreben herrschte, auch vorzüglich diese Sorten für die Industrie nutzbar zu machen. Daneben wurden magere Steinkohlen, Braunkohlen und mindere Brennstoffe nur in verschwindendem Umfang und örtlich begrenzt für die Vergasung herangezogen. Die Vergasung backender Kohlsorten ist jedoch schon ohne Nebenproduktengewinnung kein Verfahren, das Anspruch auf technische Vollkommenheit und Einfachheit des Betriebes machen darf. Es kann daher nicht verwundern, daß die Nebenproduktengaserei mit solchen Brennstoffen mangelhaften Erfolg hatte. Erst im letzten Jahrzehnt — mit der allgemeineren Einführung der weitaus vervollkommneten mechanischen Gaserzeuger — hat man die Aufmerksamkeit auf den Umstand gelenkt, daß gerade diese minder bewerteten Brennstoffe für die Vergasung besonders geeignet sind, und es brach sich der Gedanke einer zweckmäßigeren Auswahl der Brennstoffe und wirtschaftlicheren Ausnutzung dieser Naturschätze mehr und mehr Bahn.

2. Die Gewinnung von Teer, insbesondere Urteer.

a) Die chemischen Grundlagen.

Teer bildet sich bei jeder Vergasung bituminöser Brennstoffe, selbst bei der Holzvergasung, da bei der langsamen Erwärmung eine Destillation, Abschmelzung, eintritt. Man war nun lange gewöhnt, den Kokereiteer als Normalteer zu betrachten, und schenkte den geringen Mengen von Generatorsteer, die gewonnen wurden und meist als ziemlich mindere Abfallprodukte galten, keine besondere Beachtung. Auch die wissenschaftliche Forschung hat sich sehr spät diesem Gebiete zugewandt, obwohl bereits Williams¹⁾ und Schorlemmer²⁾ vor mehr als 60 Jahren solche Tieftemperaturteere gewonnen und in denselben Paraffinkohlenwasserstoffe gefunden hatten. Der erste war wohl Börnstein im Jahre 1903 bzw. 1906³⁾, der bei seinen Destillationsversuchen im Temperaturbereich bis 450° bereits dünnflüssige Teere gewann, die sich vom Kokereiteer wesentlich unterschieden. In den Jahren 1910/11 führte Pictet in Genf seine Vakuumdestillationsversuche durch und lenkte dadurch die Aufmerksamkeit der Fachwelt auf dieses Sondergebiet. Zur selben Zeit und in den folgenden Jahren beschritt Wheeler mit seinen Mitarbeitern diesen Weg, und die gewonnenen Ergebnisse waren derart,

¹⁾ L. A. 1858. Bd. 108, S. 384.

²⁾ L. A. 1863. Bd. 125, S. 103; Bd. 127, S. 313; Bd. 136, S. 254; B. 139, S. 244.

³⁾ Vgl. Zahlentafel 9.

daß sich die Praxis dieses Verfahrens bemächtigte. Verfolgte Pictet bei seinen Versuchen fast rein wissenschaftliche Zwecke, nämlich den Nachweis von vorgebildeten Kohlenwasserstoffen in der Kohle, die man auch in Erdölen gefunden hatte, so steckte sich Wheeler das Ziel bereits weiter, indem er darauf hinarbeitete, möglichst hohe Ausbeuten an Öl bei der Vakuumdestillation zu gewinnen, ohne das Pech mit zu entziehen.

Die praktische Anwendung dieses Verfahrens zielte nun dahin, aus bituminösen Brennstoffen einen Brennstoff (Halbkoks) für die rauchlose Verbrennung zu gewinnen. Abgesehen davon, daß dieses Verfahren von der Benutzung stark backender Kokskohlen unabhängig sein soll, erwartete man große Vorteile durch die infolge der nur bis 450° – 550° getriebenen Destillation bedingten hohen Koksausbeuten, während man sich auch aus den gewonnenen Ölen bzw. dem Teer erhöhte Einnahmen versprach. Wenn auch die Erzeugung eines rauchlosen Brennstoffes für den Hausbrand und für die Industrie in dicht bevölkerten Gebieten von großer Bedeutung wäre, so stehen bei dem sogenannten Halbkoks viele Nachteile diesem Vorteil gegenüber. Rauchlose Brennstoffe stehen im übrigen allenthalben zur Verfügung, in Form von Koks und als flüssige und gasförmige Brennstoffe. Ob sich daher die Tieftemperaturverkokung (Vakuumdestillation) allgemein einführen wird, ist beinahe zu bezweifeln.

Es sind in dieser Hinsicht zahlreiche Verfahren entwickelt worden, besonders in England und in Amerika, doch stehen wir trotz jahrelanger Arbeit erst im Anfange der Entwicklung. Wie wesentlich die Unterschiede gegenüber dem Verkokungsprozeß sind, zeigen nachfolgende Zeilen:

1000 kg Steinkohlen liefern im Durchschnitt (nach Lunge-Köhler, Bd. 1, S. 109) etwa 40 kg Teer, 100 kg Wasser, 2,4 kg NH_3 (entsprechend 9,6 kg Sulfat) und 10 kg Benzol, neben 300 cbm Gas. In 1 cbm Gas sind daher etwa enthalten:

130 g Teer, 330 g H_2O , 8 g NH_3 und 33 g Benzol. Bei der Verschwelung erhält man etwa die doppelte Menge Teer (80 kg) und die dreifache Menge Benzol bei derselben Kohle. Dieser Teer ist aber noch wesentlich hochwertiger, weil er nicht pyrogen zersetzt ist.

Als Urteere¹⁾ müssen wir alle Teere bezeichnen, die bei der Aufarbeitung von Brennstoffen — sowohl bei der Entgasung als auch bei der Vergasung — gewonnen werden, wenn sie bei der Entstehungstemperatur schnellstens und schonend abgeführt werden, um nachträgliche Zersetzung zu vermeiden. Da die Bildung des Teeres bei langsamer Erwärmung unter niedrigen Temperaturen vor sich geht (unter

¹⁾ Namensgebung nach F. Hoffmann, Berndorf (Ft., Jg. 6, S. 208), welchem Vorschlag sich auch Geh.-R. Dr. Fr. Fischer, Mülheim, anschloß.

450°—500°), so nannte man diesen Teer auch Tieftemperaturteer, oder nach dem von den Engländern ausgebildeten Destillationsverfahren auch Vakuumteer; andererseits gehören auch die Schwelteere zu dieser Gruppe, ebenso wie jeder bei Vergasungsprozessen unter genügend niedriger Temperatur gewonnene Teere hierher gezählt werden muß.

Es besteht nun vielfach die Annahme, daß diese Teere in dem Zustand, in dem sie bei diesem Verfahren gewonnen werden, bereits als solche in der Kohle vorhanden sind. Für diese Annahme sind einzelne Beweise besonders durch die Arbeiten von Prof. Franz Fischer (Gesammelte Abhandlung zur Kenntnis der Kohle, Kohlenforschungsinstitut Mülheim a. d. Ruhr) beigebracht worden. So beweiskräftig auch einzelne der vorgetragenen Gründe zu sein scheinen, so dürfte doch diese Anschauung eine Berichtigung erfahren müssen. Eine Reihe von in der Technik durchgeführten Arbeiten und Beobachtungen haben jedenfalls einen positiven Beweis für diese Annahme noch nicht zu erbringen vermocht. Es handelt sich vielmehr um ein sekundäres Produkt, welches nun aber gleich im Entstehungszustand durch die starke Verdünnung mit dem mehr oder weniger heißen Generatorgas aus der Erhitzungszone entfernt wird. Es ist dabei immer grundlegend wichtig, daß eine möglichst schnelle Entfernung der Schwelgase (Teernebel im Gas) erfolgt.

Wenn wir also auch die Urteere als ein sekundäres Erzeugnis ansprechen müssen, so besteht doch ein riesiger Unterschied zwischen diesen und den pyrogen zersetzten Teeren, wie sie auf den Kokereien, in den Gasanstalten und in heißgehenden Gaserzeugern gefunden werden. Die Zusammensetzung der Urteere ist je nach der Art des Verfahrens und der Natur der Brennstoffe in weiten Grenzen verschieden.

b) Aufbau einfacher Reinigungsanlagen.

Die Reinigung des Gases kommt, wie bereits erwähnt, namentlich dann in Betracht, wenn das erzeugte Gas als Kraftgas für den Betrieb von Gasmotoren dienen soll. Selbst wenn man dabei möglichst teerfreie Brennstoffe als Ausgangsstoff wählt (Koks, Anthrazit u. dgl.), so sind doch Spuren von Teer im Gas, die neben dem mitgerissenen Staub schnell zu einer unliebsamen Verschmutzung der Maschinen, insbesondere Ventile u. dgl. führen. Die älteste Reinigungsart ist die durch Kühlung unter gleichzeitiger Ausscheidung der Verunreinigung durch Stoßwände. Daraus entwickelte sich die bei Sauggasanlagen übliche Bauart mit Skrubbern (berieselte Kühltürme mit Horden oder Koksfüllung) und Sägespänerreinigern (für die Feinreinigung). Da man bei der Kühlung die fühlbare Wärme im Gas vernichtet, benutzte man diese vor Eintritt in den Skrubber zur Dampferzeugung.

Der Aufbau solcher einfacher Reinigungsanlagen ist aus dem bereits früher gebrachten Abb. 62 und 63 zu erkennen. Die üblichen Kühler sind meist mit Koksfüllung, in neuerer Zeit werden vielfach Raschigringe verwendet; da eine Spülung des Füllmaterials schwer durchführbar ist, so empfiehlt sich erstere, weil der meist sehr minderwertige und mit Staub verunreinigte Teer nur als gewöhnliches Heizmittel verwendet werden kann. Man bringt dann den ausgebrachten Koks mitsamt dem Teer zur Kesselanlage. Die Verwendung von Raschigringen ist dort vorteilhaft, wo es sich darum handelt, sehr große Oberflächen für die Kühlung zu schaffen. Durch die Verengerung des Querschnittes infolge des Füllstoffes muß man große Durchmesser der Kühltürme wählen, kann sich aber mit geringen Höhen begnügen, da die Aufenthaltszeit des Kühlmittels eine genügend große ist. Die übliche Höhe ist meist 8–10 m, als Querschnitt wählt man 0,2–0,4 qm für je 100 cbm Stundenleistung. Bei den Sägespänerreinigern ist die Verengerung des Querschnittes eine noch größere; man wählt dieselben daher mit 1 qm für 100 cbm Leistung, während die Höhe bei 6–8 Horden etwa 1,1 bis 1,4 m ist. Nur äußerst selten nimmt man mehr Horden, weil der Widerstand ein zu großer wird und dadurch die Druckverluste unangenehm auffallen. Bei der Verwendung von Kühltürmen ohne Füllstoffen, wie man sie bei entteertem Gas verwendet, kann man den Querschnitt mit 0,1 qm bemessen, muß aber die Bauhöhe gegenüber der früher genannten erhöhen.

Die Teilung des Stromes durch die Füllung läßt nun bei höheren Kühltürmen sehr leicht tote Räume entstehen, weil das gekühlte Gas ein höheres Raumgewicht hat und daher nicht den vorgeschriebenen Weg nach oben wählt, sondern das Bestreben zeigt, mit dem Wasser zu fallen, was schlechterdings nicht geändert werden kann. Es wäre daher für solche einfachen Anlagen auf die Kolonnenapparate nach Dr. Kubierschky¹⁾ aufmerksam zu machen, die in Abb. 124 dargestellt sind,

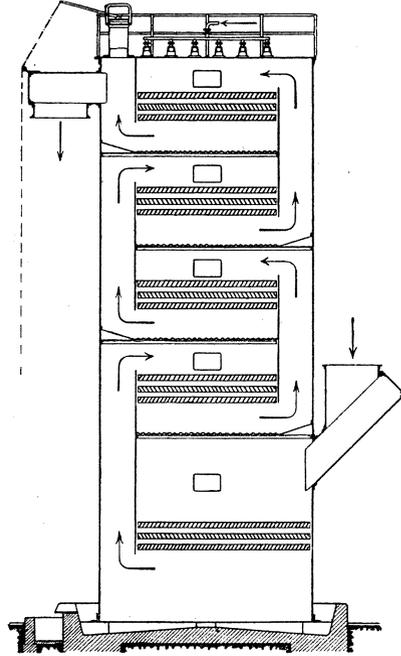


Abb. 124. Kolonnenkühler nach Kubierschky.

¹⁾ Vgl. Bormann: Z. f. angew. Ch. 1919, S. 149.

und welche den Turm in mehrere Abschnitte teilen, in denen das Gas jeweils mit dem Kühlwasser in gleichem Sinne von oben nach unten fällt. Der Weg des Gases durch die Gesamtheit der Kolonnen ist aber von unten nach oben, während das Kühlwasser den umgekehrten Weg durchläuft. Es läßt sich damit eine sehr weitgehende Kühlung und beste Ausnutzung des Kühlwassers bei geringsten Abmessungen erzielen, da der verlorene Querschnitt für die Umführungen ein verschwindender ist.

Je mehr man im Laufe der Zeit bitumenreichere Brennstoffe für die Kraftgaserzeugung heranzog, um so mehr Aufmerksamkeit mußte man der Ausgestaltung der Reinigungsanlagen widmen. Daneben bildete man auch die Verfahren aus, welche darauf hienzielten, die Teerbestandteile zu zerstören. Hierher gehören insbesondere die Doppelfeuergaserzeuger. Andererseits hat man sich auch dadurch zu helfen gesucht, indem man den in der Teergewinnungsanlage ausgeschiedenen Teer wieder in den Gaserzeuger zurückführte. Man kann letzteres selbstverständlich nur dann tun, wenn die Temperatur im Gaserzeuger genügend hoch ist, damit eine Zersetzung des Teeres eintritt und derselbe nicht wieder als Teer unzersetzt abdestilliert wird.

c) Anlagen zur Urteergewinnung.

Alle diese Lösungen betrachten den Teer als ein nutzloses und unangenehmes Nebenprodukt. In den letzten Jahren hat nun die Teergewinnung ganz neue Bahnen eingeschlagen. Durch die Forschungen auf dem Gebiete der Teergewinnung, welche besonders während des Krieges gefördert wurden, und welche in Deutschland in erster Linie in Händen des im Jahre 1914 eröffneten Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung in Mülheim a. d. Ruhr lagen, war gefunden worden, daß die Anwendung der Vakuumdestillation wenig Aussicht versprach, daß man jedoch hochwertige Teere gewinnen konnte, wenn man niedrige Temperaturen einhielt; es war daher lediglich Aufgabe, die vorhandenen Einrichtungen, insbesondere die Gaserzeuger so auszugestalten, daß die Kohle langsam das in Frage kommende Temperaturintervall durchmache und vor allen Dingen die bei den niederen Temperaturen gebildeten Teerdämpfe ohne nachträgliche Erwärmung aus der Brennstoffschicht entfernt wurden. Der Gaserzeugerbetrieb mußte daher insofern eine Änderung erfahren, daß die Destillation langsam vor sich ging und der frische Brennstoff nicht unmittelbar in den heißen Gaserzeuger, sondern in einen räumlich abgetrennten Schwelraum gelangte. Für diesen Weg waren ältere Vorgänge bereits bekannt. Ich verweise nur auf die Bauarten von Lürmann, Krupp u. a. m. (vgl. S. 142ff.), welche bereits anstatt der einfachen Einhängerohre Retorten

aufwiesen, um die Destillation des Brennstoffes mittels großer, vom heißen Gas bestrichener und dadurch erwärmter Oberflächen durchzuführen. Auch die Grundidee des getrennten Gasabzuges ist zu der damaligen Zeit bereits aufgetaucht. Die Bauarten sind aber im Laufe der Entwicklung fast vollständig in Vergessenheit geraten. In den späteren Jahren um 1900 hatte sich dann die Bauart des Zonengenerators neuerdings entwickelt, und sei hier besonders auf die Ausführung von Thomson (D.R.P. 135025), vgl. Abb. 125, verwiesen¹⁾. Wir finden da-

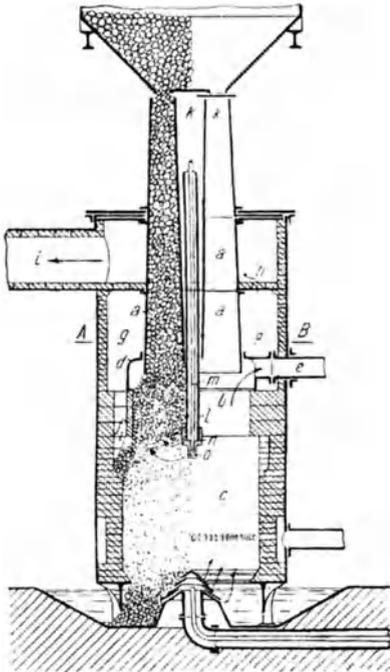


Abb. 125. Gaserzeuger von Thomson.

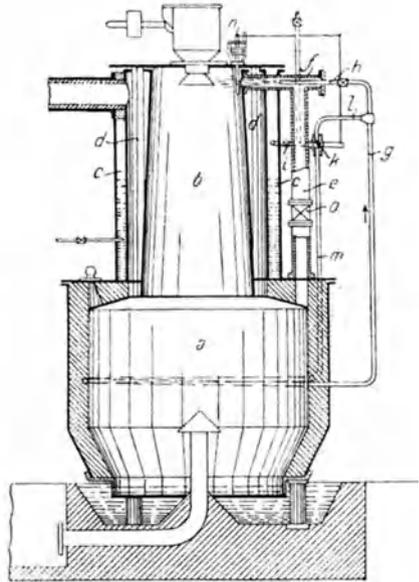


Abb. 126. Gaserzeuger von Garland.

bei die getrennten Gasauslässe, aber die Heizung der Retorte sollte noch von außen geschehen. In der Folge wurde diese Bauart in mehrfacher Hinsicht weiterentwickelt, besonders zwecks Gewinnung von Ammoniak im Gase, dieselbe ließ jedoch durchaus die praktische Anwendbarkeit vermissen und hat daher in der Praxis kaum Aufnahme gefunden. Eine weitere Bauart ähnlicher Anordnung, bei welcher erstmalig die Anwendung einer Innenheizung für die Durchführung der Destillation zielbewußt durchgeführt ist, ist die in Abb. 126 dargestellte von Garland (amerikanisches Patent 114979, 1914). In der Retorte, hier besser

¹⁾ Vgl. Gwosdz: Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der Teergewinnung im Gaserzeugerbetrieb. Glückauf 1919, S. 754.

Schwelschacht genannt, sollte durch einen abwärts gerichteten Strom von Gas, welches aus dem unteren Schacht entnommen wurde, im Gemisch mit Wasserdampf bei etwa 400°C die Destillation bei niedriger Temperatur durchgeführt werden. Man hoffte, durch die Anwendung

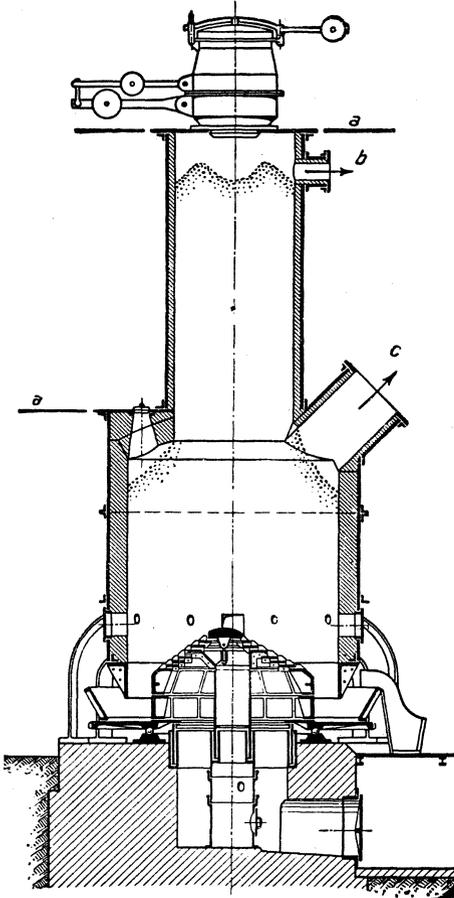


Abb. 127. Gaserzeuger mit Schwelaufbau.

eines nicht oxydierenden Gases anstatt schweren Pechs oder Teers nur leichte Öle zu gewinnen. Bei dieser Bauart ist die Urteergewinnung fast genau so vorgeschlagen, wie sie später während des Krieges in Deutschland entwickelt und durchgeführt wurde, ohne daß dieses Patent bekannt war und als Grundlage diente; es ist auch später nicht bekanntgeworden, ob und mit welchem Erfolg diese Bauart in der Praxis eingeführt wurde.

Bei der Bedeutung der Urteergewinnung für die neuzeitliche Entwicklung mögen die Grundlagen im nachfolgenden etwas eingehender dargelegt werden, um so mehr als es sich um wärmetechnische Fragen handelt, die naturgemäß bei den verschiedenen Brennstoffen verschiedene Maßnahmen erfordern.

Die Schwelvorgänge an sich müssen in jedem Gaserzeuger vor sich gehen, wenn man die Anwärmung des Brennstoffes langsam genug durchführt. Nach älteren Erfahrungen dauert aber die Schwelung unter den Verhält-

nissen, wie sie im Gaserzeuger durchgeführt werden kann, 5–6 Stunden, und es war naturgemäß nicht leicht, an die Schaffung entsprechender Schwelräume im Gaserzeuger heranzutreten. Zudem kam noch die Frage der Wärmeübertragung. Ausgehend von der Konstruktion der Gaswerksretorten hielt man die Außenheizung für besonders schonend, man mußte sich jedoch bald überzeugen, daß es unmöglich war, die notwendigen Übertragungsflächen zu erreichen und den

Die Schwelvorgänge an sich müssen in jedem Gaserzeuger vor sich gehen, wenn man die Anwärmung des Brennstoffes langsam genug durchführt. Nach älteren Erfahrungen dauert aber die Schwelung unter den Verhält-

nissen, wie sie im Gaserzeuger durchgeführt werden kann, 5–6 Stunden, und es war naturgemäß nicht leicht, an die Schaffung entsprechender Schwelräume im Gaserzeuger heranzutreten. Zudem kam noch die Frage der Wärmeübertragung. Ausgehend von der Konstruktion der Gaswerksretorten hielt man die Außenheizung für besonders schonend, man mußte sich jedoch bald überzeugen, daß es unmöglich war, die notwendigen Übertragungsflächen zu erreichen und den

Inhalt gleichmäßig abzuschwelen. Es blieb daher nur die Innenheizung, indem man den Gaserzeuger nach Art der Zonengaserzeuger ausbildete, lediglich mit dem Unterschied, daß nicht das ganze Heißgas der unteren Schichten getrennt abgeführt wurde, sondern ein Teil desselben zwecks Wärmeübertragung die Schwelglocke — der falsche Ausdruck „Retorte“ wäre möglichst zu vermeiden, da der Einfluß der Außenheizung ein verschwindender ist — durchströmte und zugleich mit dem Schwelgas abgeführt wird. Es war nun möglich, entweder durch einen

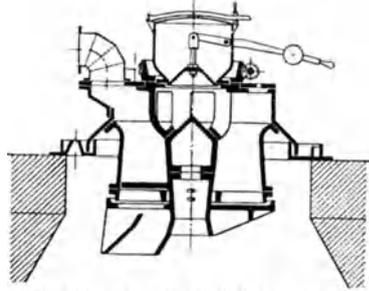


Abb. 128. Lincksche Schwelretorte.

Aufbau genügend große (für 5–6 Stunden berechnete) Schwelräume zu schaffen oder Einbauten zu verwenden und durch geeignete Maßnahmen die Schwelzeit zu verkürzen. Es gelingt dies dadurch, daß man die Brennstoffteilchen in der Glocke in einer ständigen Bewegung erhält bzw. dieselben dauernd umlagert, so daß die Bildung überhitzter oder zu kalter Stellen vermieden wird, und außerdem die Schwelprodukte möglichst schnell und ohne Widerstand entfernt werden können.

Die Verwendung aufgebauter Schwelschächte nach Abb. 127 — wie z. B. von der Firma Julius Pintsch A.-G. ausgeführt — lehnt sich an die bereits vorhandenen Gaserzeugerbauarten an; insbesondere die Zonengaserzeuger mit Absaugung und Verbrennung der teerhaltigen Gase zwecks Sauggasherstellung der gleichen Firma, aber auch andere Schwelgeneratoren (z. B. von Lewis, Lynn, Whitfield, Thomson und Garland¹⁾) zeigen diese grundsätzliche Anordnung.

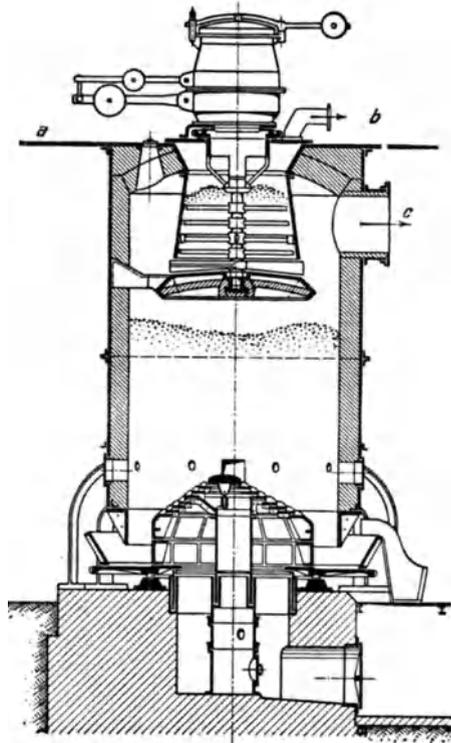


Abb. 129. Gaserzeuger mit Schwelteinbau.

¹⁾ Vgl. bei Gwosdz a. a. O. Trenkler, Gaserzeuger.

Die Einbauten bieten gegenüber den Aufbauten bei entsprechend geringen Abmessungen eine bessere Zugänglichkeit des Gaserzeugers und eine wesentlich leichtere Regelbarkeit. Bei Einbauten ist es auch möglich, die Beschickung im unteren Teil des Gaserzeugers völlig unabhängig von dem Schwelvorgang zu beeinflussen, d. h. den Gaserzeugergang zu regeln, so daß auch die Schwelung soweit als irgend möglich unabhängig und in geregelter Weise geführt werden kann.

Die hierher gehörigen Bauarten sind zahlreich. Besonders erprobt sind nach den Ausführungen von Dr. Fritz Frank¹⁾ die Bauarten von Linck nach Abb. 128 (A.-G. für Brennstoffvergasung) und der Deutschen Mondgas- und Nebenproduktengesellschaft m. b. H. nach Abb. 129, welche beide Wert darauf legen, den Brennstoff während der Verschmelzung zu bewegen und umzulagern, um eine gleichmäßige, möglichst schnelle Erwärmung und eine ungestörte Absaugung der Schwelprodukte zu ermöglichen. Diese zentral angeordneten Schwelglocken haben sich besonders gegenüber den älteren, beweglichen Einbauten exzentrischer Anordnung (Ehrhardt & Sehmer, A.-G. für Brennstoffvergasung) und den doppelwandigen (hosenrohrähnlichen) Bauarten vorteilhaft bewährt und sind in mehreren Anlagen in zufriedenstellendem Betrieb. Nicht anwendbar dürften sie bei stark backenden Steinkohlen sein, da die Rührwirkung bei dem blähenden Verhalten dieser versagen muß. Auch bei stark erweichenden Brennstoffen ist diese Bauart nicht empfehlenswert, und erscheint es für diese Fälle richtiger, auf eine getrennte Abschwelung zurückzugreifen²⁾.

Solche Einbauten bzw. Aufbauten kommen jedoch nur bei Steinkohle in Frage. Durch eine einfache Gleichung läßt sich die Gasmenge errechnen, die zur Wärmeübertragung notwendig ist. Es soll dabei angenommen werden, daß die eingeleitete Schwelung keine nennenswerte Wärmezufuhr mehr benötigt, welche Annahme nach den gemachten Erfahrungen gerechtfertigt sein dürfte.

Die Schwelung soll bei 500° beendet sein. Der ursprüngliche Brennstoff enthalte 10% Feuchtigkeit, die verdampft werden müssen; die spezifische Wärme des aschenhaltigen Brennstoffes sei 0,29. Der aus der Schwelglocke abgehende Halbkoks gebe bei der Vergasung 3,3 cbm Gas je 1 kg ursprünglicher Kohle mit einer spezifischen Wärme von 0,35 im Bereiche von 100°—600°. Die Teilmenge des durch die Glocke geführten Gases muß daher so viel fühlbare Wärme enthalten,

¹⁾ Vortrag in der Brennkrafttechnischen Gesellschaft am 29. 10. 1919.

²⁾ Vgl. hierzu: Roser: Die Entgasung der Kohle im Drehofen. St. u. E. 1920, S. 74 und Trenkler: Z. d. V. d. I. 1920, S. 997.

daß der Brennstoff auf 500° erwärmt werden kann, während es sich selbst von 600° auf 100° abkühlt¹⁾. Es gilt:

$$\begin{aligned}\frac{x}{100} \cdot 3,3 \cdot 0,35 \cdot (600 - 100) &= 0,1 \cdot 600 + 0,9 \cdot 0,29 \cdot 500 \\ 5,775x &= 190,5 \\ x &= 33\%.\end{aligned}$$

Dies heißt, daß $\frac{1}{3}$ der Heißgasmenge notwendig ist, was mit den Erfahrungen genau übereinstimmt. Die von Prof. Fischer²⁾ mit $\frac{1}{7}$ angegebene Menge ist jedenfalls wesentlich zu niedrig gegriffen.

Es läßt sich nun weiter dieselbe Rechnung für Braunkohle oder Braunkohlenbriketts mit 15% Feuchtigkeit aufstellen; die aus dem Halbkoks entstehende Gasmenge ist dann geringer, weil diese Brennstoffe mehr Destillationsprodukte abspalten. Es gilt ungefähr:

$$\begin{aligned}\frac{x}{100} \cdot 2,4 \cdot 0,35 \cdot (600 - 100) &= 0,15 \cdot 600 + 0,85' \cdot 0,29 \cdot 500 \\ 4,2x &= 213,25 \\ x &= 50,0\%.\end{aligned}$$

Bei diesen Rechnungen wurde die Verdampfungswärme des Konstitutionswassers nicht berücksichtigt, weil sich bei der Schwelung stets erhebliche Mengen von CO₂ bilden, und zwar um so mehr, je mehr O der Brennstoff aufweist. Die dadurch frei werdende Wärmemenge dürfte in den meisten Fällen ausreichen, um die Verdampfungswärme zu decken.

Es läßt sich nun schließlich auch der Grenzwert ermitteln, bei welchem Wassergehalt des rohen Brennstoffes die ganze Heizgasmenge durchgesaugt werden muß. Der Ansatz hierfür lautet etwa:

$$\begin{aligned}\frac{100 - x}{100} \cdot 3,3 \cdot 0,35 \cdot (600 - 100) &= \frac{x}{100} \cdot 600 + \frac{100 - x}{100} \cdot 0,29 \cdot 500 \\ 10,325 \cdot x &= 432,5 \\ x &= 42\%.\end{aligned}$$

Steigt der Feuchtigkeitsgehalt des rohen Brennstoffes über diesen Grenzwert hinaus, so ist eine Vortrocknung geboten, wenn man eine vollständige Schwelung und damit eine reichliche Teergewinnung bei gleichzeitiger Gasgewinnung erzielen will.

Aus den Rechnungen ergibt sich mit voller Deutlichkeit, daß Einbauten oder Aufbauten bei den meisten Braunkohlen und ebenso bei Torf nicht notwendig sind. Bei Braunkohlenbriketts und hochwertigen Braunkohlen wird man sie in vielen Fällen mit Vorteil anwenden, weil dann die zu reinigende Schwelgasmenge gegenüber der Gesamtgasmenge

¹⁾ Das Gas als Wärmeträger soll um 100° heißer sein als der Brennstoff der gleichen Schicht.

²⁾ Kenntnis der Kohle. Bd. 3, S. 107.

geringer ausfällt. Vom Standpunkt der Teergewinnung allein wären Einbauten gleichfalls nicht erforderlich, denn es ist bei diesem Vergasungsmaterial möglich, Gastemperaturen von durchschnittlich 200° – 250° zu halten; der dabei erzielte Teer ist nach mehreren Untersuchungen als gleichwertig mit solchen von Gaserzeugern mit Einbauten anzusprechen, wenn genügende Sorgfalt verwendet wird.

Man wird zu diesen Ausführungen den Einwand erheben, warum dann der gewöhnliche Generatorteer doch so viel minderwertiger sei. Dies aber läßt sich leicht erklären, wenn man sich die praktischen Verhältnisse vor Augen führt. Zwecks einer guten Überwachung des Gaserzeugers wird man die Füllabstände so groß machen, daß vor der Begichtung die Verteilung der Glut in den oberen Schichten durch das Auge kontrollierbar ist. Das bedeutet also mindestens eine Gastemperatur von 400° vor dem Gichten. Soll 250° als mittlere Gastemperatur angenommen werden, so ist die Temperaturschwankung zwischen zwei Gichten aber rund 300° . In den nächstliegenden Leitungen wird diese Schwankung langsam abnehmen und nur bei großen zentralen Anlagen in der Hauptsammelleitung ausgeglichen werden. Da der Teer ein krauses Gemisch zahlreicher Bestandteile mit den verschiedensten Siedepunkten ist, wird man in den Leitungen eine fraktionierte Kondensation einzelner, namentlich der hochsiedenden, pechreichen oder pechartigen Bestandteile feststellen. Sind diese Kondensate schon an sich ziemlich minderwertig — besonders in der Nähe der Gaserzeuger, wo noch Flugstaub und Flugasche beigemischt ist —, so wird diese Minderwertigkeit durch den Einfluß der Temperaturschwankungen noch erhöht. Der Vorgang des Krackens, der bei hohen Drücken und hoher Temperatur verhältnismäßig schnell vor sich geht und in einer Abspaltung leichtsiedender Kohlenwasserstoffe aus höhersiedenden Fraktionen unter Kohlenstoffanreicherung des Rückstandes, also einer Verpechung und Verkokung, besteht, vollzieht sich auch bei gewöhnlichem Druck unter lang anhaltenden, wenig höheren Temperaturen bzw. den herrschenden Temperaturschwankungen, wobei die untere Temperaturgrenze dem Kondensationsvorgang und die obere Grenze dem Krackvorgang entspricht. Daß schon geringe Schwankungen zu solchen Einflüssen genügen, zeigt die Erfahrung an Urteergewinnungsanlagen, wo Schwankungen von 50° – 80° , durch ungenaue und unrichtige Betriebsführung bedingt, die in geringen Mengen abgeschiedenen Dickteere zu außerordentlich harten, koksartigen Krusten veränderten. Hieraus sieht man die Bedeutung, die einer schnellen Abführung der Schwelgase zukommt; solche Temperaturschwankungen können bei Einbauten mit bewegten Teilen fast ganz vermieden werden. Lange Leitungen wird man möglichst umgehen oder notwendigenfalls Ausscheidungen durch Isolation oder Spülung verhindern. Die schnelle und sachgemäße

Abscheidung des Teeres aus dem Gas bei entsprechender, gleichmäßiger Temperatur macht eine nachträgliche Zersetzung unmöglich. Um jede weitere, stets unvorteilhafte Behandlung des Teeres zu vermeiden, wird man die Teerabscheidung über dem Taupunkt des Gases vornehmen, um gleich einen wasserfreien, sofort verladefähigen Teer zu erhalten.

Im vorstehenden wurden bereits einige Ausführungsformen gezeigt, und kann es nicht Aufgabe sein, hier eine vollständige Übersicht zu geben, weil die Entwicklung noch vollständig im Fluß ist. Es seien jedoch einige Betriebsergebnisse mitgeteilt:

Die Bauart der J. Pintsch A.-G.¹⁾ ergab bei der Vergasung von Ilse-Briketts mit 4,8% Teer, 5,46% Asche, 15,07% H₂O eine Teerausbeute von 8,81% (? !). Die Zusammensetzung des Gases an den verschiedenen Stellen war die in Zahlentafel 48 wiedergegebene. Es waren rechnungsgemäß von dem im unteren Schachtteil erzeugten Gas 34,5% durch den Schwelschacht gesaugt worden; die gesamte Gasausbeute war 2,33 cbm/kg und ergibt sich die Wärmeverteilung wie folgt:

Wärmemenge im kalten und reinen Gas	77,40 %
„ „ Teer	12,56 %
Wärmeverlust in der Asche	1,00 %
„ „ „ Eigenwärme des Gases	2,59 %
„ „ durch Leitung und Strahlung	6,45 %
	100,00 %

Zahlentafel 48. Gaszusammensetzungen an einer Urteeranlage von Pintsch A.-G.

	CO ₂	C _n H _m	CO	H ₂	C ₂ H ₆	CH ₄	N ₂	Unterer Heizwert	Bemerkung
1. Generatorgas aus dem unteren Schacht	4,9	0,1	27,0	13,2	—	1,4	53,5	1296	} vollständig teerfrei
2. Mischgas aus d. oberen Schacht	11,4	0,4	23,5	19,2	1,2	5,9	38,4	1967	
3. Schwelgas(rechnungsmäßig)	27,8	1,2	14,6	34,6	4,3	17,5	—	3692	—
4. Mischgas am Ende der Anlage (aus 1 u. 2)	7,7	0,2	25,5	15,7	0,5	3,3	47,1	1575	—

Mit den Schweleinbauten von Linck wurden auf der Burbacher Hütte²⁾ bei der Beheizung von Martin-Öfen mit teerfreiem Gas sehr gute Ergebnisse erzielt. Die Schmelzdauer war nicht verlängert und war der Kohlenmehrverbrauch weniger als 10%. Dagegen wurden durchschnittlich 6% Teer mit 7% Wasser gewonnen, wobei die Entteerung nicht

¹⁾ Meyer: Zentralgeneratoranlagen mit Urteergewinnung. J. f. G. 1920, Nr. 36. ²⁾ St. u. E. 1921, S. 325.

bis aufs äußerste durchgeführt wurde, um die Flamme etwas leuchtend zu erhalten. Der Urteer ergab bei der Destillation 18%—25% Leichtöl, 13%—15% Spindelöl, 15%—25% Maschinenöl, 5%—8% Harzfraktion und 25%—35% Pech. Die Ausführung des Gaserzeugers mit Linckscher Retorte ist aus der früher gebrachten Abb. 128 zu erkennen, und ist in Abb. 130 auch die neueste Bauart dieser Retorte gezeigt. Die ausführende Aktiengesellschaft für Brennstoffvergasung scheint aber neuerdings die Lincksche Bauart verlassen zu haben und baut Gaserzeuger mit Schwelaufbauten¹⁾ sowohl für die Vergasung von Briketts als auch für Steinkohle. Die zuerst genannte Bauart entspricht durchaus derjenigen der Pintsch A.-G., welche in Abb. 127 wiedergegeben ist, letztere ist in Abb. 131 gezeigt, wobei die räumliche Trennung des Schwelraumes von dem Vergasungsschacht bemerkenswert ist.

Diese Trennung wurde besonders von Dr. F. Frank²⁾ als wichtig für die Gewinnung eines guten Urteeres dargetan, und sei an dieser Stelle

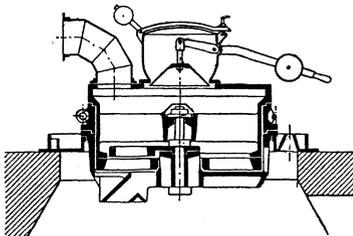


Abb. 130. Linck'sche Retorte neuer Bauart.

darauf verwiesen, daß die von dem Genannten geleitete technische Abteilung der Kriegsschmieröl-Gesellschaft sowohl an der Ausbildung der Schleppretorten von Ehrhardt & Sehmer, der Linckschen Bauart und auch der späteren Bauart der Deutschen Mondgas-Gesellschaft wesentlichen Einfluß hatte und sich um die Erprobung dieser ein großes Verdienst erwarb.

Die Deutsche Mondgas-Gesellschaft benutzte anfänglich feststehende Zentralretorten, insbesondere bei der Vergasung magerer, ober-schlesischer Sandkohlen auf den von ihr erbauten Mondgas-Anlagen, welche während der Kriegszeit auf Urteergewinnung umgestellt wurden. Dieselben erzielten gute Ergebnisse und wurden mit Erfolg auch bei anderen Brennstoffen, wie z. B. bei böhmischer (Kladnoer) Steinkohle, böhmischer Braunkohle und mitteldeutschen Briketts erprobt. Es gelingt bei diesen leicht destillierbaren Brennstoffen eine vollständige Schwelung in etwa

Zahlentafel 49. Gaszusammensetzungen an einer Urteeranlage der Deutschen Mondgas-Gesellschaft.

	Temperatur	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _m	Unterer Heizwert	Teer g/cbm
Heißgas	578	5,3	0,5	28,5	12,1	0,6	—	1227	0,29
Schwelgas	132	2,7	—	29,2	18,6	6,3	1,2	1890	53,6

¹⁾ Vgl. Wirth: Brennstoffchemie. S. 345. Berlin: Stilke 1922.

²⁾ Brennstoffchemie. Jg. 2, S. 152.

3 Stunden (größere Schwelräume anzulegen erlaubten die vorhandenen Gaserzeuger nicht) durchzuführen, wie die Analysen der nebenstehenden Zahlentafel 49 zeigen, die Durchschnittswerte von einer mit Steinkohle betriebenen Anlage sind.

Bei der Verarbeitung backender Kohlen oder schwer destillierbarer Brennstoffe war die Abschwelung nicht vollständig und der Teer nicht immer hochwertig, weil teilweise Zersetzungen in den heißeren Zonen eintraten. Durch die Anwendung eines Rührwerkes wurde dies behoben, und gelang es nach einem Bericht von Jaworsky¹⁾, die Teerausbeute von 4% auf 7,3% bis 7,5% zu steigern, wobei die Zusammensetzung des Teeres etwa folgende war: 25%–30% Heizöl, 16% bis 20% Spindelöl, 22% bis 16% saure Öle, 1,5%–2% Paraffin, 8%–16% Harze und 22%–14% Pech. Die aus diesen Versuchen des zentralen Einbaues

mit Rührwerk schließlich unter Mitarbeit von Herrn Dr. Tebrich der Kriegsschmieröl-Gesellschaft entwickelte Bauart ist die in

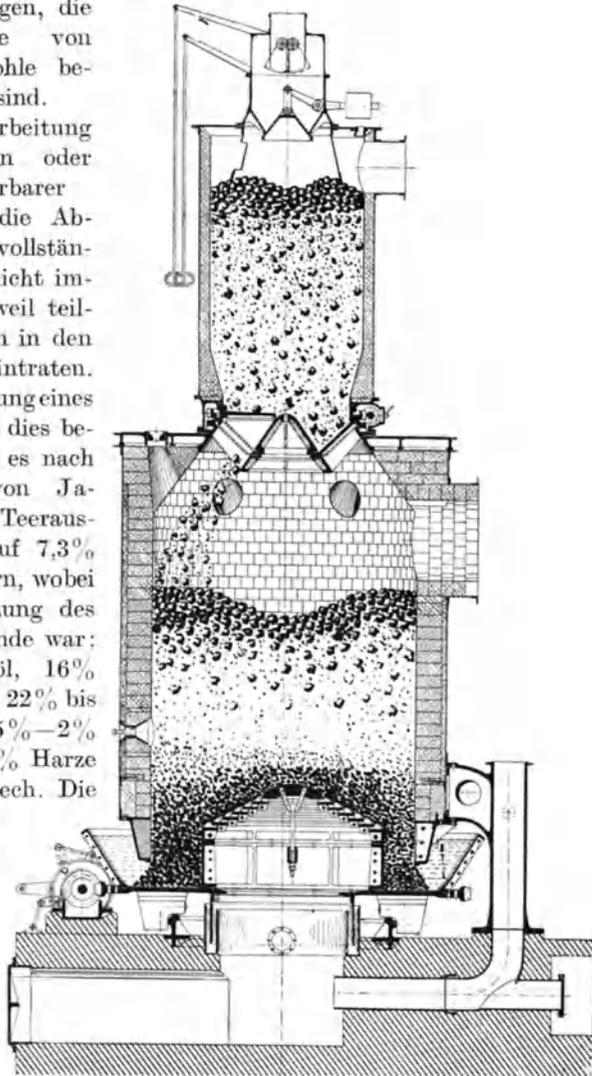


Abb. 131. Gaserzeuger mit Schwelaufbau der A. G. für Brennstoffvergasung.

Abb. 129 dargestellte und ist seither mit vollem Erfolg auf verschiedenen Anlagen angewendet worden.

¹⁾ St. u. E. 1921, S. 328.

In neuerer Zeit haben sich zahlreiche Firmen diesem Arbeitsgebiet zugewandt, doch ist über die Ergebnisse nichts bekanntgeworden. Die erwähnenswerteste, weil von den vorstehenden Bauarten abweichende, ist die der Allgemeinen Vergasungs-Gesellschaft, A.V.G. Berlin, welche in Abb. 132 wiedergegeben ist. Dieser Gaserzeuger ist für die Vergasung von Briketts gebaut und besitzt nur einen Gasabzug; er unterscheidet sich von einem normalen Gaserzeuger durch den langen verengten Schacht, durch welchen die Vorgänge räumlich auseinander gezogen und getrennt werden, obwohl sie zeitlich keine Verschiebung erleiden können, da der Wärmetransport ja von den Temperaturverhältnissen und der stündlichen Gasleistung allein abhängig ist. Diese Bauart stellt daher einen Schwelgaserzeuger in vollem Sinne des Wortes nicht dar und kann sich daher nicht für Brennstoffe eignen, welche hohe Gastemperaturen geben; im äußersten Falle demnach für Braunkohlenbriketts, bei welchem Brennstoff nach dem früher Gesagten Einbauten nicht notwendig sind. Es erscheint andererseits nicht ausgeschlossen, daß der hohe, verjüngte Schacht eine sehr gleichmäßige und gute Vorwärmung des Brennstoffes bedingt und daß dadurch die Schwelvorgänge günstig beeinflußt werden; ein Gleiches ließe sich aber durch jede Erhöhung des Brennstoffbettes erzielen und ist daher die Komplikation der Bauart nicht gerechtfertigt. Nach einem Bericht von Fabian¹⁾ wurden je Kilogramm Briketts 2,1 cbm Gas von 1650 Kal. Heizwert erzeugt; außerdem wurden je Tonne Brennstoff 120 kg Teer gewonnen, wobei 0,5 kg Dampf für 1 kg Brennstoff verbraucht wurden. Es soll sich danach ein Wirkungsgrad von 87% (?) errechnen, was aber zu bezweifeln ist. Auch erscheint es merkwürdig, daß man im Casseler Braunkohlenrevier mitteldeutsche Briketts von Rositz auf ca. 250 km Entfernung herholt und vergast. Da die bisherigen Ergebnisse bei sehr schwachem Betrieb der Generatoren gewonnen wurden und auch an anderer Stelle aus den Rositzer Briketts eine gleiche Menge Teer gewonnen wird²⁾, so ist die hohe Teerausbeute keineswegs auf das Verfahren, sondern nur auf die Auswahl des Brennstoffes zurückzuführen, wobei allerdings die durch die höhere Steuerrückvergütung und den Teergewinn erzielte Ersparnis wegen der Frachtmehrausgaben zum größten Teil wieder ausgeglichen werden dürfte.

Die Reinigungsanlagen können nun in bekannter Weise wie bei den Sauggasanlagen mit Skrubbern oder auch mit Großraumkühlern, Glockenwäschern u. dgl. ausgestaltet werden, es empfiehlt sich das aber nicht, weil dabei große Verluste an Teer entstehen, und vor allem der

¹⁾ Braunkohle. 1922, H. 6.

²⁾ Vgl. Seidenschnur: Brennstoffchemie. Jg. 2, S. 241.

Teer sehr wasserreich anfällt, was bei der nachfolgenden Destillation desselben sehr unangenehm ist. Man reinigt das Gas daher neuerdings meist mit Desintegratoren oder Drehfiltern, die mit Teereinspritzung bei Temperaturen über dem Taupunkt des Gases betrieben werden.

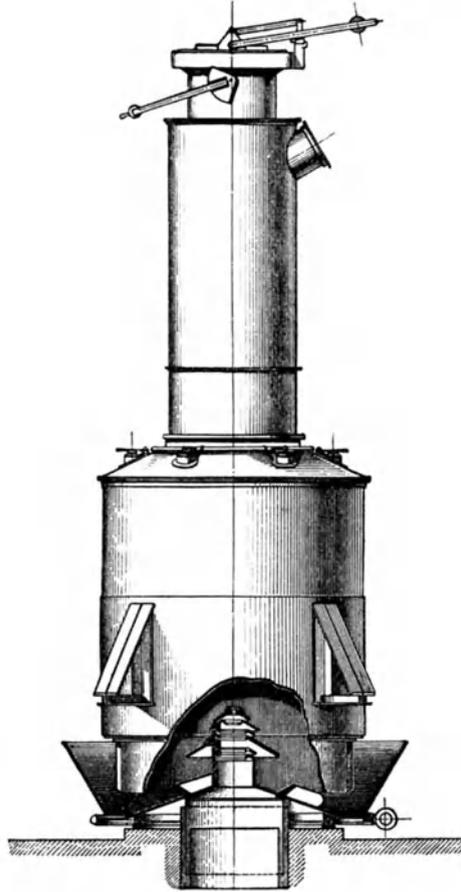


Abb. 132. Gaserzeuger der A.V.G. mit Koller-Rost.

Für die nachfolgende Abscheidung des Wasserballastes ist ein einfacher, Berieselungsturm notwendig, in dem man das Gas möglichst auf Außentemperatur abkühlt. Bei entsprechender Bauhöhe können Türme ohne Füllmaterial verwendet werden (S. 253). Um die Bildung von Abwasser zu vermeiden, kühlt man dasselbe in Gradierwerken oder Kaminkühlern wieder ab und verwendet es im Rundlauf.

Die Verdunstungsverluste übersteigen dabei den Zuwachs an kondensierter Feuchtigkeit. Auf die Kühlanlage kann man bei Steinkohlen

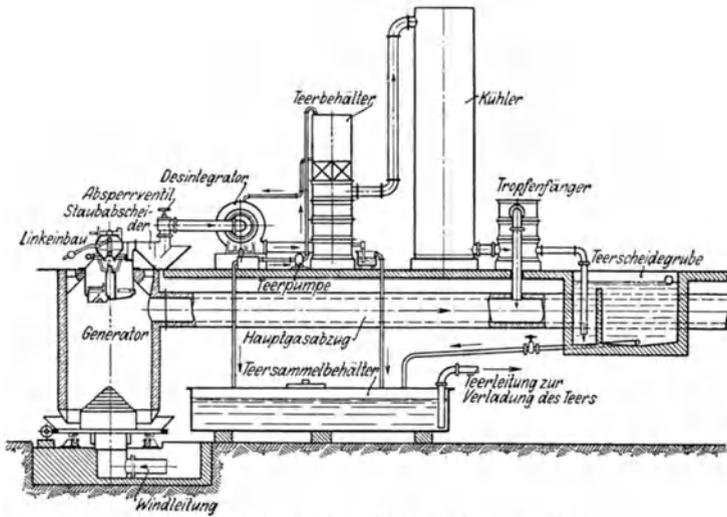


Abb. 133. Schema einer Urteergewinnungsanlage.

verzichten, und zeigt den Zusammenbau einer solchen Anlage dann die schematische Abb. 133.

Die rotierenden Gaswäscher sind besonders in den Bauarten von Theissen-München, Schwarz-Dortmund, Zschockewerke-Kaisers-

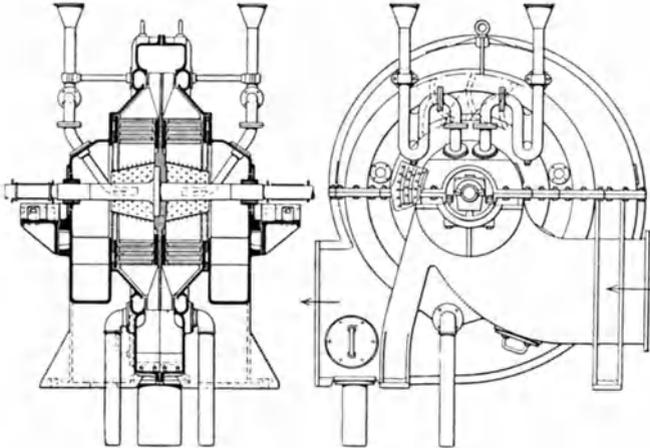


Abb. 134. Theissen-Wäscher (Desintegrator).

lautern, Dingler-Zweibrücken bekannt, welche verschiedene Bauarten des bereits 1877 von Braun für die Reinigung des Gases vor-

geschlagenen Desintegrators darstellen. Die Wirkungsweise ist stets die, daß das Gas von einem Ventilator durch einen mit rotierenden Schlagstäben versehenen Desintegratorkorb hindurchgetrieben oder hindurchgesaugt wird. Die Schlagstäbe rotieren zwischen feststehenden Reihen von Stäben, so daß die Querschnittsverhältnisse für den Durchtritt des Gases stets verändert werden und eine kräftige Stoßwirkung eintritt. Dieses Prinzip ist bei allen genannten Bauarten gleich; während aber Theissen den Ventilator und Desintegrator auf einer Welle radial hintereinanderfolgend aufbaut und so eine sehr gedrängte und betriebssichere Form erzielt, schalten andere Bauarten die einzelnen Aggregate entweder auf derselben Welle nebeneinander (Zschockwerke) oder verwenden überhaupt getrennte Apparate (Schwarz-Bayer). Das letztere bringt den Vorteil geringeren Kraftverbrauches, weil jeder Apparat mit der vorteilhaftesten Umdrehungszahl laufen kann und auch das Mitreißen von Teer vermindert wird, hat aber den Nachteil verschiedener Antriebe und größeren Platzbedarfes. Der Reinheitsgrad scheint bei allen Bauarten ziemlich gleich zu sein, bzw. es wird ein größerer Reinheitsgrad nur durch einen sehr hohen Kraftaufwand erzielt. Dies erscheint bei der Verwendung des Gases zu Heizzwecken nicht erforderlich. Die Bauart eines Theissen-Wäschers ist in Abb. 134 dargestellt und bedarf wohl weiterer Erläuterungen nicht.

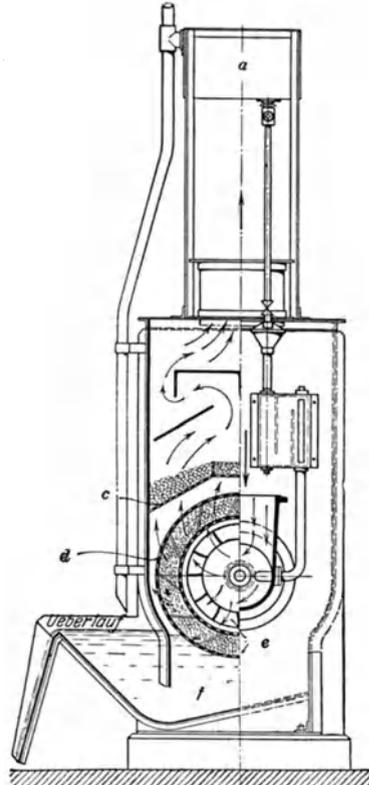


Abb. 135. Drehfilter von Petry & Hecking.

Eine neuere Bauart, welche großes Interesse verdient, ist das sogenannte Drehfilter der Firma Petry & Hecking, Dortmund. Dieses verzichtet auf einen geschlossenen Ventilator, weil man meist ja nur den Druck erzeugen muß, der zur Überwindung der Widerstände in der Anlage notwendig ist. Andererseits tritt an Stelle des schnelllaufenden Desintegratoreinbaues ein langsam im Umlauf befindliches Filter, das durch seine Füllung die erforderliche Stoßwirkung

erzeugt¹⁾. Die Bauart ist in Abb. 135 zu erkennen, und gibt die Bauart Reinheitsgrade von 96% bei einem Kraftverbrauch, der nur $\frac{1}{3}$ jenes von Desintegratoren ist; selbst wenn daher der Reinheitsgrad etwas zurückbleibt, so ist dies durch den geringeren Kraftverbrauch mehr als ausgeglichen, um so mehr als die nachfolgende Kühlung zwecks Befreiung vom Wasserballast die letzten Teermengen aus dem Gas entfernt. Diese geringen Mengen wasserhaltigen Teeres können nochmals durch das Filter umgepumpt werden, um sie von der Feuchtigkeit zu befreien, so daß im ganzen das angestrebte Ziel, die Erzeugung eines praktisch wasserfreien Teeres, erreicht wird.

Trockenfilter haben bei teerhaltigem Gas keine Anwendung gefunden, weil der Teer die Filterschläuche verkleben würde. Neuerdings will man Vorreinigungen für den Staub mit vorgewärmter Filtermasse anwenden (Verfahren von Raffloer, D.R.P. a.), um so den Teer staubfrei zu gewinnen, doch sind darüber Betriebserfahrungen noch nicht vorliegend. Die elektrische Reinigung würde gleichfalls eine getrennte Entfernung des Staubes und des Teeres ermöglichen, doch wird diese Trennung nie eine vollständige sein können, weil sich stets geringe Mengen Teer mit dem feinen Staub ausscheiden und so die Filtermasse verkleben bzw. die Elektroden verschmutzen und schließlich zu Kurzschlüssen Veranlassung geben. Beide Verfahren verdienen jedoch Beachtung, weil die vorhergehende Abscheidung des Staubes für die Qualität des Teeres von großem Vorteil wäre.

Im übrigen verwendet man auch bei der Urteergewinnung teilweise jene Apparate, die von den Gasanstalten und Kokereien her bekannt sind, und zwar insbesondere die Pélouze-Teerwascher, die man auch mit Teer berieselt, um die Reinigungsmöglichkeit zu erhöhen, evtl. Verschmutzungen an den gelochten Blechen wegzuspülen und vor allen Dingen, um durch eine mögliche Anwärmung des Spülteeres die Teerausscheidungstemperatur zu regeln bzw. wasserhaltigen Teer von der Feuchtigkeit zu befreien, da das Gas bei höherer Temperatur das Wasser aus dem Teer wieder aufnimmt. Der Zusammenbau einer solchen Anlage für Brikettvergasung der Pintsch A.-G. ist in Abb. 136 gezeigt. In ähnlicher Weise könnte man auch Glockenwäscher durch Berieselung wirksamer gestalten und vor allen Dingen durch Aufwärmung des Teeres Kondensationen der Gasfeuchtigkeit vermeiden, also einen wasserfreien, sofort verladungsfähigen Teer erzielen, wenn nicht die großen abkühlenden Flächen ein Hindernis wären. Da alle diese Stoßreiniger in gleicher Weise wie Desintegratoren und Drehfilter eine mechanische Reinigung bewirken, ergeben sie Druckverluste, und man muß daher einfache Stoßreiniger stets mit einem Gasventilator oder Ex-

¹⁾ V. d. I. 192, S. 1264.

haustor zusammenbauen, und ist der Kraftverbrauch derselben ungefähr ein gleich hoher wie beim Drehfilter oder den getrennt gebauten Desintegratoranlagen. Die älteren Stoßreinigerbauarten versprechen daher keinerlei technischen Vorteile, im Gegenteil ist der Reinheitsgrad derselben ungünstiger, die Einhaltung bestimmter Temperaturen und daher die Vermeidung von Teeremulsionen schwierig, so daß selbst ein etwas höherer Kraftverbrauch die Anwendung rotierender Gaswäscher rechtfertigt.

Ein möglicher Weg, der bei Generatorgasreinigungen bisher nicht erprobt ist, wäre die Reinigung mittels Teereinspritzung, wie sie bei Koksofenanlagen von der Firma Otto & Co. angewendet wird; der Weg erscheint jedoch bei den großen Gasmengen nicht vorteilhafter als die bisher gebräuchlichen Verfahren.

Es sind im vorstehenden bereits einige Betriebsergebnisse angeführt worden. Zusammenfassend hat darüber Dr. F. Frank¹⁾ berichtet und gibt über die gewonnenen Erfahrungen auch hinsichtlich der Verarbeitungsergebnisse die in Zahlentafel 50 angeführte Aufstellung, die sowohl verschiedene Brennstoffe betrifft, als auch Gegenüber-

¹⁾ Brennstoffchemie. Jg. 2, S. 152.

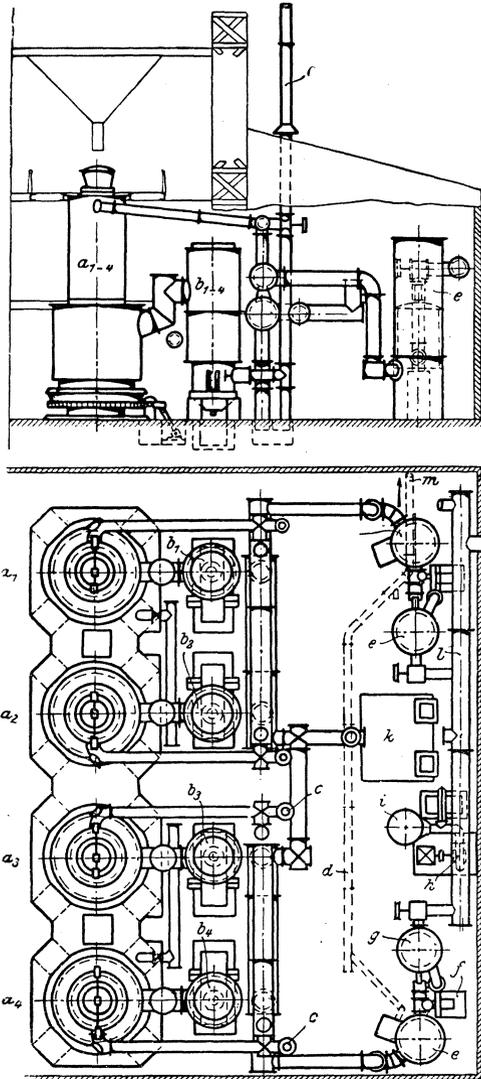


Abb. 136. Urteergewinnungsanlage der Pintsch-A.-G.

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| a ₁₋₄ = Gaserzeuger | g = Pélouze-Teerscheider |
| b ₁₋₄ = Abhitzekeessel | h = Luftgebläse |
| c = Ausblasleitungen | i = Luftsättiger |
| d = Umführungsleitung | k = Kühler für Heißgas |
| e = Röhrenkühler | l = Reingasleitung |
| f = Gasgebläse. | m = Teerleitung |

Zahlentafel 50

Kohlenart	Saarkohle		Oberschlesische Kohle		Lausitzer Förderkohle gestiebt		Mitteldentsche Braunkohlenbriketts	
	A. G. f. Brennstoff- vergasung Schlepp- rel.	Linck	Mondgas- Gesellschaft	A. G. f. Brennstoff- vergasung	Drehrost m. Retorten	Heller- Gaser ohne Einbauten	Heller- Gaser ohne Einbauten	Generator AG
Vergaserart	5-5,5	6	6-7	6-6,5	2,0-2,3	fast keine Ausbeute	—	10-12
I. Teerwasbeute %								
II. Art des Teeres:								
Spez. Gew. bei 15°	1,104		1,059	1,02-1,05	1,012	—	1,005	0,98
Mechanische Verunreinigungen	2,36		2,03	1,3	0,52	—	0,58	0,4-0,5
Viskosität bei 100°	—		1,69	1,7	—	—	1,84	—
Gewinnbare Destillate	59,5		66,0	72,0	66	—	68,7	70,0
Pechwasbeute	39,7		33,0	27,0	32	—	30,0	28,0
III. Rohdestillate:								
Spez. Gew. bei 15°	1,020		1,022	1,023	1,008	—	—	0,97
Viskosität bei 50°	1,41		2,0	1,8	2,5	—	—	2,5
Flammpunkt	108		105	96	112	—	—	105
Erstarrungspunkt	-2		-2	-1	—	—	—	+18
Paraffingehalt	1,95		2,8	2,92	3,5	—	11,8	10-14
Paraffinschmelzpunkt	58		51	52	51	—	51,5	50-51
Saure Öle	40		36	37	26	—	13	28
Asphalt	3,07		—	—	8,9	—	—	—
IV. Zerlegung der Rohdestillate nach Ent- paraffinierung								
Leichtöl	25,5		27,0	30,0	—	—	26,5	24,0
Spez. Gew. bei 15°	0,976		—	—	—	—	0,9695	0,94
Flammpunkt	89		82	85	—	—	95	95
Schmieröl	31,4		37	30	—	—	35,5	44,0
Flammpunkt	148		152	150	—	—	179	150
Viskosität bei 50°	4,97		4,9	6-7	—	—	8,5	4-5
V. Beschaffenheit der Pech:								
E. P. nach Kr. S.	100		76-77	83-84	92,5	—	57,5	65
Benzolunlösliches	22,7		12,3	16,7	12,8	—	Spuren	15,0
Asche	1,115		0,72	1,09	0,46	—	—	0,6

stellungen der Ergebnisse bei verschiedenen Bauarten zeigt. Eine weitere Aufstellung über Analysenergebnisse von Urteer aus verschiedenen Betrieben zeigt Zahlentafel 51¹⁾. Die Frage der Aufarbeitung muß hier unerörtert bleiben. Es möge aber an dieser Stelle auf die wertvollen Arbeiten von Geh.-Rat Dr. Franz Fischer und seinen Mitarbeitern²⁾ verwiesen werden.

Zahlentafel 51. Zusammensetzung von Urteeren aus dem Betriebe.

	Brennstoff			
	Gasflammkohle	Magere Kohle	Gaskohle	Braunkohlenbriketts
Rohteer: spez. Gew.	1,052	1,068	1,066	1,026
Benzolunlösliches %	0,954	0,11	1,60	2,77
Asche %	0,12	0,18	0,14	0,13
H ₂ O %	ca. 3,0	5,80	4,50	7,3
Öl (Rohdestillation) %	56,35	67,50	57,0	56,2
Pech %	40,0	26,30	38,3	34,8
Rohdestillat: spez. Gew.	1,001	1,030	1,008	1,013
Viskosität bei 20° °E	4,31	9,47	3,11	11,6
Flammpunkt °C	93	112	85	115
Brennpunkt °C	108	130	98	135
Stockpunkt °C	— 5	+ 4	— 6	+ 7
Saure Öle %	36	44	32	28
Pech: Erweichungspunkt °C	87	95	83	70
Alkohollösliches %	58	60	76	75,5
Asche %	0,47	0,55	0,20	1,24
Paraffingatsch auf Rohteer %	0,345	17,0	0,5	8,5
Schmelzpunkt %	34	—	54	57
Schmieröl-Konzentrat auf Rohteer %	34,8	40,5	34,9	28,4
Viskosität bei 50° C °E	4,35	—	4,91	6,70
Flammpunkt °C	154	173	148	152

d) Wärmewirtschaftliche Betrachtungen zur Urteergewinnung.

Zur Vollständigkeit sei an dieser Stelle noch die Wirtschaftlichkeit der Urteergewinnung bei der Vergasung betrachtet. Es ist klar, daß man als Teer einen brennbaren Bestandteil aus dem Gase entfernt, der durch eine entsprechende Gasmenge ersetzt werden muß, wenn er andernfalls auch tatsächlich im Gas verblieben wäre.

Meist ist letzteres nur in geringem Maß der Fall, und nur bei hohen Eigentemperaturen des Gases (wie z. B. bei Steinkohle). Bei Zentralanlagen verliert man schon erhebliche Mengen in den Leitungen und Kanälen, mehr aber noch in den Ventilen u. dgl. Hat man Feuerstellen mit Gasvorwärmung (wie z. B. Martinöfen, Schweißöfen, Glaswannen-

¹⁾ Aus Trenkler: Chemie der Brennstoffe. 2. Aufl. Leipzig: Spamer 1921.

²⁾ Vgl. Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle. Bd. 1—5. Berlin: Borngräber.

Zahlentafel 52. Flammentemperaturen bei Verbrennung

Vergaster Brennstoff	I. Rohbraunkohle							
	Rohgas		Entteertes Gas			Rohgas		
	bei Eigentemperatur	ohne Berücksichtigung d. fühlb. Wärme	bei Eigentemperatur	ohne Berücksichtigung d. fühlb. Wärme	Ge-reinigtes Gas	bei Eigentemperatur	ohne Berücksichtigung d. fühlb. Wärme	
Art des Gases, bzw. Endzustand beim Verbrauch	a	b	c	d	e	a	b	
Gasanalyse {	CO ₂ %	7,0	wie a	wie a	wie a	wie a	2,5	wie a
	CO %	24,0					31,5	
	CH ₄ %	2,7					2,5	
	C _n H _m %	0,4					0,4	
	H ₂ %	13,5					13,2	
	O ₂ %	0,4					0,2	
	N ₂ %	52,0					49,7	
	Zusammen %	100,0					100,0	
H ₂ O g/cbm	500,0	wie a	500,0	wie c	30,0	120,0	wie a	
Teer „	30,0		0,0		0,0	28,0		
Unterer Heizwert {	Gas Kal./cbm	1368	wie a	1368	wie c	wie c	1573	wie a
	Teer „	237		—			221	
	Zusammen Kal./cbm	1605		1368			1794	
Luftbedarf der theor. Verbrennung {	Gas cbm/cbm	1,208	wie a	1,208	wie c	wie c	1,360	wie a
	Teer „	0,247		—			0,221	
	Zusammen cbm/cbm	1,455		1,208			1,581	
25 % Luftüberschuß für praktische Verbrennung	cbm/cbm	0,348		0,302			0,395	
Verbrennungsbestandteile {	d. Gases {	CO ₂ „	0,345	wie a	0,345	wie c	wie c	0,373
		N ₂ „	1,474		1,474			1,584
		O „	0,004		0,004			0,002
	d. Teeres {	H ₂ O g/cbm	158,33		158,33			152,73
		CO ₂ cbm/cbm	0,043		—			0,040
		N ₂ „	0,196		—			0,183
		H ₂ O g/cbm	18,77		—			17,52
Zusammensetzung der Abgase {	CO ₂ cbm/cbm	0,388	wie a	0,345	wie c	wie c	0,413	
	N ₂ +O ₂ +Luft „	2,058		1,780			2,164	
	Zusammen cbm/cbm	2,446		2,125			2,577	
H ₂ O von der Verbrennung	g/cbm	177,10	wie a	158,33	wie c	158,33	170,25	
Ursprüngliche Feuchtigkeit „	500,00	500,00		30,00		120,00		
Zusammen g/cbm	677,10	658,33		188,33		290,25		
Eigentemperatur des Gases	°C	130	(0)	80	(0)	28	290	(0)
Fühlbare Wärme des Gases und Teeres	Kal./cbm	43	0	25	0	9	95	0
Fühlbare Wärme der Gasfeuchtigkeit	„	24	0	15	0	1	13	0
Zusammen	Kal./cbm	67	0	40	0	10	108	0
Gesamtwärme im Gas bei Verbrauchsstelle	Kal./cbm	1672	(1605)	1408	(1368)	1378	1902	(1794)
Flammentemperatur bei Verbrennung mit 25 % Luftüberschuß	°C	1340	1290	1270	1230	1540	1695	1600
% CO ₂ d. gasförmigen Bestandteile		15,86	15,86	16,23	16,23	16,23	16,02	16,02

verschiedener Gase aus verschiedenen Brennstoffen.

II. Brikett				III. Steinkohle						I-IV.
Entteertes Gas		Ge- reini- tes Gas	Ge- reini- tes Misch- gas bei Urteer- gew. mit Einbau	Rohgas		Entteertes Gas		Ge- reini- tes Gas	Ge- reini- tes Misch- gas bei Urteer- gew. mit Einbau	Mondgas
bei Eigen- temperatur	ohne Berück- sich- tung d. fühlb. Wärme			bei Eigen- temperatur	ohne Berück- sich- tung d. fühlb. Wärme	bei Eigen- temperatur	ohne Berück- sich- tung d. fühlb. Wärme			
c	d	e	f	a	b	c	d	e	f	
wie a	wie a	wie a	wie a	1,8 30,4 3,4 0,3 12,6 0,3 51,2	wie a	wie a	wie a	wie a	wie a	16,2 12,8 3,8 0,5 25,0 0,2 39,5
				100,0						100,0
120,0	wie c	30,0	30,0	35,0	wie a	35,0	wie c	30,0	30,0	30,0
—		—	Spur.	14,0		—		—	Spur.	—
1573	wie c	wie c	wie c	1585	wie a	1585	wie c	wie c	wie c	1432
—				111		—				—
1573				1696		1585				1432
1,360	wie c	wie c	wie c	1,391	wie a	1,391	wie c	wie c	wie c	1,334
—				0,115		—				—
1,360				1,506		1,391				1,334
0,340	wie c	wie c	wie c	0,377	wie a	0,348	wie c	wie c	wie c	0,334
0,373				0,363		0,363				0,338
1,584				1,611		1,611				1,449
0,002				0,003		0,003				0,002
52,73				160,76		160,76				270,1
—				0,020		—				—
—				0,091		—				—
—				8,76		—				—
0,373	wie c	wie c	wie c	0,383	wie a	0,363	wie c	wie c	wie c	0,338
1,926				2,082		1,962				1,784
2,304				2,465		2,325				2,122
52,73	wie c	152,73	wie c	169,52	wie a	160,76	wie c	160,76	wie c	270,1
20,00		30,00		35,00		35,00		30,00		30,0
72,73		182,73		204,52		195,76		190,76		300,1
175	(0)	28	140	540	(0)	350	(0)	28	360	28
55	0	9	44	177	0	113	0	9	117	9
8	0	1	2	7	0	5	0	1	5	1
63	0	10	46	184	0	118	0	10	122	10
1636	(1573)	1583	1619	1830	(1696)	1703	(1585)	1595	1797	1442
1650	1585	1645	1685	1820	1640	1745	1620	1630	1750	1525
16,19	16,19	16,19	16,19	15,54	15,54	15,61	15,61	15,61	15,61	15,93

öfen u. dgl.), so wird die noch verbliebene Teermenge in den Kammern unter Rußbildung zersetzt (ähnlich wie Methan und andere Kohlenwasserstoffe nach den Beobachtungen Ledeburs, Württembergers und Meyers); der schwebende Ruß gibt zwar der Flamme ihre starke Färbung, verbrennt aber im Ofenraum nur unvollständig, weshalb der Wärmewert des Teeres für den Heizzweck nur ein geringer sein kann. Andererseits läßt sich gerade bei Verwendung von gereinigtem Gas die Vorwärmung leicht weitertreiben, da Abhitze genügend zur Verfügung steht, so daß man ein Äquivalent für den fehlenden Teer schaffen kann. Es ist auch klar, daß man bei kaltem Gas auf die gleiche Vorwärmungstemperatur gelangt wie bei warm zum Ofen gebrachtem Gase, weil die Wärmeübertragung im ersten Teil der Kammer mit Rücksicht auf das größere Temperaturgefälle wesentlich schneller vor sich geht und somit ähnlich verläuft wie in den Luftpunkten; erfahrungsgemäß ist die Lufttemperatur beim Austritt aus den Kammern gleich hoch, oft sogar höher als die des Gases. Der Mehrverbrauch an Brennstoff bei der Verwendung von teerfreiem Gas kann daher nur ein verschwindender sein und nur in seltenen Fällen dem Heizwert des gewonnenen Teeres entsprechen. Rechnet man für durchschnittliche Verhältnisse mit 6—7% Teer, entsprechend maximal 10% des Kohlenheizwertes, so ist der Mehrverbrauch nach oben dadurch begrenzt, was ja auch aus den Beobachtungen Lincks (vgl. S. 261) hervorgeht. In der Regel wird der Mehrverbrauch aber nur $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$ dieses Wertes sein.

Anders wird der Vergleich zwischen teerfreiem und teerhaltigem Gas ausfallen, wenn man nicht mit vorgewärmtem Gas arbeitet, dagegen Anlagen besitzt, die auf eine Erhaltung der Eigenwärme des Gases Bedacht nehmen. In Zahlentafel 52¹⁾ sind nun vergleichsweise alle möglichen Fälle für drei verschiedene Brennstoffe, nämlich Rohbraunkohle, Braunkohlenbriketts und Steinkohle, gerechnet. Im ersten Fall unter der Voraussetzung, daß sämtlicher Teer und die ganze Eigenwärme im Gas enthalten bleibt, was nie vollkommen zutrifft. Die anderen Fälle sind für gekühltes aber teerhaltiges, für gereinigtes und für teerfreies aber warmes Gas (mit Einbauten oder Aufbauten gewonnen) berechnet. Die Gegenüberstellung zeigt, daß bei Rohbraunkohle das gereinigte Gas höhere Flammentemperaturen ergibt; bei der Brikettvergasung ist in diesem Falle ein geringer Unterschied, welcher aber bei der Verwendung von Schwelteinbauten nahezu verschwindet. Bei Steinkohle ist der Unterschied im Falle von gereinigtem Gas erheblich größer, wird aber bei der Verwendung von Einbauten gleichfalls unerheblich. Es ist dabei zu beachten, daß die Flammentemperaturen in der Praxis nicht so hoch sind, wie theoretisch errechnet, weil nach dem früher Gesagten nicht der ganze Teergehalt erhalten bleibt. Demnach ist es aber bei der

¹⁾ Nach Trenkler: Sparsame Wärmewirtschaft, Heft 1, erweitert.

Verarbeitung von Steinkohle und in der Hauptzahl der Fälle auch bei Braunkohlenbriketts geboten, unbedingt Einbauten oder Aufbauten zu verwenden, was auch hinsichtlich der Teerqualität Vorteile verspricht. Eine Reinigung des gesamten Gases verbietet sich, wo es auf pyrometrische Effekte ankommt, oder man muß in solchen Fällen (wie z. B. bei Mondgas) besondere Maßnahmen treffen, um einen Brennstoffmeherverbrauch zu vermeiden, wofür in der Regel andere Ofenbauarten (z. B. mit Gasvorwärmung) in Frage kommen. In vielen Fällen wird andererseits das gereinigte Gas infolge der Entfernung des Feuchtigkeitsballastes höhere Flammentemperaturen ergeben, wie das rohe ungereinigte Gas und in vielen Fällen sogar höhere als bei der Verbrennung der Brennstoffe unmittelbar erzielbar sind; letzteres zeigt Abb. 137, in welcher der Verlauf der Flammentemperaturen für die gleichen drei Brennstoffe bei steigendem Luftüberschuß ersichtlich gemacht ist, während die Berechnung des mittleren Wertes aus Zahlentafel 53 hervorgeht.

Es sei hier hervorgehoben, daß die Kühlung des Gases der einfachste Weg zur Wegschaffung des Wasserballastes ist, welcher Weg auch gegenüber der Vortrocknung günstiger erscheint, wenn der Feuchtigkeitsgehalt des Brennstoffes kein derartiger ist, daß die Gaszusammensetzung leidet. Der Wasserballast des Gases wird, wie aus der Zahlentafel 52 hervorgeht, je nach dem Brennstoffe schwanken. Er ist aber sehr oft höher als 100 g, und kann man sich eine Vorstellung von der Wichtigkeit der Entfernung desselben machen, wenn man bedenkt, daß das Teilvolumen des Dampfes im Gas bei 100 g Feuchtigkeit etwa 11,5%, bei 500 g jedoch bereits 38% beträgt. Die Verdünnung des Gases ist also eine außerordentliche. Die Ermittlung der Flammentemperaturen ist in der Praxis außerordentlich schwierig, weil man nie absolute Werte, sondern nur bei genauer Handhabe der optischen und

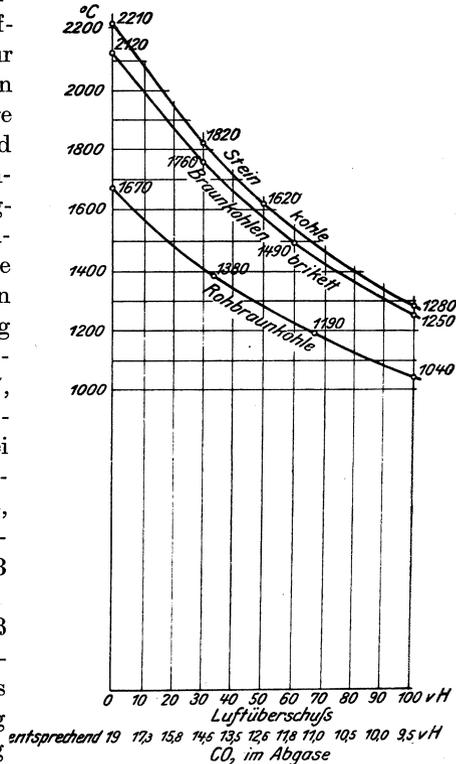


Abb. 137. Flammentemperatur bei verschiedenen Brennstoffen und wechselndem Luftüberschuß.

Zahlentafel 53. Flammentemperaturen bei Verbrennung fester Brennstoffe.

	Brennstoff			
	Roh- braunkohle	Brikett	Steinkohle	
Elementaranalyse:				
Feuchtigkeit %	52,68	13,96	2,79	
Asche %	5,77	10,49	1,62	
C %	29,59	53,80	80,18	
H ₂ %	2,35	4,27	5,40	
O ₂ %	8,22	14,95	8,15	
N ₂ %	0,35	0,63	1,42	
S %	1,04	1,90	0,44	
	%	100,00	100,00	100,00
Heizwert:				
berechnet Kal./kg	2490	5017	7758	
bestimmt „	2547	5064	7768	
Theoretische Verbrennung:				
Luftbedarf cbm/kg	3,031	5,511	8,317	
Verbrennungsgase CO ₂ „	0,553	1,006	1,498	
„ N ₂ „	2,398	4,359	6,582	
„ SO ₂ „	0,007	0,013	0,003	
Zusammen cbm/kg	2,958	5,378	8,083	
„ H ₂ O g/kg	210,0	381,6	482,6	
hierzu ursprünglich H ₂ O „	526,8	139,6	27,9	
Zusammen g/kg	736,8	521,2	500,5	
CO ₂ der gasförmigen Bestandteile . . %	18,04	18,04	18,62	
Flammentemperatur °C	1670	2120	2210	
Praktische Verbrennung:				
Luftüberschuß %	100	60	50	
„ cbm/kg	3,031	3,307	4,158	
darin O ₂ cbm/kg	0,636	0,694	0,873	
„ N ₂ „	2,395	2,613	3,285	
Gesamtverbrennungsgase „	5,986	8,681	12,275	
davon CO ₂ + SO ₂ cbm/kg	0,560	1,019	1,501	
außerdem H ₂ O g/kg	736,8	521,2	500,5	
CO ₂ der gasförmigen Bestandteile . . %	9,24	11,59	12,20	
Flammentemperatur °C	1040	1490	1620	

thermoelektrischen Pyrometer Vergleichswerte erhält. Aus diesem Grunde genügt bei Vergleichen meist die rechnungsmäßige Feststellung der Flammentemperaturen.

Die theoretische Flammentemperatur läßt sich leicht auf Grund der stöchiometrischen Formeln berechnen. Sind CO_2 , CO , CH_4 , C_nH_m , O_2 , H_2 , H_2S , N_2 die Volumprozent dieser Bestandteile im Gas, so ist der Luftbedarf bei der Verbrennung ohne Luftüberschuß:

$$L_t = (\text{CO} + \text{H}_2 + 4\text{CH}_4 + 6\text{C}_n\text{H}_m + 3\text{H}_2\text{S}) 0,02382 \text{ cbm} .$$

Die Volumen der einzelnen Verbrennungsbestandteile sind:

$$\begin{aligned} (\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + 2\text{C}_n\text{H}_m) &: 100 \text{ cbm CO}_2 \\ (\text{H}_2 + \text{H}_2\text{S} + 2\text{CH}_4 + 2\text{C}_n\text{H}_m) &: 100 \text{ cbm H}_2\text{O-Dampf oder} \\ (\text{H}_2 + \text{H}_2\text{S} + 2\text{CH}_4 + 2\text{C}_n\text{H}_m) \cdot 8,308 \text{ g H}_2\text{O-Dampf} & \\ (\text{CO} + \text{H}_2 + 4\text{CH}_4 + 6\text{C}_n\text{H}_m + 3\text{H}_2\text{S}) \cdot 0,01882 + \text{N}_2 &: 100 \text{ cbm N}_2 \\ \text{H}_2\text{S} &: 100 \text{ cbm SO}_2 \\ \text{O}_2 &: 100 \text{ cbm O}_2 . \end{aligned}$$

Hierzu kommt der unvermeidliche Luftüberschuß. Dieser kann bei Feuerungen mit regelbaren Brennern und dichtem Feuerungsraum (wie z. B. Kessel, Pfannen u. dgl.) mit 10%, bei Öfen je nach Bauweise mit 20—30% angenommen werden. Für die Berechnung der Flammentemperatur gilt nun folgende Formel:

$$t = \frac{\text{unterer Heizwert von 1 cbm Gas} + \text{fühlbare Wärme des Gases}}{c_{p_m} \cdot \text{cbm} (\text{CO}_2 + \text{SO}_2) + c_{p_m} \cdot \text{cbm} (\text{O}_2 + \text{N}_2 + \text{Luft})} + \frac{\text{fühlbare Wärme der Verbrennungsluft}}{+ c_{p_m} \cdot \text{cbm H}_2\text{O}} ,$$

worin c_{p_m} die mittlere spezifische Wärme zwischen 0° und t° nach Zahlentafel 54 für 1 cbm der verschiedenen Abgasbestandteile ist¹⁾. Durch Näherungsrechnung findet man so die theoretische Flammentemperatur bei dem gewählten Luftüberschuß.

Erfahrungsgemäß ist dies nicht die praktisch erreichbare Flammentemperatur, weil die Verbrennung wegen der meist mangelnden guten Mischung von Gas und Verbrennungsluft nicht sofort eine vollständige ist. Tatsächlich brennt das Gas sozusagen schichtenweise ab, was zu der immer beobachteten Bildung von Feuerzungen führt. Bei inniger Mischung von Luft und Gas, wie z. B. in neuzeitlichen Gasbrennern oder mit Hilfe ähnlich wirkender Einrichtungen, insbesondere bei Anwendung von Druckluft kann man aber diese theoretische Flammentemperatur nahezu erreichen, während man bei Öfen mit offenen Brennern kaum 70% dieser Ziffer erzielt. Bei Vergleichen wird man eine dahingehende Berichtigung meist ausschalten können, da solche stets auf gleichem

¹⁾ CO_2 und SO_2 einerseits, O_2 , N_2 und Luft andererseits haben die gleiche fühlbare Wärme, können also zusammengezogen werden. Beim Wasserdampf kann man ebensogut nach cbm oder nach kg rechnen, im letzteren Falle ist aber naturgemäß die spezifische Wärme für 1 kg einzusetzen.

Zahlentafel 54. Mittlere spezifische Wärme (zwischen

t =	0°	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1 cbm 2at. G.	0,306	0,308	0,311	0,313	0,316	0,318	0,320	0,323	0,325	0,328	0,330
1 „ CO ₂	0,397	0,411	0,424	0,437	0,450	0,463	0,475	0,487	0,498	0,507	0,514
1 „ H ₂ O	0,374	0,376	0,378	0,380	0,382	0,384	0,387	0,390	0,393	0,397	0,402
1 kg O ₂	0,215	0,216	0,218	0,219	0,221	0,223	0,224	0,226	0,228	0,229	0,231
1 „ N ₂	0,245	0,247	0,249	0,251	0,253	0,254	0,256	0,258	0,260	0,262	0,264
1 „ Luft	0,237	0,239	0,240	0,242	0,244	0,246	0,248	0,250	0,251	0,253	0,255
1 „ H	3,403	3,429	3,455	3,482	3,508	3,534	3,561	3,587	3,613	3,640	3,666
1 „ CO	0,245	0,247	0,249	0,251	0,253	0,254	0,256	0,258	0,260	0,262	0,264
1 „ CO ₂	0,202	0,209	0,217	0,225	0,232	0,238	0,243	0,248	0,253	0,257	0,260
1 „ H ₂ O	0,462	0,464	0,466	0,468	0,470	0,473	0,476	0,479	0,484	0,490	0,495

Verwendungszweck des Gases aufgebaut werden; man muß jedoch beachten, welche Vorteile man in dieser Beziehung bei Umstellung auf gereinigtes Gas z. B. durch Anwendung anderer Brenner u. dgl. nebenbei erzielen könnte.

Die Wärmeübertragung durch Leitung auf den zu erwärmenden Gegenstand ist nun proportional $d_m^{1,232}$, worin d_m der mittlere Temperaturunterschied zwischen Abgastemperatur (Flammentemperatur) und Stofftemperatur (Arbeitstemperatur) ist. Außer durch Leitung kommt auch eine Wärmeübertragung durch Strahlung in Frage, welche aber in den meisten Fällen gegenüber derjenigen durch Leitung zurücktreten dürfte¹⁾. Wie wichtig sonach die höchstmögliche Flammentemperatur ist, zeigt die Zahlentafel 55, welche die Werte der 1,232fachen Potenz für Wärmegefälle von 50°—1000° enthält und worin \mathcal{A} die Verhältniszahl für die Wärmeübertragung darstellt.

Zahlentafel 55.

$d_m =$ °C	50	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
$\mathcal{A} = d_m^{1,232} =$	124	291	480	700	900	1127	1606	2114	2647	3200	3772	4361	4966

Um einen Anhaltspunkt dafür zu haben, welchen Einfluß ein höherer Feuchtigkeitsgehalt des Gases hat, sei noch folgendes angeführt: Bei Verbrennung mit 25% Luftüberschuß ist die durchschnittliche Temperaturminderung für je 100 g H₂O in 1 cbm etwa 60°—70° C. Bei einem Braunkohlengas mit 500 g/cbm H₂O beträgt sie daher bereits über 300°, und man kann durch eine Kühlung des Gases und Befreiung vom Wasserballast das Wärmegefälle daher ganz erheblich steigern; war es bei-

¹⁾ Dies ist zwar eine noch ungeklärte Streitfrage, da man aber die Formel für erstere auf eine ähnliche Form bringen kann wie letztere, bzw. diese einen niedrigeren Wert ergibt, so kann man sich in Vergleichsfällen damit begnügen, die Wärmeübertragung mittels Leitung zu berechnen, d. h. proportional $d_m^{1,232}$ zu setzen.

0° und t°) bei konstantem Druck (c_p)_m.

1100	1200	1300	1400	1500	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
0,332	0,335	0,337	0,340	0,342	0,344	0,349	0,354	0,359	0,363	0,368	0,373	0,377
0,519	0,524	0,528	0,533	0,537	0,541	0,550	0,558	0,565	0,572	0,577	0,582	0,587
0,408	0,414	0,420	0,427	0,433	0,440	0,455	0,473	0,493	0,513	0,534	0,556	0,578
0,233	0,234	0,236	0,237	0,239	0,241	0,244	0,247	0,251	0,254	0,257	0,261	0,264
0,266	0,268	0,269	0,271	0,273	0,275	0,279	0,283	0,287	0,290	0,294	0,298	0,302
0,257	0,259	0,261	0,262	0,264	0,266	0,270	0,273	0,277	0,281	0,284	0,288	0,292
3,692	3,718	3,745	3,771	3,797	3,823	3,876	3,929	3,981	4,034	4,087	4,139	4,192
0,266	0,268	0,269	0,271	0,273	0,275	0,279	0,283	0,287	0,290	0,294	0,298	0,302
0,263	0,265	0,268	0,270	0,273	0,275	0,280	0,283	0,286	0,289	0,291	0,294	0,296
0,500	0,506	0,513	0,520	0,527	0,535	0,554	0,578	0,603	0,629	0,655	0,683	0,713

spielsweise vorher 500°, so kann man mit demselben, aber wasserballastfreiem Gas eine 1,75fache Wärmeübertragung erzielen¹⁾.

Gegenüber dieser erheblichen Minderung der Flammentemperatur durch den Feuchtigkeitsgehalt ist die Erhöhung der Temperatur durch den Teergehalt verschwindend klein. Sie beträgt für durchschnittliche Verhältnisse etwa 50°—70° C und kann daher meist durch eine weitergehende Luftvorwärmung oder Verbesserung der Brenner leicht ausgeglichen werden. Zweifellos ist die Verwendung eines teearmen bzw. teerfreien Gases in vielen Fällen mit einem Umlernen der Bedienungsmannschaft verbunden, aber es sind aus der Praxis viele Fälle bekanntgeworden, wo man derartige Umstellungen mit großem wirtschaftlichen Vorteil durchgeführt hat.

e) Geldwirtschaftliche Hinweise.

Kann man einen Brennstoffmehrerverbrauch ausschalten, was technisch fast stets möglich ist, so stellt die gesamte Teerproduktion, soweit sie sonst in Kanälen, Leitungen, Ventilen, Brennern, Kammern usw. verlorengelht, einen Gewinn dar. Man kann durchschnittlich $\frac{2}{3}$ der Gesamterzeugung dafür in Ansatz bringen; in allen Fällen, wo die Güte des Gases durch Entfernung des Feuchtigkeitsballastes verbessert wird, aber die ganze Erzeugung, bzw. man wird darüber hinaus noch wirtschaftliche Vorteile erwarten dürfen, während als Ausgabe nur die Kosten für Tilgung der Teergewinnungsanlage, die Instandhaltungskosten und den Stromverbrauch entgegenstehen, die einen geringen Bruchteil ausmachen. Es sei beispielsweise eine stündliche Gasmenge von 10000 cbm zu reinigen, wobei täglich 6 t Teer gewonnen werden.

¹⁾ Vgl. zur Bewertungsfrage des Gases: Schwier: St. u. E. 1920, S. 1033ff., und Dolensky: Zur Beurteilung der Nutzwirkung verschiedener Industriegase. Z. f. G. 1919, S. 137ff. (betrifft insbesondere Vergleich zu Leuchtgas, Wassergas, Trigas u. dgl.).

Der Kraftverbrauch ist einschließlich der Pumpenarbeit etwa 40 kW. Die Anlagekosten entsprechen, um eine stabile Rechnungsbasis zu wählen, etwa 1000 t Teer; die Kosten für 1 kW-Std. seien mit 1 kg Teer hoch eingeführt. Jährlich werden $6 \cdot 300 = 1800$ t Teer gewonnen; davon stellen im ungünstigsten Falle 1200 t den Gewinn dar. Rechnet man 30% für Tilgung und Verzinsung und 10% für Instandhaltung, so entspricht dies 400 t. Die Stromkosten entsprechen 35 t, so daß der Nettogewinn etwa 765 t Teer gleichkommt, also $\frac{2}{5}$ der Gesamterzeugung. Dabei ist die Steuerersparnis infolge der Teergewinnung außer Betracht gelassen, obwohl diese meist auch erheblich ist.

Es ist nun eine alte Tatsache, daß die Kal. im Teer höher bewertet wird als in der Kohle, und erscheint damit die Wirtschaftlichkeit einer Teergewinnung als eine völlig gesicherte. Die Wertbemessung ist etwa die 3—5fache, und läßt sich dies leicht erklären bzw. auch rechnerisch überprüfen. Denn selbst wenn wir die Möglichkeit einer Gewinnung hochwertiger Stoffe aus dem Teer unbeachtet lassen und die Preise daher davon nicht abhängig gemacht werden sollen, so wird stets der Hauptteil des Teeröles hinsichtlich der Preisregelung maßgeblich sein, wobei dieses Teeröl wieder als Heizstoff berücksichtigt werden soll. Der Unterschied in der Bewertung ergibt sich aus dem wesentlich höheren Wirkungsgrad einer Anlage mit Schwerölmaschinen (Dieselmotoren) gegenüber einer Dampfkraftanlage.

Der Wärmepreis für je 1000 nutzbar gemachte Kal. irgendeines Brennstoffes ist gegeben durch den Ausdruck

$$w = \frac{(b + f + f') \cdot 100}{\eta \cdot H},$$

worin b den Brennstoffpreis in Mk./t ab Gewinnungsstelle,

f die Fracht in Mk./t bis zur Verwendungsstelle,

f' die zusätzlichen Frachtkosten (Verladungs-, Schlepp-, Verschiebe-, Anschluß- und Leihgebühren für Wagen, Entladung, Stapelung usw. in Mk./t,

η den mit dem Brennstoff erreichbaren Wirkungsgrad,

H den unteren Heizwert in Kal.

bedeutet.

Soll ein Wettbewerb möglich sein, so müssen die Werte dieses Ausdruckes bei verschiedenen Brennstoffen gleich werden. Führt man nun den Heizwert der Steinkohle für mittlere Verhältnisse mit 6700 Kal. und denjenigen des Teeröles mit 9600 Kal. ein, den Wirkungsgrad einer Dampfkraftanlage mit 0,09 und denjenigen von Dieselmotoren unter vergleichbaren Umständen mit 0,28 und nimmt man zur Vereinfachung

an, daß f und f' für den Vergleichsfall bei beiden Brennstoffen gleich groß ausfallen, so gilt der Ansatz:

$$\frac{100 \cdot (a + f + f')}{0,09 \cdot 6900} = \frac{100 \cdot (b + f + f')}{0,28 \cdot 9600}$$

$$b = 4,37 \cdot a + 3,37 \cdot (f + f').$$

Man ersieht daraus, daß für das Teeröl ein mehr als vierfacher Preis pro Tonne gegenüber dem Kohlenpreis gerechtfertigt ist und daß der Vorteil der flüssigen Brennstoffe um so größer wird, je größer $f + f'$ wird, also je weiter die Entfernungen von den Erzeugungsplätzen, je teurer die Stapelung der Kohle u. dgl. wird.

Nimmt man nun an, daß die veredelten Teerstoffe in der Lage sind, die Verarbeitungskosten bei der Destillation zu tragen, so wird man diesen Grenzpreis für Teeröle auch auf den Teer anwenden können, vorausgesetzt, daß es sich nicht um einen pyrogen zersetzten Teer handelt, der vorzugsweise aus Pech besteht.

Zahlentafel 56. Mineralöl- und Paraffinverbrauch Deutschlands.

	1913	1921/22
Überschuß der Mineralöleinfuhr über die Ausfuhr	t 1270 000	t 660 000
Deutsche Erdölerzeugung	120 000	27 000
„ Produktion an Ölen aus Braunkohlen-, Torf- und Schiefer-teeren	55 000	80 000
Verbrauch an schweren Steinkohlenteerölen	235 000	400 000
„ an Benzol	100 000	—
Überschuß der Paraffineinfuhr über die Ausfuhr	16 000	11 000
Deutsche Paraffinproduktion	10 000	10 000
Zusammen:	1 806 000	1 188 000

Die Preise der Teerprodukte werden weiter naturgemäß von den Bedarfsverhältnissen des Landes abhängen. Es ist aber eine bekannte Tatsache, daß Deutschland einen erheblichen Verbrauch an Mineralölen hat, der in der Hauptsache durch Einfuhr gedeckt werden muß. In Zahlentafel 56 sind die Verbrauchszahlen nach Größe¹⁾ für die Jahre 1913 und 1921/22 angeführt. Letztere sind zwar teilweise nur geschätzt, da genaue Zahlen nicht vorliegen. Man kann aber aus der Aufstellung sehen, daß der Verbrauch um die gleiche Menge zurückgegangen ist, wie die Einfuhr und ist dies hauptsächlich auf den verminderten Verbrauch an Leuchtöl zurückzuführen. Für alle anderen Sorten ist der Verbrauch gleichgeblieben, für Treiböle, Benzol u. dgl.

¹⁾ Vgl. Zeitschrift Teer 1922, S. 125.

sogar wahrscheinlich gestiegen. Eine weitere Steigerung dieses letzteren Verbrauches, der in anderen Ländern seit 1914 in erheblichem Umfange nachzuweisen ist, wird wohl erst dann eintreten, wenn sich unsere Wirtschaft wieder normal entwickeln kann. Da aber die Destillate des Urteeres zweifellos als Treiböle u. dgl. mit Sicherheit zu verwenden sind, so besteht kein Bedenken, daß der einheimische Markt etwa eine wesentliche Vergrößerung der Teerproduktion nicht anstandslos aufnehmen könne, wobei in erster Linie die Einfuhr zurückgehen wird.

3. Die Gewinnung der Stickstoffnebenprodukte.

a) Die chemischen Grundlagen der Stickstoffumsetzungen.

Der Stickstoffgehalt der Kohlen ist sehr stark schwankend, wie aus den früher gegebenen Brennstoffanalysen zur Genüge hervorgeht. Wenn man nun aus der Zusammensetzung unserer jetzigen Hölzer auf die Bildung des Stickstoffs in der Kohle rückschließt, so zeigt sich, wie Muck zuerst nachwies, daß er nicht allein aus den Zellulosebestandteilen herrühren kann, denn diese enthalten nur etwa 0,05—0,1% N_2 . Man hat daher den wesentlich höheren Gehalt der Kohlen auf die stickstoffreichen Sporen, Harze u. dgl. zurückgeführt, aber auch tierische Herkunft in Erwägung gezogen. Letzteres trifft in der Regel nicht zu, sondern der hohe Stickstoffgehalt läßt sich zwanglos erklären, nachdem man den wesentlich höheren Gehalt der moorbildenden Pflanzen gegenüber den Hölzern erkannt hat und weiß, daß die Zellulose zum großen Teil verschwindet, wodurch eine Anreicherung der anderen Pflanzenstoffe stattfindet und weil andererseits zweifellos harzartige Stoffe dabei eine große Rolle spielen. Dadurch erscheint es auch begreiflich, daß oft aufeinanderfolgende Flöze Abweichungen bis zu 25% im Stickstoffgehalt zeigen. — Ist so die Herkunft des Stickstoffs einigermaßen geklärt, so können wir dagegen über die Bindung des Stickstoffs in der Kohle gar nichts Genaueres sagen. Wir kennen zwar chemische Verbindungen des Kohlenstoffs mit Stickstoff¹⁾ außer dem Zyan, aber deren Verhalten ist noch wenig geklärt. Es könnte demnach höchstens die Vermutung bestehen, daß der Koksstickstoff ein polymerer Stickkohlenstoff ist, wie er experimentell in graphitartiger, unlöslicher und unschmelzbarer Form gewonnen wurde. Interessant ist jedenfalls aber die Tatsache, daß die Stickkohlenstoffe beim Erhitzen auf die höchsten Temperaturen keinen Stickstoff verlieren. Beim Erhitzen mit Natronkalk erhält man NH_3 in quantitativer Ausbeute unter Auftreten intermediärer Zyanverbindungen. Auch beim Zusammentreffen mit Wasserdampf bildet sich NH_3 und scheinen daher ähnliche Bil-

¹⁾ Vgl. J. f. G. 1914, S. 730.

dungen im Koks vorzuliegen. In der Kohle dürften es ziemlich komplizierte organische Verbindungen (hauptsächlich Amide) sein¹⁾, die beim Verkockungsvorgang bzw. der Erwärmung zerstört werden und eben schließlich zur Bildung von Stickkohlenstoffen u. dgl. führen, in denen der N_2 in einer Form gebunden ist, aus welcher er ohne Zutun von Wasserdampf oder chemischen Agenzien nicht ausgetrieben werden kann. Es zeigen dies auch die Versuche von Waldeck, die derselbe in seiner Patentschrift 281096 (1913) anführt. Es gelang dabei, aus Kokslösche (0—15 mm) bei Anwendung einer inneren Widerstandsheizung mit elektrischem Strom zwecks Erzielung günstiger Umsetzungstemperaturen bei hohem Dampfaufwand (der sonst die Temperatur vermindert hätte) Ammoniak ausbeuten von 88—99 % zu erzielen.

Es wäre nun vorerst das Verhalten des N_2 bei der Destillation zu betrachten. Anfänglich war man der Ansicht, daß sämtlicher Stickstoff bei derselben in Ammoniak übergeht. Erst Hofmann (1863) wies nach, daß nur etwa $\frac{1}{3}$ abgegeben wird, während die restlichen $\frac{2}{3}$ im Koks verbleiben. Eingehender beschäftigte sich mit dieser Frage Foster (1888), der beispielsweise folgende Verteilung feststellte:

als Ammoniak	14,50 %
als Zyan	1,56 %
im Koks	48,68 %
als freies Element	35,26 %

Die Frage der Entbindung des Ammoniaks bei der Destillation wurde später vielfach überprüft, wobei man die verschiedenen Einflüsse studierte. Es zeigte sich vor allen Dingen, daß die Abspaltung schon bei niedrigen Temperaturen begann, aber erst bei 800° ein Optimum wird; bei weitergesteigerten Temperaturen wird zwar noch fortlaufend Stickstoff abgespalten, derselbe kann jedoch infolge nachfolgender Zersetzung nicht als Ammoniak gewonnen werden. Am grundlegendsten sind hierfür die Forschungen von Mayer und Altmeyer²⁾, von deren

Zahlentafel 57. Versuche von Mayer und Altmeyer.

		Höchsttemperatur bei 3 stündiger Erhitzung			
		600°	700°	800°	900°
Kohle I	im Koks %	72,4	70,1	65,2	62,1
	als NH_3 %	10,6	19,6	21,7	20,8
Kohle II	im Koks %	82,33	80,83	78,21	74,18
	als NH_3 %	5,99	11,98	15,28	14,82

Ergebnissen das verschiedene Verhalten zweier Brennstoffe in Zahlentafel 57 wiedergegeben wurde. Die genannten Forscher fanden auch

¹⁾ Vgl. Dr. Bertelsmann: Der Stickstoff der Steinkohle. Stuttgart: Enke 1900. ²⁾ J. f. G. 1907, H. 25 u. f.

bereits, daß die Abspaltung je nach der Natur der Brennstoffe wechselt, und zwar derart, daß solche mit geringer Koksausbeute auch einen geringeren Stickstoffanteil im Koks zurückhalten und somit mehr Ammoniak ergeben (wie z. B. Braunkohle).

Zahlentafel 58. Versuche von Christie.

	im Koks	als NH ₃	sonst flüchtig
bei 12 Minuten Dauer %	66,42	33,58	
„ 80 „ „ %	56,92	18,25	24,83
„ 170 Stunden „ %	37,35	27,45	35,20

Zahlentafel 59. Versuche von Christie.

	Torf von Bremen	Gaskohle von Yorkshire	Gaskohle von Consolidation	Fettkohle von Aachen	Anthrazit
Koksausbeute %	31,74	64,48	68,57	77,32	94,80
Vom Gesamtstickstoff:					
im Koks %	24,02	42,63	43,60	54,03	63,64
als NH ₃ %	40,28	29,45	29,07	33,78	25,85
sonst flüchtig %	35,70	27,92	27,33	12,19	10,51

Einen wesentlichen Einfluß bei solchen Vorgängen wird mit Rücksicht auf die bereits erwähnten Zersetzungen der Umstand haben, ob die Temperatur langsam oder sehr schnell erreicht wird. Es wäre anzunehmen, daß bei einer schnellen Erwärmung des Brennstoffes möglicherweise die Abspaltung vollständiger vor sich geht, daß aber ein größerer Anteil davon infolge der höheren Temperaturen zersetzt wird. Dahingehende Studien machte Christie¹⁾, indem er ein und dieselbe Kohle einer Höchsttemperatur von 865° unterwarf; das Ergebnis dieser Versuche ist in Zahlentafel 58 niedergelegt. Es zeigte sich, daß bei langsamerer Erhitzung sowohl die Abspaltung vollständiger ist, als auch eine größere Menge in Form von Ammoniak gewonnen wurde. Dabei ist besonders hervorzuheben, daß der bei schnellster Erhitzung gewonnene Koks beim weiteren Erhitzen keinen weiteren Stickstoff mehr abspaltete, welcher Umstand außerordentlich wichtig ist, und zeigt, daß die Umwandlung der Stickstoffverbindungen in der Kohle beim Verkoken durchaus nicht zwangsläufig vor sich geht. Der gleiche Forscher untersuchte auch das Verhalten verschiedener Brennstoffe bei entsprechend langsamer Destillation und fand dabei die in Zahlentafel 59 gegebenen Ergebnisse, aus welchen hervorgeht, daß das bereits früher Gesagte hinsichtlich des Verhaltens verschiedener Brennstoffe

¹⁾ Diss. Aachen 1906, vgl. auch Rau: St. u. E. 1910, S. 1235.

richtig ist und daß ungefähr auf gleiche Koksausbeute die gleiche Menge Stickstoff zurückgehalten wird.

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten auch Rau und Lambris¹⁾, welche ihre Versuche aber nicht nur auf verschiedene Brennstoffe erstreckten, sondern auch wechselnde Temperaturen anwandten. Die Ergebnisse zeigt Zahlentafel 60. Erwähnt seien noch die Arbeiten von Drehschmidt²⁾ und Sommer³⁾. Ausführliche Angaben hierüber bringt Simmersbach in seinem Lehrbuch der Kokschemie⁴⁾.

Zahlentafel 60. Versuche von Rau und Lambris.

Ausbeute als NH ₃ vom Gesamtstickstoff	Gasflammkohle von Graf Bismarck	Gaskohle von Zollverein	Kokskohle von Aisdorf	Anthrazit von Kohlscheid
bei 290° %	2,6	1,1	1,6	1,5
„ 510° %	8,6	5,6	4,5	3,6
„ 670° %	25,3	24,1	19,4	14,9
„ 815° %	31,1	30,6	25,6	22,2

Es ist nach diesen Untersuchungen erklärlich, daß die Ammoniakausbeuten bei der Destillation in Kokereien und Gasanstalten zwischen 12—25%, bezogen auf den Stickstoffgehalt, schwanken; es ist ferner naheliegend, durch richtige Auswahl der Kohlen die Ausbeute möglichst günstig zu gestalten, und schwankt dieselbe erfahrungsgemäß meist zwischen 10—12 kg Ammoniak auf 1 t rohen Brennstoff; nur in seltenen Fällen gelingt es, bis zu 14 kg zu erlangen. Die Ausbeute ist bei Kokereien vielfach höher als in Gasanstalten und kann gesteigert werden durch das Vorhandensein von Wasserdampf in genügender Menge, Vermeidung zu hoher Temperaturen und vor allem durch rasches Entfernen der Gase aus den Kammern, um Zersetzungen an den glühenden Wänden zu vermeiden.

Weit weniger erforscht ist das Verhalten des Stickstoffs bei der Vergasung. Man ist fast allgemein der Ansicht, daß ebenso wie bei der Destillation die Hauptmenge des Stickstoffs in dem anfänglich gebildeten Koks verbleibt und nur bei dessen vollständiger Umsetzung in Freiheit tritt. Dies scheint aber nicht zutreffend zu sein, sondern man kann durch entsprechenden Dampfzusatz bzw. Beschränkung der Temperaturen und Verlängerung der Einwirkungsdauer die Ausbeuten ganz wesentlich über jene erhöhen, die bei der Destillation in Frage kommen. Die grundlegenden Arbeiten auf diesem Gebiete stammen von Grouven (vgl. S. 294) und wurden von Young und Ramsay⁵⁾ auf Kohle übertragen. Dieselben fanden bei der Verarbeitung von Saarkohlen die in Zahlentafel 61 wiedergegebenen Ausbeuten, und ist zu den

1) J. f. G. 1913, S. 533. 2) J. f. G. 1904, S. 677. 3) St. u. E. 1919, S. 261.

4) 2. Aufl. Berlin: Julius Springer, 1914. 5) J. S. C. J. 1884.

Versuchen zu bemerken, daß der Brennstoff zuerst einer dreistündigen trockenen Destillation bei den angegebenen Temperaturen unterworfen wurde, und sodann Wasserdampf ohne Luft durch den Brennstoff hindurchgeschickt wurde. Es handelt sich demnach bei diesen Versuchen nicht um eine vollständige Vergasung, und zeigen dieselben sehr anschaulich den günstigen Einfluß des Wasserdampfes. Als vorteilhafteste Temperatur wurde eine solche von 800° gefunden

Zahlentafel 61. Versuche von Young und Ramsay.

		Bei einer Temperatur von				
		600°	700°	800°	900°	
Nach dreistündigem Entgasen	%	10,83	19,17	21,88	20,57	
Beim Durchleiten von Wasserdampf	{ nach 6 Stunden	%	13,04	20,85	23,12	23,84
	{ „ 9 „	%	3,17	8,53	9,04	5,35
	{ „ 12 „	%	1,84	5,10	6,12	2,21
	{ „ 15 „	%	0,17	3,17	3,71	—
	{ „ 18 „	%	—	1,50	2,14	—
	{ „ 21 „	%	—	—	1,12	—
Insgesamt als NH ₃ vom Gesamtstickstoff	%	29,05	58,32	67,23	51,97	

Die Ergebnisse dieser Versuche wurden sehr bald in die Praxis übergeführt, und zwar sowohl bei der Schwelerei der schottischen Schiefer, als auch bei der Vergasung der Steinkohlen; auf dem ersteren Gebiet haben sich besonders Young und Beilby sehr verdient gemacht; um die günstigste Umsetzungstemperatur bei dem armen Brennstoff zu erreichen, wandten sie Retorten an, die von außen mit dem gewonnenen Gas beheizt wurden, während in den Unterteil der Retorte Wasserdampf mit sehr geringen Mengen Luft eingeblasen wurde.

Um die Anwendung bei der Vergasung bemühte sich besonders Ludwig Mond. Er verzichtete dabei auf eine äußere Beheizung des Schachtes, wie bei den Retorten durchgeführt; um aber der Beschickung nicht durch die großen Dampfmengen zu erhebliche Wärme zu entziehen, benutzte er die fühlbare Wärme des gewonnenen Gases für die Vorwärmung des Luft-Dampf-Gemisches. Bei ihm handelt es sich daher um eine regelrechte Vergasung, während die Destillation der Schiefer in den Retorten mehr oder weniger als eine Destillation unter erhöhter Dampfzufuhr gelten kann, was deshalb angängig ist, weil die Rückstände wenig brennbare Bestandteile enthalten und daher wertlos sind. Man legt nur auf die Nebenprodukte, Teer und Ammoniak, Wert, hat aber für etwa weiter erzeugtes Gas keinen Bedarf. Bei Steinkohlen und anderen hochwertigen Brennstoffen verbietet sich die Preisgabe oder Vernachlässigung der Gaserzeugung, und daher mußte das Verfahren der Halbgasherstellung angepaßt werden, d. h. mit größeren Luftmengen durchgeführt werden (vgl. engl. Pat. 3923, 1883, und 8973, 1885).

Die Ausbeuteziffern nach dem Mondschen Verfahren sind die gleichen wie bei der Schieferverschmelzung bzw. bei den oben angeführten Versuchen. Nach großen Anstrengungen gelang es, die Studien 1889 an einer größeren Anlage zu erproben, und hat seither das Verfahren vielfach Anwendung gefunden. Die Beschreibung einer solchen Anlage erfolgt später.

Die theoretischen Grundlagen wurden eingehend von Bone und Wheeler¹⁾ untersucht und sind in Zahlentafel 19 zu ersehen. Alle späteren Arbeiten auf diesem Gebiete zeigten vollständige Übereinstimmung, wie z. B. die Untersuchungen von Sachs²⁾, Salmang³⁾

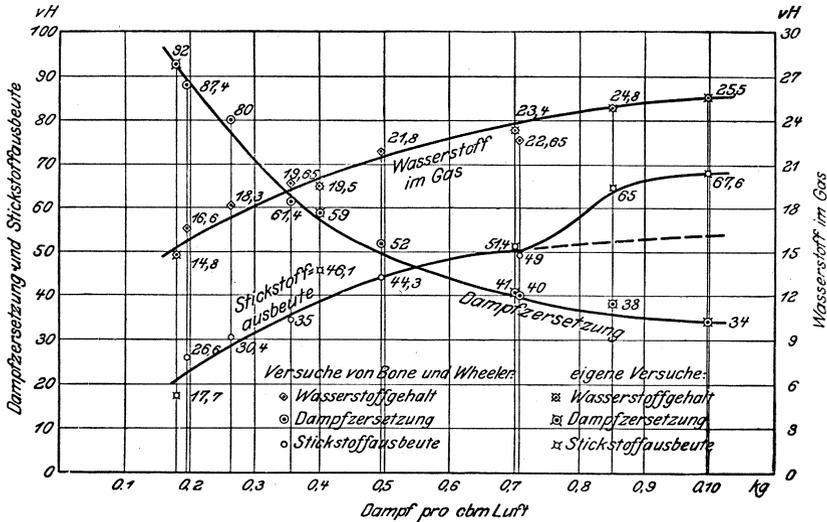


Abb. 138. Abhängigkeit der Stickstoffumsetzung vom Dampfzusatz.

u. a. m. Stellt man dieselben graphisch dar, wie in Abb. 138 geschehen, so erkennt man den innigen Zusammenhang zwischen Wasserstoffgehalt des Gases einerseits und der Ammoniakausbeute andererseits, die mit etwa 67% am größten wird, was wieder den Versuchen von Young und Ramsay entspricht. Sachs ist es gelungen, durch eine besser schützende Wirkung mittels des heiß-kalten Rohres die Ausbeuten bis auf 84% zu steigern, und es ist demnach anzunehmen, daß der gesamte Stickstoff in Form von Ammoniak auftritt, aber teilweise bei den hohen Temperaturen der letzten Abspaltung zersetzt wird. Dagegen zeigen die Versuche von Sachs mit Koks erheblich niedrigere Ausbeuten, weshalb man schließen kann, daß der Stickstoff bei der Vergasung gar nicht

1) Vgl. S. 60. 2) Diss. Karlsruhe 1913, vgl. St. u. E. 1915, S. 801.
3) Diss. Karlsruhe, 1913.

in den Koks übergeht wie bei der Destillation, sondern bereits vorher abgespalten wird; möglich wäre auch, daß sich Umsetzungen in eine andere Form vollziehen. Unverkennbar ist jedoch der hydrolisierende Einfluß des Wasserdampfes, wobei aber noch die Frage offen bleibt, ob der Dampf als solcher oder nur der bei seiner Zersetzung entstehende Wasserstoff diese Wirkung vollbringt. Nach Versuchen von Dr. Nicodem Caro¹⁾ wäre ersteres wahrscheinlich und entspräche dies dem eingangs erwähnten Verhalten der Stickkohlenstoffe, ebenso wie z. B. dem der Zyanamide (Kalkstickstoff).

Andere Forscher versuchten die Ausbeute an Ammoniak anstatt durch höheren Dampfzusatz durch Beimischung starker, anorganischer Basen zu erhöhen. Diese Versuche wurden in erster Linie bei den Destillationsverfahren erprobt, ergaben aber nur geringe Ausbeutervermehrungen und fanden deshalb keine nachhaltige Anwendung, obwohl die Vorschläge sehr alt sind (vgl. das brit. Patent 7460 von 1837, Midgley u. Kyan). Bei der Vergasung wurden ähnliche Versuche nur vereinzelt durchgeführt. Neuerdings erfährt die Beimischung von Chloriden der Alkalien und Erdalkalien Beachtung, da besonders die Anwesenheit von Chlor eine ähnliche Schutzwirkung besitzen soll wie die Anwesenheit von Wasserdampfüberschuß. Die diesbezüglichen Studien von Wa. Ostwald²⁾ sind zwar bis jetzt noch nicht abgeschlossen, und ist es naturgemäß Bedingung für eine zweckmäßige Anwendung dieses Verfahrens, daß die Abspaltung des Chlors etwa in gleichem Maße vor sich geht wie die Abspaltung des Ammoniaks, wobei der Einfluß der Feuchtigkeit in der Beschickung bzw. der Wasserdampfgehalt der Gase ebenfalls ein weitgehender sein dürfte.

Neben der Abspaltung des Stickstoffs als Ammoniak findet sich bei der Destillation auch ein Teil als Zyan. Auch mit der Erforschung dieser Frage haben sich zahlreiche Gasfachleute und Wissenschaftler beschäftigt. Es ist danach feststehend, daß die für die Zyanbildung notwendige Temperatur nicht unter Rotglut liegt und die Gegenwart von Sauerstoff nachteilig ist. Auch Wasserdampf macht sich nachteilig bemerkbar, während starke Basen die Bildung fördern. Es ist demnach klar, daß bei der Vergasung Zyan und Zyanverbindungen vollständig fehlen, während bei der Verkokung etwa 1,5–4% des Gesamtstickstoffs in Zyan übergeführt werden.

b) Anlagen zur Ammoniakgewinnung.

Während die Teerabspaltung bei jeder Vergasung vor sich geht, und es somit Aufgabe einer zielbewußten Gewinnung nur ist, diesen Vorgang wärmetechnisch zu beherrschen, um die Ausbeute und Qualität

¹⁾ Chemiker-Zeit. 1911, S. 505.

²⁾ Vgl. Trenkler: Brennstoffchemie. 2. Aufl. Leipzig: Spamer 1921.

des Teeres möglichst günstig zu gestalten, erfordert die Ammoniakbildung bei der Vergasung Maßnahmen chemischer Natur bzw. eine Änderung des Verfahrens, und zwar nach der bisherigen Praxis eine Steigerung der Dampffuhr, wie aus Abb. 138 auf S. 287 klar hervorgeht. Die dadurch bedingte Änderung und die sonstigen Einflüsse sind dagegen aus Zahlentafel 19 zu ersehen, welche die grundlegenden Versuche von Bone und Wheeler an einer Mondanlage betreffen. Wie aus derselben erkenntlich ist, wächst die Menge des den Gaserzeuger unzersetzt verlassenden Wasserdampfes mit steigendem Zusatz, und verschlechtert sich damit der thermische Wirkungsgrad. Mond erkannte daher, daß eine wirtschaftliche Durchführung des Verfahrens nur angängig ist, wenn die von den Rohgasen mitgeführten großen Wärmemengen dem Gaserzeuger nach Möglichkeit wieder zugeführt werden, da sie sonst beim Waschprozeß verlorengehen. Die Anlagen erfordern daher neben den eigentlichen Reinigungsapparaten noch eine umfangreiche Kühl- und Wärmeaustauschanlage, was die Anlagekosten sehr erhöht. Es handelt sich dabei nicht allein um den Rückgewinn an Wärme, sondern auch darum, das Luft-Dampf-Gemisch mit einer höhern Temperatur unter dem Rost zuzuführen, weil die Zersetzung des Dampfes große Wärmemengen dem Brennstoffbett entzieht und mit dieser Temperaturverminderung die Dampferzeugung eine immer ungünstigere wird.

Abb. 139 zeigt das Schema einer Mondgasanlage, und wäre dazu folgendes auszuführen: Der Brennstoff gelangt von den Bunkern *a* in die Gaserzeuger *b*, an welche sich die Staubsäcke *c* anschließen. Das Gas geht nun durch die Winderhitzer oder Wärmeaustauscher *d*, wo es seine fühlbare Wärme von etwa 400° auf 200° abgibt und die im Mantelraum gegenstromweise zirkulierende, bereits gesättigte Vergasungsluft von etwa 80° auf 200°–250° erwärmt. Es folgt der Teerwäscher *e*, in dem das Gas durch Schlägerwellen zerstäubtem Wasser ausgesetzt und auf etwa 90° abgekühlt wird, wobei es sich noch weiter mit Wasserdampf sättigt. Hierauf wird das Gas in einem verbleiten Wäscher ähnlicher Bauart *f* mittels schwefelsäurehaltiger Lauge gewaschen und dabei das Ammoniak gebunden. Früher verwendete man einen aus Bleiblechen gebauten, mit Steinen angefüllten Säureturm, wobei die im Laugegefäß unten sich ansammelnde Lösung zum großen Teil durch eine Pumpe wieder nach oben befördert wird, nachdem ihr frische Schwefelsäure aus einem Behälter zugeführt wurde. Diesen Kreislauf der sauren Laugen vermied man bei den liegenden Wäschern wodurch man eine sehr empfindliche Pumpanlage sparte; auch die Anlagekosten sind bei diesen erheblich geringer. Der Kraftverbrauch ist dagegen ziemlich gleich, da an Stelle der Pumpe der Antrieb der Rührflügel tritt. Aus dem Säurewäscher gelangt das Gas nacheinander

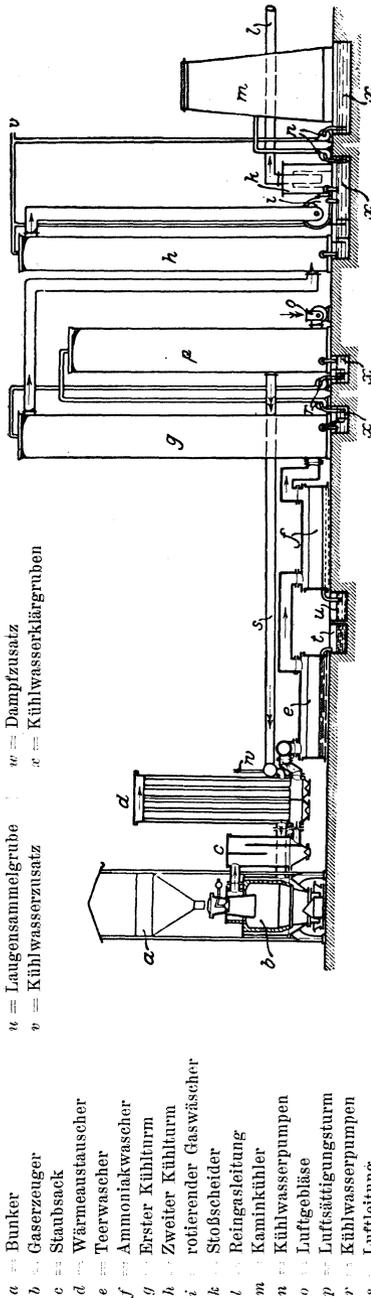


Abb. 139. Schematische Darstellung einer Mondgasanlage.

in die Kühltürme *g* und *h*, wo es fein verteiltem Kühlwasser entgegengeführt und der Feuchtigkeitsballast niedergeschlagen wird. Um die von dem Rieselwasser im ersten Kühlturm aufgenommene Wärme nutzbar zu machen, wird dieses in einen dritten Turm *p*, den Luftsättiger, gepumpt, in dem die Vergasungsluft entgegengeführt wird, wobei sich diese erwärmt und mit Wasserdampf sättigt. Das rückgekühlte Wasser wird mittels Pumpe wieder auf den Kühlturm zurückgepumpt, so daß ein vollständig geschlossener Kreislauf entsteht. Die mit Wasserdampf gesättigte Gebläseluft strömt, nachdem ihr noch der erforderliche Zusatzdampf beigegeben ist, durch den Winderhitzer *d* und gelangt durch einen den Gaserzeugerschacht umgebenden Hohlmantel in den Windraum des Korbrostgaserzeugers. In ähnlicher Weise wird das stets teerhaltige Kühlwasser des zweiten Kühlturmes *h* nicht als Abwasser behandelt, sondern über einen Kaminkühler *m* umgepumpt, um es auf atmosphärische Temperatur zu bringen und wieder in den Prozeß zurückführen zu können. Die Verdunstungsverluste des Kaminkühlers gleichen dabei die zusätzliche Menge an Kondenswasser aus dem Gas, die im Kühlturm anfällt, aus. Das Gas gelangt nach Verlassen des zweiten Turmes noch durch einen rotierenden Wäscher *i* mit Wasserabscheider *k*, der die Fertigreinigung übernimmt und das Gas unter Druck weiterleitet.

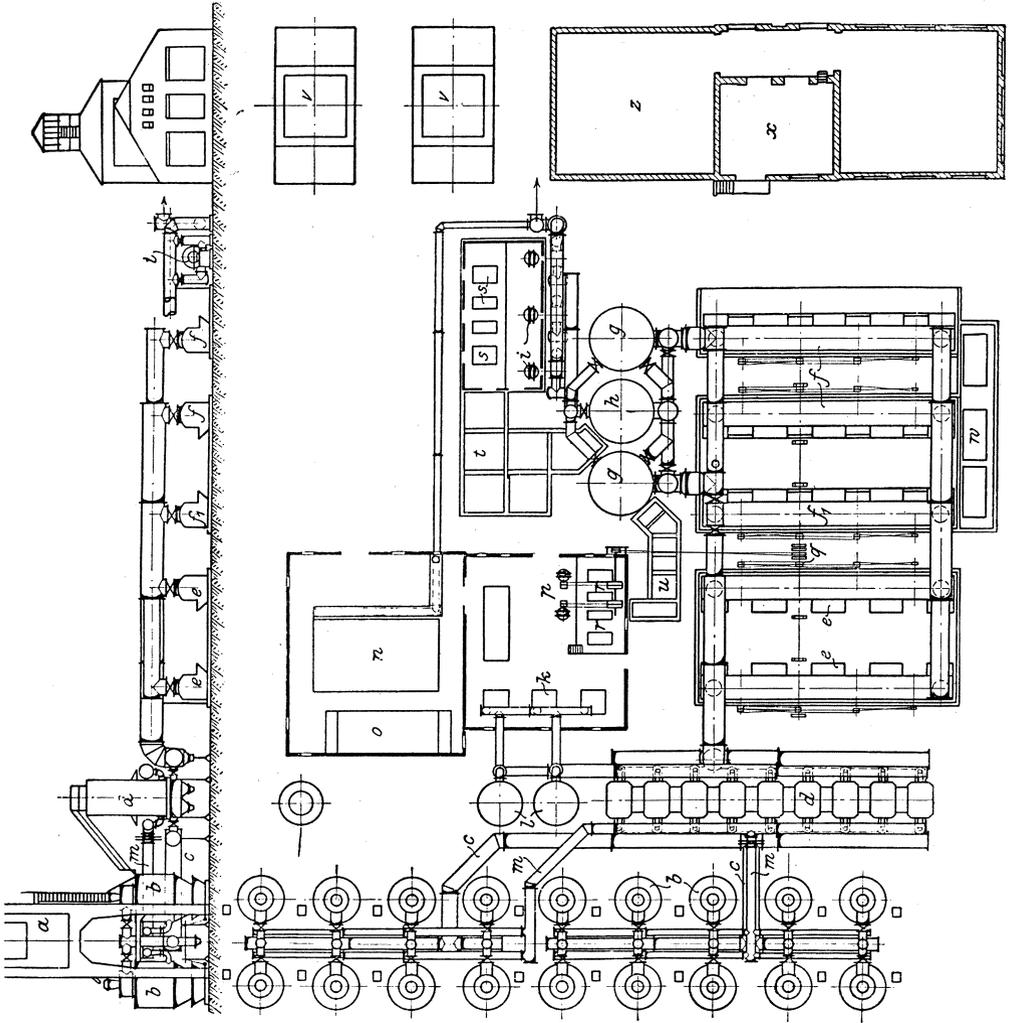


Abb. 140.
Aufbau einer Mondgasanlage.

- a ... Bunker
- b ... Gaserzeuger
- c ... Gassammelleitung
- d ... Wärmeaustauscher (Überhitzer)
- e ... Teerwascher
- f ... Ammoniakwascher
- g ... Erste Kühltürme
- h ... Zweiter Kühlturm
- i ... Rotierende Gasreiniger
- k ... Turbogebläse
- l ... Luftsättigungsturm
- m ... Luftleitung
- n ... Dampfkessel
- o ... Vorwärmer
- p ... Antriebsmotore
- q ... Waschertransmission
- r ... Umlaufpumpen
- s ... Kühlwasserpumpen
- t ... Klärbecken für Kühlwasser
- u ... Klärbecken für Umlaufwasser
- v ... Kaminkühler
- w ... Laugesammelbehälter
- x ... Sulfatgewinnungsanlage
- y ... Salzlager

Soll das Gas zum Betriebe von Gasmaschinen verwendet werden, so wird dasselbe noch in Sägespänerreinigern nachgereinigt, um die letzten Reste von Teer und Feuchtigkeit zu entfernen.

Abb. 140 zeigt den räumlichen Zusammenbau einer Mondgasanlage für eine Vergasungsleistung von etwa 350 t Steinkohle mit allen Nebenanlagen, und zwar unter der Voraussetzung, daß zu dieser Anlage

nur die Rohstoffe, wie Kohle, Säure und Wasser, geliefert werden.

Trotz dieser sinnreichen Einrichtung zur Wiedergewinnung der Abwärme beträgt die Menge des von außen zuzuführenden Dampfes noch etwa 60% der Gesamtmenge des erforderlichen Wasserdampfes. Die Gestehungskosten für den Zusatzdampf lassen sich durch Anwendung sonstigen zur Verfügung stehenden Abdampfes (wie von Dampfmaschinen, Abdampfpfannen usw.) verringern.

Abb. 141 stellt eine durchschnittliche Wärmebilanz bei der Vergasung von Steinkohle dar und zeigt übersichtlich die wärmetechnischen Zusammenhänge unter der gleichen Voraussetzung wie vorstehend, daß nämlich ein Teil des Gases zur Erzeugung des notwendigen Dampfes Verwendung findet.

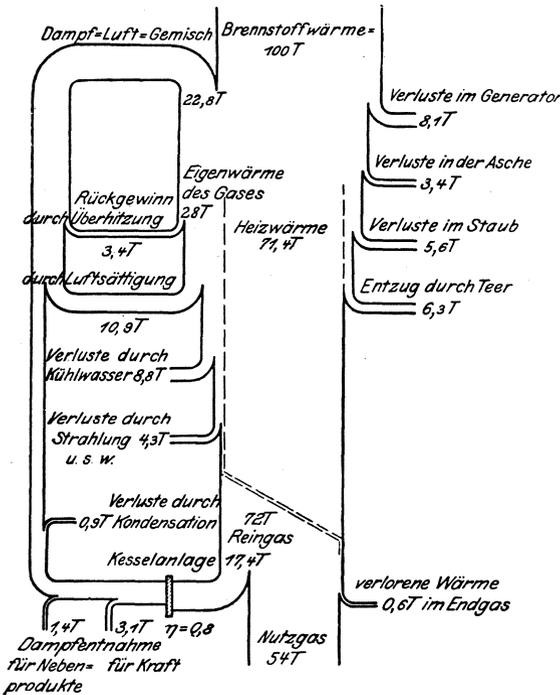


Abb. 141. Wärmebilanz des Mondverfahrens.

Wie aus dem Diagramm hervorgeht, wird ein großer Teil der fühlbaren Gaswärme im Kühlwasser verloren, während noch erhebliche Mengen Dampf auf anderem Wege beschafft werden müssen. Es mag dies im ersten Augenblick verwunderlich erscheinen, erklärt sich aber aus den ungünstigen Temperaturverhältnissen, die eine bessere Ausnutzung der verlorenen Abwärme erschweren. Der Verfasser hat in dieser Hinsicht umfangreiche Versuche durchgeführt und ein danach modi-

natürlich im umgekehrten Sinn, liegen die Verhältnisse bei der Sättigung von Luft mit Warmwasser, und man erkennt schließlich, daß eine weitgehende Kühlung des Gases und Sättigung der Luft mit dem gleichen Umlaufwasser nur dann vorteilhaft durchführbar ist, wenn die Wärmeinhaltslinien für das Kühlwasser in dem Raum zwischen den Linien 1 und 2 liegen, somit den Linien 5 und 6 entsprechen, was eben eine Teilung des Sättigungsvorganges notwendig macht. Bezüglich weiterer Einzelheiten sei auf die Patentschrift verwiesen; auch kann man noch weitere Vorteile erzielen, wenn man das bereits heiß vom Kühlturm *g* abfließende Wasser durch die Eigenwärme des Gases in Vorwärmern bis auf etwa 85° weiter erwärmt und erst dann zur Luft-sättigung benutzt.

Die Anlagen zur Herstellung von Mondgas mit Gewinnung der Nebenerzeugnisse sind in England zuerst von der Power Gas Corporation, später auch von Duff und Croßley ausgeführt worden. In Deutschland wurden anfänglich Anlagen für die Vergasung von Torf und Braunkohle durch die Deutsche Mondgas- und Nebenprodukten-Gesellschaft m. b. H., Berlin, gebaut. Erst später kamen auch Anlagen für Steinkohlen zur Aufstellung, und wurde die erste diesbezügliche Anlage in Waldhof von der Firma Ehrhardt & Seher nach den Entwürfen von Lymn, dem früheren Direktor der Power Gas Corporation, ausgeführt. Sie weist gegenüber den älteren Mondgasanlagen einen teilweise gedrängteren Aufbau auf¹⁾, weicht aber nicht wesentlich ab. Lymn verzichtet auf den liegenden Ammoniakwascher und verwendet hierfür stehende Türme, die aber nicht aus Blei, sondern aus Flußeisen gebaut sind.

Eine wesentliche Ergänzung erfuhr das ursprüngliche Verfahren von Mond durch seine Anwendung auf die Vergasung von Braunkohle, Torf und ähnlichen sauerstoffhaltigen Stoffen nach dem Verfahren von Frank-Caro (D.R.P. 255291, 1911). Dieses ist hinsichtlich der Ausgestaltung der Anlage dadurch gekennzeichnet, daß die Vorwärmung des Luft-Dampf-Gemisches, die bei diesen minderwertigen Brennstoffen mittels der Eigenwärme der Gase wegen ihrer niedrigen Temperatur nicht durchführbar ist, in besonders geheizten Überhitzern vorgenommen und die Überhitzung auf wesentlich höhere Temperaturen (bis auf 350°) getrieben wird.

Das kennzeichnende Merkmal aller dieser Verfahren ist jedoch, daß der Gaserzeuger unter reichlichem Zusatz von Dampf zur Vergasungsluft betrieben wird, und zwar derart großer Mengen, daß zur Erzielung eines guten Betriebes dieses Luft-Dampf-Gemisch vorgewärmt werden muß.

¹⁾ Vgl. Wolff: St. u. E. 1914, S. 579.

Über die Höhe dieses Dampfzusatzes sind nun Angaben verbreitet, die zu mannigfachen Mißverständnissen geführt haben. Es ist vorerst klar, daß die Dampfmenge in gleichem Verhältnis mit der notwendigen Luftmenge ab- oder zunimmt, einerlei ob man sich den Dampf oder den erzeugten Wasserstoff unmittelbar in chemischem Sinn auf die Bildung des Ammoniaks aus dem Stickstoff der Kohle einwirkend denkt, oder ob die Hauptwirkung des Dampfzusatzes in der kühlenden und schützenden Wirkung des nicht zersetzten Überschußdampfes in den oberen Schichten des Generators gesucht wird. Diese Dampfmenge beträgt etwa 900 g für 1 cbm Luft, schwankt demnach von 500—2500 kg für 1 t Brennstoff. Ein Teil dieses notwendigen Dampfes wird durch den Wärmerückgewinn gedeckt (s. Abb. 141).

Zur Klarstellung der wärmetechnischen Grundlagen möge hier erwähnt werden, daß die Vergasung ohne Vorwärmung des Luft-Dampf Gemisches nur bei einem Dampfgehalt von höchstens 700 g in 1 cbm Luft durchgeführt werden kann, wenn man nicht einen außerordentlich herabgeminderten Heizwert des Gases und eine schlecht ausgebrannte Asche in Kauf nehmen will.

Die chemischen Grundlagen des Verfahrens wurden bereits früher klargelegt (vgl. S. 286), und ist diesen Ausführungen kaum etwas hinzuzusetzen. Es sind aber in neuerer Zeit immer wieder Vorschläge zur Verminderung des Dampfverbrauches gemacht und eingehend erörtert worden, und sollen daher dieselben kurz erwähnt werden. Moore (D.R.P. 266601) schlägt einen Gaserzeuger mit Dampfmantel vor, um insbesondere die oberen Brennstoffschichten zu kühlen. Eine Ersparnis an Dampf für die Umsetzungen im Gaserzeuger selbst ist dabei bestimmt nicht zu erwarten. Eine ähnliche Bauart des Mondgaserzeugers hat die Firma Thyssen in Mühleim a. d. Ruhr entwickelt, wie Abb. 143

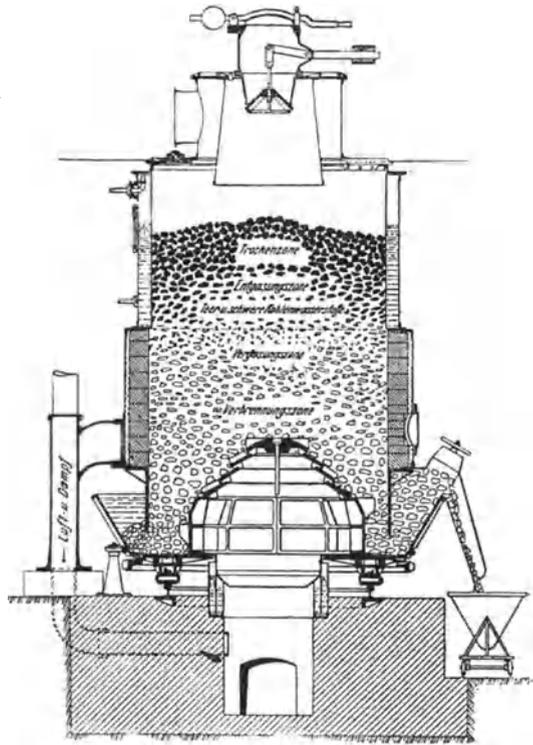


Abb. 143. Gaserzeuger für Nebenproduktengewinnung von Thyssen & Co.

Zahlentafel 62.

	Brennstoff						
	Torf	Braunkohle	Westfälische anthrazitische Steinkohle	Ober-schlesische Steinkohle	Abfall-Steinkohle	Jüngere Steinkohle	Backende Steinkohle
Analyse des rohen Brennstoffes:							
H ₂ O	48,5	33,28	3,00	6,86	11,10	10,85	11,70
Asche	1,21	19,70	9,32	12,38	21,53	18,95	13,20
Flüchtige Bestandteile	33,14	26,26	—	28,27	—	—	—
Reinkohls	17,15	20,76	—	52,40	—	—	—
Stickstoff	0,80	0,58	1,48	1,26	0,94	1,61	1,04
Heizwert des rohen Brennstoffes Kal./kg	2790	2720	7710	6345	5900	5210	5415
Analyse der Reinkohle:							
C	60,50	65,53	90,04	81,72	80,46	76,88	76,21
H ₂	7,48	5,56	4,43	5,43	5,33	5,69	5,58
N ₂	1,59	1,23	1,69	1,56	1,26	2,39	1,39
S	0,06	4,75	2,13	2,02	2,51	2,92	2,96
O ₂	30,01	22,93	1,71	9,27	10,44	12,12	13,86
Stickstoffgehalt der Trockenkohle	1,55	0,87	1,53	1,35	0,98	1,80	1,18
Mittlere Gasanalyse:							
CO ₂	18,40	17,22	15,50	16,00	16,02	18,10	17,32
C _n H _m	0,25	0,12	0,15	0,20	0,20	0,66	0,62
O ₂	0,10	0,50	0,00	0,10	—	0,32	0,41
CO	11,40	12,11	12,60	11,80	11,62	9,90	10,20
CH ₄	3,30	4,42	2,90	3,30	3,78	4,07	3,27
H ₂	23,30	26,53	26,00	24,50	24,35	25,50	22,70
N ₂	43,05	39,10	42,85	44,10	44,03	41,45	46,48
Brennbare Bestandteile	38,15	43,18	41,65	39,80	39,95	40,13	36,79
Unterer Heizwert des Gases	1265	1445	1320	1300	1333	1404	1265
Kohlenstoffgehalt des Gases	178,7	182,6	167,0	167,8	169,5	175,4	168,4
g/1000 Kal.	141,3	126,4	126,1	129,0	127,1	124,9	133,1

Kohlenstoff auf 1 kg Rohkohle	g	304,26	308,12	789,47	659,97	598,38	539,7	572,3
Kohlenstoffverlust auf 1 kg Rohkohle in								
Asche	g	20,0 ¹⁾	12,6	nicht bestimmt,	19,18	19,56	15,23	10,25
Staub	g	33,14	53,94	da sehr gering	38,19	16,97	38,45	20,65
Teer	g				33,53	35,10	54,98	42,08
Zusammen	g	53,14	66,54	65,0 ¹⁾	90,90	71,63	108,66	72,98
Vergaster Kohlenstoff auf 1 kg Rohkohle	g	251,12	241,58	724,47	569,07	526,75	431,04	499,32
Berechnete Gasausbeute auf 1 t Rohkohle	cbm	1405	1323	4340	3390	3110	2460	2965
Berechnete Gasausbeute auf 1 t Trockenkohle	"	2730	1985	4470	3640	3240	2750	3355
Gemessene Gasmenge auf 1 t Rohkohle	"	1690	1720	4960				
Temperatur an der Meßstelle . . .	°C	29	47	29	Meß-	41	37	20
Gemessene Gasausbeute auf 1 t Trockenkohle ²⁾	cbm	2880	1970	4450	apparate versagt	3340	2670	3465
Wärmetechnischer Nutzeffekt des Gaserzeugers ³⁾	%	65,5	69,9	74,1	69,4	71,2	65,2	70,3
Berechnete Luftmenge auf 1 t Rohkohle	cbm	928	655	2250	2070	1790	1450	1700
Berechnete Dampfmenge auf 1 t Rohkohle	kg	830	585	2400	2020	1675	1420	1870
Ausbeute an wasserfreiem Teer auf 1 t Trockenkohle	"	85,8	94,8	—	51,5	50,1	77,1	52,5
Ausbeute an Ammonsulfat auf 1 t Rohkohle	"	24,0	19,7	45,2	40,1	28,7	51,2	31,4
Ausbeute an Ammonsulfat auf 1 kg Kohlenstickstoff	"	3,006	3,397	3,067	3,183	3,053	3,180	3,010

¹⁾ wurde schätzungsweise eingesetzt.

²⁾ für 0° und 760 mm Hg.

³⁾ für das Mittel aus Berechnung und Messung.

zeigt¹⁾. Mehr Aussicht auf Dampfersparnis bietet das Verfahren nach Sachs (D.R.P. 274011) durch die Anwendung eines heiß-kalten Rohres für die Absaugung der Gase, um Zersetzungen des Ammoniaks zu vermeiden; bei dieser Aufgabe sind aber erhebliche technische Schwierigkeiten zu lösen, und sind daher praktische Ergebnisse dieses Verfahrens nicht bekanntgeworden. Auch der Betrieb von Zonengaserzeugern²⁾ mit getrennter Absaugung der Destillationsgase kann zu Dampfersparnissen nicht führen, und sind daher alle dementsprechenden Hinweise mit Vorsicht zu beurteilen.

Ein eigenartiges Verfahren legt Koppers (D.R.P. 279550) vor, indem unter dem Rost neben der Luft ein wasserstoffreiches Gas eingeführt wird, das in den unteren Schichten zur Verbrennung gelangen soll, um so eine geeignete Umsetzungstemperatur zu gewährleisten und zugleich die entstehenden Gase zu verdünnen. Es erscheint nicht ausgeschlossen, dabei Dampfersparnisse zu erzielen, doch dürfte der angestrebte Zweck teuer erkaufte sein, abgesehen davon, daß die technischen Schwierigkeiten erhebliche sind.

Eine andere Gruppe von Maßnahmen zur Dampfersparnis sind die Verfahren mit Zusätzen von Salzen und ähnlichen Stoffen (vgl. S. 288). Über diese Vorschläge läßt sich Abschließendes nicht sagen, da noch keine praktischen Ergebnisse bekannt sind; man wird jedoch in allen Fällen die Frage prüfen müssen, ob nicht die Kosten für solche Zuschläge erheblicher sind als diejenigen einer Dampferzeugung. Gelingt es, sehr billige Abfallsalze dabei zu benutzen, wofür gerade in Deutschland Möglichkeiten vorliegen, so erscheinen diese neuen Verfahren aussichtsreich.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß alle zur Zeit im Großbetrieb ausgeführten Verfahren hinsichtlich der Grundlinien vollständig mit dem ursprünglichen Mondverfahren übereinstimmen. Eine umfassende Zusammenstellung über die mit verschiedenen Brennstoffen erzielten Ergebnisse zeigt Zahlentafel 62. Bei derselben fällt in erster Linie die gleichmäßige Zusammensetzung des Gases bei den verschiedenen Ausgangsstoffen auf, was durch die chemische Natur des Verfahrens aber erklärlich erscheint. Über den Einfluß der geänderten Gaszusammensetzung auf die Flammentemperatur ist das auf S. 274ff. Gesagte sinngemäß anzuwenden.

Die bei dem Mondverfahren anfallenden Laugen von schwefelsaurem Ammonium werden meist in einer getrennten Anlage durch Eindampfung auf das marktfähige Produkt, das Ammoniumsulfat, weiterverarbeitet. In dieser Beziehung weicht die Gewinnung des Am-

¹⁾ Vgl. Roser: Über die Wirtschaftlichkeit von Vergasungsanlagen bei Erzeugung von Tieftemperaturteer und schwefelsaurem Ammoniak. St. u. E. 1920, S. 349. ²⁾ Vgl. Schulz: St. u. E. 1913, S. 1221.

moniake von der in den Kokereien und Gasanstalten ausgeführten ab, da eine unmittelbare Sulfaterzeugung mit Rücksicht auf den hohen Feuchtigkeitsballast des Gases und die niedrigen Temperaturen in den meisten Fällen ausgeschlossen ist bzw. bei genauer Prüfung Vorteile nicht verspricht. Es muß dabei beachtet werden, daß die Verdünnung des Ammoniaks im Gase bei den Vergasungsverfahren eine wesentlich größere ist als bei den Entgasungsverfahren, und daß eine Aufwärmung des Gases mit dem Ziele einer direkten Sulfatgewinnung bei den großen Gasmengen einen höheren Wärmeverbrauch verursachen muß als die getrennte Weiterbehandlung der Laugen.

Hinsichtlich der Teergewinnung läßt das Mondgasverfahren naturgemäß eine Anpassung an die neuen technischen Erfahrungen ohne Schwierigkeit zu, und sind ja während des Krieges die meisten Mondgasanlagen auf Urteergewinnung umgestellt worden. Durch die Einführung letzterer wird die Reinigungsanlage sogar in mancher Hinsicht einfacher und billiger.

c) Nebenproduktengaserei für Kraftzwecke.

Über die Anwendbarkeit des Mondgases für Heizzwecke besteht daher kein Zweifel. Sehr viel erörtert dagegen wurden die Beziehungen der Nebenproduktengewinnung zur Krafterzeugung, nachdem diese Frage durch die eingehende Arbeit von Prof. Klingenberg¹⁾ in Fluß gekommen war. Es ist einleuchtend, daß die Wirtschaftlichkeit einer Mondanlage von den hohen Anlagekosten beeinflußt wird; dieser Umstand läßt es auch begreiflich erscheinen, daß die Gewinnung der Nebenprodukte erst bei verhältnismäßig großen Anlagen lohnend werden kann. Eine ausschlaggebende Rolle spielt weiterhin die Marktlage für die Brennstoffe und die Nebenerzeugnisse. Bei hohen Brennstoffpreisen sinkt die Wirtschaftlichkeit wegen der Kosten für die Dampfbeschaffung, und werden die Kosten der Vergasung um so höhere werden, je größer die Belastungsschwankungen der Anlage sind.

Hinsichtlich dieser gegenseitigen Beziehungen möchte ich hier das anführen, was ich bereits vor Klingenberg in einem Vortrage²⁾ seinerzeit ausgeführt habe.

„Die Erzeugung elektrischer Energie in großen Zentralen hat gerade während des Krieges eine ungeahnte Entwicklung genommen. Anlagen mit Leistungsziffern, die uns vorher gigantisch erschienen wären, sind heute ganz normale Anlagen geworden. Diese Entwicklung verdanken die elektrischen Kraftwerke in erster Linie der Dampf-

¹⁾ Z. d. V. d. J. 1918, S. 1.

²⁾ Z. d. V. d. J. 1918, S. 78. Vortrag vom 22. 2. 1917.

turbine; denn nur bei Verwendung solcher Maschinen lassen sich genügend große Leistungen in einem Satz erzielen. Und diese hohe Leistung bei gedrängter Bauart gestattet weiter die notwendige Übersichtlichkeit der Anlage und den leicht regelbaren und anpassungsfähigen Betrieb. Zudem ist der Wärmeverbrauch der großen Turbineneinheiten immer mehr vermindert worden. Es erscheint daher angebracht, die Nebenproduktengaserei einmal im Zusammenhang mit diesen beiden Betriebsarten vergleichsweise zu betrachten.

Der Wärmeverbrauch großer Gasmaschinen bei Vollast beträgt 3600 Kal./kW-Std., der großer Turbineneinheiten etwa 4200 Kal. Bei ersterer Maschine ist der Heizwert im gereinigten betriebsfertigen Gas berechnet, bei letzterer Maschine in Dampfform. Während die erste Zahl jedoch als sichere Betriebsziffer anzusprechen ist, habe ich für die Turbine eine außerordentlich günstige Zahl gewählt, um von vornherein dem Einwand zu begegnen, daß der Vergleich zugunsten der Gasmaschine aufgestellt sei. Entsprechende Werte von Turbinenwerken ergeben, am Kessel gemessen, meist 4500—4800 Kal., da je nach Entfernung mit erheblichen Kondensationsverlusten zu rechnen ist (4—8%). Es ist demnach klar, daß die berechneten Werte nicht als durchaus zutreffend betrachtet werden dürfen; um so zuverlässiger sind jedoch die am Schlusse gezogenen Folgerungen bezüglich der vergleichweisen Wirtschaftlichkeit zwischen Gasmaschinenanlagen und gasbefeuerten Turbinenanlagen.

Zum Vergleich der Wirtschaftlichkeit ist noch der Nutzeffekt der jeweiligen Erzeugungsanlagen in Rechnung zu setzen. Bei der Herstellung von Reingas kann im Durchschnitt ein solcher von 72% angestellt werden, bei der Dampferzeugung ein solcher von 78% bei guten Brennstoffen, sinkend bis auf etwa 72% und darunter bei minderen Sorten. Der Wärmearaufwand im Brennstoff würde daher 5000 Kal. im ersten Fall und 5400—5900 Kal. im zweiten Fall betragen. Der Turbinenbetrieb stellt sich also im Brennstoffverbrauch nicht wesentlich schlechter, und es wird von der Wahl des Brennstoffes abhängen, ob in besonderen Fällen der Gasmaschine (ohne Nebenproduktengewinnung) gegenüber Turbinen mit unmittelbar befeuerten Kesseln der Vorzug zu geben ist. Es kann dies wohl nur dann geschehen, wenn am gleichen Orte Brennstoffe minderer Güte zu billigem Preise zur Verfügung stehen, während der Kesselbetrieb die Verwendung guter, jedoch teurer Kohlen bedingt. Denn die Gasmaschine erfordert andererseits ungleich höhere Tilgungskosten. Da die Anlagekosten bei Gasmaschinenwerken auf nahezu das Dreifache von Turbinenwerken¹⁾ steigen, ist dieser Mehrauf-

¹⁾ Für die Maschinenanlagen allein. Für die Gesamtanlagen ist der Aufwand im ersteren Falle das Anderthalbfache bis Doppelte des Betrages im letzteren Fall.

wand erheblich und beträgt etwa 1 ($\frac{1}{4}$) Pf. je kW-Std.¹⁾; dies bedeutet, anders ausgedrückt, daß erst bei einem Steinkohlenpreis von etwa 23 Mk. der geringere Brennstoffaufwand der Gasmaschine allein für deren Bevorzugung ausschlaggebend ist. Dieser Fall dürfte jedoch sehr selten eintreten. Im übrigen ist diese Annahme sicher zum Vorteil der Gasmaschine getroffen, da die Erzeugungskosten für das Gas durchschnittlich höher sind als die für Dampf; denn besonders die notwendige Reinigung des Gases erfordert umfangreiche Anlagen, einen erheblichen Kraftverbrauch und höhere Löhne. Die Notwendigkeit der Reinigung führt allerdings beinahe zwangsmäßig zur Nebenproduktengaserei, da bei der Reinigung stets Nebenprodukte, wenn auch in geringeren Mengen, anfallen, und somit liegt diese Maßnahme technisch nahe.

Umgekehrt ist die Verbindung von Dampfturbinenbetrieb mit Nebenproduktengaserei nicht von vornherein gegeben und kann nur durch wirtschaftliche Vorteile begründet sein. Denn wenn auch die Gasbefehuerung der Kessel einen besseren Nutzeffekt als die Kohlenfeuerung verbürgt, so ist doch auch der Nutzeffekt der Vergasung selbst in Betracht zu ziehen. Bei 80% Kesselwirkungsgrad würden dann insgesamt nur $\frac{80 \cdot 72}{100} = 57,6\%$ ausgenutzt oder mit anderen Worten 7300 Kal. im Brennstoff für 1 kW-Std. erforderlich sein. Dabei ist die Dampferzeugung für den Vergasungsbetrieb noch außer acht gelassen, und wenn wir diese nach den Zahlen des Diagrammes, Abb. 141, berücksichtigen, würde sich der Gesamtwärmeverbrauch zu 9700 Kal. berechnen. Dabei ist allerdings Frischdampf für den Betrieb der Generatoren angenommen, während dafür tatsächlich ein niedriggespannter Abdampf ausreicht. Wählt man die Turbine für diese Verhältnisse, also als Anzapfturbine mit etwa 30% Entnahme bei 2 Atm. abs., so ergibt sich der Wärmeverbrauch zu 8680 Kal./kW-Std. Diese Zahl wurde auf Grund eingehender Arbeiten festgestellt, und die Lösung ist nach dem Gesagten zweifellos technisch leicht durchführbar und wirtschaftlich außerordentlich günstig, so daß lediglich diese bei großen Kraftwerken in Zukunft Anwendung finden dürfte. Da die Entnahme des niedriggespannten Dampfes regelbar ist, kann die Anordnung auch bei Kraftwerken mit schwankender Belastung in gleicher Weise benutzt werden.

Zum Vergleich der Wirtschaftlichkeit soll nun der Fall angenommen werden, daß einmal eine Turbinenanlage mit gasbefeuerten Kesseln zur Aufstellung kommt und der für den Betrieb des Gaswerkes notwendige

¹⁾ Die Geldwerte hier und im folgenden beziehen sich auf die Verhältnisse von 1916, sind also etwas höher als Friedenswerte (etwa 33%); für heutige Verhältnisse müßten sie naturgemäß vervielfacht werden.

Dampf als Zwischendampf der Turbine entnommen wird. Der Wärmeverbrauch im Brennstoff beträgt 8680 Kal./kW-Std. Das andere Mal soll eine Gasmaschinenzentrale mit Nebenproduktengaserei vorgesehen sein: Wärmeverbrauch im Brennstoff 5000 Kal./kW-Std. Der Dampf für den Betrieb der Generatoren wird durch die Auspuffgase ohne weiteren Wärmearaufwand vollkommen gedeckt.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung wird nun je nach dem Brennstoff, dem Preis, dem Stickstoff- und Teergehalt verschieden sein; es erscheint daher zweckmäßig, bei einer Vergleichsrechnung zunächst die Brennstoffkosten unberücksichtigt zu lassen, um die Zusammenhänge besser zu überblicken. Es wird der Weg verfolgt, zunächst die Vergasungskosten für je 1000 Kal. im Brennstoff zu berechnen, sodann die anteiligen Unkosten auf die Kilowattstunde zu bestimmen, die Unkosten der elektrischen Zentrale hinzuzuziehen und schließlich erst die Brennstoffkosten abzüglich des Erlöses aus den Nebenprodukten in die Rechnung einzuführen.

Die Unkosten der Vergasung sind für je 1000 Kal. im Brennstoff berechnet, selbst bei Brennstoffen verschiedenster Natur nahezu ganz unveränderlich, und zwar betragen sie 0,08 Pf., wobei Tilgung und Verzinsung der Anlage mit 12% berücksichtigt sind. Eine genaue Durchrechnung ergab z. B. für Rohbraunkohle 1,75 Mk./t Unkosten, für Steinkohle 5,60 Mk./t, und dies stimmt auch mit früheren Veröffentlichungen und Angaben überein. Dabei sind keineswegs Friedensverhältnisse zugrunde gelegt, sondern entsprechende Aufschläge gemacht, die allerdings für die jetzige Zeit nicht ganz zutreffend sind, aber zweifellos bei Wiederkehr normaler Verhältnisse auch für die Zukunft ausreichend sein werden.

Die Betriebsunkosten der Maschinenzentrale können bei dauernd voller Belastung und unter Berücksichtigung eines ähnlichen Zuschlages für die Kilowattstunde wie folgt eingeführt werden:

Für Dampfturbinen einschließlich Kesselanlage . . .	0,6 Pf.
„ Gasmaschinenanlage mit Abwärmekessel . . .	0,9 „

Die Unkosten bei einer mit Kohlen befeuerten Kesselanlage in Verbindung mit einer Turbinenzentrale sind, abgesehen von den Brennstoffkosten, dem vorstehenden Werte mindestens gleich, da zwar die mit Kohle befeuerte Kesselanlage eine kleinere Heizfläche hat, andererseits jedoch die gasbeheizte Kesselanlage keine Wanderroste, Kohlenbunker und Aschenabfuhr verlangt. Die Löhne sind zweifellos bei einer mit Kohle befeuerten Kesselanlage erheblicher. Genaue Aufstellungen haben zwar einen zweifellos höheren, aber doch nicht nennenswert höheren Unkostenbetrag ergeben, weshalb bei den Vergleichsbetrachtungen der vorstehend genannte Wert von 0,6 Pf. herangezogen werden soll.

Die Gesamtunkosten der beiden verschiedenen Maschinenzentralen in Verbindung mit Nebenproduktengaserei betragen dann, abgesehen von den Brennstoffkosten:

Für Turbinenbetrieb . . .	$8,68 \cdot 0,08 + 0,6 = 1,3$	Pf./kW-Std.
„ Gasmaschinenbetrieb . .	$5 \cdot 0,08 + 0,9 = 1,3$	„ „
„ Turbinen mit kohlenbefeuerten Kesseln	0,6	„ „

Die Gesamtunkosten sind daher bei Anlagen mit Nebenproduktengaserei überraschenderweise die gleichen, es werden also bei der Wahl der Betriebsart lediglich die Brennstoffkosten bestimmend sein. Wenn wir den Quotient $A = \frac{100 K}{W}$ als absolute Brennstoffkosten bezeichnen, worin K den Kohlenpreis in Mk./t und W den Wärmewert von 1 kg Brennstoff bedeuten, so ist dieser Wert nur für die Kohlenfeuerung maßgebend. In unseren Fällen kommen jedoch relative Brennstoffkosten B in Frage, die durch den Erlös aus den Nebenprodukten beeinflusst sind, und zwar ist

$$B = \frac{100 K - \frac{sS + tT}{10}}{W},$$

wobei S den Erlös in Mk. aus 1 t Ammonsulfat abzüglich Säurekosten, T den Erlös in Mk. aus 1 t Teer, s die Ausbeute an Ammonsulfat in kg aus 1 t Brennstoff, t die Ausbeute an Teer in kg aus 1 t Brennstoff bedeutet. A und B verstehen sich in Pfennig und sind je auf 1000 Kal. in der Kohle bezogen.

Die relativen Brennstoffkosten können nun sowohl einen positiven, als auch einen negativen Wert annehmen. Die Brennstoffkosten für 1 kW/Std. werden gefunden, wenn man mit dem Faktor 8,68 oder 5 multipliziert. Es ist nun sofort einleuchtend, daß die Brennstoffkosten der Gasmaschinenanlage nur dann günstiger ausfallen, wenn die relativen Brennstoffkosten positiv sind.

Eine fernere Prüfung der Verhältnisse zeigt, daß B je nach Beschaffenheit der Brennstoffe in weiten Grenzen schwankt. Es sollen daher vergleichsweise die relativen Brennstoffkosten für möglichst verschiedene Kohlen berechnet werden, und zwar für:

1. Steinkohle von 7000 Kal. Heizwert bei 13 Mk./t Preis, 1,25 % N_2 und 6,5 % Teer.
2. Minderwertige Steinkohle (Staub- oder Schieferkohle) mit 6000 Kal. Heizwert, 5 Mk./t Preis, 1 % N_2 und 5,5 % Teer.
3. Braunkohlenbriketts mit 4800 Kal. Heizwert, 8,5 Mk./t Preis, 0,6 % N_2 und 9,0 % Teer.
4. Rohbraunkohle mit 2300 Kal. Heizwert, 2 Mk./t Preis, 0,3 % N_2 und 4,5 % Teer.

Zahlentafel 63. Krafterzeugungskosten unter verschiedenen Verhältnissen.

Fall	Brennstoff	A	B	Kosten für 1 kW/Std. in Pf.		
				Turbine mit Gasfeuerung	Gasmaschine	Turbine normal
1	Steinkohle, 13 Mk./t, 7000 Kal. 1,25% N ₂ , 6,5% Teer	0,1857	0,0324	$\left\{ \begin{array}{l} 1,3 + 8,68 \cdot 0,0324 \\ = 1,581 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,3 + 5 \cdot 0,0324 \\ = 1,462 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,6 + 5,4 \cdot 0,1857 \\ = 1,603 \end{array} \right.$
2	Abfallkohle, 5 Mk./t, 6000 Kal. 1,0% N ₂ , 5,5% Teer	0,0833	-0,0617	$\left\{ \begin{array}{l} 1,3 - 8,68 \cdot 0,0617 \\ = 0,764 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,3 - 5 \cdot 0,0617 \\ = 0,992 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,6 + 5,83 \cdot 0,0833 \\ = 1,086 \end{array} \right.$
3	Briketts, 8,50 Mk./t, 4800 Kal. 0,6% N ₂ , 9% Teer	0,1773	0,0229	$\left\{ \begin{array}{l} 1,3 + 8,68 \cdot 0,0229 \\ = 1,499 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,3 + 5 \cdot 0,0229 \\ = 1,415 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,6 + 5,4 \cdot 0,1773 \\ = 1,557 \end{array} \right.$
4	Braunkohle, 2 Mk./t, 2300 Kal. 0,3% N ₂ , 4,5% Teer	0,0870	-0,0739	$\left\{ \begin{array}{l} 1,3 - 8,68 \cdot 0,0739 \\ = 0,659 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,3 - 5 \cdot 0,0739 \\ = 0,930 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,6 + 5,83 \cdot 0,087 \\ = 1,107 \end{array} \right.$

Wir führen S mit 220 und T mit 45 in die Formel ein. Die gegenwärtigen Erlöse sind zwar weitaus höher, insbesondere was den Teer anbetrifft; da jedoch die zukünftige Entwicklung des Nebenproduktenmarktes nicht überblickt werden kann, sind die annähernd vor dem Kriege geltenden Werte berücksichtigt. Das Sulfatausbringen ist niedrig mit 30 kg für 1% Kohlenstickstoff, das Teerausbringen mit 85% des durch Analyse gefundenen Teergehaltes in Rechnung gestellt.

Es ergeben sich dann die in Zahlentafel 63 zusammengestellten Kosten für die Kilowattstunde unter den verschiedenen Betriebsverhältnissen. In erster Linie ist damit das vorher Gesagte hinsichtlich der wirtschaftlichen Vorteile von Gasturbinenanlagen und Gasmaschinenanlagen mit Nebenproduktengaserei ohne weiteres bestätigt. In den Fällen 1 und 3 (bei einem positiven Wert von B) würde die Gasmaschine den Vorzug verdienen, in den Fällen 2 und 4 (bei einem negativen Wert von B) die Turbine. In allen Fällen sind jedoch die betrachteten Anlagen in Verbindung mit Nebenproduktengaserei günstiger gestellt als unmittelbar befeuerte Zentralen, die höhere Stromkosten aufweisen. Während jedoch die Unterschiede in den Fällen 1 und 3 nur gering sind, erscheint die Verbilligung der Kosten in den Fällen 2 und 4 wesentlich, und es muß dabei betont werden, daß die gewählten Annahmen mittleren Verhältnissen entsprechen und nach zahlreichen Analysen und Angaben aus der Praxis aufgestellt sind.

Andererseits gelten diese Berechnungen nur für gleichbleibende Be-

lastung der elektrischen Zentrale. Es ist klar, daß in den Fällen 2 und 4 eine schwankende Stromentnahme die Wirtschaftlichkeit nicht ungünstig beeinflußt, sondern im Gegenteil den Unterschied gegen eine unmittelbar befeuerte Zentrale fortschreitend günstiger stellt, da bei einem größeren Wärmeverbrauch, der dann eintritt, der negative Teil der Stromkosten wächst. Es kann schließlich der Fall eintreten, daß die Kosten für die Kilowattstunde bei großem Wärmearaufwand kleiner werden, wenn nämlich die relativen Brennstoffkosten einen negativen Betrag von 0,08 Pf. aufweisen. Allerdings gehen diese wirtschaftlichen Vorteile mit einer Erhöhung des Brennstoffverbrauches Hand in Hand und es wird eine natürliche Grenze gezogen werden müssen, um einer Brennstoffverschwendung Einhalt zu gebieten. In den Fällen 1 und 3 werden sich die Vorteile einer Anlage mit Nebenproduktengaserei bei geringerer Belastung der elektrischen Zentrale schließlich so stellen, daß unmittelbar befeuerte Kessel immer mehr in den Vordergrund treten und schließlich zweifellos vorzuziehen sind.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß bei der Beschaffenheit unserer Brennstoffe die Einführung der Nebenproduktengaserei in allen durchschnittlichen Fällen eine Verbilligung der Krafterzeugungskosten gegenüber der unmittelbaren Verfeuerung der Brennstoffe unter den Kesseln bedeutet. Für die Ausnutzung ist unter Verhältnissen, wo sich die relativen Brennstoffkosten sehr günstig stellen (negative Werte), eine gasbefeuerte Kesselanlage mit Turbinenbetrieb zu wählen, während bei positiven relativen Brennstoffkosten der Gasmaschine der Vorzug zu geben wäre. Die unmittelbare Verfeuerung der Brennstoffe käme nur dann in Frage, wenn die Ausbeute an Nebenprodukten sehr gering ist, oder wenn ein stark schwankender Betrieb der Kraftanlage die Vergasung unwirtschaftlich macht oder zur Brennstoffvergeudung führen würde, die zwar an sich wirtschaftlich sein kann, sich aber aus allgemein volkswirtschaftlichen Gründen verbietet.

Diese Betrachtungen wären jedoch unvollständig, wollte ich nicht noch einen Gesichtspunkt erwägen, der in Zukunft besondere Bedeutung haben wird, nämlich die Verteuerung der Brennstoffe. Eine solche wird in den Fällen 2 und 4 eine Verringerung der wirtschaftlichen Vorteile mit sich bringen, während diese umgekehrt in den Fällen 1 und 3 größer werden; deshalb dürfte die Gasmaschine immer mehr an Bedeutung gewinnen, auch selbst bei schwankendem Betrieb. Zudem spricht dann für ihre Bevorzugung auch der Umstand, daß an Brennstoff gespart wird, ein Umstand von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung. Denn es kommt von diesem Gesichtspunkt aus nicht darauf an, bei einer bestimmten Produktion den größten Nutzen zu ziehen, sondern es handelt sich darum, auf die Tonne der verarbeiteten, uns von der Natur gegebenen Rohstoffe den größten Nutzen zu

erzielen. Deshalb ist es meine persönliche Ansicht, daß die Zukunft der Gasmaschine gehört oder aber der von allen Seiten erwarteten Gasturbine.“

Die hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Nebenproduktengaserei gezogenen Schlüsse, und auch die Abgrenzung der drei verschiedenen Gebiete, ist vollkommen übereinstimmend mit den Schlüssen, zu denen Klingenberg in seiner außerordentlich fesselnden und lehrreichen Arbeit kommt; diese erschöpft das Thema aber weit umfassender, weil auf die Belastungsverhältnisse u. dgl. besonders Rücksicht genommen ist, und daher ist dieselbe direkt als grundlegend für die Beurteilung der Krafterzeugung in Verbindung mit Gaserei zu betrachten.

Eingehend beschäftigt sich mit dieser Frage auch Dr. Roser¹⁾, der allerdings zu anderen, für die Vergasung günstigen Schlüssen kommt. Es erhellt aber schon aus dieser verschiedenen Stellungnahme, daß die Frage nie allgemein beantwortet werden kann, sondern eine Prüfung von Fall zu Fall notwendig ist.

Mit dem Erscheinen der Klingenbergschen Arbeit, die ursprünglich ein Gutachten zu einem von Dr. Besemfelder dem Staatsministerium gestellten Antrag darstellt, ist die Wirtschaftlichkeit der Nebenproduktengaserei zu einer der meist erörtertesten Fragen geworden, ohne daß Klarheit darüber geschaffen werden konnte, schon aus dem Grunde, weil dem Fachmann die Forderung nach einer allgemeinen Vergasung unsinnig erscheinen muß und die Aufgabe damit in einem solchen Umfang angeschnitten wurde, daß eine zusammenfassende und einheitliche Beantwortung völlig unmöglich wurde. Ich verweise zu dieser Streitfrage auf die zahlreichen Veröffentlichungen²⁾

¹⁾ St. u. E. 1920, S. 349, 387, 533, 610, 651, 685 ff.

²⁾ Vgl. u. a. Prof. Dr. Askenasy: Vortrag über die Gewinnung von künstlichem Stickstoff. Essen, 3. Juni 1915. — Dr. Scheuer: Gewinnung und Verwertung von Nebenerzeugnissen bei der Verwendung von Stein- und Braunkohlen. Preisarbeit. Glasers Ann. 1915, S. 209 ff. — Dr. Eduard Besemfelder: Die staatswirtschaftliche Verwertung der Kohle. Berlin: Heymanns Verlag 1918. — Prof. Dr. Caro, Klingenberg, Russig, Lempelius: Die rationelle Ausnutzung der Kohle. Gutachten. Berlin: Heymanns Verlag 1918. — H. Büggeln: Die Gewinnung von Nebenerzeugnissen. Süddeutsches Industrieblatt 1917, Nr. 33 und 34. — Prof. Dr. Fritz Haber: Die Stickstoffwirtschaft. Berl. Tagbl. 25. 12. 1919. — Dr. Dyes: Wärme, Licht, Kraft. Berlin: Heymanns Verlag 1918. — Franz Kolbe: Die rationelle Ausnutzung der Kohle. Der Staatsbedarf. 12. Oktober 1918. — Dr. Uhlmann, Prof. Naumann, Dr. Besemfelder, Schäfer, Gwosdz, Trenkler usw.: Verschiedene Aufsätze in der Chemiker-Zeitg. 1915, S. 925, 1916, S. 285, 469, 701, 1917, S. 5, 93, 184, 393, 625, 737, 1918, S. 320, 1919, S. 281, 521, 604. — Prof. Dr. Fester: Die Vergasung der Kohle. Das Techn. Blatt. 1919, Nr. 6. Frankfurt a. M. — Dr. Bueb: Die derzeitige Lage und künftige Entwicklung auf dem Ammoniakmarkt. Journ. f. Gasbel. 1919, Nr. 46. — Ernst Wilhelm: Der Krieg und die Steinkohlenerzeugnisse.

und besonders auch auf die Ausführungen von de Grahl in seinem Buche „Die wirtschaftliche Verwertung der Brennstoffe“ S. 256—268.

Es wäre zusammenfassend nach diesem Verfasser zu wiederholen:

„Für die Beurteilung unserer künftigen Brennstoffwirtschaft kann meines Erachtens nicht die Frage ausschlaggebend sein, ob die teilweise oder völlige Überführung der Brennstoffe in Gas unter Gewinnung der Nebenerzeugnisse oder die unmittelbare Verbrennung der Brennstoffe eine zweckmäßigere Streckung unserer heimischen Kohlenvorräte bedingen, vielmehr müssen wir unsere Überlegungen nach der Lage der volkswirtschaftlichen und sozialen, der Betriebs- und Transportverhältnisse treffen. In dieser Beziehung versagt auch das vom Reichsschatzamt herausgegebene Gutachten trotz seiner hervorragenden Gedankenfülle lediglich deshalb, weil es von dem einseitigen Standpunkt ausgeht, daß die Verbrennung der Kohle gegenüber ihrer Vergasung billiger und deshalb zur Kohlenstreckung geeigneter sei als die Vergasung des Brennstoffes zwecks Gewinnung der Nebenerzeugnisse. Auch dieser Standpunkt kann in der gegebenen Form nicht allgemein vertreten werden, wie wir unten zeigen werden.“

Ausschlaggebend ist hinsichtlich der Ammoniakgewinnung der Umstand, daß auch die sonstigen Verfahren zur Herstellung von Stickstoffdünger aus inländischen Rohprodukten und unter Benutzung inländischer Hilfsmittel einen erheblichen Brennstoffverbrauch aufweisen. Es entfallen für die synthetischen Verfahren

- | | |
|--|------------|
| 1. für 1 t gebundenen Stickstoff beim Luftsalpeterverfahren | 45 t Kohle |
| 2. für 1 t gebundenen Stickstoff beim Kalkstickstoffverfahren | 15—18 t „ |
| 3. für 1 t gebundenen Stickstoff bei der Haberschen Ammoniaksynthese | 6—9 t „ |

Andere Autoren geben für diese Verfahren noch höhere Verbrauchsziffern an¹⁾. Man kann also einen Vergleich nur dann führen, wenn man, wie dies de Grahl tut, Kohlenäquivalente für Teer und Ammoniak einführt. Diese Ansicht hat sich auch im Laufe der Jahre allgemein durchgesetzt, indem die Ammonsulfatpreise in direkte Relation mit den Kohlenpreisen gesetzt wurden und die amtlichen Höchstpreise beider in gleichem Verhältnis steigen oder fallen. Allerdings sind die seinerseits gewählten Grundzahlen für Ammonsulfat sehr niedrig, worüber auch die synthetischen Hersteller klagen.

Wasser und Gas 1919, Nr. 18. — Prof. Dr. Caro: Brennstoff oder Rohstoff. Freie Wirtschaft 1919, S. 180. — Dr.-Ing. Dolch: Kohlenvergasung und rationelle Ausnutzung der Brennstoffe. Montanistische Rundschau 1919, Nr. 3ff. — Kreyssig: Generatoranlagen zur Vergasung von Braunkohlen unter Gewinnung von Nebenerzeugnissen. Braunkohle J. 17, S. 455.

¹⁾ Vgl. de Grahl: S. 260.

d) Wirtschaftlichkeit der Ammoniakgewinnung.

Jedenfalls läßt sich aber für das Mondverfahren ein Grenzwert der Wirtschaftlichkeit leicht ermitteln, welcher zeigt, daß der Stickstoffgehalt des Brennstoffes von entscheidender Bedeutung ist. Es dürfte dies nicht überraschend erscheinen, weil der erforderliche Brennstoffmehrverbrauch vom Heizwert des Brennstoffes bzw. der Gasausbeute oder dem Luftbedarf abhängig ist. Das Ausbringen an schwefelsaurem Ammonium hängt dagegen von dem Heizwert des Brennstoffes nicht ab, sondern lediglich von dem Stickstoffgehalt desselben.

Rechnet man den Brennstoffmehrverbrauch für durchschnittliche Fälle (bei Steinkohlen) mit etwa 22% ¹⁾ und führt die Stickstoffausbeute mit 60% ein, so kann man ein Verhältnis zwischen dem Brennstoffpreis B in Mk./t und dem Preis für das schwefelsaure Ammonium S in Mk. für 1 kg abzüglich der Kosten für Schwefelsäure in Abhängigkeit von dem prozentualen Stickstoffgehalt N_2 aufstellen; es lautet:

$$\frac{B}{S} = \frac{10N \cdot 0,6}{0,22 \cdot 0,206} = 132 N_2.$$

Wollte man nun einen Brennstoffpreis für je 1000000 Kal. einführen, so kann man hieraus auch ein Verhältnis zwischen dem Stickstoffgehalt und dem Heizwert einerseits, und dem Wärmewert der Kohlen und dem Preis des schwefelsauren Ammoniums andererseits aufstellen. An der vorstehenden Formel läßt sich in jedem einzelnen Falle die Wirtschaftlichkeit einer Stickstoffgewinnung nach dem Mondverfahren prüfen.

Für die gegenwärtigen Verhältnisse (Anfang Januar 1923) würde sich beispielsweise bei einer Steinkohle von $N_2 = 1,2\%$ und einem Werte von $S = 0,20 \cdot 1334,1 = 52,40$ (worin 1334,1 der Preis für 1 kg/% N_2 ist und 52,40 der Preis für 1 kg Schwefelsäure von 60° Bé ist) ein Grenzwert von $B = 33950$.— Mk. pro Tonne errechnen, der die Gewinnung des Ammoniaks lohnend erscheinen läßt. Da die durchschnittlichen Brennstoffpreise für die gleiche Zeitspanne zwischen 22700.— Mk für Förderkohle und 30800.— Mk. für Nußkohle schwankten, so wäre bei dem angegebenen Stickstoffgehalt das Mondverfahren als wirtschaftlich anzusprechen. Sinkt aber der Stickstoffgehalt unter die angegebenen Zahlen, was bei den deutschen Kohlen mehrfach vorkommt, so würde die Stickstoffgewinnung kaum mehr lohnend erscheinen, weil bei dem vorstehenden Ansatz die allerdings verhältnismäßig geringen Unkosten der Herstellung nicht berücksichtigt wurden.

¹⁾ Für Braunkohlen und Torf je nach dem abfallenden Heizwert steigend bis 28%, vgl. hierzu das Diagramm Abb. 141.

Es sei jedoch darauf verwiesen, daß die ausländischen Ammonsulfatpreise wesentlich höhere sind, obwohl man auch in anderen Ländern bestrebt ist, die Dampfbeimengung beim Mondverfahren¹⁾ zu vermindern, um die Wirtschaftlichkeit zu sichern.

4. Bestrebungen zur Ausnutzung des Brennstoffschwefels.

Da alle bisher im Großbetrieb ausgeführten Verfahren der Stickstoffgewinnung mit Schwefelsäure arbeiten, ist dieses Bestreben sehr naheliegend; daneben machen sich aber mehr und mehr die Forderungen geltend, auch die Schwefelverbindungen aus dem Gase in ähnlicher Weise wie bei den Gasanstalten zu entfernen. Mit Rücksicht auf die großen Gasmengen kommen die dort gebrauchten Verfahren der Schwefelwasserstoffentfernung nicht in Betracht; dagegen hatte man großes Interesse für die Verfahren, welche dahin zielten, zur Bindung des Ammoniaks den im Gase enthaltenen Schwefel zu benutzen.

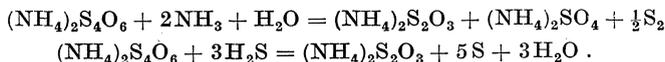
Der nächstliegende Gedanke war, den im Gas enthaltenen Schwefel zu verbrennen, das entstehende Schwefeldioxyd an das Ammoniak zu binden und das Ammoniumsulfid entweder als solches zu verwenden oder aber durch nachfolgende Oxydation in Ammoniumsulfat überzuführen. Diesen Gedanken hatte Burkheiser ausgeführt. Er ließ nämlich den Schwefel der Koksofengase durch Eisenoxydhydrat absorbieren und dann unter Zuleitung von Luft verbrennen. Das Schwefeldioxyd wurde in die Lauge eingeleitet, wobei sich Ammoniumbisulfid bildete, welches das im Gase vorhandene Ammoniak unter Bildung von Ammoniumsulfid aufnahm. Letzteres Salz fiel aus; es wurde von der Mutterlauge getrennt, die wieder zur Bindung des Schwefeldioxyds benutzt wurde. Leider hat aber das Ammoniumsulfid recht unangenehme Eigenschaften, und auch seine Überführung in Sulfat ist keineswegs leicht.

Daneben wies das Verfahren den Nachteil auf, daß häufig Explosionen auftraten und die Apparatur von den sauren Laugen stark angegriffen wurde. Burkheiser hat daher dasselbe mehrfach abgeändert, aber auch keines dieser modifizierten Verfahren hat sich in die Praxis eingeführt.

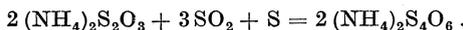
Bei weitem aussichtsreicher ist das Verfahren von Walther Feld, das sich auf die Beobachtung stützt, daß sowohl Ammoniak als auch Schwefelwasserstoff selbst bei höheren Temperaturen von Ammonium-

¹⁾ Rambush: Production of Dye-Producer Gas under Low-Temperature Condition. Glasgow: West of Scotland I. u. St. I. 1922.

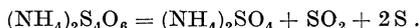
tetrathionat unter Bildung von Ammoniumsulfat, Ammoniumthiosulfat und Schwefel aufgenommen werden:



Durch Verbrennen des Schwefels wird Schwefeldioxyd erzeugt, durch das das Ammoniumthiosulfat wieder in Ammoniumtetrathionat übergeführt wird:



Durch abwechselnde Behandlung der Lauge mit den Kokereigasen und Schwefeldioxyd nimmt der Gehalt an Ammoniumsulfat so zu, daß die Lauge siedewürdig wird. Beim Kochen bildet sich unter Entweichen von Schwefeldioxyd Ammoniumsulfat und Schwefel:



Der Schwefel wird abfiltriert und die Sulfatlauge eingedampft.

Das ursprüngliche Verfahren von Feld wurde auf Grund der im Betrieb gemachten Erfahrungen abgeändert. Hierüber berichtet zusammenfassend Sander¹⁾. Die chemischen Umsetzungen sind meist dadurch etwas verschleiert, daß mehrere Reaktionen nebeneinander verlaufen. Jedenfalls ist es nach vielen Bemühungen gelungen, ein im Betrieb erprobtes und sicheres Verfahren auszubilden, das es erlaubt, die Ammoniakgewinnung bei der Kokerei ohne fremden Schwefel auszuführen. Es mag einzelne Kohlensorten geben, wo die Schwefelmenge des Brennstoffs nicht ganz ausreichen wird; in der Mehrzahl wird jedoch sogar noch ein Überschuß an Schwefel erzielt werden.

Andere Autoren, wie z. B. Dr. Harzer²⁾, beurteilen auch das Feldsche Verfahren nicht so aussichtsvoll, doch kann darüber nur die Erfahrung im Großbetrieb entscheiden.

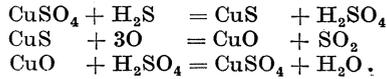
Vielfach ist Sodalösung als Auswaschflüssigkeit vorgeschlagen und neuerdings in der amerikanischen Kokereiindustrie auch verwendet worden. Da die Absorption unter CO₂-Entbindung vor sich geht, ist dies mit einer Verschlechterung des Gases verbunden. Außerdem sagt man der Regeneration der Sodalösungen Schwierigkeiten nach, da sich nebenbei Thiosulfat bilden soll. Ein ähnliches Verfahren ist das in der mitteldeutschen Schwelindustrie in geringem Umfang eingeführte Verfahren, wonach man zum Waschen des Gases die Phenolnatronlauge aus der Teerverarbeitung benutzt.

Andere Vorschläge zielen darauf hin, Kalkmilch zu benutzen (Poetter) oder flüssige schweflige Säure zur Absorption zu verwenden.

¹⁾ J. f. G. 1919, S. 65. Vgl. hierzu auch Bertelsmann: J. f. G. 1919, S. 3.

²⁾ Apparatebau 1922, Jg. 34, S. 216.

Besonders beachtlich erscheinen die Versuche, ammoniakalische Kupferhydroxydlösungen zu verwenden, andererseits wird Kupfersulfat für den Waschprozeß vorgeschlagen (D.R.P. 306988, von Muhlert), der dann nach den folgenden Formeln vor sich gehen würde:



Schließlich käme auch für Generatorgas das neue Bayer-Verfahren in Betracht, das den Schwefelwasserstoff mittels aktiver Kohle entfernen will.

Man kann demnach Abschließendes über alle diese Bestrebungen nicht sagen; wenn dieselben aber bei Koksofengas zu einem Erfolge führen, so ist die Übertragung auf Generatorgas nicht besonders schwierig, da in beiden Gasen fast alle Anteile in Form von H_2S enthalten sind, während die Spuren von SO_2 schon bei den vorgeschalteten Waschprozessen mit Sicherheit entfernt sein müssen. Man muß sich nur vor Augen halten, daß es sich bei der Vergasung stets um wesentlich größere Gasmengen handelt und infolgedessen die zu entfernenden Bestandteile in ganz wesentlich größerer Verdünnung vorhanden sind; unter Umständen ist der Ballast an Stickstoff und Kohlensäure besonders zu berücksichtigen. Auch dem bei feuchten Brennstoffen hohen Gehalt an Wasserdampf ist Rechnung zu tragen. Andererseits enthalten gerade die minderwertigen Brennstoffe, die für eine Vergasung besonders in Betracht kommen, meist viel Schwefel, was für die Wirtschaftlichkeit von Vorteil wäre und solche Verfahren begünstigen könnte. Da man heute aber durch die Entwicklung der Teergewinnung immer mehr zu einer weitgehenden Reinigung des Gases übergeht, so erheischt das Problem der Schwefelreinigung unbedingt Beachtung.

VII. Betriebsführung.

1. Feststellungen im Betriebe.

Die Betriebsführung muß meist mit den vorhandenen Einrichtungen rechnen. In den vorausgegangenen Abschnitten wurden eingehend die Gesichtspunkte dargelegt, welche für die Kritik und Auswahl der Verfahren, der dazugehörigen Einrichtungen und der Disposition der Gesamtanlagen notwendig sind; diese Beurteilung kann sich aber nur auf Erfahrung stützen, und daher wird wohl niemand eine Anlage bauen ohne Hinzuziehung eines Sachverständigen und Ausnutzung seiner im Betrieb gewonnenen Kenntnisse. Es sind aber nun die Bedingungen

für die Führung eines Betriebes nicht nur sehr verschieden je nach den Brennstoffen, der Aufgabe und den Einrichtungen, sondern auch von der Zweckbestimmung des Gases selbst in erster Linie abhängig, denn die Gasereien sind stets nur als Hilfseinrichtungen zu betrachten, und zwar entweder für Heizzwecke, Kraftzwecke oder für chemische Verfahren. Die Anpassung an den Betrieb der sonach in Frage kommenden Gesamtanlagen ist in erster Linie ausschlaggebend; darüber kann aber schwer ein allgemeiner Hinweis gegeben werden. In der Regel kommt es ja bei der Gaserei für Heizzwecke auf die Flammentemperatur an, welche Frage bereits früher (vgl. S. 274) eingehend behandelt wurde. Im Zusammenhang damit steht die Aufgabe, entweder möglichst viel fühlbare Wärme im Gas mitzubringen oder umgekehrt ein möglichst reines Gas herzustellen; ersteres ist im Grunde keine andere Forderung als die nach hoher Flammentemperatur, und tritt diese Frage zurück, wenn man bei den Gesamtanlagen von vornherein auf die maßgeblichen Umstände Bedacht nimmt. Die Forderung nach einem möglichst reinen Gas ist weniger durch die Beschaffenheit der Heizanlage bedingt, weil nur in seltenen Fällen eine Verunreinigung durch das Gas eintreten kann. Die meisten Verunreinigungen sind ja selbst brennbar und werden sich daher kaum bemerkbar machen, falls nicht chemische Einflüsse selbst bei geringeren Mengen in Frage kommen; die Verunreinigungen (Teer, Wasser und Staub) sind aber lästig im Betrieb, weil sie die Regelung der Heizanlagen sehr erschweren, oftmalige Reinigung erfordern und besonders die Abscheidung des Teeres eine überaus unangenehme Verschmutzung der Betriebe mit sich bringt. Es ist leider oft wahr, daß die Gaserzeuger irgendwo in einer Ecke ein verborgenes Dasein führen und viel zu wenig beachtet werden. In den letzten Jahren mit der Zunahme der Erkenntnis von der Wichtigkeit einer sachgemäßen Wärmewirtschaft ist vieles besser geworden, aber es gibt immer noch sehr viele Anlagen, die aus älterer Zeit stammen, unrichtig angelegt sind und sich daher kaum zu einem befriedigenden Betrieb ausgestalten lassen. In dieser Hinsicht erscheinen die Kraftgasanlagen meist günstiger, einerseits weil stets eine Reinigung vorhanden ist und andererseits weil die Gasmaschinen sowohl für schlechtes Gas als auch für unreines Gas sehr empfindlich sind und daher die Wartung aus dem Gang der Maschinen sofort Rückschlüsse auf den Betrieb der Gaserzeuger durchführen kann; denn die Krafterzeugung ist meist die Seele des ganzen Betriebes und erfährt daher eine erhöhte Aufmerksamkeit, es sei denn, daß die Anlage eben seit vielen Jahren recht und schlecht läuft und man sich damit gewohntermaßen zufrieden gibt.

Auch wärmewirtschaftlich ist eine Kraftanlage meist einfacher zu beurteilen, weil die Krafterzeugung und der Brennstoffverbrauch unmittelbar eine rechnungsmäßige Kontrolle des Vergasungsbetriebes

ermöglichen und somit ersehen lassen, wo einzugreifen ist. Dem ist nicht immer so bei Heizgasanlagen, weil die Flammentemperatur nicht nur vom Ofen selbst, sondern auch von zahlreichen besonderen Einflüssen neben dem Gas abhängig ist, so daß es nicht allein darauf ankommt, gutes Gas und viel Gas aus dem gleichen Brennstoff zu erzeugen. Es kann manchmal möglich sein, daß eine Gesamtanlage mit schlechtem Wirkungsgrad, z. B. bei heißem Gas, aber schlecht ausgebrannter Asche, besser läuft als eine andere, deren Vergasungsanlage, allein betrachtet, anstandslos läuft, und demnach einen höheren Brennstoffverbrauch nicht geben dürfte. Noch schwieriger liegen die Verhältnisse meist bei chemischer Verwendung des Gases, da in diesen Fällen die Frage nach dem Wirkungsgrad als auch diejenige nach Güte des Gases u. dgl. vor einer besonderen Aufgabe zurücktritt, die allein ausschlaggebend ist.

Die Betriebsführung ist demnach nicht so leicht, wie sie sich dem Fernerstehenden oft darstellen wird, und die Fülle von Gesichtspunkten, die im zweiten und dritten Abschnitt dargelegt wurden, können davon eine Vorstellung geben. Wenn man dagegen oft sehen muß, wie man sich mit einer Sonderfrage oder Aufgabe herumschlägt, die manchmal nicht zu lösen ist, oder nur auf einem anderen, etwas abseits liegenden Weg, so kann man hinzufügen, daß man sich manchmal die Betriebsführung noch schwerer gestaltet, als sie ist. Die Ursache ist in diesem Falle die Beschränkung auf Sonderfragen; man sollte an keine solche herangehen, bevor nicht die Hauptgesichtspunkte geklärt sind. Und dies ist erst dann der Fall, wenn man in der Lage ist, eine abschließende und befriedigende Stoff- und Wärmebilanz aufzustellen und durch die Beobachtung im Betriebe weiß, in welcher Richtung und in welchem Ausmaß sich dieselbe durch die in Frage kommenden Maßnahmen verschiebt. Erst dann wird es in der Regel ein leichtes sein, die Grenzen festzustellen, bis zu denen eine Änderung im gegebenen Rahmen des Ganzen möglich ist; man wird im weiteren Verlauf zu einer richtigen Zielsetzung gelangen und schließlich unter Beachtung der chemischen und mechanischen Bedingungen auch die entsprechenden Sonderwege ermitteln und gangbar machen.

Da es sich nach vorstehendem um eine Stoff- und Wärmebilanz handelt, werden naturgemäß die chemischen Untersuchungen einen breiten Raum einnehmen müssen; denn ohne Stoffbilanz ist eine Wärmebilanz unmöglich. Dadurch ist es bedingt, daß auch die einfachste Betriebsüberwachung chemische Feststellungen nicht entbehren kann und daß die mit der Überwachung vertrauten Organe meist eine solche selbst ausführen. Die chemischen Untersuchungen sollen im folgenden Abschnitt zusammenfassend besprochen werden, und sollen hier vorerst diejenigen Messungen behandelt werden, die an Ort und Stelle durchzuführen sind.

Um zu finden, welche Gesichtspunkte wichtig und welche Feststellungen notwendig sein werden, sei der Vorgang der Auflösung des Brennstoffes bei der Vergasung kurz wiederholt. Mit der fortschreitenden Erwärmung wird zuerst die Feuchtigkeit ausgetrieben, dann der Brennstoff destilliert, der Rückstand setzt sich in den tieferen Zonen in Gase um, die teils brennbar, teils nicht brennbar sind und hinterläßt als unbrauchbaren Rest Asche, die noch geringe Mengen des Brennstoffes zurückhält. Zwecks Verhinderung einer Schlackenbildung wird der für den Vergasungsvorgang notwendigen Luft meist Dampf zugemischt, der aber nicht vollständig zersetzt wird, sondern teilweise in das Gas übergeht. Je nach dem Dampfzusatz und dem Feuchtigkeitsgehalt des Brennstoffes, außerdem je nach dem Verfahren, wechselt die Temperatur des abziehenden Gases, das nebenbei aber Staub aus dem Brennstoffbett, Teer als Produkt der Destillation und Feuchtigkeit mit sich führt. Wesentlich sind für die Beurteilung die Verlustmöglichkeiten; außer den bereits erwähnten, im Staub des Gases und im Brennaren der Asche, sind es Verluste an Gas (beim Stochen, beim Füllen u. dgl.), an zugeführtem Dampf (durch Kondensation), an zugeführter Luft (durch Undichtigkeiten) und vor allem an Wärme (durch Strahlung und Leitung) bzw. solche durch Kühlung des Gaserzeugers selbst oder der entstandenen Gase. In letzterer Hinsicht kommt ganz besonders der Feuchtigkeitsgehalt des Gases in Frage, weil der als Dampf im Gas enthaltene Wassergehalt zwar wärmetechnisch keinen Verlust darstellt, aber für den Verwendungszweck stets ein Verlust ist, da es bei der Vergasung nicht auf die Erzeugung von Dampf, sondern auf die Erzeugung brennbarer Gase ankommt.

Festzustellen wären demnach:

- Brennstoffmenge, Brennstoffzusammensetzung;
- Gasmenge, Gaszusammensetzung, Gastemperatur, Gasdruck;
- Aschenmenge, Aschenzusammensetzung;
- Zusatzdampfmenge, evtl. erzeugte Dampfmenge bzw. ohne besonderen Aufwand in Reaktion tretende Dampfmenge, Dampfdruck, Verluste an Dampf als Kondensat;
- Windmenge, Winddruck;
- Staub-, Teer- und Feuchtigkeitsgehalt im Gase bzw. Zusammensetzung von Staub und Teer.

Kaum oder nicht feststellbar sind:

- Verluste an Gas;
- Verluste durch Strahlung und Leitung.

Diese letzteren stellen in der Wärmebilanz das sogenannte Restglied dar. Man wird aber von vornherein versuchen, sich über dasselbe ein Bild zu machen, da die Höhe desselben nicht nur Rückschlüsse

erlaubt, sondern auch eine Kontrolle der Wärmebilanz ermöglicht. Die Verluste an Gas sind meist unerheblich, auch können sie leicht vermieden bzw. eingeschränkt werden. Sie entstehen in erster Linie beim Stochen und beim Füllen. Der Menge nach erscheinen sie groß, wenn man aber bedenkt, daß 1 kg Kohle mehr als 3 cbm Gas gibt, so wird man sie leicht auf eine richtige Vorstellung zurückbringen; wesentlicher ist die Belästigung der Bedienungsmannschaft und manchmal sogar der Umgebung durch die Gasaustritte, um so mehr als die im Gas enthaltenen Teernebel einen sehr unangenehmen, sich besonders in Kleider u. dgl. einsetzenden Geruch besitzen und vor allen Dingen wegen der Giftigkeit des wesentlichsten Gasbestandteiles, des CO. Diese führt oft schon beim Stochen zu längerer Arbeitsunfähigkeit der Bedienung, und ist dies der Grund, weshalb man meist offene Hallen mit Flugdächern bevorzugt; durch richtige Instandhaltung der Einrichtungen und Auswahl entsprechender Bauarten läßt sich der Übelstand meist auf ein erträgliches Maß zurückführen. Am besten sind dort, wo viel Stocharbeit nicht entbehrt werden kann, Dampfstochochverschlüsse (vgl. S. 235); bei den Fülltrichtern behilft man sich durch Anzünden des Gases beim Öffnen des oberen Deckels oder auch durch Dampfbrausen od. dgl. (vgl. S. 235).

Die gesamten Verluste an Gas übersteigen wohl selten 0,5%, wobei aber eine untere Grenze nicht angegeben werden kann. Die Verluste durch Strahlung des Gaserzeugers werden von der Oberfläche und von der Belastung abhängen. Die Temperaturen in der Umsetzungszone sind meist ziemlich gleich hoch, doch wird die Höhe der Zone je nach der Belastung schwanken. Stets aber ist die so in Frage kommende Fläche verhältnismäßig klein zu derjenigen des Gasraumes, abgesehen davon, daß man dort wegen der niedrigeren Temperaturen meist nicht so großen Wert auf Wärmeschutz legt. Die Gastemperatur ist also mehr oder weniger für diese Verlustquelle entscheidend. Sie wird aber selten 5% übersteigen und kann nur in ungünstigen Fällen 7—8% erreichen. Wird sie größer, so ist ein ordnungsgemäßer Betrieb meist nicht möglich; denn dies könnte beispielsweise nur dann eintreten, wenn der Gaserzeuger ohne Deckengewölbe ausgemauert ist, und dann wird Deckplatte, Fülltrichter u. dgl. so heiß, daß ein geregelter Betrieb erschwert ist, bzw. es werden so häufige Störungen auftreten, daß man schon mit Rücksicht auf Instandhaltungskosten eine Änderung herbeiführt. Die untere Grenze dürfte etwa bei 2% liegen; geringere Verluste sind kaum in fortlaufendem Betrieb bei normaler Belastung zu erreichen, wenn man nicht die Strahlungswärme anderen Zwecken nutzbar macht (wie z. B. bei den Dampfkesselgasern, bei Kühlmänteln u. dgl.).

Von den früher genannten Feststellungen erscheint die Frage nach dem Windverbrauch bzw. dem Winddruck unwesentlich. Denn die Wind-

beschaffung erfordert verhältnismäßig wenig Kraft, und die Luft selbst ist vor ihrem Eintritt in den Gaserzeuger kein Wertstoff. Verluste bei der Windbeschaffung kommen daher nur dann in Betracht, wenn man den Dampf der Luft bereits früher oder auf anderem Wege beigemischt hat, denn in diesem Falle sind die Windverluste zugleich Dampfverluste. Die Windmengenmessung wird man aber aus dem Grunde nicht außer Betracht lassen, weil bei der Einfachheit der Messung auf diesem Wege ein einwandfreies und brauchbares Mittel gegeben ist, um die Gas- und Dampfsmengenmessung zu kontrollieren. Bestimmt man nämlich die Temperatur des Windes unter dem Rost, also nach Sättigung mit Feuchtigkeit, so wird man aus dieser dem Taupunkt ziemlich genau entsprechenden Temperatur zusammen mit der Mengensmessung der Luft auch die zugeführte Dampfmenge ermitteln können. Andererseits läßt der N_2 -Gehalt des Gases in Verbindung mit der Mengensmessung der Luft eine Bestimmung der Gasausbeute auf rechnerischem Wege zu.

Die Druckmessungen von Gas und Wind sind für die Wärme- und Stoffbilanz nicht notwendig. Diese Messungen zeigen aber den Zustand des Brennstoffbettes bzw. erlauben bei fortlaufender Aufzeichnung Rückschlüsse, ob sich die Verhältnisse in demselben ändern; man kann also zusammen mit anderen Ermittlungen unerwünschte Erscheinungen, wie beispielsweise Verschlackungen, Hohlräume oder Löcher in der Beschickung, rechtzeitig entdecken und für deren Abhilfe sorgen. Messungen an Ort und Stelle sind demgemäß

Windtemperatur unter dem Rost,
 Gastemperatur am Austrittstutzen,
 Winddruck in der Hauptleitung,
 Winddruck unter dem Rost,
 Gasdruck am Austrittstutzen,
 Dampfspannung hinter dem Reglerventil,
 Füllhöhe im Gaserzeuger (Abstand von der Deckplatte),
 Feuer- und Aschenhöhe im Gaserzeuger.

Vorstehende Abmessungen werden am besten stündlich oder zwei-stündlich durchgeführt und an einer Tafel auf der Bühne an dem Gaserzeuger eingetragen. Die Kontrollorgane sehen daher stets und sofort, ob die Bedienung nicht nachlässig ist. Gelegentliche Nachkontrollen sind zu empfehlen. Auf der gleichen Stelle werden die Füllungen vermerkt, und wenn erforderlich:

Kühlwasser-Zu- und Ablauftemperatur,
 Dampfspannung des erzeugten Dampfes,
 Erzeugte Dampfmenge,
 Kühlwassermenge.

verursachen meist zu niedrige Ablesungen, weshalb man sie nur bei dauernd eingebauten Thermometern benutzt, nicht aber in solchen Fällen, wo genaue Temperaturen maßgeblich sind bzw. bei Versuchen.

Für bequeme Ablesung an unzugänglichen Stellen eignet sich eine Abart, das Quecksilberdruckthermometer (Schäffer & Buddenberg, Magdeburg), welches ein Eintauchrohr und anschließende stählerne, mit Quecksilber gefüllte Kapillaren von beliebiger Länge hat, wodurch die Ausdehnung auf ein Zeigerwerk übertragen wird; der Einfluß der Raumtemperatur kann durch ein zweites Kapillarrohr aufgehoben werden. Der Meßbereich ist bis 350°C , die Apparate werden mit Zeigerdosen (ähnlich wie bei den Manometern) oder mit registrierendem Schreibwerk ausgerüstet und eignen sich daher sehr gut für Messungen der Lufttemperatur unter dem Rost, weil diese Meßstellen meist schwer zugänglich sind. Für Temperaturmessungen im Gas wird man Thermometer bei dauerndem Gebrauch kaum wählen, weil die Temperaturen manchmal sehr ansteigen, und die Apparate Schaden nehmen können, selbst wenn die Normaltemperatur erheblich niedriger ist. Nur für zeitweise Messungen kommen daher stickstoffgefüllte Thermometer in Frage, sofern der Temperaturbereich dies zuläßt.

Zur Messung höherer Temperaturen benutzt man Pyrometer. Außer den älteren Graphitpyrometern, welche die verschiedene Längenausdehnung von Eisen (Tauchrohr) und Graphit (an einem Ende festverbundener Einsatz) zur Messung gebrauchen (also ähnlich den Thermometern), kommen noch in Frage: Widerstandspyrometer, thermoelektrische und optische Pyrometer. Die Graphitpyrometer besitzen eine ziemliche Trägheit der Einstellung, weshalb man sie meist nur für dauernden Einbau benutzt. Sie ermüden leicht und bedürfen öfterer Nachkontrolle. Sie sind daher nur für rohe Messungen anwendbar, die der Bedienungsmannschaft einen Anhalt geben sollen, wie z. B. an Gasleitungen, an Öfen u. dgl. Sie zeigen bis 1000° , und wird die meßbare Differenz der Längenausdehnung auf eine Gradskala (ähnlich wie bei den Manometern) übertragen. Vor groben Stößen sind sie wegen der Brüchigkeit des Graphits zu bewahren.

Die Widerstandspyrometer, welche auf der Änderung der elektrischen Leitfähigkeit von eingeschmolzenen Platinspiralen unter dem Einfluß der Temperatur beruhen und das Prinzip der Wheatstoneschen Brücke zur Messung benutzen, sind bis 800° — 900° anwendbar, werden aber bei Gaserzeugern und Öfen selten angewendet, wegen der Empfindlichkeit, Abhängigkeit und Umständlichkeit der Handhabung, weil man stets eine genau gemessene Stromquelle zur Verfügung haben muß.

Sehr verbreitet sind für genaue Messungen die thermoelektrischen Pyrometer. Sie beruhen auf der Messung der elektrischen Spannung,

welche in zwei verschiedenen Metalldrähten entsteht, wenn das eine durch Schweißung gegenseitig verbundene Ende einer höheren Temperatur als die freien Enden ausgesetzt wird. Man verwendet meist folgende Kombinationen:

Kupfer-Konstantan (Nickel-Kupfer-Legierung) . . . bis	500°
Eisen-Konstantan „	700°
Nickel-Chromnickel „	1100°
Platin-Platinrhodium : „	1600°

Letztere Zusammenstellung ist auch unter dem Namen Le Chatelier-Pyrometer bekannt. Die Elemente müssen vor chemischer und mechanischer Zerstörung bewahrt werden, weshalb man gasdichte Schutzrohre benutzt (besonders gegen kohlenstoffhaltige Gase sind die meisten Metalle empfindlich). Die freien Enden werden an einen Spannungsmesser (Galvanometer) geschaltet, der neben der Spannungsskala eine Temperaturskala für direkte Ablesung hat. Die thermoelektrischen Pyrometer sind sehr schnell anzeigend und genau; vielfach nimmt man sie auch zu dauernder Temperaturüberwachung (wie z. B. bei Öfen und Gaserzeugern), wobei man mehrere Elemente mit einem Spannungsmesser zusammenschalten kann und denselben mit Schreibapparatur ausrüstet, so daß abwechselnd 4—5 Meßstellen hintereinander aufgezeichnet werden. Man wählt dann Mehrfarbenschreiber oder Typenschreiber, um dieselben auseinander zu kennen. Bekannte und bewährte Ausführungen liefern: Siemens & Halske, Kaiser & Schmidt, Berlin, Braun & Co., Berlin, Hartmann & Braun, Frankfurt a. M.

Die optischen Pyrometer haben für Gaserzeuger wenig Bedeutung, weil Temperaturen über 1000° kaum in Frage kommen oder nur unter solchen Verhältnissen, wo man meist auf thermoelektrische Pyrometer angewiesen ist. Die optischen Instrumente eignen sich aber für den Ofenbetrieb bzw. die zu beheizenden Feuerungsstellen. Am verbreitetsten ist das Wanner-Pyrometer (Dr. Hase-Hannover); das durch den glühenden bzw. zu messenden Körper erleuchtete halbe Gesichtsfeld wird mit einem anderen Gesichtsfeld auf gleiche Helligkeit gebracht, welches letzteres durch eine kleine Glühlampe im Innern des Rohres erleuchtet ist. Durch Drehung eines Prismas wird die Helligkeit der ersten Hälfte verändert und die notwendige Verdrehung an einer Skala abgelesen, welche die Temperaturen anzeigt. Ähnlich ist das Pyrometer von Holborn und Kurlbaum (Siemens & Halske), wo sich der Faden der Glühlampe von der glühenden Fläche abhebt und so lange die Helligkeit der Glühlampe durch Einschalten oder Ausschalten eines Widerstandes verändert wird, bis sich der Draht nicht mehr abhebt; man liest die Temperatur dann an der Skala des Strommessers ab. Eine neuere Bauart ist die der Strahlungspyrometer (von Siemens & Halske,

oder nach Hirschson, Ausführung Braun & Co., Berlin). Die Strahlung des zu messenden Körpers wirkt durch eine Linsenkombination auf Widerstände bzw. auf die Lötstelle eines Thermoelementes ein, und wird die Messung mittels Wheatstonescher Brücke oder Galvanometer in ähnlicher Weise wie bei den Widerstandspyrometern bzw. bei den thermoelektrischen Pyrometern durchgeführt.

Taupunktsbestimmung. Es wurde bereits oben auf die Temperatur der Windmessung verwiesen, die als Hilfsmittel zur Mengenbestimmung des Dampfes dienen soll. Es ist dies selbstverständlich nur dann möglich, wenn der Wind vollständig gesättigt ist und der Taupunkt mit der Eigentemperatur zusammenfällt. Man findet in weiten Kreisen eine Ablehnung gegen die Taupunktsbestimmung und verzichtet meist auf eine genügende Kontrolle des Dampfzusatzes. Es ist dies sehr bedauerlich, da man bei einer gleichmäßigen und sachgemäßen Dampfbeimengung sehr weitgehende Ersparnisse in der Dampfmenge erzielen kann. Es sind mir aus meiner Praxis zahlreiche Werke bekannt, die mit der Einführung dieser Methode große Erfolge erzielten, denn die Beurteilung der Zusatzdampfmenge durch Ablesung der Dampfspannung hinter dem Reduzierventil, die früher gebräuchlich war, oder auch die Kontrolle der Ventilstellung selbst ist ungenügend. Die Bedienung neigt in den meisten Fällen dazu, mit hohem Dampfzusatz zu arbeiten, weil dies zur Verhinderung der Schlackenbildung günstig ist; man ersieht aber aus Abb. 138, daß die Zersetzung des Wasserdampfes bei größeren Mengen eine sehr ungenügende ist, was sich um so mehr bemerkbar macht, wenn die Schütthöhen gering sind; unzersetzt hindurchgehender Dampf ist eine Verschwendung. Zudem läßt ein mehrfaches Ändern des Dampfzusatzes meist keine richtigen Schlüsse auf die Arbeitsweise selbst zu, und es wäre gerade in dieser Richtung eine registrierende Kontrolle empfehlenswert.

Es ist bereits früher gesagt worden (vgl. auf S. 238), daß die getrennte Zuführung des Wasserdampfes bis unter den Rost keine Vorteile mit sich bringt. Der einzige Nachteil der früheren Beimischung von Wasserdampf, die größere Kondensation, ist kein stichhaltiger Einwand, da auch etwa kondensierter Dampf als Nebel mitgeführt werden kann. Hat man kein überhitztes Luft-Dampf-Gemisch, so wird man naturgemäß die Beimischung des Dampfes erst knapp vor Eintritt des Windstromes in den Rostraum hindurchführen, weil sonst in den außen liegenden Leitungen zu große Abkühlungen entstehen; im Windraum selbst, der eine fast gleichbleibende Temperatur hat, sind die Kondensationen auch ohne Verwendung von überhitztem Dampf unter normalen Bedingungen so geringfügig, daß sie keine entscheidende Rolle spielen. Daß die mitgerissenen Nebelmengen bedeutend sein können, besonders bei niedrigen Lufttemperaturen, also im Winter, zeigen Berechnungen von Radtke-

Essen¹⁾. Die dort gegebenen Ziffern sind zwar meines Erachtens zu hoch, weil man den Wärmehalt des zugesetzten Dampfes nach der Drosselung nicht mit 100° trocken gesättigt einführen kann und auch die äußere Verdampfungswärme nicht entsprechend den Dampftabellen berücksichtigen darf, weil andere Drücke herrschen. Wenn man daher als Grenzfall einen Gehalt von 80 g H₂O/cbm Luft rechnet (meist wird man 100 g kaum unterschreiten), so ist die Mischungstemperatur (Taupunkt) 44°; führt man die Sättigung der Außenluft mit $\varrho = 0,5$ und den Wärmehalt des Zusatzdampfes für 6 Atm. ein, so ergibt sich, daß eine Kondensation oder Nebelbildung nicht eintritt, wenn die Anfangslufttemperatur 25° beträgt; ist dagegen die Lufttemperatur 10°, so ist die Nebelbildung maximal 9%. Bei 120 g Dampfgehalt und sonst gleichen Bedingungen ist sie nur mehr 5,5%, während die niedrigste Lufttemperatur 23° sein muß, wenn keine Nebelbildung eintreten soll. Der für 6 Atm. eingeführte Wärmehalt ist ein sehr niedriger, da man meist von höherer Spannung aus abdrosselt. Auch Abdampf von 2 Atm. hat nach den Entropietafeln einen mindestens gleich hohen Inhalt, wenn er vor der Arbeitsleistung überhitzt wurde. Die Dampfmengenbestimmung mittels Temperaturmessung ist also in durchschnittlichen Fällen vollkommen ausreichend, um so mehr als bei größerer Nebelbildung auch eine Niederschlagung des Wassers im Rostraum eintritt. Der mögliche Fehler übersteigt daher kaum 3—4%. Bei der Verwendung von überhitztem Dampf dagegen wird die Mischungstemperatur bisweilen über dem Taupunkt liegen, aber auch dieser Fehler dürfte in durchschnittlichen Fällen nur gering sein.

Man kann diese Fehler aber ausschalten, wenn man die tatsächliche Taupunkttemperatur mittels Psychrometer bestimmt. In Frage kommt hier nur die Augustinsche Methode mit Doppelthermometer; die gewöhnlich gebräuchliche Anordnung erlaubt aber nur umständliche und zeitraubende Feststellungen. Sehr brauchbar erscheint der von Wa. Ostwald²⁾ entworfene Apparat, der von der Firma P. Klees-Düsseldorf gebaut wird.

Die Feuchtigkeitszahlen sind der Temperatur entsprechend aus Zahlentafel 65 zu entnehmen, wobei in der letzten Zahlenreihe der Wasserdampf angegeben ist, der in 1 cbm ursprünglicher Luft (bzw. von 0°) enthalten ist, um derart Werte zu schaffen, welche eine leichte Rechnungsdurchführung ermöglichen. In Zahlenreihe 2 sind die üblichen und bekannten Feuchtigkeitszahlen der trockenen Luft angegeben; in Zahlenreihe 3 das tatsächliche Volumen, das aus 1 cbm Luft von 0° entsteht, wenn es bei der angegebenen Temperatur mit Feuchtigkeit gesättigt wird; man kann aus dieser Tabelle auch das Teilvolumen von

¹⁾ St. u. E. 1919, S. 1080.

²⁾ Chemiker-Zeit. 1922, S. 92.

Luft und Dampf bestimmen, wenn man beachtet, daß das Teilvolumen der trockenen Luft bei erhöhter Temperatur ein um den Faktor $(1 + \alpha t)$ größeres ist. Somit gilt, wenn s die Tension des Wasserdampfes bei der Temperatur t ist, für das Dampfvolumen der Ansatz

$$\frac{760 - s}{760} : \frac{s}{760} = (1 + \alpha t) : V_d,$$

und aus 1 cbm ursprünglicher Luft ist ein Volumen von $(1 + \alpha t) + V_d$ entstanden, daher

$$V = (1 + \alpha t) + \frac{(1 + \alpha t) \cdot s \cdot 760}{760 \cdot (760 - s)} = (1 + \alpha t) \cdot \frac{760}{760 - s} = \frac{1 + \alpha t}{V_l},$$

worin V_l das prozentuale Teilvolumen der Luft ist. Man kann also aus V (in Zahlenreihe 3) und dem zugehörigen Wert von $1 + \alpha t$ die Teilvolumen von Luft und Dampf ohne Schwierigkeit errechnen.

Zahlentafel 65. Feuchtigkeitsgehalt gesättigter Luft (Gas).

Sättigungs- temperatur t °C	Feuchtig- keitsgehalt von 1 cbm trockner Luft bei t° g	Durch Sättigung aus 1 cbm Luft von 0° entstandenes Volumen cbm	Feuchtig- keitsgehalt von 1 cbm Luft von 0° bei Sätti- gung bei t° g	Sättigungs- temperatur t °C	Feuchtig- keitsgehalt von 1 cbm trockner Luft bei t° g	Durch Sättigung aus 1 cbm Luft von 0° entstandenes Volumen cbm	Feuchtig- keitsgehalt von 1 cbm Luft von 0° bei Sätti- gung bei t° g
0	4,89	1,006	4,92	59	124,1	1,496	185,7
5	6,83	1,027	7,02	60	129,6	1,517	196,7
10	9,39	1,049	9,86	61	135,4	1,539	208,9
15	12,82	1,073	13,35	62	141,3	1,563	220,9
20	17,22	1,098	18,92	63	147,5	1,588	234,2
25	22,93	1,127	25,84	64	153,9	1,614	248,4
30	30,21	1,158	34,99	65	160,5	1,642	263,6
32	33,64	1,172	39,12	66	167,3	1,672	279,8
34	37,46	1,187	44,57	67	174,4	1,704	297,2
36	41,51	1,202	49,89	68	181,8	1,738	315,8
38	46,00	1,219	56,05	69	189,4	1,774	335,9
40	50,91	1,236	62,91	70	197,2	1,813	357,4
41	53,52	1,245	66,64	71	205,3	1,855	380,6
42	56,25	1,255	70,57	72	213,7	1,900	408,7
43	59,09	1,265	74,73	73	222,4	1,948	432,9
44	62,05	1,275	79,12	74	231,3	2,000	462,3
45	65,14	1,286	83,76	75	240,6	2,055	494,4
46	68,36	1,297	88,66	76	250,1	2,116	529,3
47	71,73	1,309	93,85	77	260,0	2,182	567,6
48	75,33	1,321	99,32	78	270,2	2,255	609,5
49	78,86	1,333	105,1	79	280,7	2,336	656,5
50	82,63	1,346	111,2	80	291,6	2,425	706,8
51	86,64	1,360	117,7	81	302,8	2,523	763,4
52	90,66	1,374	124,6	82	314,3	2,632	827,0
53	94,92	1,389	131,9	83	326,2	2,754	898,2
54	99,34	1,405	139,6	84	338,4	2,891	978,6
55	103,9	1,422	147,7	85	351,0	3,049	1070
56	108,7	1,439	156,4	86	364,0	3,227	1175
57	113,6	1,457	165,5	88	391,2	3,678	1439
58	118,8	1,476	175,8	90	420,0	4,342	1810

Besondere Wichtigkeit hat die Taupunktbestimmung auch bei dem erzeugten Gas, weil man damit eine Kontrolle der Wasserdampfbilanz erreicht. Dieselbe ist zwar wesentlich schwieriger, als bei Luft, weil die unreine Beschaffenheit des Gases die Bestimmung erschwert. Auch fällt die Eigentemperatur mit dem Taupunkt nur selten zusammen und kann daher die Bestimmung nur psychrometrisch erfolgen. In der Literatur sind verschiedene Apparate beschrieben, so wie sie auf einzelnen Werken entwickelt wurden¹⁾. Auch für diese Bestimmung erscheint der bereits erwähnte Ostwaldsche Apparat empfehlenswert. Durch einfache Temperaturmessung könnte man nur bei vollständig gesättigtem Gas zum Ziel gelangen. Im Verlaufe der Kühlung ist dies meist der Fall, bzw. die Temperatur ist oft sogar noch niedriger und der überschüssige, unterkühlte Wasserdampf befindet sich als Nebel im Gas. (Daher auch die Wichtigkeit von Stoßscheidern.) Man hat aber keinerlei Gewähr, ob die Sättigung eine tatsächliche ist und wesentlich erscheint besonders die Feuchtigkeitsbestimmung im Gas beim Austritt aus dem Gaserzeuger. Liegt nun die Eigentemperatur des Gases genügend hoch über dem Taupunkt, so gelingt es durch einen Kunstgriff den Taupunkt für betriebliche Kontrolle genügend genau festzustellen mit einer Methode, die der Verfasser in England und Amerika mehrfach angewendet sah²⁾, und die darin besteht, den Verlauf der Temperaturmessung zu verfolgen und die Temperatur festzuhalten, bei der der anfänglich eintretende Beschlag auf dem Thermometer verschwindet. Die Erwärmung muß daher langsam vor sich gehen, und benutzt man zu diesem Zweck ein auf das Stochloch mit einer angeschweißten Platte aufgesetztes Rohr von 35–50 mm Ø, das oben auf etwa 70 mm erweitert ist. Das Rohr wird von einer solchen Länge gewählt, daß es etwa 1 m über die Decke reicht, so daß das schräg eingehaltene Thermometer (vgl. Abb. 144) in eine gute Beobachtungslage kommt, und andererseits das Gas an der Meßstelle nicht mehr zu heiß ist. Die Kugel des Thermometers beschlägt sich sofort nach Einbringen desselben und verschwindet dieser Beschlag, sobald die Taupunktstemperatur erreicht ist. Ablesefehler von 2°–3° sind natürlich nicht zu vermeiden, doch kann man durch diese Bestimmung oft Mängel an Generatoren aufdecken, wie z. B. bei kaltgehenden Gaserzeugern Löcher in der Beschickung, durch welche mit der Luft unzersetzter Dampf hindurchgeht, Defekte an gekühlten Teilen im Gaserzeuger (Kühlmantel, Kühlringe u. dgl.) oder zu niedrige Tem-

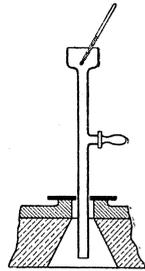


Abb. 144. Messung der Taupunkttemperatur von Gas.

¹⁾ Vgl. Johannsen: St. u. E. 1912, S. 1539. Leder: F. T., Jg. 2, H. 9.

²⁾ Trenkler: F. T., Jg. 2, H. 7.

peraturen im Gaserzeuger überhaupt, die durch einen zu hohen Dampfzusatz verursacht sind.

Der Feuchtigkeitsgehalt gesättigten Gases verläuft ziemlich gleich mit dem von gesättigter Luft nach Zahlentafel 65 und kann diese daher ohne Änderung benutzt werden.

Druckmessung. Da diese am Gaserzeuger meist nur zur Kontrolle dient, genügen einfache U-Rohre, die bei unreinem Gas leicht gereinigt werden können. Das in die Gasleitung hineinreichende Rohrstück wird so gekrümmt, daß es der Gasrichtung entgegensteht, so daß der Gesamtdruck (statischer + Geschwindigkeitsdruck) gemessen wird, weil diese Messung am sichersten und einwandfreiesten ist. Es mag an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß bei Messungen, wo es auf die tatsächliche Messung des statischen Druckes ankommt, das Meßröhrchen mit der Rohrwand eben abschließen muß, um den Einfluß des Geschwindigkeitsdruckes auszuschalten; die Abbiegung des Meßröhrchens in dem Sinne, daß dasselbe in der Bewegungsrichtung liegt, ergibt sehr unverlässliche Werte. Zur Füllung der Meßröhrchen verwendet man Wasser. Genauere Druckmessung benötigt man dann, wenn es sich um Mengmessungen handelt, und deshalb sollen die entsprechenden Apparate dort mit besprochen werden.

Mengmessung. Bei den großen Mengen wird die Messung nie direkt (Gasuhren und Rotarymeter, die nur für Gasanalysen gebraucht werden), auch nicht durch direkte Geschwindigkeitsmessungen (Anemometer u. dgl.), sondern durch die Bestimmung des Geschwindigkeitsdruckes vorgenommen. Der Geschwindigkeitsdruck wird meist als Differenzdruck ermittelt, und kommen dafür Einrichtungen in Frage, die einem einfachen U-Rohr mit zwei Anschlüssen entsprechen, und wobei der eine Schenkel dem bereits früher erwähnten Gasdruck eines dem Strom entgegengerichteten Rohrstückes und der andere einem mit der Rohrwand eben abschneidenden Meßrohr entspricht. Da im ersten Fall die Summe statischer Druck + Geschwindigkeitsdruck gemessen wird und im zweiten Fall der statische Druck allein, so wird die Anzeige des U-Rohres dem Geschwindigkeitsdruck entsprechen. Da es sich aber meist um verhältnismäßig niedrige Werte handelt, müssen Einrichtungen geschaffen werden, welche eine größere Genauigkeit der Ablesungen ermöglichen, ähnlich wie man dies auch bei den Saugzugmessern der Ofenanlagen durchführt. Am verbreitetsten sind die Mikroanometer nach Krell (G. Schultze-Charlottenburg, Fieß-Steglitz) oder jene nach Berlowitz (Rosenmüller-Dresden-N.). Ersterer ist in Abb. 145 dargestellt und ist die Wirkungsweise ohne weiteres erkenntlich. Der Druck wird an dem geneigten Rohr abgelesen, und zwar entweder mit einer vergrößerten Millimeterskala oder aber, wenn der Apparat für bestimmte Bedingungen gebaut ist, unmittelbar in Meter-Sekunden.

Auch hier verwendet man meist Wasser als Füllstoff. In manchen Fällen werden aber auch andere Füllstoffe vorgesehen, und ist dies besonders zu beachten, wenn Messungen unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt werden. (Lautet z. B. dieselbe für ein bestimmtes spezifisches Gewicht des Gases und ist als Füllstoff Alkohol vom spezifischen Gewicht 0,8 vorgesehen, so erhält man bei Anwendung von Wasser richtige Geschwindigkeitsdrucke, wenn man mit 1,25 multipliziert. Das tatsächliche spezifische Gewicht des Gases ist dann bei der Berechnung der Mengen zu berücksichtigen.)

Als Meßeinrichtungen, die in die Leitungen eingebaut werden, verwendet man anstatt der einfachen Druckröhrchen besser Stauscheiben, Staurohre, Stauränder oder Staufflanschen und Düsen (Doppel-

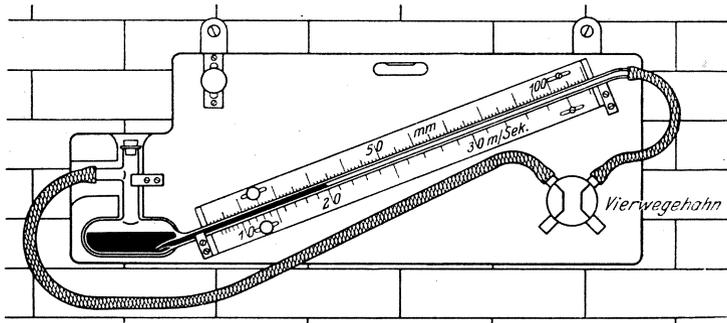


Abb. 145. Mikromanometer von Krell.

düsen). Die Stauscheiben sind Plättchen von etwa 20 mm \varnothing und 3 mm Stärke, und wird der Druck vor und hinter demselben gemessen. Sie wurden ursprünglich von Recknagel angegeben und sollten einen Beiwert von 1,37 haben. Die Untersuchungen Rietschels haben aber die Unzuverlässigkeit des Beiwertes ergeben, weil derselbe von den Strömungsverhältnissen (Wirbel und Wellenbewegungen) sehr abhängig ist. Auch müssen die Plättchen genau senkrecht zum Gasstrom liegen. Für Gasmengenmessungen kommt noch die leichte Verschmutzung als schädlich hinzu, so daß man die Stauscheiben im Gebrauch vollständig verlassen hat.

Am verbreitetsten sind die Staurohre, welche auf das alte Pitotische Rohr zurückgehen, in den Ausführungen von Prantl, Brabbée und Rosenmüller, von denen das erstere in Abb. 146 dargestellt ist. Die abgerundete Spitze mit der Öffnung muß dem Gasstrom entgegenstehen; nach den Untersuchungen von Kumbuch¹⁾ ist eine geringe Neigung bzw. Verdrehung nicht von wesentlichem Einfluß, was die

¹⁾ Forschungsarbeiten, H. 240.

Staurohre vor allen anderen Meßeinrichtungen am empfehlenswertesten macht; ungünstig ist nur die Verschmutzung bei unreinen Gasen, doch ist der Einfluß einer solchen meist sofort erkennbar und daher zu beheben. Außerdem wird man bei unreinem Gas selten Dauermessungen durchführen.

Die neueren Formen der Staurohre haben alle den Beiwert 1, geben daher unmittelbar bei Ablesung mit Mikromanometern den Geschwindigkeitsdruck an.

Es ist dann noch der Einfluß der Geschwindigkeitsverteilung über den Rohrquerschnitt zu berücksichtigen, den man durch Messung längs eines oder besser zweier senkrecht gedachter Durchmesser feststellt. Den Verlauf einer solchen

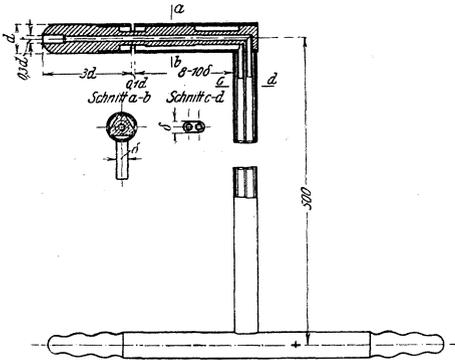


Abb. 146. Staurohr von Prantl.

Messung in der horizontalen Ebene eines Rohres von 300 mm \varnothing zeigt Abb. 147. Auf die Geschwindigkeitsverminderungen haben Verschmutzungen und Ablagerungen an der Rohrwand wesentlichen Einfluß. Die mittlere Geschwindigkeit findet man nun nicht, indem

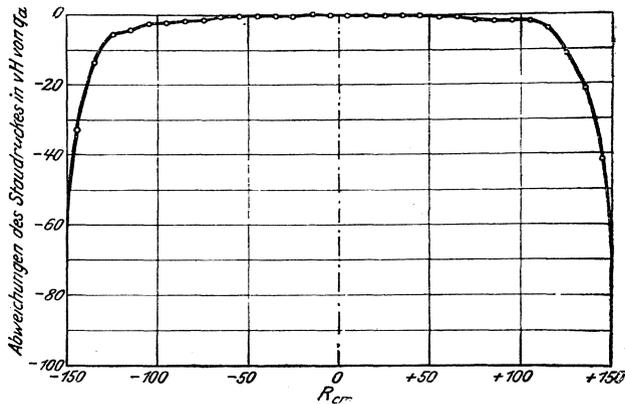


Abb. 147. Geschwindigkeitsverteilung in einer Rohrleitung.

man das Mittel der Messungen (etwa durch Planimetrieren der Fläche in der Abbildung) bestimmt, weil ja die Durchflußmenge in den jeweiligen Kreisringen dem Quadrate des Radius proportional ist. Man trägt daher zweckmäßig die gefundenen Werte der Geschwindigkeiten über einer Skala auf, wobei die Abszissen gleich dem Quadrate der Entfernung von der Rohrachse gewählt werden, und

planimetriert dann¹⁾. Die mittlere Geschwindigkeit bleibt hinter der axialen um etwa 8–15% zurück, und zwar bei großen Rohrdurchmessern weniger als bei kleinen. Im Mittel kann man 12% rechnen, wenn man aus irgendeinem Grunde an einer genauen Feststellung der Geschwindigkeitsverteilung gehindert ist.

Stauränder und Flanschen werden in Rohrleitungen fest eingebaut und bedingen durch die Veränderung des Querschnitts eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit. Ihre Beiwerte sind besonders bei großen Durchmessern unsicher²⁾ und müssen durch Versuchsreihen festgestellt werden, was in der Praxis meist nicht möglich ist. Außerdem geben sie einen tatsächlichen Druckverlust und verschmutzen leicht, weshalb man sie kaum in größerem Umfang angewendet hat.

Empfehlenswerter als Stauflanschen sind Düsen, weil man deren Form so wählen kann, daß der Beiwert gleich 1 wird. Auch ihr Druckverlust ist meist groß, da man bei der Normaldüse das Verhältnis des Durchmessers in der Düse zu dem im Rohr gleich 0,4 wählt. Sie sind aber weniger empfindlich und eignen sich daher für zeitweise Messungen, wofür man entweder Umleitungen oder Teilleitungen benutzt. Es ist dies besonders bei unreinen Gasen günstig, da man die Düsen nach Ausschaltung immer wieder reinigen kann, und dies scheint nach allen Versuchen wichtig zu sein. Bei den Teilstrommessungen ist zu beachten, daß man die Übersetzungsverhältnisse genau feststellt und den Druckverlust des Meßorgans in der Zweigleitung ausgleicht, indem man in die Hauptgasleitung einen Regler oder einfacher einen Schieber einbaut, um so zu erreichen, daß beim Zusammentreffen der beiden Gasströme hinter der Düse bzw. hinter dem Schieber gleicher Druck herrscht und Rückstauwirkungen vermieden werden. Bei stark schwankenden Gasmen gen ist daher die Teilstrommessung nicht empfehlenswert oder benötigt unbedingt automatische Druckregler. Man hilft sich daher meist durch Umleitung des Gases während der Meßzeiten. Es sei aber an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß alle die erwähnten Mengenbestimmungen große Aufmerksamkeit erfordern und bei Dauermessungen fortlaufende Kontrollen nötig machen. Für letztere ist zweifellos am brauchbarsten das Staurohr.

Hat man den Geschwindigkeitsdruck mittels Düse bestimmt, so ist bei Beiwert $\mu = 1$

$$V = f_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - m^2}} \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma}} (p_1 - p) \text{ in cbm/Sek.},$$

¹⁾ Vgl. hierzu und über Mengenmessung überhaupt das Handbuch Litinsky: Messung großer Gasmengen. Leipzig: Spamer 1922.

²⁾ Brandis: Exakte Messung der durch eine Leitung strömenden Gasmengen mittels Staurand. Berlin: Krajin.

worin f_0 der Düsenquerschnitt in Quadratmetern,
 m das Querschnittsverhältnis des Düsen- und Rohrquerschnittes,
 γ das spezifische Gewicht des Förderstoffes in kg/cbm,
 p_1 und p die Drucke vor und hinter der Düse
sind. Die Ausführungsform der Normaldüsen und deren Abmessungen findet man bei Litinsky¹⁾ oder in den „Regeln für Leistungsversuche an Ventilatoren und Kompressoren“²⁾. Die Beiwerte sind nicht immer gleich 1, sondern schwanken auch bei Normaldüsen von 0,95–0,97³⁾, so daß nach diesen neueren Feststellungen auch die Düse dem Staurand nicht wesentlich überlegen zu sein scheint.

Meist wird die Mengenummessung durch Aufschreibung ausgewertet. Die Apparate besitzen hierzu eine Tauchglocke, die von beiden Seiten her unter dem Gasdruck der beiden Rohranschlüsse steht, so daß die Glocke je nach dem Wert des Geschwindigkeitsdruckes steigt oder sinkt. Ein mit der Glocke verbundener Schreibarm registriert dann auf einer Trommel entweder Drücke oder, wenn der Apparat in einer bestimmten Leitung fest eingebaut ist, unmittelbar Mengen. Die bekanntesten Bauarten sind der Hydroapparat (Hydroapparate-Bauanstalt, Düsseldorf), der Debroapparat (P. de Bruyn, Düsseldorf), diejenigen von R. Fueß, Steglitz, Schultze, Charlottenburg, u. a. m. Um das Auswerten der Volumdiagramme zu ersparen, baut man auch Apparate mit Zählern. Für die Luftmengenmessung benutzt man meist die Doppeldüse, das Venturirohr, das ebenso auch für Wasser- und Dampf-mengenmessung Verwendung findet. Auch hier findet die oben gegebene Formel Anwendung, nur muß der Wert noch mit einer Konstante multipliziert werden, die von m und γ abhängig ist⁴⁾.

Die Bauart der Doppeldüsen ist an dem Venturidampfmesser in Abb. 148 zu ersehen. Im übrigen können bei Luft auch alle anderen Meßvorrichtungen gebraucht werden, man bevorzugt aber das Venturirohr für Dauermessungen, weil der Druckverlust wesentlich geringer als bei Düsen und Staurändern ist.

Bei allen Mengenummessungen ist noch der Umstand zu berücksichtigen, daß die tatsächlich ermittelten Volumen nicht unter Normalbedingungen gewonnen sind, und daß daher eine Umrechnung unter Berücksichtigung des jeweiligen Barometerstandes und dem jeweiligen Feuchtigkeitsgehalt, möglicherweise auch einer Temperaturerhöhung, erforderlich ist. Bei größeren Abweichungen benutzt man hierzu die nachstehende Formel

$$V_t = V_a \cdot \sqrt{\frac{\gamma_n}{f + \gamma_n \cdot \frac{273 + t_n}{273 + t} \cdot \frac{b - e}{b_n}}}$$

¹⁾ L. C. 170/171.

²⁾ V. d. J. 1912.

³⁾ Vgl. Wenzel und Schwarz: Z. d. V. d. I. 1922, S. 1130.

⁴⁾ Vgl. Baurichter: St. u. E. 1917, H. 40.

- wobei V_a = abgelesenes Volumen,
 γ_n = die dem Apparat zugrunde gelegte Gasdichte,
 t_n = die dem Apparat zugrunde gelegte Temperatur,
 b_n = der dem Apparat zugrunde gelegte Barometerstand,
 f = Gewicht von 1 cbm Wasserdampf bei $t^\circ\text{C}$ in kg/cbm,
 e = Tension bei $t^\circ\text{C}$ in mm/Hg,
 V_t = das tatsächliche Volumen bei der Meßtemperatur $t^\circ\text{C}$,
 t = die Temperatur bei der Messung,
 b = der Barometerstand bei der Messung ist.

Das so ermittelte Volumen ist dann nach Zahlentafel 65 auf Normalzustand zu reduzieren. Bei kleineren Abweichungen, wie z. B. bei der Luftmengenmessung wird die nachfolgende Zahlentafel 66 ausreichend sein, welche die prozentuale Volumkorrektur bei wechselndem Barometerstand und Temperatur angibt. Beide Umrechnungen gelten unter der Voraussetzung, daß das Gas oder die Luft bei dieser Temperatur im gesättigten Zustande gemessen wurde.

Zahlentafel 66. Berichtigungen (b) zur Mengenummessung für Wasserdampf und Barometerstand.

$t =$	10	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	30° C
$b = 760\text{ mm}$	1,21	1,68	1,78	1,90	2,02	2,15	2,29	2,43	2,59	2,75	2,92	3,10	4,15
750 „	1,22	1,70	1,80	1,92	2,05	2,18	2,32	2,47	2,62	2,78	2,96	3,14	4,21
740 „	1,24	1,72	1,83	1,95	2,08	2,21	2,35	2,50	2,66	2,82	3,00	3,18	4,26
730 „	1,26	1,74	1,85	1,98	2,11	2,24	2,38	2,53	2,69	2,86	3,04	3,23	4,32

Dampfmengenmessung. Für dieselbe sind zahlreiche Apparate in Gebrauch, deren Beschreibung aber hier zu weit führen würde, um so mehr, als sie einen ziemlich komplizierten Aufbau haben. Erwähnt seien die Schwimmerdampfmesser von Claassen (Stabe, Berlin) und F. R. Bayer & Co., Leverkusen, der Gehredampfmesser (Gehre-Dampfmesser-Gesellschaft, Berlin), der Debrodampfmesser (Paul de Bruyn, Düsseldorf), sowie der in Abb. 148 dargestellte Venturidampfmesser (Siemens & Halske, Berlin). Fast alle diese Messer sind bei stark

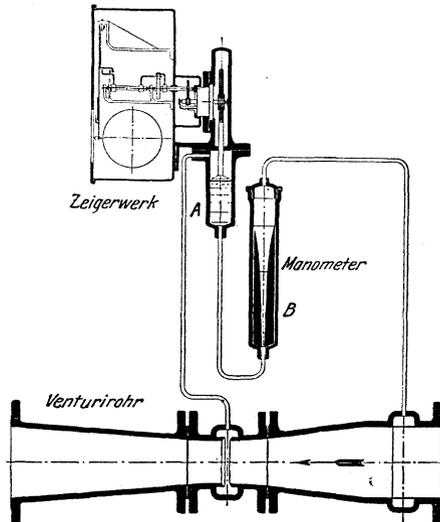


Abb. 148. Venturidampfmesser.

schwankenden Mengen ungenau und die meisten auch ziemlich empfindlich. Bei den Gaserzeugern, wo fast stets ein weitgeleiteter, feuchter Dampf ankommt, Schwankungen oft eintreten und Empfindlichkeit sehr störend wirkt, werden sie daher wenig verwendet, höchstens in der Hauptzuleitung als Registrierapparate. Bei Einzelversuchen bestimmt man die in den Gaserzeuger eingeführte Dampfmenge am besten durch Taupunktsbestimmung und Windmengenmessung, kontrolliert aber bei wichtigeren Feststellungen diese Ermittlungen durch einen Kondensationsversuch, der meist nicht viel Vorbereitungen benötigt und den örtlichen Verhältnissen anpassungsfähig ist.

Bestimmung der Brennstoffmenge. Diese ist besonders bei Versuchen von kürzerer Dauer außerordentlich wichtig. Im laufenden Betrieb genügt meist die Feststellung der Füllungen, weil ja zudem die angelieferten Mengen in jeder Woche oder jedem Monat abgeschlossen und die Vorräte aufgenommen werden, so daß sich Fehler ausgleichen. Die Erfahrung zeigt aber, daß das Füllgewicht der Trichter schon nach der Korngröße um etwa 5—10% schwankt; auch sind sie nicht immer gleich voll gefüllt. Bei kürzeren Versuchen muß man daher der Feststellung der Brennstoffmenge besondere Achtsamkeit widmen und verwendet hierzu eine Wägung der Mengen. Mit einfachen Mitteln, die nicht beschrieben werden brauchen, ist dieselbe zeitraubend und umständlich. Man hat daher in den letzten Jahren Wagenkonstruktionen eingeführt, die automatisch funktionieren und in die Rollbahnen, Seilbahnen oder Hängebahnen eingebaut werden. Bekannt sind derartige Ausführungen von C. Schenk, Darmstadt und A. Spies, Siegen. Auch in Verbindung mit Elevatoren u. dgl. lassen sich automatische Wagen einbauen, wie beispielsweise die Librawage des Libra-Werkes, Gliesmarode in Braunschweig und die Chronoswage von C. Reuther & Reisert in Honnef a. d. Sieg.

Mit der Feststellung der zugeführten Kohlenmenge allein ist aber die verbrauchte Menge noch nicht ermittelt, denn der Gaserzeuger selbst ist ein zu großer Vorratsbehälter. Man muß daher die Beschickungshöhe vor und nach jedem Versuch genau feststellen und auch die evtl. Zunahme der Aschenmenge, weil ein gleich voller Gaserzeuger nicht immer gleich viel Brennstoff enthalten muß, sondern möglicherweise auch eine Anhäufung der Asche stattgefunden hat. Hierzu dient die Feuermessung am Gaserzeuger. Sie wird in der Art vorgenommen, daß man eine mindestens $\frac{3}{4}$ ''ige Stange stets eine gleiche Zeitspanne (3—5 Minuten) auf einen bestimmten Rostteil oder auf die Aschenschüssel aufsetzt und die Lage der Deckplatte an der Stange vermerkt. Durch Messung von unten an findet man daher Aschenzone, Vergasungszone und Deckzone (bei gleichzeitiger Abmessung des Abstandes der Beschickung von der Deckplatte).

Die Messung der Aschenmenge ist im allgemeinen nicht erforderlich, wenn das Brennstoffgewicht zuverlässig ermittelt wurde und der durch-

schnittliche Aschengehalt des Brennstoffes und der Gehalt an Brennbarem in der Asche bekannt ist. Eine Wägung der Aschenmenge ist schon aus dem Grunde nicht verlässlich, weil der Feuchtigkeitsgehalt derselben stark schwankt; man kann damit wohl die feuchte Aschenmenge ermitteln, macht aber bei der Umrechnung auf trockene Asche bereits große Fehler, die diese Methode selbst zur Kontrolle wenig geeignet erscheinen läßt. Da die Verluste in der Asche bei neuzeitlichen Gaserzeugern meist nicht hohe sind, so kann man auf diese Wägung ohne weiteres verzichten.

Gasanalysenapparate. Zur Kontrolle im Betrieb selbst gehören noch die CO_2 -Prüfer, falls man nicht dauernd Gasanalysen durchführen will; letztere werden bei den Untersuchungsmethoden beschrieben. Die registrierenden Gasanalysenapparate dienen zur Bestimmung des CO_2 -Gehaltes mittels Absorption durch Kalilauge oder Kalk. Es ist eine große Anzahl von Bauarten bekannt, von denen jede gewisse Vor- und Nachteile besitzt. Der älteste Apparat ist der Adosapparat der Ados-G. m. b. H., Aachen; von dem gleichen Erfinder Arndt stammt auch der Aciapparat der Gefko-Gesellschaft, Köln. Bei letzterem sind alle Teile aus Eisen, was ihn für Gaserzeugeranlagen sehr geeignet macht, allerdings lassen sich die Vorgänge im Innern, wie Verschmutzungen u. dgl., auch nicht feststellen. Derselbe ist in Abb. 149 dargestellt, und ist die Wirkungsweise folgende: Durch Anstellen

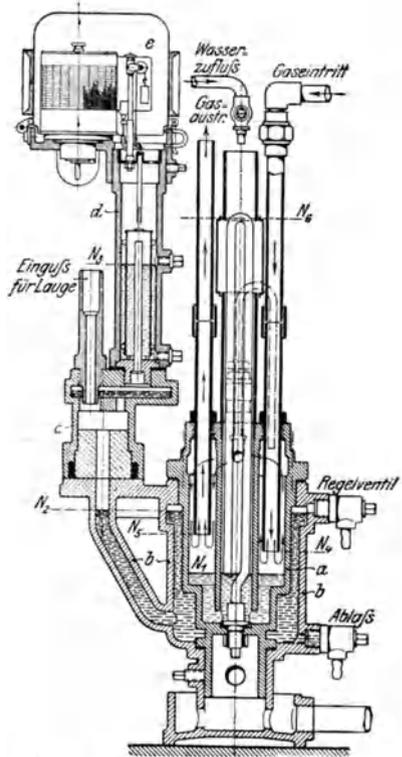


Abb. 149. Aci-Kohlensäurebestimmungsapparat.

der Wasserleitung steigt im Gasfänger a der in Ruhe mit N_1 abschneidende Wasserspiegel und schließt in Höhenlage N_4 den Gaszufluß, in N_5 den Gasaustritt ab, wodurch 100 cbm Gas abgefangen werden. Dieses Volumen wird durch ein U-förmig gebogenes Rohr in den Absorptionsraum b gedrängt, wo es die Kalilauge aus ihrer Ruhestellung N_2 nach unten drückt, so daß sie im Raum c und im Füllstutzen aufwärts steigt. Je mehr absorbierbares Gas die Gasprobe enthält, um so weniger Kalilauge tritt nach c über. Hat hier die Lauge die Oberkante des Füllstutzens erreicht, so wird die Luft unter die Schreibglocke gedrängt und hebt die Schreibfeder. Ist das Wasser bis zur Biegung N_6 gestiegen, so tritt der

in das Zuflußrohr eingebaute Heber in Tätigkeit, und das Wasser sinkt auf N_1 zurück, während das einströmende frische Gemisch den nicht absorbierten Rest der Gase herausdrängt, wonach das Spiel erneut beginnt. Die Richtigkeit der Wirkungsweise wird durch Ansaugen von Luft statt Rauchgas nachgeprüft, wobei die Feder einen bis zur Nulllinie reichenden Strich aufzeichnen muß.

Die Gasleitung ist mit einer UmleitungsVorrichtung ausgerüstet, damit der Gasstrom während der Analyse nicht unterbrochen wird.

Diese Firma baut außerdem seit 1921 noch einen Rauchgasprüfer „Gefko“, der dem Adosapparat ähnlich ist, nur etwas stabiler gebaut wird und eine bessere Übersicht gestattet.

Weitere Apparate ähnlicher Bauart baut P. de Bruyn, Düsseldorf (Debroapparat), J. Pintsch A.-G. u. a. Auch die meisten Rauchgasprüfer sind anwendbar. Erwähnung soll noch der Monoapparat der Firma Maihak, Hamburg, finden, weil diese Firma einen Generator-Duplexapparat in Erprobung hat, der ebenso wie der Duplex-Mono für Rauchgas eine genauere Kontrolle der Gaserzeuger gestatten soll. Beim Rauchgas ist dies durch die Bestimmung der beiden Bestandteile CO_2 und O_2 möglich, beim Generatorgas müßte nun an Stelle von O_2 diejenige von CO treten; dessen Bestimmung ist aber zu schwerfällig und ungenau, auch nicht kennzeichnend genug. Der neue Apparat soll daher für Bestimmung von CO_2 und H_2 gebaut sein, wobei nach den früher (vgl. S. 56) gegebenen Formeln 3, 5 und 6 als Regel gelten kann, daß bei höherem CO_2 -Gehalt der Wasserstoffgehalt um das Doppelte steigen muß, sofern der Gaserzeuger zufriedenstellend arbeitet. Ist z. B. der bei geringstem Dampfzusatz erreichbare CO_2 -Gehalt 3% und dabei der H_2 -Gehalt 5%, so muß bei angenommen 8% CO_2 der H_2 -Gehalt mindestens 15% sein, was tatsächlich zutrifft. Es wird bei diesem Apparat nach der Absorption von CO_2 auf eine solche von CO und O_2 verzichtet, H_2 über CuO verbrannt, der entstehende Wasserdampf kondensiert und die Kontraktion gemessen; da auch beim Verbrennen von CO eine Volumenveränderung nicht eintritt, so ist die Methode richtig, und nur bei anwesendem größeren O_2 -Gehalt wäre dieselbe fehlerhaft. Dieser neue Apparat erscheint daher außerordentlich beachtlich.

2. Die chemischen Untersuchungsmethoden.

a) Feste Brennstoffe.

Es kann nicht Aufgabe sein, hier alle evtl. in Frage kommenden Bestimmungen anzuführen, da es deren eine Unzahl gibt; es muß diesbezüglich auf die Fachliteratur verwiesen werden¹⁾. Nur die wichtigsten

¹⁾ Insbesondere: Lunge-Berl: Chemisch-technische Untersuchungsmethoden. 4. Aufl. Berlin: Julius Springer. 1922.

und gewöhnlichsten sind im nachfolgenden angeführt. Ebenso gibt es zahlreiche Spezialapparate, um einzelne Bestimmungen zu erleichtern u. dgl.; auch diese konnten nicht vollzählig aufgezählt werden. Über dieselben unterrichtet man sich am besten in den einschlägigen Handlungen, von denen einige zur Orientierung angeführt seien. (Vereinigte Fabriken f. Laboratoriumsbedarf, Berlin. Göckel, Berlin, Hugerhoff, Leipzig u. a. m.).

Probenahme. Man nimmt zweckmäßig von jeder Füllung eine Schaufel und breitet dieselben abseits quadratisch aus; man teilt dann diagonal, nimmt zwei gegenüberliegende Viertel weg und wiederholt dieses Verfahren, bis man auf eine Probemenge von etwa 10 kg gekommen ist. Diese wird vorzerkleinert und nach demselben Verfahren auf eine Probe von etwa 1 kg vermindert, sodann fein gemahlen, ausgebreitet, schachbrettartig verteilt und aus jedem Feld ein Löffelchen voll genommen und in ein Probefläschchen gefüllt.

Feuchtigkeitsbestimmung. Oben beschriebene Durchschnittsprobe eignet sich dazu nur bei Steinkohlen; bei wasserreichen Brennstoffen nimmt man hierfür eine Sonderprobe, die man schnell unter möglichster Vermeidung von Nachtrocknung auf Erbsengröße zerkleinert. Für die Bestimmung wiegt man 200 g ein und trocknet im Vakuumtrockenschrank bei 105° etwa 2 Stunden lang. Höhere Temperaturen sind besonders bei Braunkohle und Torf zu vermeiden. Will man bei solchen Brennstoffen genaue Feuchtigkeitsbestimmungen durchführen, so trocknet man in einem CO₂-Strom, wobei man das ausgetriebene Wasser mit CaCl₂ durch Wägung bestimmt. Da für die anderen Bestimmungen lufttrockene Durchschnittsproben (durch zweitägiges Liegen an der Luft gewonnen) verwendet werden, so muß man für die letztere gleichfalls die Feuchtigkeitsbestimmung durchführen und die anderen Ergebnisse mit Rücksicht auf den ursprünglichen Feuchtigkeitsgehalt umrechnen. Zweckmäßig ist, wie bereits früher ausgeführt (vgl. S. 19), die Angabe aller Bestandteile bezogen auf 1000 g C.

Aschenbestimmung. Probemenge etwa 2 g. Einäscherung in schräg gestelltem Platintiegel, der zuerst abgedeckt und nach Beendigung der Destillation aufgemacht wird, damit die zur Verbrennung notwendige Luft besser eintreten kann. Die erste Anwärmung muß langsam durchgeführt werden, um die Bildung fester Kokskuchen zu vermeiden. Die Probe ist beendet, wenn keine schwarzen Punkte mehr zu sehen sind und Gewichtskonstanz eingetreten ist. Leichter ist die Probe in einer Platinschale im Muffelofen durchzuführen.

Verkokungsprobe (Mucksche oder Bochumer Probe). 1 g des ungetrockneten Brennstoffes wird in eigens gebautem Platintiegel mit übergreifendem Deckel und 2 mm zentraler Öffnung so erwärmt, daß sich der Tiegel in $\frac{2}{3}$ der Flammenhöhe befindet. Die Probe ist beende

wenn aus der Deckelöffnung kein Flämmchen mehr herauskommt. Menge des Koksrückstandes durch Auswägen bestimmen. Koksrückstand — Aschengehalt gibt den sogenannten fixen Kohlenstoff. Gewichtsverminderung — Feuchtigkeit gibt den Gehalt an flüchtigen Bestandteilen (Gas, Teer und Konstitutionswasser). Neben der Koksausbeute ist die Beschaffenheit des Kokskuchens für die Beurteilung maßgebend. Die Probe wird nur bei Steinkohle angewendet und dient bei Vergasungsanlagen nur zur Charakteristik der Backfähigkeit (vgl. S. 27).

Schwelprobe. An Stelle der Verkokungsprobe tritt besser die Schwelanalyse, da sie die Bestimmung des Teergehaltes erlaubt. Für Braunkohle war früher die Graefesche Probe in schwer schmelzbarer Glasretorte angewendet, die jedoch bei Steinkohle nicht durchführbar ist und verschiedene Mängel besitzt. Zweckmäßiger ist die neue Probe von Fischer und Schrader im Aluminiumtiegel¹⁾. Durch die gute Wärmeleitfähigkeit ist schnelle und gleichmäßige Erwärmung gewährleistet, durch den tiefen Schmelzpunkt des Tiegelmateriale eine wesentliche Überhitzung ausgeschlossen. Einwage rund 20 g gepulverter Kohle. Erhitzung so, daß in 30 Minuten 500° erreicht werden und so lange auf gleichmäßiger Temperatur halten, bis Abtropfen in Vorlage aufhört (rund 45 Min. im ganzen). In Vorlage durch Wägen Wasser und Teer bestimmen und dann Wassergehalt durch Überdestillation mit Xylol oder Zentrifugieren ermitteln. Die Ergebnisse sind 15—30% höher als nach Graefescher Methode und in der Praxis erreichbar.

Elementaranalyse. Zu dieser verwendet man etwa 0,3—0,5 g der feingepulverten Substanz in einem Schiffchen von Platin, Porzellan oder Quarz. Von hygroskopischen Braunkohlen, Torf, Holz u. dgl. macht man vor dem Wiegen zweckmäßig kleine Zylinder, was auch eine Oxydation verhindert. Man bringt dann in ein Verbrennungsrohr aus schwer schmelzbarem Glas von etwa 400 mm Länge zwischen zwei in dünnes Platinblech eingehüllte Asbestpfropfen eine Schicht von körnigem CuO und eine solche von gekörntem Bleichromat; hinter diesen schiebt man das Schiffchen ein, schließt das Rohr und verbindet dieses Ende mit dem Sauerstoffgasometer. Man kann auch anstatt Sauerstoff gewöhnliche Luft nehmen, doch muß dieses Verbrennungsgas in jedem Falle von Feuchtigkeit und Kohlendioxyd befreit sein, weshalb man eine Glasflasche mit konzentrierter Schwefelsäure und ein Natronkalkrohr vorschaltet. Am anderen Ende wird ein Chlorkalziumrohr und Kalilauge-waschgefäße (Kugelapparat), evtl. auch noch ein weiteres Rohr mit Natronkalk vorgeschaltet zwecks Absorption des bei der Verbrennung gebildeten Wasserdampfes und CO₂, so wie Abb. 150 ersehen läßt. Die Verbrennung geschieht in bekannter Weise in einem kleinen Muffelofen

¹⁾ Z. f. angew. Ch. 1920, S. 172.

oder besser in einem elektrischen Ofen (W. C. Heraeus, Hanau a. M.), weil man bei letzterem den Vorgang wesentlich genauer regulieren und auch überblicken kann. Die Heizung bei den elektrischen Öfen geschieht durch Widerstandheizung, und ist eine abgeänderte Bauart von Prof. Dennstedt vorgeschlagen worden. Aus den gefundenen Gewichtsmengen von kondensiertem Wasserdampf und absorbiertem CO_2 ergibt sich unmittelbar der Gehalt an H_2 und C, da alle etwa gebildeten Kohlenwasserstoffe durch das CuO in CO_2 übergeführt sind. Das Bleichromat dient zur Rückhaltung des gebildeten SO_2 , die sonst die Bestimmung beeinträchtigen würde.

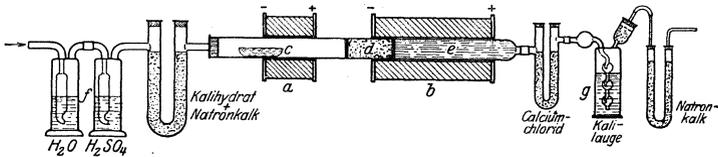


Abb. 150. Verbrennungsofen zur Elementaranalyse.

Stickstoffbestimmung. Am verbreitetsten ist die Methode von Kjeldahl, wobei 1 g der möglichst fein gepulverten Substanz mit etwa 20 ccm konzentrierter H_2SO_4 unter Zusatz von 8–10 g K_2SO_4 und 0,1 g HgO gekocht wird, bis die Flüssigkeit klar geworden ist und der abgesetzte Rückstand keine schwarzen Punkte mehr zeigt. (Dauer etwa 2 Stunden.) Nach dem Abkühlen versetzt man mit 100 ccm Natronlauge und destilliert das frei werdende Ammoniak in eine mit 20 ccm $\frac{1}{10}$ norm. H_2SO_4 gefüllte Vorlage über. Den Überschuß derselben titriert man dann zurück.

Vielfach ist in letzter Zeit die Verbrennung des Stickstoffes im elektrischen Ofen (Methode von Dumas) vorgeschlagen und eingeführt worden. Dieselbe hat sich bei manchen Brennstoffen, wie z. B. Koks, wo die Kjeldahlsche Methode langsam verläuft und leicht unvollständig ausfällt, ihre Vorteile, es ist aber ziemlich sicher, daß diese neue Bestimmung bei anderen Brennstoffen zu hohe Werte ergibt, und daher empfiehlt es sich, bei der weitverbreiteten Methode von Kjeldahl zu bleiben, falls nicht wesentliche Gründe dagegen sprechen oder theoretische Feststellungen erforderlich sind¹⁾.

Schwefelbestimmung. Den Gesamtschwefel bestimmt man nach Eschka durch Glühen von 1 g Brennstoff mit 1 g gebrannter Magnesia und 0,5 g kalzinierter Soda in gut gemischtem Zustand im elektrischen Ofen bei Luftzutritt. Man löst dann das Ganze in bromhaltiger, verdünnter HCl und fällt die gebildete H_2SO_4 mit Chlorbarium. Anstatt gebrannter Magnesia kann man auch Kobaltoxyd (Methode von

¹⁾ Vgl. J. f. G. 1919, S. 173 und 192.

Brunck) oder Natriumsuperoxyd (Methode von Konek) verwenden. Die erstere dieser beiden hat sich sehr gut bewährt und ist vielfach eingeführt worden. Obwohl die Höhe des Aschenschwefels meist nicht erheblich ist und in der Asche gesondert bestimmt werden kann, wählt man oft den umgekehrten Weg, den flüchtigen Schwefel (organischer und Pyritschwefel) direkt zu bestimmen. Man nimmt 0,8–1 g der Probe (bei leicht entzündlichen oxydierbaren Kohlen in Zylinder gepreßt) und füllt hinter dem Schiffchen eine Schicht Platinabfälle ein. Man erhitzt zuerst vorsichtig ohne Zuführen von Sauerstoff, um die Ent-

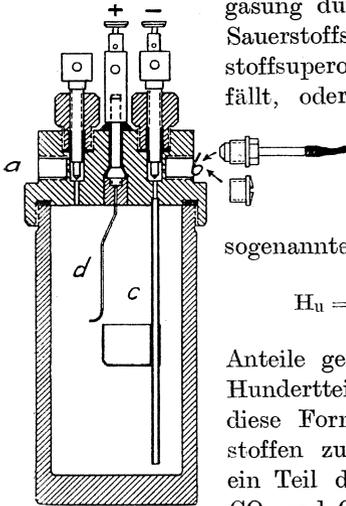


Abb. 151.
Krökersche
Bombe.

gasung durchzuführen und verbrennt dann rasch im Sauerstoffstrom. Die gebildete H_2SO_4 wird in Wasserstoffsuperoxyd aufgefangen und als Bariumsulfat gefällt, oder man legt $\frac{1}{10}$ norm. Kalilauge vor und titriert den überschüssigen Rest zurück.

Heizwertbestimmung. Rechnerisch wird er auf Grund der Elementaranalyse nach der Verbandsformel gefunden, die für den sogenannten unteren Heizwert lautet

$$H_u = 81 C + 290 \cdot \left(H - \frac{O}{8} \right) + 25 S - 6 H_2O .$$

Anteile gelten für rohen untersuchten Brennstoff in Hundertteilen. Erfahrungsgemäß (vgl. S. 35) gibt diese Formel bei sauerstoffreichen jüngeren Brennstoffen zu niedrige Werte (3–5%), weil tatsächlich ein Teil des Sauerstoffes nicht zu H_2O , sondern zu CO_2 und CO verbrennt. Daher zieht man die direkte kalorimetrische Bestimmung in der Bombe vor, wobei der obere Heizwert tatsächlich ermittelt wird und

der untere Heizwert nach Maßgabe der Kondenswassermenge errechnet werden kann. Gebrauchsausführungen von Mahler, Kröker und Langbein. In Abb. 151 ist die Krökersche Bombe gezeigt. An den Bohrungen *a* und *b*, die durch kleine Ventile verschließbar sind, werden Röhrechen angeschraubt, um den Verbrennungssauerstoff einzuführen und nach der Verbrennung das Wasser zu entnehmen. Platinrohr *c*, das den Sauerstoff einführt, und der isoliert durch den Deckel geführte Draht *d* bilden die Pole für die elektrische Zündung. Der pulverisierte Brennstoff wird um einen mit den beiden Polen verbundenen Zünddraht zu einem Brikett gepreßt. Die abgewogene Wassermenge in dem die Bombe umgebenden Metallgefäß wird in folge Anordnung des Rührwerkes gleichmäßig erwärmt¹⁾.

¹⁾ Ausführliche Beschreibung des Meßvorganges s. Gramberg: Technische Messungen, und Brand: Technische Untersuchungsmethoden.

Kurz gefaßt ist die Handhabung etwa folgende:
 Pressen eines Brikettchens um einen Zünddraht;
 Trocknen des Innern der Bombe;
 Einsetzen des Briketts und Zünddrahtes in die Bombe;
 Verschließen und Abdichten der Bombe gegen einen Druck von 25 Atm.;

Füllen der Bombe mit verdichtetem Sauerstoff;
 Einsetzen der Bombe in einen gefüllten Wasserbehälter mit doppelter Wandung;

Inbetriebsetzen eines Rührwerkes zum Bewegen des Wassers um die Bombe;

Erhitzen des Zünddrahtes durch eine elektrische Stromquelle. Ablesen der Wassertemperaturen mit einer Lupe an einem Quecksilberthermometer mit Einteilung von hundertstel Graden und Schätzung von tausendstel Graden;

Feststellung der Dampfmenge in der Bombe nach der Verbrennung durch Abführung der Rauchgase über eine Chlorkalziumvorlage;

Berechnung der frei gewordenen Wärmemenge.

Hierbei ist zu berücksichtigen:

a) Die an den Apparat abgeleitete Wärme ist zu berechnen aus dem Wasserwert des Kalorimeters, d. h. einer Konstante für die Wärmemenge, welche die Teile des Apparates bei einer Temperaturerhöhung um 1° aufnehmen.

b) Berechnung der Fadenkorrektur.

c) Berechnung der bei der Verbrennung gebildeten Säuren.

Die ermittelte Wärmemenge ergibt den sogenannten oberen Heizwert des Brennstoffes.

Da aber bei den Feuerungen die Feuchtigkeit des Brennstoffes als überhitzter Dampf in den Abgasen entweicht, bringt man die zur Verdampfung der Feuchtigkeit aufgewendete Wärmemenge vom Heizwert in Abzug und erhält damit den unteren Heizwert des Brennstoffes.

Neuerdings werden für die ständige Betriebskontrolle sogenannte Schnellkalorimeter (Ausführung von Bamberg, Berlin-Friedenau) empfohlen, die auch zur Bestimmung des Unverbrannten in den Rückständen gebraucht werden können.

Siebeprobe. Diese ist besonders bei feinkörnigen und staubreichen Brennstoffen von Wichtigkeit; die üblichen Abstufungen sind für die Siebeöffnungen mit 0,5, 1,0, 3,0, 5,0, 8,0, 12,0, 25,0 mm zu wählen.

b) Gasuntersuchung.

a) **Probenahme.** Hierfür nimmt man entweder Stichproben oder Durchschnittsproben. Erstere genügen für solche Untersuchungen, die öfter wiederholt werden. Dauer- bzw. Durchschnittsproben sind

unbedingt notwendig bei Bestimmung der Feuchtigkeit, des Teeres und des Ammoniaks im Gase.

Die Entnahme erfolgt entweder durch Absaugen oder dort, wo das Gas unter Überdruck steht, durch entsprechendes Einleiten, wobei man gewöhnlich Hahnpipetten verwendet. Man muß naturgemäß ein wesentlich größeres Gasvolumen durch die Pipette hindurchleiten als erforderlich, um stets frisches Gas zu haben und vor allen Dingen um die in der Pipette enthaltenen Restbestandteile zu entfernen. Trotzdem wählt man in der Regel die trockene Füllung, weil bei der Benutzung der Hahnpipette als Aspirator mit Sperrwasser letzteres stets verlorenght und neues Wasser erfahrungsgemäß CO_2 in erheblicher Menge absorbiert. Bei den meisten Untersuchungen können gewöhnliche Eisenröhren als Entnahmerohre Verwendung finden und müssen diese genügend weit in den Gasstrom eingeführt werden. Bei heißem Gas wählt man Porzellan-, Ton- oder Quarzrohre, um eine Zerstörung derselben und auch eine mögliche Veränderung des Gases zu vermeiden. Die Entnahmerohre sind vor dem Gebrauch genau auf Dichtigkeit zu prüfen, wie überhaupt sowohl der Auswahl der Entnahmestellen als auch der Probenahme ganz besondere Sorgfalt zugewendet werden muß. Vielfach verwendet man wassergekühlte Entnahmerohre, um eine Beschädigung der Hahnpipetten zu vermeiden, und vor allen Dingen, um Gummiverbindungen bei der Apparatur gebrauchen zu können.

Steht die Gasleitung unter Unterdruck, so ist in jedem Falle die Entnahme durch Absaugung durchzuführen, was bei Gasleitungen unter Überdruck zwar manchmal durchgeführt wird, aber nicht unbedingt erforderlich ist. Man hat eingefäßige Aspiratoren in Verwendung, doch empfehlen sich diese selten, weil hierbei das Absperrwasser verlorenght. Meist wählt man die Absaugung mit Niveaugefäßen, wobei die Gasproben entweder in dem hochstehenden Gefäß oder in einer an eine Zweigleitung angeschlossenen Hahnpipette gesammelt werden. Anstatt Aspiratoren verwendet man vielfach auch Wasserstrahlpumpen.

Apparatur. Von der entnommenen Gasprobe nimmt man ein bestimmtes Volumen, meist 100 ccm, zur Untersuchung. Für dieselbe sind im Laufe der Jahre zahlreiche Einrichtungen vorgeschlagen worden. Am weitverbreitetsten sind jedoch die gasanalytischen Apparate von Bunte und Hempel¹⁾. Die Bunte-Bürette besteht aus einer Meßröhre, welche oben und unten mit einem Dreiweghahn verschlossen ist, und einem als Niveaugefäß dienenden Trichter, welcher mittels eines Gummirohres mit der unteren kapillaren Ausflußspitze der Bürette verbunden werden kann. Der Vorgang ist nun folgender: Nachdem die Gasmenge genau abgemessen ist, bleibt dieselbe während des Verlaufes der ganzen

¹⁾ Vgl. Winkler: Lehrbuch der techn. Gasanalyse. Leipzig: Felix.

Untersuchung in der Bürette, und werden die Absorptionslösungen in die Bürette eingeführt und nach durchgeführter Absorption wieder entfernt. Es geschieht dies dadurch, daß man das Gas bei geöffnetem unteren Dreiweghahn verdünnt, den Hahn schließt und sodann die Absorptionsflüssigkeit in einen kleinen Napf unter die Bürettenspitze bringt. Beim Öffnen des Hahnes wird die Absorptionsflüssigkeit eingesaugt, durch kräftiges Schütteln führt man die Absorption durch, wäscht die Absorptionsflüssigkeit mittels durchlaufenden Wassers wieder aus, setzt das Gas unter atmosphärischen Druck und liest das Restvolumen ab.

Die Methode ist aus dem Grunde vorteilhaft, weil eine Bewegung des stets unsichtbaren Gases nicht notwendig ist und infolgedessen Verluste an demselben nicht eintreten können. Dagegen ist der Verbrauch an Absorptionsflüssigkeit ein größerer als bei den anderen Methoden, und wählt man die Arbeit mit der Bunte-Bürette in der Hauptsache nur dann, wenn es sich um einzelne, aber sehr genaue Bestimmungen handelt¹⁾.

Die heute vorzugsweise angewendete Methode von Hempel, von Winkler verbessert, besteht darin, daß man Absorptionspipetten mit den in Frage kommenden Flüssigkeiten gefüllt verwendet und das Gas aus der Bürette in einzelne Pipetten überführt. Dieses mehrmalige Hin- und Herleiten führt naturgemäß bei ungenauer Handhabung oder unsachgemäßer Bauart der Apparate leicht zu Gasverlusten, zum Hinzutritt falscher Luft und dadurch zu unrichtigen Ergebnissen. Bei genauer Handhabung sind aber die Ergebnisse mit dieser Methode denjenigen nach der Bunte-Methode zweifellos gleichwertig.

Bezüglich der Einrichtungen sei auf die entsprechenden Handbücher verwiesen (vgl. oben), und ist die Methode besonders dann vorteilhaft, wenn man eine Verbrennung oder Explosion bestimmter Gasbestandteile durchführen muß. Da letzteres bei der Bunte-Bürette nicht möglich ist, hat sich die Hempelsche Methode mehr und mehr ganz allgemein eingeführt.

Ein besonderer, sehr handlicher Apparat, welcher ähnlich gehandhabt wird, ist der Orsat-Apparat (vgl. Abb. 152), welcher in erster Linie für die Analyse von Rauchgasen ausgebildet wurde. Bei diesem Apparat sind die Absorptionspipetten an ein gemeinsames Verbindungsrohr angeschlossen, so daß der ganze Apparat tragbar gestaltet wurde. Auch kann durch Vermeidung von Verbindungsstücken große Gasdichtigkeit gewährleistet werden. Derselbe ist aber nur für die Bestimmung jener Bestandteile brauchbar, die mittels Absorption durch-

¹⁾ Vgl. hierzu: Zum Gaskursus. München: Oldenburg 1921. Herausgegeben vom Gasinstitut d. T. H. Karlsruhe.

geführt werden, da sowohl die Durchführung von Verbrennungen bei dem ursprünglichen Apparat nicht vorgesehen und die Durchführung von Explosionen überhaupt unmöglich ist. Der Orsatapparat ist zwar in der Folge dahin ergänzt worden, daß man vollständige Gasanalysen mit Hilfe eines Palladium-Asbest-Rohres durchführen kann. Meist verwendet man denselben nur zu Bestimmungen für CO_2 , O_2 und allenfalls von CO . Andererseits kann man den Orsatapparat durch zweckmäßige Anordnung eines weiteren Hahnes über der Meßburette so ausgestalten, daß man nach Durchführung der Absorption den Gasrest in eine

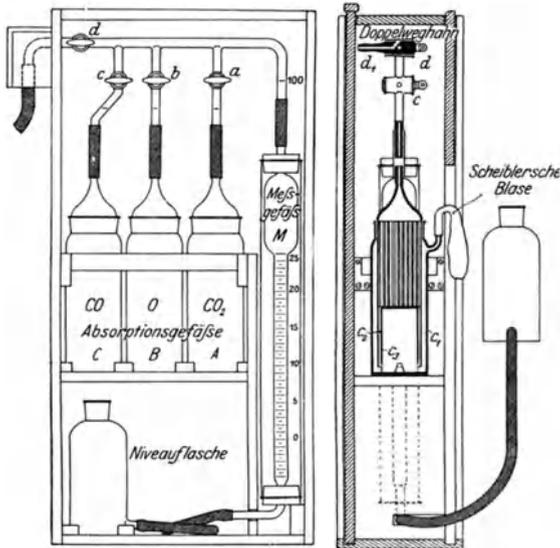


Abb. 152. Orsat-Apparat.

Explosionspipette nach Hempel überleitet und so vollständige Bestimmungen durchführen

kann. In der Regel wird man aber den Orsatapparat vorzugsweise nur für die tägliche Bestimmung des CO_2 benutzen, welche sehr wenig zeitraubend ist, während vollständige Gasanalysen nach einer der beiden erwähnten Methoden zweckmäßig im Laboratorium durchgeführt werden.

Bestimmung der Gasbestandteile erfolgt durch Absorption, wobei N_2 als Rest nicht bestimmt wird.

Die in Frage kommenden Bestandteile und die Reihenfolge der Entfernung ist folgende:

SO_2 und H_2S werden meist nicht bestimmt, beeinträchtigen daher die nachfolgenden Bestimmungen. SO_2 geht meist ins Sperrwasser und kann tatsächlich vernachlässigt werden, da bei der Vergasung etwa 80–90% vom S als H_2S auftreten. Letzterer wird am besten durch ein vorgelegtes Rohr mit Kupfervitriolbimsstein entfernt. Bestimmung von H_2S und SO_2 durch Titration mit Jodlösung¹⁾.

CO_2 . Absorptionsmittel: Kalilauge von 1,23 spezifischem Gewicht, Herstellung durch Lösung von 25 g KOH, das nicht mit Alkohol gereinigt sein darf, in 70 cbm Wasser.

C_2H_4 und Homologe. Absorptionsmittel: Bromwasser oder rauchende Schwefelsäure mit 25% Anhydrid. Nachspülen mit Kalilauge.

¹⁾ Vgl. Lunge-Berl: Taschenbuch. 6. Aufl., S. 242. Berlin.

Zahlentafel 67. Rechnungsverfahren bei vollständiger Absorption des CO in ammoniakalischer Lösung.

Ableasungen	Bemerkungen und Berechnungen	Resultate
$a = 100,0$	Angewandtes Gasquantum; bei geringerem Volum x sind sämtliche Resultate mit $\frac{100}{x}$ zu multiplizieren	
$b = 96,5$	Nach Absorption in KOH; $\text{CO}_2 = a - b$	3,5% CO_2
$c = 96,3$	„ „ Pyrogalllösung; $\text{O}_2 = b - c$; sonst vorher zu bestimmen: schwere Kohlenwasserstoffe durch Absorption in rauchender Schwefelsäure; Nachabsorption über KOH	0,2% O_2
$d = 69,3$	Nach wiederholter Absorption in ammoniakalischer Cu_2Cl_2 -Lösung (frisch!) $\text{CO} = c - d$	26,5% CO
$e = 35,0$	Zur Verbrennung angewandter Gasrest; spätere Werte zu multiplizieren mit $\frac{69,3}{35} = \frac{d}{e}$	
$f = 99,2$	Volumen nach Luftbeimischung	
$g = 90,6$	„ „ Verbrennung; $\text{K} = f - g = 8,6$	
$h = 89,2$	„ „ Absorption in KOH; $(\text{CH}_4)_r = g - h = 1,4$; $\text{CH}_4 = \frac{d}{e} \cdot (g - h)$	2,8% CH_4
	$(\text{H}_2)_r = \frac{2}{3} \{ \text{K} - 2(\text{CH}_4)_r \} = \frac{2}{3} \{ f - g - 2(g - h) \}$; $\text{H}_2 = \frac{d}{e} \cdot \frac{2}{3} \cdot (f + 2h - 3g)$	7,8% H_2
	Rest ist N_2	59,2% N_2

Zahlentafel 68. Verfahren bei unvollständiger oder vernachlässigter Absorption des CO.

Ableasungen	Bemerkungen und Berechnungen	Resultate
Wie oben		
$a = 100,0$		3,5% CO_2
$b = 96,5$		0,2% O_2
$c = 96,3$		22,1% CO (Teil)
$d = 74,2$	„ „ nur in saurer Lösung (kann entfallen, nur wird der Fehler größer)	
$e = 35,0$	„ „ angewandte Luft = $f - e = 64,0$; darin $\frac{79}{100} \cdot (f - e)$ $\text{N}_{\text{Luft}} = 50,56\% \text{N}_2$	
$f = 99,0$	„ „ $\text{K} = 10,7$	
$g = 88,3$	„ „ $(\text{CO}_2)_r = 3,9$	
$h = 84,4$	Nach Absorption des restlichen Luftsauerstoffs; $l = i - \frac{79}{100} \cdot (f - e)$ $\text{N}_{\text{Gasrest}} = 26,74\%$	
$i = 77,4$	$m = e - l = 8,26$;	
	$(\text{H}_2)_r = m - (\text{CO}_2)_r$; $\text{H}_2 = \frac{d}{e} \cdot (m - (\text{CO}_2)_r) = \frac{74,2}{35} \cdot 4,36$	9,2% H_2
	$(\text{CO})_r = (\text{CO}_2)_r + m - \frac{2}{3} [\text{K} + (\text{CO}_2)_r]$; $\text{CO} = \frac{d}{e} \cdot (\text{CO})_r = \frac{74,2}{35} \cdot \left\{ 12,16 - \frac{2}{3} (14,6) \right\}$	5,2% CO (Teil)
	$(\text{CH}_4)_r = \frac{2}{3} [\text{K} + (\text{CO}_2)_r] - m$; $\text{CH}_4 = \frac{d}{e} \cdot (\text{CH}_4)_r = \frac{74,2}{35} \cdot \left\{ \left(\frac{2}{3} \cdot 14,6 \right) - 8,26 \right\}$	3,1% CH_4
	Rest ist N_2	Durch Summierung: 27,3% CO 56,7% N_2

Zahlentafel 69. Vereinfachte Gasanalyse.

Ablösungen		Vorgang, Bemerkungen und Berechnungen	
$a = 100,0$	Volle Burette. Angewandtes Gasvolumen. Soll genau 100,0 sein, um Umrechnungen durchaus zu vermeiden.	$a - b = 100,0 - 96,5 = 3,5\%$	CO_2
$b = 96,5$	Nach Absorption mit Kalilauge	$b - c = 96,5 - 96,3 = 0,2\%$	O_2
$c = 96,3$	„ Pyrogalllösung	$O_2' = i - d - c = 128,4 - 96,3 = 32,1\%$	
$d = 128,4$	„ Beifügung von Sauerstoff (rein)	$h = d - e = 128,4 - 94,7 = 33,7\%$	
$e = 94,7$	„ Explosion; die eingetretene Kontraktion	$CO_2' = l = e - f = 94,7 - 64,3 = 30,4\%$	
$f = 64,3$	„ Absorption mit Kalilauge		
$g = 95,1$	„ Beifügung von Wasserstoffüberschuß	$m = g - h = 95,1 - 72,1 = 23,0\%$	
$h = 72,1$	„ Explosion; die eingetretene Kontraktion		
	Ausrechnung:	$H_2 = k - i + \frac{1}{3} m = 33,7 - 32,1 + \frac{1}{3} \cdot 23,0 = 9,3\%$	H_2
		$CH_4 = i - \frac{1}{3} (k + l + m) = 32,1 - \frac{1}{3} (33,7 + 30,4 + 23,0) = 32,1 - 29,0 = 3,1\%$	CH_4
		$CO = \frac{1}{3} (4l + k + m) - i = \frac{1}{3} (4 \cdot 30,4 + 33,7 + 23,0) - 32,1 = 59,4 - 32,1 = 27,3\%$	CO

NB. Bei einiger Übung und normaler Gaszusammensetzung wird man sowohl großen Sauerstoffüberschuß wie auch Wasserstoffüberschuß bei der zweiten Explosion vermeiden können.

Die schweren Kohlenwasserstoffe werden bei Vernachlässigung der Bestimmung entweder als O_2 gefunden, oder verhindern bei der Anwendung von Phosphor die Absorption des O_2 .

O_2 . Absorptionsmittel: Pyrogalllösung oder weißer Stangenphosphor; letzterer nur zu empfehlen, wenn vorher Absorption der schweren Kohlenwasserstoffe durchgeführt wird.

Erstere wird hergestellt durch Lösung von 1 g Pyrogallol in 3 cbm Wasser und Versetzen mit 5 cbm KOH von spezifischem Gewicht 1,23.

CO . Absorptionsmittel: Cu_2Cl_2 in saurer oder ammoniakalischer Lösung. Erstere absorbiert langsam und gibt im Falle der Sättigung wieder CO ab, daher ist letztere vorzuziehen. Herstellung durch Lösung von 200 g Cu_2Cl_2 und 250 g NH_4Cl in 750 cbm Wasser und Einlegen von Kupferspirale. Vor Gebrauch mischt man zu drei Teilen vorstehender Lösung einen Teil NH_3 von spezifischem Gewicht 0,905. Auch bei diesem Mittel ist Absorption zum Schluß sehr träge, daher

bei genauen Analysen zweite Absorption mit frischer Lösung notwendig.

H_2 , CH_4 und Homologe. Sind nur durch Verbrennung zu bestimmen. Entweder stufenweise bei Anwendung von Luft (Sauerstoff), durchzuführen mit Palladiumasbest in Glasröhrchen (durch Spirituslampe erhitzt), Messung der Kontraktion k ($H_2 = \frac{2}{3} k$) und Nachverbrennung des CH_4 in Platinkapillare oder auch durch Verbrennung beider ohne Beimischung von Luft über rotglühendem CuO . Letztere Bestimmungsmethode hat den Vorteil, daß der ganze Gasrest angewendet werden kann. Die bei Verbrennung mit CuO entstandene CO_2 wird mit KOH absorbiert ($H_2 = k$, $CH_4 = CO_2$). Da alle diese Verbrennungsmethoden leicht unvollständig ausfallen und zeitraubend sind, wendet man meist die gemeinsame Explosion durch elektrischen Funken an und stellt aufgetretene CO_2 fest ($CH_4 = CO_2$, $H_2 = \frac{2}{3} \cdot (k - 2 \cdot CH_4)$). Umrechnung wegen Anwendung eines Teiles des Restgases.

Die Ausrechnung der Ergebnisse ist aus den beiliegenden Zahlentafeln 67 und 68 zu ersehen. Will man die zeitraubende Absorption des CO vermeiden, so kann man einen ähnlichen Weg wie nach Zahlentafel 68 wählen. Um jedoch mit möglichst großen Ausgangsvolumen arbeiten zu können, empfiehlt sich die Anwendung von O_2 zur Explosion. Derselbe soll möglichst rein sein, um Umrechnungen zu vermeiden. Der Rest des nicht verbrauchten O_2 wird dann nicht durch Absorption mit Pyrogallol bestimmt, obwohl dies an sich möglich ist, sondern zweckmäßig mittels Explosion mit beigemischem H_2 , der aber unrein sein kann. Hat man eine Bürette mit 130 ccm Inhalt, so ist der Gesamtvorgang und Berechnung gemäß Schema und Zahlentafel 69. Restbestimmung des O_2 kann auch mit Pyrogallollösung durchgeführt werden, dies ist aber bei großen Mengen langwierig. Bei technisch hergestelltem O_2 ist vorher Reinheitsgrad zu bestimmen. Der zuzugebende Wasserstoff kann unrein sein.

Eine Berichtigung der Gasanalysen wegen der möglicherweise verschiedenen Temperaturen und Drücke ist nicht notwendig, vorausgesetzt, daß die Analyse von Anfang bis zu Ende bei gleicher Temperatur durchgeführt wurde, weil der Feuchtigkeitsgehalt der einzelnen Teilvolumina während der Gasanalyse prozentual immer gleich hoch bleibt, da sich die Gase mit dem Absperrwasser der Bürette stets immer wieder sättigen können. Die gefundenen Mengenverhältnisse sind daher direkt den Mengenanteilen entsprechend.

Heizwertbestimmung. Man errechnet den Heizwert nach den Volumenanteilen und den Heizwerten der Bestandteile unter Benutzung der Zahlentafel 70 bzw. 71, wobei gebräuchlicherweise ebenso wie bei den Brennstoffen der untere Heizwert eingeführt wird. Die in der Zahlentafel angegebenen Werte beziehen sich auf $0^\circ C$ und 760 mm Hg Druck.

Der Bezug auf 15° C und 1 Atm. empfiehlt sich nicht, weil alle Angaben der Physik und Chemie den früher genannten Normalzustand benutzen.

Zur fortlaufenden und aufzeichnenden Heizwertbestimmung dient das Gaskalorimeter von Junkers, Dessau. Das Junkerssche Kalorimeter ist unser genauestes, verlässlichstes Meßinstrument zur Bestimmung des Heizwertes von Gasen. Der untere Heizwert wird bei sinngemäßer Arbeitsweise und Vermeidung grober Fehlerquellen infolge der konstruktiven Ausbildung und des angewendeten Meßprinzips auch in der technischen Handhabung mit ausreichender Genauigkeit erhalten. Die Bestimmung des oberen Heizwertes ist je nach den Versuchsumständen mit gewissen Fehlern behaftet. Die Ursache derselben liegt vor allem in dem Umstand, daß das dem Brenner des Kalorimeters zugeführte Gas und die Verbrennungsluft einerseits, die abziehenden Verbrennungsprodukte andererseits je nach ihrer Temperatur und

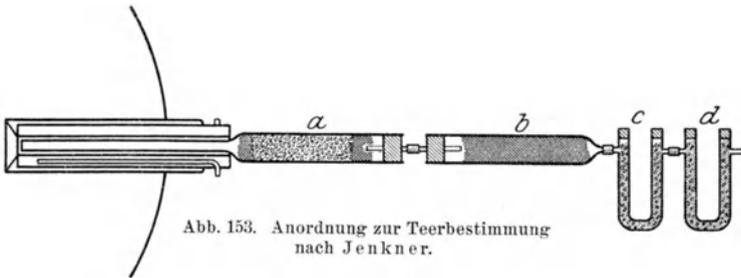


Abb. 153. Anordnung zur Teerbestimmung nach Jenkner.

dem davon abhängigen Feuchtigkeitsgehalt dem Kalorimeter wechselnde Mengen an Wasserdampf zu- bzw. abführen. Der wechselnde Betrag der latenten Verdampfungswärme des letzteren beeinflusst den gefundenen oberen Heizwert zumeist in der Richtung, daß derselbe etwas zu niedrig angezeigt wird. Die Größenordnung dieser Fehler verlangt in Fällen, in denen es auf eine genaue Bestimmung des oberen Heizwertes ankommt, trotz der damit verbundenen Umständlichkeiten in der Versuchsaufführung und Berechnung unbedingt Berücksichtigung.

Teer-, Staub- und Feuchtigkeitsbestimmung. Diese geschieht durch Filtration und Absorption mit CaCl_2 . Am besten erscheint die Anordnung von Jenkner¹⁾, der gemäß Abb. 153 die Gasprobe durch ein wassergekühltes Rohrstück absaugt, um Verluste durch Wiederverdampfung leichter Teeröle zu vermeiden. Der hintere Teil des Rohres *a* ist mit kurzgeschnittenen Glasröhren nach Art der Raschigringe (vorn und hinten ein Glaswollepfropfen), das Rohr *b* mit Watte dicht gefüllt, und die Chlorkalziumrohre *c*, *d* dahintergeschaltet. Nach Durchführung des Versuches leitet man eine Stunde lang auf 50° vorgetrocknete Luft durch, um das Wasser aus *a*, *b* in *c*, *d* überzuführen.

¹⁾ St. u. E. 1921, S. 181.

Zahlentafel 70. Gewicht, Volumen, Zusammensetzung und Heizwert der Gasbestandteile.

Berechnet nach der Konstante für Molekularvolumen = 22,412, Internationaler Atomgewichtstabelle 1913 und Mittelwerten der Physikalisch-chemischen Tabellen von Landolt-Börnstein-Roth. 4. Aufl. nach F. Hoffmann.

Gültig für 0°, 760 mm Hg und 45° nördlicher Breite.

Bestandteil	Chem. Formel	Molekular-Gewicht	1 kg ist in cbm	1 cbm wiegt kg	Spez. Gew. f. Luft = 1	1 cbm enthält		Heizwert von 1 cbm	
						oberer	unterer		
Sauerstoff	O ₂	32,00	0,7004	1,428	1,105	—	—	—	—
Stickstoff, rein	N ₂	28,02	0,7999	1,250	0,9673	—	—	—	—
„ der Luft	—	(28,177)	0,7958	1,257	0,9722	{ 299,7 g O ₂ + 993,2 g N ₂			
Luft	—	(28,984)	0,7734	1,293	1,0	{ 0,2099 cbm O ₂ + 0,7901 cbm N ₂			
Wasserdampf	H ₂ O	18,016	1,244	0,8038	0,6217	89,95 g H ₂ + 713,9 g O ₂			
Kohlensäure	CO ₂	44,00	0,5094	1,963	1,518	535,4 „ C + 1427,8 „ O ₂			
Wasserstoff	H ₂	2,016	11,12	0,08995	0,06957	—	—	—	—
Kohlenoxyd	CO	28,00	0,8004	1,249	0,9662	535,4 g C + 713,9 g O ₂			
Methan	CH ₄	16,032	1,394	0,7153	0,5532	535,4 „ C + 179,9 „ H ₂			
Äthan	C ₂ H ₆	30,048	0,7459	1,341	1,037	1070,8 „ C + 269,9 „ H ₂			
Äthylen	C ₂ H ₄	28,032	0,7995	1,251	0,9673	1070,8 „ C + 179,9 „ H ₂			
Azetylen	C ₂ H ₂	26,016	0,8615	1,161	0,8978	1070,8 „ C + 89,95 „ H ₂			
Benzol	C ₆ H ₆	78,048	0,2872	3,482	2,693	3212,4 „ C + 269,9 „ H ₂			
Toluol	C ₇ H ₈	92,064	0,2434	4,108	3,177	3747,4 „ C + 359,8 „ H ₂			
Schwefeldioxyd	SO ₂	64,056	0,350	2,857	2,21	1429,6 „ S + 1427,8 „ O ₂			
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	34,072	0,6579	1,520	1,175	1429,6 „ S + 89,95 „ H ₂			
								3062	2580
								3043	3043
								9490	8526
								16570	15120
								14810	14190
								13950	13470
								35290	33840
								39710	37790
								(619) ¹⁾	(619) ¹⁾
								6076	5593
								(6695) ¹⁾	(6212) ¹⁾

1) Bei Verbrennung zu SO₃.

Zahlentafel 71. Tabellen zur Heizwertermittelung.
Bestandteile in Vol. %, unterer Heizwert je 1 cbm Gas.

Kohlenoxyd.										Wasserstoff.											
%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	30	33	37	40	43	46	49	52	55	58	0	26	28	31	34	36	39	41	44	46	49
1	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	1	52	54	57	59	62	65	67	70	72	75
2	91	94	97	100	103	107	110	113	116	119	2	77	80	83	85	88	90	93	95	98	101
3	122	125	131	134	137	140	143	146	149	151	3	103	106	108	111	114	116	119	121	124	126
4	152	155	158	161	164	167	170	173	177	180	4	129	132	134	137	139	142	144	147	150	152
5	183	186	189	192	195	198	201	204	207	210	5	155	157	160	162	165	168	170	173	175	178
6	213	216	219	222	225	228	231	234	237	240	6	181	183	186	188	191	193	196	199	201	204
7	243	246	250	253	256	259	262	265	268	271	7	206	209	211	214	217	219	222	224	227	229
8	274	277	280	283	286	289	292	295	298	301	8	232	235	237	240	242	245	247	250	253	255
9	304	307	310	313	316	320	323	326	329	332	9	258	261	263	266	268	271	273	276	279	281
10	335	338	341	344	347	350	353	356	359	362	10	284	286	289	292	294	297	299	302	304	307
11	365	368	371	374	377	380	383	386	390	393	11	310	312	315	317	320	323	325	328	330	333
12	396	399	402	405	408	411	414	417	420	423	12	335	338	341	343	346	348	351	353	356	359
13	426	429	432	435	438	441	444	447	450	453	13	361	364	366	369	372	374	377	379	382	384
14	456	459	463	466	469	472	475	478	481	484	14	387	390	392	395	397	400	402	405	408	410
15	487	490	493	496	499	502	505	508	511	514	15	413	415	418	420	423	426	428	431	433	436
16	517	520	523	526	529	533	536	539	542	545	16	439	441	444	446	449	451	454	457	459	462
17	548	551	554	557	560	563	566	569	572	575	17	464	467	469	472	475	477	480	482	485	487
18	578	581	584	587	590	593	596	599	603	606	18	490	493	495	498	500	503	505	508	511	513
19	609	612	615	618	621	624	627	630	633	636	19	516	519	521	524	526	529	531	534	537	539
20	639	642	645	648	651	654	657	660	663	666	20	542	544	547	550	552	555	557	560	562	565
21	669	673	676	679	682	685	688	691	694	697	21	568	570	573	575	578	581	583	586	588	591
22	700	703	706	709	712	715	718	721	724	727	22	593	596	599	601	604	606	609	611	614	617
23	730	733	736	739	742	746	749	752	755	758	23	619	622	624	627	630	632	635	637	640	642
24	761	764	767	770	773	776	779	782	785	788	24	645	648	650	653	655	658	660	663	666	668
25	791	794	797	800	803	806	809	812	816	819	25	671	673	676	678	681	684	686	689	691	694
26	822	825	828	831	834	837	840	843	846	849	26	697	699	702	704	707	709	712	715	717	720
27	852	855	858	861	864	867	870	873	876	879	27	722	725	727	730	733	735	738	740	743	745

29	882	886	889	892	895	898	901	904	907	910
30	913	916	919	922	925	928	931	934	937	940
31	943	946	949	952	956	959	962	965	968	971
32	974	977	980	983	986	989	992	995	998	1001
33	1004	1007	1010	1013	1016	1019	1022	1025	1029	1032
34	1035	1038	1041	1044	1047	1050	1053	1056	1059	1062
35	1065	1068	1071	1074	1077	1080	1083	1086	1089	1092
36	1095	1099	1102	1105	1108	1111	1114	1117	1120	1123
37	1126	1129	1132	1135	1138	1141	1144	1147	1150	1153
38	1156	1159	1162	1165	1169	1172	1175	1178	1181	1184
39	1187	1190	1193	1196	1199	1202	1205	1208	1211	1214
40	1217	1220	1223	1226	1229	1232	1235	1239	1242	1245
41	1248	1251	1254	1257	1260	1263	1266	1269	1272	1275
42	1278	1281	1284	1287	1290	1293	1296	1299	1302	1305
43	1308	1312	1315	1318	1321	1324	1327	1330	1333	1336
44	1339	1342	1345	1348	1351	1354	1357	1360	1363	1366
45	1369	1372	1375	1378	1382	1385	1388	1391	1394	1397
46	1400	1403	1406	1409	1412	1415	1418	1421	1424	1427
47	1430	1433	1436	1439	1442	1445	1448	1452	1455	1458
48	1461	1464	1467	1470	1473	1476	1479	1482	1485	1488
49	1491	1494	1497	1500	1503	1506	1509	1512	1515	1518
									1522	

Methan.

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		9	17	26	34	43	51	60	68	77
1	85	94	102	111	119	128	136	145	153	162
2	171	179	188	196	205	213	222	230	239	247
3	256	264	273	281	290	298	307	315	324	333
4	341	350	358	367	375	384	392	401	409	416
5	426	435	443	452	460	469	477	486	495	503
6	512	520	529	537	546	554	563	571	580	588
7	597	605	614	622	631	639	648	657	665	674
8	682	691	699	708	716	725	733	742	750	759
9	767	776	784	793	801	810	818	827	836	844
										853

Äthan.

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		15	30	45	60	76	91	106	121	136
1	151	166	181	197	212	227	242	257	272	287
2	302	318	333	348	363	378	393	408	423	438
3	454	469	484	499	514	529	544	559	575	590
4	605	620	635	650	665	680	696	711	726	741
										756

1290

1522

Sämtlicher Staub sitzt im Rohr *a*, neben einem Teil des Teeres, der restliche Teer im Rohr *b*. Zur Trennung von Staub und Teer wird das Rohr *a* mit vorgewärmtem Benzol gewaschen, wodurch Teer in Lösung geht, so daß durch Wägung des Rohres nachher und des benutzten Filters der Staubgehalt bestimmt werden kann. Bei Generatorgas wird man die Trennung von Staub und Teer meist vernachlässigen können.

Ammoniakbestimmung im Gas. Da diese Bestimmung für den normalen Betrieb kaum in Frage kommt, sei auf die einschlägige Literatur verwiesen. Man saugt eine bestimmte Menge Gas durch, hält das NH_3 mit H_2SO_4 zurück und bestimmt die NH_3 -Menge durch Titration.

3. Aufstellung der Stoff- und Wärmebilanz.

Hat man so sämtliche Unterlagen, so ist nur zu beachten, daß man stets zugehörige Ergebnisse auswerte. Zweckmäßig wird man daher einen bestimmten Versuch zugrunde legen.

Für solche gilt noch besonders: Dauer des Versuches mindestens 48, besser 72 Stunden nach regelmäßigem fünftägigem Betrieb mit dem gleichen Brennstoff, damit das Aschenbett von diesem Brennstoff herührt und Beharrungszustand eingetreten ist. Sämtliche Brennstoffuntersuchungen möglichst einschließlich Elementaranalyse während der Dauer des Versuches zweimal. Untersuchung der Rückstände auf Gehalt an Verbrenlichem in getrocknetem Zustand, bei höherem Gehalt unter Umständen auch Heizwertbestimmung. Kohlenmengen und Aschenmengen sind möglichst durch Wägung festzustellen. Die früher genannten Ablesungen sind pünktlich einzuhalten. Alle 24 Stunden, mindestens jedoch einmal ist die Kontrolle des Dampfverbrauches durchzuführen. Alle sechs Stunden vollständige Gasanalyse, alle zwei Stunden Bestimmung des CO_2 -Gehaltes (falls keine Schreibapparate vorhanden sind) und Taupunktbestimmung. Wenigstens einmal während des Versuches Bestimmung des Teer-, Staub- und Feuchtigkeitsgehaltes im Gas, ferner NH_3 -, H_2S - und SO_2 -Bestimmung. Unterlagen für die Gasmessung (Druckmessungen) beschaffen, falls keine Mengemesser vorhanden sind.

Es empfiehlt sich, einen Versuch bei möglichst gleichbleibenden Bedingungen durchzuführen. Für die ganze Dauer sind aus allen Ablesungen Mittelwerte bzw. Durchschnittswerte zu ermitteln. Die Durchsatzmenge ist unter Berücksichtigung von Verschiebungen der Beschickungshöhe bzw. Aschenzone zu korrigieren. Treten im Windraum Kondensationen in größerer Menge ein, so ist diese Menge gleichfalls zu messen. Ebenso soll man die Wassermengen bestimmen, die aus der Schüssel verdampft werden, wobei berücksichtigt werden muß, welche Wassermenge durch die Asche verlorengeht, meist ist die Menge an

Zahlentafel 72. Vordruck für Vergasungsversuche¹⁾.

Ort:	Zeit:	Gaserzeugersystem:			Versuchsleiter:				
Versuchsdauer	Std.	I.	II.	III. Mit el	Brennstoff	I.	II.	III. Mittel	
Beginn { Füllhöhe	mm				Brennstoffanalyse { H ₂ O % Asche % C % H ₂ % N ₂ % S % O ₂ % Flüchtige Bestandteile % C _{fix} %				
Ende { Feuerhöhe	"								
Ende { Aschenhöhe	"								
Zunahme des Brennstoffes	kg								
Durchsatz nach Füllungen	"								
Durchsatz je qm/Std.	kg								
Aschenmenge feucht	kg								
Ablesungen:	WS.								
Winddruck unter Rost	mm								
Gasdruck am Austritt	"								
Dampfdruck hinter Ventil	Atm.								
Windtemperatur unter Rost	°C								
Gastemperatur am Austritt	°C								
Gasanalyse {									
CO ₂	%				Gas je cbm 0°/760 { H ₂ O g Staub " Teer " NH ₃ " H ₂ S "				
C _n H _m	%								
O ₂	%								
CO	%								
H ₂	%								
CH ₄	%								
N ₂	%								
Gasheizwert, unterer, berechnet Kal. bestimmt	"								
Taupunkt des Gases	°C								
					Heizwert, unterer, berechnet in Bombe	Kal.			
					Aschenanalyse, H ₂ O	%			
					Brennbares	%			
					Dampfzusatz, total gemessen	kg			
					ber. je 1 kg Br.	"			
					Ergebnis {	Gasausbeute	cbm/kg		
									chem. Wirk.-Gr.
					wärmet. Wirk.-Gr.	%			
					Kraftverbrauch in	PS			

¹⁾ Zum Falten in Taschenformat. Auf Rückseite Berechnungen hierzu.

Zahlentafel 73. Kohlen-
g C in 1 cbm für x Vol. % kohlenstoffhaltiger Bestand-

Vol. %	0	1	2	3	4
0		0,5354	1,0708	1,6062	2,1416
1	5,3540	5,8894	6,4248	6,9602	7,4956
2	10,7080	11,2434	11,7788	12,3142	12,8496
3	16,0620	16,5974	17,1328	17,6682	18,2036
4	21,4160	21,9514	22,4868	23,0222	23,5576
5	26,7700	27,3054	27,8408	28,3762	28,9116
6	32,1240	32,6594	33,1948	33,7302	34,2656
7	37,4780	38,0134	38,5488	39,0842	39,6196
8	42,8320	43,3674	43,9028	44,4382	44,9736
9	48,1860	48,7214	49,2568	49,7922	50,3276
10	53,5400	54,0754	54,6108	55,1462	55,6816
11	58,8940	59,4294	59,9648	60,5002	61,0356
12	64,2480	64,7834	65,3188	65,8542	66,3896
13	69,6020	70,1374	70,6728	71,2082	71,7436
14	74,9560	75,4914	76,0268	76,5622	77,0976
15	80,3100	80,8454	81,3808	81,9162	82,4516
16	85,6640	86,1994	86,7348	87,2702	87,8056
17	91,0180	91,5534	92,0888	92,6242	93,1596
18	96,3720	96,9074	97,4428	97,9782	98,5136
19	101,7260	102,2614	102,7968	103,3322	103,8676
20	107,0800	107,6154	108,1508	108,6862	109,2216
21	112,4340	112,9694	113,5048	114,0402	114,5756
22	117,7880	118,3234	118,8588	119,3942	119,9296
23	123,1420	123,6774	124,2128	124,7482	125,2836
24	128,4960	129,0314	129,5668	130,1022	130,6376
25	133,8500	134,3854	134,9208	135,4562	135,9916
26	139,2040	139,7394	140,2748	140,8102	141,3456
27	144,5580	145,0934	145,6288	146,1642	146,6996
28	149,9120	150,4474	150,9828	151,5182	152,0536
29	155,2660	155,8014	156,3368	156,8722	157,4076
30	160,6200	161,1554	161,6908	162,2262	162,7616
31	165,9740	166,5094	167,0448	167,5802	168,1156
32	171,3280	171,8634	172,3988	172,9342	173,4696
33	176,6820	177,2174	177,7528	178,2882	178,8236
34	182,0360	182,5714	183,1068	183,6422	184,1776
35	187,3900	187,9254	188,4608	188,9962	189,5316
36	192,7440	193,2794	193,8148	194,3502	194,8856
37	198,0980	198,6334	199,1688	199,7042	200,2396
38	203,4520	203,9874	204,5228	205,0582	205,5936
39	208,8060	209,3414	209,8768	210,4122	210,9476
40	214,1600	214,6954	215,2308	215,7662	216,3016
41	219,5140	220,0494	220,5848	221,1202	221,6556
42	224,8680	225,4034	225,9388	226,4742	227,0096
43	230,2220	230,7574	231,2928	231,8282	232,3636
44	235,5760	236,1114	236,6468	237,1822	237,7176
45	240,9300	241,4654	242,0008	242,5362	243,0716
46	246,2840	246,8194	247,3548	247,8902	248,4256
47	251,6380	252,1734	252,7088	253,2442	253,7796
48	256,9920	257,5274	258,0628	258,5982	259,1336
49	262,3460	262,8814	263,4168	263,9522	264,4876
50	267,7000				

stoffgehalt von Gasen.

teile (C_2H_4 und Homologe sind doppelt zu rechnen).

5	6	7	8	9
2,6770	3,2124	3,7478	4,2832	4,8186
8,0310	8,5664	9,1018	9,6372	10,1726
13,3850	13,9204	14,4558	14,9912	15,5266
18,7390	19,2744	19,8098	20,3452	20,8806
24,0930	24,6284	25,1638	25,6992	26,2346
29,4470	29,9824	30,5178	31,0532	31,5886
34,8010	35,3364	35,8718	36,4072	36,9426
40,1550	40,6904	41,2258	41,7612	42,2966
45,5090	46,0444	46,5798	47,1152	47,6506
50,8630	51,3984	51,9338	52,4692	53,0046
56,2170	56,7524	57,2878	57,8232	58,3586
61,5710	62,1064	62,6418	63,1772	63,7126
66,9250	67,4604	67,9958	68,5312	69,0666
72,2790	72,8144	73,3498	73,8852	74,4206
77,6330	78,1684	78,7038	79,2392	79,7746
82,9870	83,5224	84,0578	84,5932	85,1286
88,3410	88,8764	89,4718	89,9472	90,4826
93,6950	94,2304	94,7658	95,3012	95,8366
99,0490	99,5844	100,1198	100,6552	101,1906
104,4030	104,9384	105,4738	106,0092	106,5446
109,7570	110,2924	110,8278	111,3632	111,8986
115,1110	115,6464	116,1818	116,7172	117,2526
120,4650	121,0004	121,5358	122,0712	122,6066
125,8190	126,3544	126,8898	127,4252	127,9606
131,1730	131,7084	132,2438	132,7792	133,3146
136,5270	137,0624	137,5978	138,1332	138,6686
141,8810	142,4164	142,9518	143,4872	144,0226
147,2350	147,7704	148,3058	148,8412	149,3766
152,5890	153,1244	153,6598	154,1952	154,7306
157,9430	158,4784	159,0138	159,5492	160,0846
163,2970	163,8324	164,3678	164,9032	165,4386
168,6510	169,1864	169,7218	170,2572	170,7926
174,0050	174,5404	175,0758	175,6112	176,1466
179,3590	179,8944	180,4298	180,9652	181,5006
184,7130	185,2484	185,7838	186,3192	186,8546
190,0670	190,6024	191,1378	191,6732	192,2086
195,4210	195,9564	196,4918	197,0272	197,5626
200,7750	201,3104	201,8458	202,3812	202,9166
206,1290	206,6644	207,1998	207,7352	208,2706
211,4830	212,0184	212,5538	213,0892	213,6246
216,8370	217,3724	217,9078	218,4432	218,9786
222,1910	222,7264	223,2618	223,7972	224,3326
227,5450	228,0804	228,6158	229,1512	229,6866
232,8990	233,4344	233,9698	234,5052	235,0406
238,2530	238,7884	239,3238	239,8592	240,3946
243,6070	244,1424	244,6778	245,2132	245,7486
248,9610	249,4964	250,0318	250,5672	251,1026
254,3150	254,8504	255,3858	255,9212	256,4566
259,6690	260,2044	260,7398	261,2752	261,8106
265,0230	265,5584	266,0938	266,6292	267,1646

verdampftem Wasser verschwindend und kann vernachlässigt werden, nur bei tiefgezogenem Feuer ist dieser Punkt wichtig.

Schließlich ist noch die Messung des Kraftverbrauches durchzuführen, sowohl am Gaserzeuger selbst, als auch am Ventilator und den sonstigen Hilfseinrichtungen, wie überhaupt alle Feststellungen durchgeführt werden müssen, die mit Rücksicht auf die besondere Bauart der Anlage wichtig sind. Zusammenstellung der Ergebnisse s. Zahlentafel 72.

Es seien nun:

H_K, O_K, N_K = Gehaltszahlen der Kohle an diesen Stoffen in g für 1 kg rohen Brennstoff;

$CO_2, CO, H_2, CH_4, O_2, C_nH_m, N_2$ = Volumprozent des Gases an diesen Bestandteilen;

s = Staubanfall in g für 1 kg rohen Brennstoff;

t = Teergehalt in g je 1 cbm (falls keine Teeranalyse vorhanden, rechne man für diesen durchschnittlich 80% C, 7% H₂, 12% O₂);

K_1 = Kohlenstoffgehalt in 1 cbm Gas in g = 5,354 (CO₂ + CO + CH₄ + 2 C_nH_m) (vgl. hierzu Zahlentafel 73);

K_2 = Kohlenstoffgehalt des Teeres in 1 cbm Gas in g = 0,8 t;

K_3 = „ in g für 1 kg rohen Brennstoff;

K_4 = „ in g für 1 kg trockene Generatorrückstände;

K_5 = „ in g für 1 kg Staub (falls getrennt vom Teer bestimmt);

A_1 = Aschengehalt in g für 1 kg rohen Brennstoff;

A_2 = Aschengehalt in g für 1 kg trockene Rückstände = 1000 - K_4 ;

Der verlorengelende Kohlenstoff ist nun:

$$K_v = \frac{s \cdot K_5}{1000} + K_4 \cdot \frac{A_1}{A_2}.$$

Der in 1 cbm Gas enthaltene Brennstoff ist:

$$K_g = K_1 + K_2.$$

Somit Gasausbeute

$$V_g = \frac{K_3 - K_v}{K_g},$$

Sauerstoff im Gas

$$(CO + 2CO_2 + 2O_2) \cdot 7,139 + 12 t,$$

Sauerstoff aus Luft

$$\left(N_2 - \frac{N_K}{V_g \cdot 1,25}\right) \cdot 3,793,$$

Sauerstoff aus Dampfersetzung = Differenz = x;

Wasserstoff aus Kohle

$$\frac{H_K - 0,126 \cdot O_K}{V_g},$$

Wasserstoff im Gas

$$(H_2 + 2CH_4 + 2C_nH_m) \cdot 0,8995 + 0,07 t,$$

Wasserstoff aus Dampferzeretzung = Differenz = y .

Es muß nun gelten

$$7,935 y = x.$$

Stimmt letzterer Ansatz nicht überein, so ist in den analytischen Bestimmungen ein Fehler und die Durchrechnung wird meist zeigen, wo derselbe liegt und welche Bestimmungen besondere Aufmerksamkeit verdienen.

Ist die Stoffbilanz durchgeführt, so kann man durch Einführung der Heizwerte die Wärmebilanz aufstellen. Hat man die Gasausbeute nicht durch Messung bestimmt, sondern nur nach vorstehendem errechnet, so ist diese Bilanz naturgemäß etwas unsicher, weil zu dem unbekanntem Restglied (Strahlungs- und Leitungsverlust) noch die ungenaue Gasmenge kommt, in welcher Ziffer sich sämtliche Fehler aller Bestimmungen summieren.

Aus diesem Grunde genügt bei genauen Feststellungen die Aufstellung der Kohlenstoffbilanz, wie dies früher meist durchgeführt wurde, nicht, sondern man muß eine vollständige Stoffbilanz durchführen, wie oben beschrieben. Besonders wichtig ist auch die Bestimmung der Feuchtigkeit bzw. des Dampfes, der dem Gaserzeuger auf verschiedenen Wegen zugeführt wurde, und andererseits die Feuchtigkeitsbestimmung im Gas, um bei der Stoffbilanz den in Umsetzung getretenen Wasserdampf möglichst genau zu

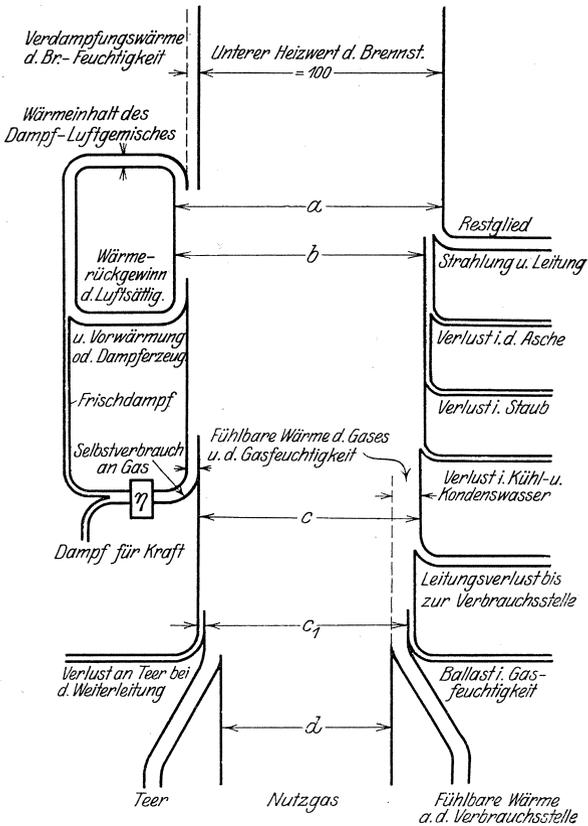


Abb. 154. Schema für Wärmebilanzen.

fassen. Man kann dazu eine Feuchtigkeitsgleichung wie folgt aufstellen:

$V_g \cdot 8,935 \cdot y = \text{Zusatzdampf für 1 kg Kohle + Dampf aus Schüsselwasser bei 1 kg Kohle + Feuchtigkeitsgehalt der Kohle} + 1,126 O_K - V_g \cdot \text{Feuchtigkeitsgehalt in 1 cbm Gas von } 0^\circ.$

Für die Aufstellung der Wärmebilanz kann das in Abb. 154 dargestellte Schema dienen. Als 100 ist der untere Heizwert des zugeführten Brennstoffes einzuführen. Die vom V.d.E. vorgeschlagene¹⁾ Aufstellung von Wärmebilanzen, wobei die Gesamtheit des Wärmeumsatzes (a) mit 100 Teilen bezeichnet wird, empfiehlt sich meines Erachtens nach nicht. Bei dem normalen Vergasungsvorgang mit geringem Dampfzusatz ist der Einfluß der abweichenden Berechnung zwar verschwindend. Wenn man jedoch ein allgemein anwendbares Schema schaffen will, muß man berücksichtigen, daß bei der Einführung von Hundert als Maximalzahl alle Verlustziffern zu klein ausfallen, was besonders bei den Vergasungsverfahren mit Nebenproduktengewinnung zu entstellenden Ziffern führt. So zeigt de Grahl²⁾ an dem nachfolgenden Beispiel einer Vergasung nach dem Mondgasverfahren anschaulich den Einfluß der beiden Berechnungen, und man wird zugeben müssen, daß die so entstehende Differenz beachtenswert ist.

	nach V. d. E.	nach Trenkler
Verluste im Gaserzeuger	6,2	8,1
„ in der Asche	2,6	3,4
„ im Staub	4,3	5,6
„ im Teer	4,8	6,3
„ durch Kühlwasser	6,7	8,8
„ durch Strahlung	3,3	4,3
	<u>27,9</u>	<u>36,5</u>

Da man üblicherweise die Verluste stets auf den Heizwert des Brennstoffes bezieht, geben die Berechnungen nach dem vorgeschlagenen Schema unmittelbar richtige Werte, während sie nach den älteren Normen erst umgerechnet werden müssen, um vergleichbar zu sein. Das in Abb. 154 dargestellte Schema ist aber auch aus dem Grunde vorzuziehen, weil man jede auch nicht in Form von Wärme benutzte Hilfsleistung berücksichtigen kann; um praktischen Verhältnissen gerecht zu werden, führt man den verbrauchten Dampf oder die benötigte Kraft, sowie andere unter Umständen gebrauchte irgendwie mittelbar einen Wärmeaufwand verursachende Hilfsstoffe unter Einführung der tatsächlichen oder mittleren Wirkungsgradziffern als aus einem Teil des Gases erzeugt in die Rechnung ein, so daß man zu einer von der tat-

¹⁾ Normen für Versuche an Gaserzeugern, St. u. E. 1914, S. 236.

²⁾ Wirtschaftliche Verwertung der Brennstoffe. 2. Aufl., S. 226. Oldenbourg.

sächlichen Gasmenge abweichenden Nutzgasmenge kommt, die für die Beurteilung maßgeblich ist.

Im Zusammenhang mit vorstehender Erörterung steht auch die Frage, ob man den unteren oder den oberen Heizwert des Brennstoffes und des Gases in die Rechnung setzen soll. Die Normen des V. d. E. berücksichtigen den unteren Heizwert, obwohl sinngemäß die Einrechnung der Zusatzdampfwärme zur Bestimmung des Wärmeumsatzes von 100 es berechtigt erscheinen lassen würde, auch die Verdampfungswärme der Brennstofffeuchtigkeit in den Wärmeumsatz einzuschließen, d. h. den oberen Heizwert zugrunde zu legen. Es ist speziell bei der Vergasung wasserreicher Brennstoffe vorgeschlagen worden, den oberen Heizwert zu wählen, angeblich um einwandfreie Rechnungsergebnisse zu erhalten¹⁾. Wie aber die dort gegebenen Stoffbilanzen zeigen, ist die Brennstofffeuchtigkeit an der Umsetzung nicht beteiligt. Diese wird als Dampf in den obersten Schichten des Gaserzeugers ausgetrieben; die für die Verdampfung notwendige Wärmemenge wird aus der fühlbaren Wärmemenge des Gases genommen, kommt also für den Wärmeumsatz der Reaktionszone nicht in Betracht. Die in der genannten Schrift gezeigten Abweichungen erklären sich aus den Fehlern der Brennstoff- und Gasanalysen, wie aus der mangelhaften Wasserstoff- bzw. Sauerstoffbilanz zu ersehen ist. Auf diesen Umstand verweisen ja auch die Verfasser. Der Vergleich der dort wiedergegebenen Wärmebilanzen zeigt das bereits früher Gesagte, wonach bei Annahme des oberen Heizwertes alle Verlustzahlen, aber auch der Wärmehalt des Gases selbst kleiner werden. Als weiterer Verlust tritt die Verdampfungswärme der im Gase enthaltenen Feuchtigkeit hinzu. Üblicherweise rechnet man bei der Weiterverwendung des Gases nicht mit dem oberen Heizwert, sondern ganz allgemein in gleicher Weise wie bei den Kesselfeuerungen mit dem unteren Heizwert. Es erscheint daher unzweckmäßig, für die Vergasung abweichende Grundlagen zu schaffen, um so mehr als hierzu keine Berechtigung vorliegt. Der Hinweis, daß man bei der Vergasung wasserreicher Brennstoffe die Verdampfungswärme in der Feuchtigkeit des Gases wieder nutzbar machen kann, indem man sie zur Vorwärmung und Sättigung der Vergasungsluft verwendet, kann als stichhaltige Begründung nicht angesehen werden, denn man kann ohne Schwierigkeit den so entstehenden Wärmegewinn im Kreislauf berücksichtigen (vgl. die Abbildung). Ebensowenig kann man einen im Gas verbleibenden Feuchtigkeitsgehalt von vornherein als Verlust aufweisen, tatsächlich tritt die Feuchtigkeit sowohl bei Umsetzungsvorgängen als bei Verbrennungsvorgängen in Dampfform in Erscheinung, und wird in dieser

¹⁾ Vgl. Hilliger und Wurm: Braunkohlenvergasung bei Gewinnung von Urteer. Forsch. Arb., Heft 243, S. 34–41.

Zahlentafel 74. Wärmeinhalt bei t° C

t =	0°	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
1 cbm 2aG	0	31	62	94	126	159	192	226	260	295	330	365
1 „ CO ₂	0	41	85	131	180	232	285	341	398	456	514	571
1 „ H ₂ O	0	37	75	114	153	192	232	273	314	357	402	449
1 kg O ₂	0	21	43	65	88	111	134	158	182	206	231	256
1 „ N ₂	0	25	50	75	101	127	154	181	208	236	264	292
1 „ Luft	0	24	48	72	97	123	149	175	201	228	255	282
1 „ H ₂	0	343	691	1045	1403	1767	2137	2511	2890	3276	3666	4061
1 „ CO	0	25	50	75	101	127	154	181	208	236	264	292
1 „ CO ₂	0	21	43	68	93	119	146	174	202	231	260	289
1 „ H ₂ O	0	46	93	140	188	237	286	335	387	441	495	551

Form als Ballaststoff mitgeführt und bei den Rechnungen berücksichtigt.

Die fühlbare Wärme des heißen Gases und des darin enthaltenen Dampfes berechnet man unter Einführung der spezifischen Wärmen für die B. Neumann¹⁾ auf Grund verschiedener Forschungen einheitliche Werte zusammengestellt hat, oder nach den Werten des Verfassers in Zahlentafel 54, welche von den Neumannschen Werten kaum abweichen aber ergänzt wurden. Um die Umrechnungen mit den spezifischen Wärmen zu vermeiden, ist in Zahlentafel 74 der Wärmeinhalt für die verschiedenen Gase und wechselnde Temperaturen berechnet worden.

Die fühlbare Wärme des erzeugten Gases ist demnach für den Gaserzeuger selbst kein Verlust, sondern kann erst bei der Weiterleitung und Verwendung des Gases zu einer Verlustquelle werden. Wirkliche Verluste im Gaserzeuger sind nur die in den Brennstoffrückständen, im Flugstaub und die Strahlungsverluste. Der „wärmewirtschaftliche“ oder „thermische“ Wirkungsgrad der Vergasung wird also nutzbar nicht nur den Heizwert im Gase, sondern auch die fühlbare Wärme des Gases, den Heizwert des Teeres und den Wärmeinhalt des etwa erzeugten Dampfes berücksichtigen (b), während als Aufwand nur der Heizwert des Brennstoffes (100) einzusetzen ist. Die im Brennstoff bzw. im Gas enthaltene Feuchtigkeit tritt als Ballaststoff nicht in Erscheinung. Es mag dies auf den ersten Blick willkürlich und unrichtig erscheinen, da z. B. für den Zusatzdampf bereits Bildungswärme verbraucht wurde; wir müssen uns aber erinnern, daß die Zersetzung des Wasserdampfes Wärme entzogen hat (vgl. S. 56) und daß diese daher einem anderen Faktor notwendigerweise fehlen muß. Die Verdampfungswärme darf aber nicht berücksichtigt werden, da die unteren Heizwerte der Rechnung gleichfalls dieselben ausschließen. Ein für etwa benötigten und nicht

¹⁾ St. u. E. 1919, S. 746.

und konstantem Druck in Kal.

1200	1300	1400	1500	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
402	448	476	513	550	628	708	790	871	957	1044	1131
629	686	746	806	866	990	1116	1243	1373	1500	1633	1761
497	546	598	650	704	819	946	1085	1231	1396	1557	1734
281	307	333	359	385	439	495	551	608	667	728	792
321	350	380	410	441	502	566	631	697	765	835	906
310	338	367	396	425	485	547	610	673	739	806	875
4462	4869	5279	5696	6117	6957	7858	8758	9682	10626	11589	12576
321	350	380	410	441	502	566	631	697	765	835	906
318	348	378	410	440	502	566	629	694	757	823	888
608	675	728	791	856	997	1156	1327	1510	1703	1912	2139

durch Dampferzeugung oder Sättigung beschafften Zusatzdampf verbrauchter Wärmearaufwand kommt erst bei Berechnung der Nutzgasmenge d zur Geltung.

In vielen Fällen wird man aber auf die fühlbare Wärme des Gases keinen Wert legen, kann sie sogar nicht ausnutzen, ebenso wie der gewonnene Teer nicht unmittelbar in Betracht kommt; das ist besonders dort zutreffend, wo das Gas im gereinigten und möglichst gekühlten Zustand verwendet werden muß, also insbesondere bei Kraftgas u. dgl. Man wird daher meist als zweites Kennzeichen der Vergasung noch einen „chemischen“ oder „Umsetzungs-Wirkungsgrad“ einführen, der das Verhältnis zwischen der im Gasheizwert gewonnenen und der im Brennstoff enthaltenen Wärmemenge darstellt. Letzterer wird natürlich nur für bestimmte Fälle brauchbare Werte ergeben; er hängt stark von den allgemeinen Eigenschaften der Brennstoffe ab, da z. B. teerreiche Brennstoffe einen niedrigen chemischen Wirkungsgrad ergeben, falls der Teer nicht zersetzt wird. Er kann also als ein Kennzeichen einerseits des Brennstoffes und andererseits für das Vergasungsverfahren dienen und wird insbesondere günstiger, je niedriger der Anteil an fühlbarer Wärme ausfällt.

Man wird in der Praxis neben diesen beiden Wirkungsgradziffern noch einen „technischen“ Wirkungsgrad (etwa $\frac{c}{100}$ oder $\frac{c_1}{100}$) brauchen, der den jeweiligen Verhältnissen Rechnung trägt. Für diesen Anhaltspunkte zu geben, wäre unzweckmäßig, denn die vorhandene Verwirrung in den Wirkungsgradbezeichnungen ist gerade dadurch entstanden, daß man sich den jeweiligen praktischen Bedürfnissen anpassen wollte, die sich von Fall zu Fall verschieben. Dieser technische Wirkungsgrad wird verschieden sein für den gleichen Vergasungsvorgang, wenn man das Gas einmal zum Heizen, ein andermal für Kesselfeuerung mit vorausgehender Gewinnung von Nebenerzeugnissen und schließlich für Gasmaschinenbetrieb benutzt.

4. Folgerungen.

Für den einzelnen Bedarfsfall wird nur der technische Wirkungsgrad Bedeutung haben; derselbe wird aber auch in seiner Kennzeichnung naturgemäß wechseln. So wie in dem Schema angedeutet, setzt er sich aus drei Teilen zusammen; dem Heizwert des Gases selbst, der fühlbaren Wärme des Gases und dem Heizwert des Teeres. Die beiden letzteren ergeben bei der Weiterleitung Verluste, abgesehen von dem Umstand, daß der im Gas enthaltene Wasserdampf als schädlicher Ballast anzusprechen ist, und daher auch als Verlust eingerechnet wurde. Wie bereits an früherer Stelle dargetan, kann man diese Verluste nur durch entsprechende Führung des Verfahrens, bzw. richtige Ausgestaltung der Gesamtanlage beeinflussen. Es ist daher auch bei Erzeugung von Heizgas das früher viel verbreitete Bestreben zu erklären, daß man den Teeranteil in Gas umsetzen wollte. Solange die Teergewinnung und insbesondere die spätere Verarbeitung nicht lohnend erschien, war dies vom Standpunkt der Gasherstellung richtig.

Offensichtlich ist auch der Einfluß der fühlbaren Wärme im Gas. Verluste müssen in dieser Hinsicht stets eintreten. Um nun über den Einfluß des Feuchtigkeitsballastes bei verschiedenen Brennstoffen ein Bild zu geben, ist in Zahlentafel 75 die Wärmeverteilung nach ungefähren Ziffern zusammengestellt. Daß die Summe der letzten vier Ziffern teilweise 100 übersteigt, ist nach dem Schema erklärlich, weil diese Summe etwa dem Wert *b* entspricht, der wohl größer als 100 sein kann. Dagegen ist die Summe ohne den Ballast der Feuchtigkeit stets geringer als 100 und entspricht etwa dem Werte *c*.

Zahlentafel 75. Wärmeverteilung bei verschiedenen Brennstoffen.

Vergasungsstoff	Koks	Steinkohle	Braunkohlenbriketts	Minderwertige Brennstoffe mit	
				40 % H ₂ O	55 % H ₂ O
Gasausbeute cbm/kg	4,5	3,7	2,5	1,5	1,2
Gastemperatur °C	800	600	300	120	80
Chemischer Wirkungsgrad %	78	72	74	75	72
Heizwertanteil im Teer %	—	10	14	14	8
Heizwertanteil in der fühlbaren Wärme des Gases %	14	12	6	2	1
Heizwertanteil in der fühlbaren Wärme des Dampfes im Gase . . . %	1	3	5	11	16

Man kann daher die grundlegende Folgerung aufstellen: Die Wärme, die im Heizwert des Gases vorhanden ist, unterliegt keinerlei Verlusten, während solche bei der fühlbaren Wärme des Gases und dem Teer unvermeidlich sind,

und gelangt daher zu dem Schluß:

Man betreibe den Gaserzeuger nicht zu heiß, sondern so kalt, als es der Brennstoff zuläßt.

Es ist nicht immer zutreffend, daß der Betrieb der Öfen heißes Gas verlangt. Diese Fälle sind selten. Die meisten industriellen Öfen sind mit Rekuperation oder mit Regeneration ausgestattet, und die Abwärme der Essengase ist so hoch, daß man jederzeit in der Lage ist, die erforderlichen Temperaturen im Ofen durch eine Luft- oder eine gleichzeitige Gas- und Luftvorwärmung zu erreichen. Man hat daher vielfach versucht, bei Gaserzeugern die fühlbare Wärme des Gases zur Erzeugung des Wasserdampfes zu verwenden, der zum Gaserzeugerbetrieb notwendig ist (vgl. S. 200). Diese Einrichtungen sind aber nur bei teearmen Brennstoffen mit Vorteil anzuwenden, und scheiden daher für die Mehrzahl der Anlagen aus. Um aber den Anteil an fühlbarer Wärme und die dadurch möglichen Verluste zu verringern, gelangt man zu der weiteren Folgerung:

Hochwertige Brennstoffe mit solchen minderwertigen zu strecken, die geeignet sind, die Gastemperaturen zu vermindern. Dieser Weg ist besonders dann empfehlenswert, wenn es sich darum handelt, wasserreiche Brennstoffe nutzbar zu machen, die, allein vergast, keine günstige Gaszusammensetzung und keinen vorteilhaften Betrieb zulassen. Es handelt sich zwar in diesem Falle im Grunde genommen um eine Aufbesserung dieser minderwertigen Brennstoffe, doch ist dieser Weg tatsächlich auch bei hochwertigen Brennstoffen im umgekehrten Sinne empfehlenswert. Die auf diese Art und Weise im Gaserzeuger selbst verbrauchte fühlbare Wärme dient nicht nur zur Vortrocknung des wasserhaltigen Brennstoffes, sondern es wird durch das so geschaffene natürliche Temperaturgefälle bis zu niedrigen Endwerten die Möglichkeit geschaffen, hochwertige Teere ohne besondere Einrichtungen am Gaserzeuger selbst zu gewinnen. Die Gasgewinnung muß in Zukunft stets auch auf eine Gewinnung der Teere gerichtet sein, weil damit die einzige Möglichkeit geschaffen wird, die nötigen Treibmittel und auch noch andere wichtige Rohstoffe zu beschaffen, an denen steigender Bedarf zu erwarten ist.

Andererseits seien nochmals einige der übrigen Verlustfaktoren betrachtet, und Hinweise gegeben, wie und wo am besten ein Mangel zu beheben ist. Über das Restglied wurde bereits vorher einiges ausgeführt; es ist natürlich eine der ersten Forderungen, die Verluste an Gas so klein wie möglich zu gestalten. Die Strahlungs- und Leitungsverluste können am wenigsten beeinflußt werden, vorausgesetzt, daß die Bauart nicht Mängel aufweist. Eher kann man die Strahlungs- und Leitungsverluste bei der Weiterleitung verringern. Wie aber bereits im vorstehenden gesagt, ist das beste Mittel, die Gastemperatur so niedrig zu halten, als

der Brennstoff zuläßt. Man stößt bei der weiteren Betrachtung auf eine Aufgabe, die meines Wissens wenig erörtert wurde, obwohl sie in der Praxis vielfach aufgeworfen wird. Um sie gleich recht anschaulich, wenn auch übertrieben zu formulieren: Ist es möglich, bei jedem beliebigen Brennstoff den Gaserzeuger recht kalt zu betreiben? z. B. derart, daß die Gastemperatur nur etwa 250° (bei Steinkohle) beträgt. Man wird die Frage verneinen müssen, wenn man keine besonderen Hilfsmittel anwendet, wie z. B. die Berechnung auf S. 259) zeigt. Es ergab sich dort, daß in dem aus den unteren Schichten hochsteigenden Gas bei etwa 800° so viel fühlbare Wärme enthalten ist, daß sie für die Vorwärmung, Destillation und Trocknung des Brennstoffes nicht aufgebraucht werden kann, sondern daß etwa $\frac{1}{3}$ der fühlbaren Wärme genügt. Selbst wenn man den Reaktionsverlauf bis auf 600° ausdehnen wollte, so würde man immer noch einen ganz wesentlichen Überschuß behalten. Es ist andererseits eine bekannte Tatsache, daß viele Kohlen in dem Temperaturintervall von etwa 500° — 700° stark erweichen und daß man daher eine völlig gasundurchlässige Oberschicht im Gaserzeuger erhält, wenn man versucht, denselben möglichst kalt zu treiben. Solche Brennstoffe erfordern eine hohe Gastemperatur, um überhaupt ohne übermäßige Stocharbeit betrieben werden zu können. Anders liegen schon die Verhältnisse, wenn man die Verminderung der Temperaturen durch einen anderen Brennstoff herbeiführt, denn dann wird meist der beigemischte Brennstoff die Offenhaltung der Gasdurchlässe fördern. So ist beispielsweise die Beimischung von Braunkohlenbriketts zu Steinkohlen vielfach angewendet worden, und man ist schließlich weitergegangen und hat Gemische von Braunkohlen mit Steinkohlen vergast. (Ebenso wie man zur Verhinderung des Backens stellenweise auch Koks zugemischt hat.)

Wir kommen so auf das Gebiet der Vergasung von Brennstoffgemischen, welches außerordentlich wichtig ist, nachdem bereits weiter oben die Forderung nach der Benutzung solcher Gemische ausgesprochen ist. Es ist nun bekannt, daß man manchmal mit solchen Gemischen recht eigenartige Erfahrungen gemacht hat, indem sich die Zumischung aus dem Grunde als unwirtschaftlich ergab, weil der zugemischte Brennstoff nicht entsprechend umgesetzt wurde. Es ist dies erklärlich, wenn das Verhalten der beiden Brennstoffe im Feuer ganz besonders abweichend oder wenn die Brenngeschwindigkeit sehr verschieden ist. So hat man z. B. mit der Koksbeimischung um so schlechtere Erfahrungen gemacht, je leichter vergasbar der andere Brennstoff war; selbst bei hochwertigen Braunkohlen ist dieser Unterschied derart, daß der Koks oft unverbrannt unten ausgetragen wurde.

Die Brenngeschwindigkeit der Braunkohle ist sehr groß; ihr Drang zur Umsetzung ein außerordentlicher, wenn der Vorgang einmal ein-

geleitet ist; möglicherweise sind daher auch die Maximaltemperaturen etwas niedriger. Der Vergasungsvorgang ist in etwa 3—4 Stunden beendet, während der schwer entzündliche Koks erst bei hohen Temperaturen in Reaktion tritt; bei diesen erst später erreichten Temperaturen ist es aber leicht möglich, daß der Koks gewissermaßen in einer Aschenmasse (möglicherweise noch dichter Lagerung) eingebettet ist, so daß seine Vergasung gebremst und möglicherweise erstickt wird. Eine Erhöhung der Schüttung, d. i. ein zwangsmäßig längerer Aufenthalt des Gesamtbrennstoffes im Gaserzeuger wird auch nicht zu einem Ziel führen, weil man damit nicht die Schnelligkeit der Vergasung des leicht brennlichen Stoffes verhindert. Ähnliche Verhältnisse hat man auch bisweilen bei der Mischung von Braunkohlen oder Braunkohlenbriketts mit Steinkohle gefunden; letztere war nur halb vergast (verkokt), oft fand man fast unbeeinflusste Steinkohlenstücke in den Rückständen. Auch bei der Mischung verschiedener Braunkohlen bzw. Braunkohlenbriketts untereinander sind solche Fälle nicht ausgeschlossen, obwohl bei letzteren meist die dicht liegende Asche die Hauptveranlassung zu solchen Vorkommnissen gibt und weniger ein Unterschied der Vergasungsgeschwindigkeit vorliegt. Man wird daher folgern müssen: Sind zwei Brennstoffe zu mischen, und kann man nicht solche ähnlichen Verhaltens wählen, so muß sich der Vergasungsvorgang nach dem schwerer vergasbaren richten, und muß dieser die Hauptmenge ausmachen. Nur dann wird es möglich sein, die notwendigen Bedingungen dauernd aufrechtzuerhalten. Will man von einem Brennstoff geringe Mengen einem anderen beimischen, so dürfen die Vergasungsgeschwindigkeiten nicht zu verschieden sein. Für die Beimischung zu Braunkohlen und Braunkohlenbriketts eignen sich daher nicht die an sich leicht vergasbaren Magerkohlen, sondern am besten die gasreichen Sorten, welche einen porösen Koks geben und erfahrungsgemäß am schnellsten vergast werden. Zerfallende Brennstoffe (wie manche teearmen Braunkohlen) erfordern stets höhere Beimengungen als solche, die in ihrer Korngröße widerstandsfähiger sind. Koks eignet sich im allgemeinen wenig zum Mischen.

Eine andere Möglichkeit zur Herabsetzung der Temperatur des Gases scheint offensichtlich in erhöhter Dampfzugabe zu bestehen. Die Zersetzung desselben entzieht in den unteren Schichten Wärme, weshalb für den Transport nach oben weniger Wärme zur Verfügung steht. Dagegen wird erfahrungsgemäß die Reaktionszone verlängert, so daß manchmal ein höherer Dampfzusatz sogar anfänglich die Gastemperatur steigert, wenn sie vorher nicht allzu hoch war. Es ist aber nun eine bekannte und immer wieder beobachtete Tatsache, daß die Zersetzung des Dampfes mit einer Steigerung der Zusatzmenge schnell zurückgeht,

und daher ist man gewöhnlich nicht in der Lage, dieses Mittel in dem Ausmaß zu gebrauchen, um eine empfindliche Verminderung der Gas-temperatur zu erzielen. Vor allen Dingen ist dieses Mittel sehr kostspielig, weil der unzersetzte Dampf unmittelbar als Verlust zu buchen ist, während die Erhöhung des Wirkungsgrades durch die Dampfzer-setzung nur eine geringe sein kann, wie die Zahlentafeln 15 und 19 zeigen.

Die Frage der Zersetzung des Wasserdampfes ist noch eine völlig ungeklärte. Die Zersetzung benötigt Wärme, diese wäre jedoch zu schaffen, wenn man zugleich CO zu CO₂ verbrennt, was naturgemäß eine andere Zusammensetzung des Gases ergibt und auch aus den ent-sprechenden Werten der obengenannten Zahlentafeln zu ersehen ist. Daß die sogenannte Wassergasreaktion, die zu einer Erhöhung von H₂ und CO₂ führt, noch bis zu niederen Temperaturen stattfindet, ist aus den Versuchen Neumanns (vgl. S. 66) unbedingt zu folgern, wie auch dort besonders hervorgehoben. Um nun die Vorgänge weiter zu verfolgen, wird es zweckmäßig sein, den Temperaturverlauf für das Gas (Luft) und den Brennstoff (Asche) im Gaserzeuger zu verfolgen. Obwohl gerade die Versuche Neumanns mit Temperaturmessungen verbunden waren, lassen dieselben kein verlässliches Bild zu, denn es handelt sich bei der erörterten Frage nicht darum, welche Temperatur in der Zone herrscht, sondern wie das Verhältnis der Temperaturen zwischen dem festen und dem gasförmigen Stoff in den einzelnen Zonen ist. In Abb. 155 ist versucht, ein solches Bild zu entwerfen, und sei dazu folgendes ausgeführt: Die Maximaltemperatur sei 1400°, nachdem eine Halbgasherstellung bei mäßigem Wasserdampfzusatz angenommen wurde. Die Aschenzone sei ca. 40 cm, die Feuerzone ca. 50 cm, die Zone des Brennstoffbettes über derselben 80 cm. Die Gastemperatur wird ca. 600° betragen (Steinkohle als Brennstoff vorausgesetzt). Eine einfache Rechnung ergibt, daß bei 1400° Maximaltemperatur die Asche viel zu wenig Wärme enthält, um das Luftdampfgemisch aufzuwärmen; infolgedessen ist die Gastemperatur in dieser Zone erheblich niedriger als die des Aschenbettes, in dem noch die letzten Umsetzungen von C zu (wahrscheinlich) CO₂ vor sich gehen. Die gemessene Temperatur muß die des Brennstoffes sein. Andererseits ist es klar, daß der Brennstoff so lange auf höherer Temperatur als das Gas sein muß, solange Reaktionen vor sich gehen, weil ja nach der anfänglichen Bildung von CO₂ (wodurch Wärme frei wird) nur Reaktionen in Frage kommen, die Wärme verzehren (Formeln 3, 5, 6; S. 56). Die Wärme des Brennstoffes müßte also in dem Intervall, in dem Reaktionen vor sich gehen, stets höher sein als die des Gases, so daß man die in Abb. 155 als voll und strichliert eingezeichneten Linien 1 und 2 erhält, wenn man 800° als Reaktionsendtemperatur wählt. Bei Unterschreitung dieser Tempe-

ratur ist nun das Gas der Wärmeträger, muß daher stets wärmer sein als der Brennstoff. Die Temperaturdifferenz ist nun beobachtungsgemäß etwa 100° , während die restliche Differenz in der obersten Schicht durch die Vorwärmung, Destillation und Trocknung des Brennstoffes aufgezehrt wird. Als Feuerzone wird das gemessen, was etwa über 1000° liegt, denn diese Temperatur muß herrschen, wenn eine 1''ige Stange

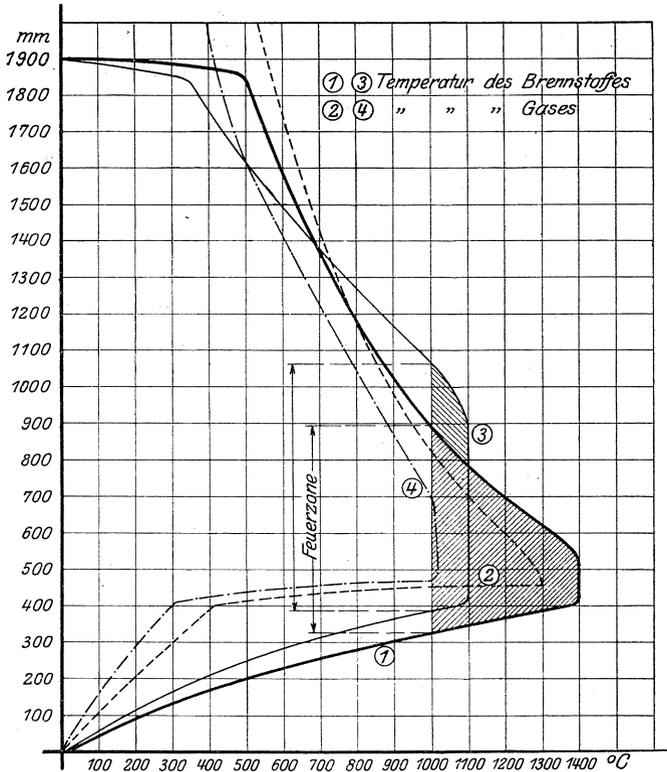


Abb. 155. Temperaturdiagramm für Gas und Brennstoff in einem Gaserzeuger.

in fünf Minuten auf helle Rotglut gebracht werden soll. Das Intervall ist in der Abbildung gestrichelt.

Ich möchte nochmals betonen, daß es sich nicht um die Wiedergabe von Messungen handelt, und daß die Linien nur angenähert gelten; sie sind sogar bewußt etwas übertrieben, um das Nachfolgende deutlich zu machen.

Es ist nun sicher kein Zufall für die eigenartige und vorherrschende Stellung, die die sogenannte Wassergasgleichung 7 bei den Vorgängen im Gaserzeuger spielt, daß diese im geringen Maße wärmeentbindend ist,

bzw. ein Wärme Gleichgewicht darstellt, wenn man flüssiges Wasser in Reaktion treten läßt. Denn dies bedeutet, daß die Temperaturdifferenz zwischen Gas und Brennstoff nur ein ganz geringes zu sein braucht, gegenüber dem bei der Luftgasherstellung vorwiegenden Gleichgewicht nach Gleichung 3, welche von den obengenannten Gleichungen den größten Wärmeverbrauch hat. Während somit bei der Luftgasherstellung die eigentliche Feuerzone in der Temperatur sehr rasch abfällt, ist dies bei höherem Dampfzusatz nicht der Fall, die Spitze wird ausgeglichen und der Temperaturverlauf für Gas und Brennstoff dürfte eher den Linien 3 und 4 entsprechen, weil die Vorwärmung wegen des höheren Dampfzusatzes und dessen höherer spezifischer Wärme noch mehr Wärme verzehrt. Nach dieser Betrachtung wäre es aber naheliegend, die Dampfzersetzung durch folgende Umstände zu beeinflussen bzw. zu verbessern.

1. Den Dampfzusatz über ein gewisses Maß (etwa 300 g/cbm Luft) hinaus nicht zu steigern, um nicht zu viel Wärme zu entziehen. Dieser Weg ist der übliche. Oder

2. das Luftdampfgemisch außerhalb des Gaserzeugers vorzuwärmen und die Maximaltemperatur in der Umsetzungszone möglichst nicht zu erniedrigen (vgl. das Verfahren von Mond und dasjenige von Frank-Caro).

3. Als eine weitere, und wie mir scheint, wichtige Maßnahme folgere ich aus dem Diagramm. Führt man die Vergasung in der unteren Schicht nach Gleichung 1 und 2 durch und setzt die Hauptmenge des Dampfes erst in einer höheren Schicht zu, welche jedoch bestimmt über 1000° aufweisen muß, so ist in dem Gas ein Maximalgehalt von CO, der die Abspaltung der Gleichung 7 unterstützt. Daß zwischen diesem Verfahren und dem Betrieb mit hohem Dampfzusatz in üblicher Weise ein wesentlicher Unterschied besteht, erhellt allein schon aus dem Umstand, daß sich nach den Untersuchungen Neumanns das Wassergasgleichgewicht sehr schnell herstellt und daher keine Möglichkeit besteht, bei unmittelbarem hohem Dampfzusatz einen auch nur vorübergehenden hohen CO-Gehalt des Gases zu erreichen. Dieses wäre aber für eine gute und möglichst vollständige Zersetzung des Dampfes maßgeblich, bzw. man würde durch einen geringeren Zusatz von Dampf dasselbe erreichen wie heute mit einem wesentlich höheren, der lediglich als Ballast den Gaserzeuger durchstreift.

4. Wesentlich erscheint auch die Höhe der Reaktionszonen. Dieselbe verlängert sich selbsttätig, wie ich bereits eingangs hervorhob und wie bei jedem Gaserzeuger mit hohem Dampfzusatz beobachtet werden kann. Man wird dieselbe weiter beeinflussen, wenn man die Belastung gering wählt, weil dann wegen der höheren Aufenthaltszeit des Gases der Wärmeaustausch ein besserer wird. Es sind auch Maßnahmen be-

kannt, diese Verlängerung durch Zuführung von Luft und Dampf in höheren Zonen zu erreichen (vgl. D.R.P. 238 829 von Dr. Caro).

An sich geht die Umsetzung nach dem Wassergasgleichgewicht bis zu wesentlich niedrigeren Temperaturen vor sich als die Reaktion des Luftgasgleichgewichtes (vgl. S. 64). Eben bei der Niederschrift dieses letzten Teiles (während der erste Teil bereits in Druck ist) erhalte ich Kenntnis von Versuchen von N. E. Rambush¹⁾, die gerade zu dieser Frage wichtige, allerdings nicht erschöpfende Beobachtungen geben. Nach denselben ist es gelungen, durch Vergrößerung des Zeitfaktors von rund 2 bei den Versuchen von Bone & Wheeler (vgl. Zahlentafel 19) auf rund 5 bei gleichem Dampfzusatz von 1,75 kg Dampf je Kilogramm Kohle die Zersetzung von etwa 55 auf 90% zu steigern und damit bei gleichem Dampfzusatz die Stickstoffumsetzung von 42 auf etwa 57,5% zu erhöhen. Eine typische Gaszusammensetzung wird mit

8,3 % CO ₂	5,5 % CH ₄
20,5 % CO	44,9 % N ₂
20,5 % H ₂	

bei 1622 Kal. unterem Heizwert angegeben.

Die Querschnittsbelastung ist von mir mit rund 125 kg je Quadratmeter berechnet worden, und war die Gastemperatur unter 200°C gewesen. Das Ergebnis scheint durch eine außerordentlich starke Verlängerung des Schachtes erzielt worden zu sein, falls nicht andere Maßnahmen verschwiegen werden, und würden sich durch nachfolgenden Umstand erklären lassen, der auf mehrfachen Beobachtungen beruht. Die langsame Anwärmung des Brennstoffes (wie z. B. bei der Urteergewinnung) ist für die späteren Umsetzungen von Wichtigkeit, weil die Erwärmung der Kernpartien der einzelnen Brennstoffteile sehr lange Zeit in Anspruch nimmt. So wurde durch die gleichzeitige Urteergewinnung bei Steinkohlen eine Steigerung der Ammoniakausbeute festgestellt. Es ist außerordentlich schwer, exakte Versuche und Feststellungen in dieser Hinsicht zu machen, doch ist beispielsweise bei einstündigem Erwärmen in einem Gasstrom von 600° die Temperaturdifferenz zwischen Rand- und Mittelpartien (100 mm Abstand) zu über 200° bestimmt worden, und dürfte dieselbe um so größer sein, je mehr sich die Asche in der Randpartie anreichert, und je mehr Wärmearaufwand für die Trocknung und Destillation verbraucht wird. Kann man daher eine durchgreifende Erwärmung des Brennstoffes mittels genügend langsamer Anwärmung erzielen, so werden die später einsetzenden Reaktionen viel gleichmäßiger und vollständiger vor sich gehen als sonst. Dies kann besonders auf die Dampferzeugung Einfluß haben, wenn man die gesamte Menge des Dampfes beschränkt, wie es bei den Versuchen von Rambush

¹⁾ West of Scotland I. a. St. I. Session 1922/23.

der Fall ist. Tritt aber eine vollständigere Dampferzersetzung ein, so ist durch den entstehenden Wärmeentzug auch die niedrige Gastemperatur erklärt, die sonst nach den Ausführungen auf S. 259 wärmetechnisch nicht möglich wäre. Diese Verminderung der Gastemperatur ist nur auf den Dampfzusatz, bzw. die bessere Dampferzersetzung zurückzuführen, und sind daher auch die niedrigen Gastemperaturen und der Verzicht auf eine getrennte Schwelzone bei dem Gaserzeuger A.V.G.-Koller (vgl. S. 265) zu erklären, weil die mit diesem Gaserzeuger gemachten Versuche bei einem Dampfzusatz von etwa 1,6 kg je Kilogramm Kohlenstoff durchgeführt worden. Auch dort zeigt die Gasanalyse eine ähnliche Zusammensetzung wie bei Rambush.

Es ist im vorstehenden die Frage der Dampferzersetzung sehr eingehend behandelt worden, weil sie zweifellos für die Ausgestaltung eines wärmewirtschaftlichen Betriebes ausschlaggebend ist. Denn wenn es gelingt, auch größere Dampfmen gen bis zu 90 % zu zersetzen und dadurch die Temperatur des abziehenden Gases zu vermindern, so muß der technische Wirkungsgrad der Vergasung unbedingt ein größerer werden, weil der Anteil an fühlbarer Wärme (Verlustquelle) geringer wird. Erst wenn man eine derart befriedigende Zersetzung des Dampfes unabhängig von der angewandten Menge erzielt, kann der Dampfzusatz im vollen Umfange als Mittel zur Verhinderung von Verschlackungen u. dgl. gebraucht werden.

Die Feststellung der Dampferzersetzung ist demnach eine außerordentlich wichtige, doch kann eine genaue Formel hierfür nicht gegeben werden, wenn von dem vergastem Brennstoff nicht bekannt ist, welcher Anteil vom O_2 der Kohle in Form von Bildungswasser und welcher in Form von CO und CO_2 in das Gas übergeht. Will man daher über diese wichtige Frage weiteren Aufschluß erhalten, so muß man die Untersuchungen unbedingt auf die Feststellung der Destillationsergebnisse ausdehnen, wie bereits auf S. 42 hervorgehoben wurde. Leider sind bisher solche Feststellungen fast noch gar nicht durchgeführt worden, noch viel weniger hat man sie zur Klärung der genannten Verhältnisse herangezogen. Man kann ohne weiteres sagen, daß ein genaues Studium der Destillationsvorgänge nicht nur für die verschiedenen Verfahren der Verkokung und Teergewinnung wichtig ist, sondern auch für die Vergasungsvorgänge eine grundlegende Bedeutung hat.

Wie sehr dies unentbehrlich ist, zeigen auch andere Erfahrungen in der Praxis. Obwohl ich bereits betonte, daß ein niedriger CO_2 -Gehalt kein Kriterium für einen guten Gaserzeugergang ist (vgl. S. 87), so wird man sich doch auf diese Probe allein für die Beurteilung des Betriebes stützen können, wenn man daneben den Betrieb dauernd beobachtet und bei Änderung der Betriebsbedingungen vollständige Gasanalysen bzw.

Stoff- und Wärmebilanzen zur Beurteilung heranzieht. Man kann daher für die Beurteilung der Gaszusammenstellung nachfolgende Faustregeln gelten lassen:

Die Summe von CO_2 und CO übersteigt fast nie 33%. Je schlechter das Gas, also je höher der CO_2 -Gehalt, desto niedriger wird die Summe, da beim Lehlen von CO ersterer nur 19% ist. Das erreichbare Minimum an CO_2 ist bei Steinkohle etwa 1%, bei Braunkohle 2% wegen des höheren Gehaltes der Destillationsgase an CO_2 und liegt bei bestem Betrieb im Durchschnitt mindestens um 1% höher. Der Wasserstoffgehalt wird ohne Zusatzdampf 4–5% betragen und ist meist bei Anwendung von Zusatzdampf 10–14%. Hinsichtlich der Abhängigkeit des CO_2 - und H_2 -Gehaltes wurde bereits früher (vgl. S. 332) ausgeführt, daß letzterer um das doppelte Maß steigen muß, wenn ersterer höher ist, dabei ist aber große Wichtigkeit auf richtige Ausgangswerte zu legen, welche nur durch Kenntnis der Destillationsvorgänge oder auf Grund lang ausgedehnter Beobachtungen gewonnen werden können. Hoher CH_4 -Gehalt (über 5%) weist meist auf Fehlerhaftigkeit der Analyse infolge nicht vollständiger CO -Absorption. Aber auch die Höhe des CH_4 -Gehaltes ist durch das Verhalten der Kohle bei der Destillation bedingt.

Die vorstehenden Regeln dürften für die fortlaufende Überwachung eines bestehenden Betriebes genügen, ich kann jedoch nicht oft genug betonen, daß weitergehende Veränderungen und tiefergreifende Verbesserungen nur dann erzielt werden können, wenn man die ganzen Vorgänge restlos aufgeklärt hat. Zufällige Erfolge sollten ebenso wie Mißerfolge außer Betracht gelassen werden, wenn sie nicht mit den chemischen und technischen Grundlagen in Einklang stehen. Gerade bei der überragenden Bedeutung, welche die Wärmewirtschaft für unser ganzes Wirtschaftsleben besitzt, möge man dies nie außer acht lassen.

VIII. Anhang.

1. Namenverzeichnis.

a) Autoren.

- Adams 60.
Akermann 156.
Altmeyer 84.
Askenasy 306.
Aufhäuser 35. 43. 48. 49. 50.
- Baer 211.
Balley 77.
Bantlin 41. 42.
Bartsch 102.
Baurichter 328.
Becker und Weiß 219.
Beilby 249.
Berl 332. 340.
Beroldingen 20.
Bertelsmann 283. 310.
Berthelot 33.
Berthier 35.
Besemfelder 306.
Binder 42.
Bischoff 137.
Blacher 35.
Bleibtreu 93.
Bone und Wheeler 60. 287. 289. 365.
Bormann 253.
Börnstein 38. 39. 250.
Boudouard 52.
Brand 336.
Brandes 54.
Brandis 327.
Breisig 199.
Brunschwyk 136.
Brunck 336.
Buchner 13.
Bueb 306.
Büggeln 306.
Bunte sen. 338.
Bunte, Dr. Karl 196. 202.
Bunte und Terres 213.
Bunte, Viehoff und Czáko 213.
- Caro 288. 306. 307.
Christie 284.
Clauß 76.
Clement 52.
Clement und Adams 60.
Croll und Mallet 246.
Czáko 213.
- De Grahl 228. 307. 354.
Denk 187.
Dennstedt 335.
Dieulafait 16.
Dichmann 67. 86. 103.
Dobbelstein 32.
Dolch 40. 307.
Dolensky 199. 279.
Donath 13. 22.
Donath und Lißner 13.
Drehschmidt 285.
Dubois 228.
Dumas 335.
Dyes 306.
- Ebelmen 57, 137.
Ehrenwert 72.
Engler 14.
Erdmann 84.
Ernst 52.
Ernst, Wien 200.
Essich 69.
- Fabian 264.
Fayol 13.
Fester 306.
Fischer, Franz 17. 23. 251. 252. 259.
271.
Fischer, Franz und Schrader 21. 23.
334.
Fischer, Ferdinand 18. 33. 42. 68.
72. 123. 136. 143. 148. 154. 226.
237.

Forster und Beilby 249.
 Foster 283.
 Franck 258. 262. 269.
 Fritsch, von 13.
 Fritzsche 42.
 Fuchs 34. 211.

 Gasinstitut Karlsruhe 42. 201. 339.
 Gmelin 36.
 Gramberg 336.
 Grau 41.
 Groß 199.
 Große 281.
 Grouven 249. 285.
 Gwosdz 60. 69. 159. 255. 257. 306.

 Haber 306.
 Hahn 59.
 Harries 59.
 Harzer 310.
 Haus 25.
 Hausbrand 93.
 Heidepriem 32.
 Helfenstein 82.
 Hempel 33. 78. 338.
 Henseling 84.
 Hermanns 167. 242.
 Herzog 135.
 Hilliger und Wurm 355.
 Höfer 14.
 Hofmann 283.
 Hofmann, Justus 154.
 Hoffmann 48. 87. 91. 207. 251. 345.
 Hudler 70.

 Jacoby 52. 84.
 Jahns 214.
 Jahoda 73.
 Jaworsky 263.
 Jenkner 344.
 Jochum 84.
 Johannsen 323.
 Jüptner 35. 41. 49. 56.
 Jüptner und Toldt 88.

 Karsten 140.
 Kjeldahl 335.
 Klein 25.
 Klingenberg 299. 306.
 Kolbe 306.
 Konek 336.
 Körting 154. 187.
 Kreyssig 164. 307.
 Krieger 165. 238.
 Krumbiegel 149.
 Kukuk 10.
 Kumbruch 325.

 Landolt, Börnstein, Roth 48. 345.
 Langbein 33. 34. 336.

Trenkler, Gaserzeuger

Le Chatelier, Henry 49. 54.
 Le Chatelier, C. 65.
 Ledebur 274.
 Leder 323.
 Lempelius 306.
 Lessing 101.
 Liebig 246.
 Limberg 29.
 Linck 261, 274.
 Lißner 13.
 Litinsky 327.
 Luggins 59.
 Lunge-Berl 332. 340.
 Lunge-Köhler 251.
 Lürmann jun. 72. 78.

 Mahler 33. 336.
 Mallet 246.
 Marcusson 21. 24.
 Markgraf 52. 167. 213.
 Mayer und Henseling 84.
 Mayer und Altmeyer 84. 283.
 Mayer und Jacobi 84.
 Meyer-Aachen 274.
 Meyer 52.
 Meyer (Pintsch A.-G.) 261.
 Moissan 85.
 Mond 61.
 Muck (Hinrichsen-Taczak) 10. 11. 27.
 34. 333.
 Müller 228.

 Naumann 306.
 Naumann und Ernst 52.
 Nernst und Wartenberg 52.
 Neumann, B. 356.
 Neumann, Kurt 48. 50. 51. 60. 63.
 65. 67. 98. 164. 207. 210. 362.

 Orsat 339.
 Ostwald, Wilhelm 49.
 Ostwald, Walter 85. 90. 288. 321.

 Pfeiffer 224.
 Pictet 250.
 Pictet und Ramseyer 22.
 Potonié 10. 12. 13.
 Potonié, Dr. Rud. 23.

 Quaglio 75.
 Quasebart 187.

 Radtke 321.
 Rambush 309. 365.
 Ramsay 285.
 Ramseyer 22.
 Rau 284.

Rau und Lambris 285.
 Recknagel 325.
 Reiser 222.
 Richards 54.
 Richter 31.
 Rietschel 325.
 Roser 258. 298. 306.
 Roth 159. 230.
 Rowan 245.
 Russig 306.

Sabatier und Senderens 84.
 Sachs 287.
 Sailer 99. 165.
 Salmang 287.
 Sander 310.
 Schäfer 306.
 Scheuer 306.
 Schmatolla 114.
 Schniewindt 38.
 Schorlemer 250.
 Schrader 21. 23. 334.
 Schulz 298.
 Schwarz 328.
 Schwier 279.
 Seidl 32.
 Seidenschnur 264.
 Siemens 68.
 Simmersbach 13. 16. 28. 285.
 Sinnat 101.
 Sommer 285.
 Stauß 208.
 Steck 54.
 Stopes 101.
 Strache 35. 50. 69. 71. 197. 198.

Strache und Jahoda 73.
 Strache, Breisig, Groß 199.

Terres 213.
 Toldt 88.
 Trenkler 57. 258. 271. 274. 288. 299.
 306. 323.

Uhlmann 306.
 Ulstadius 136.

Viehoff 213.
 van Vloten 52.
 V. d. E. 354.
 V. d. J. 328.

Waldeck 97.
 Wartenberg 52.
 Weiß 219.
 Wendt 48. 50. 51. 57. 67. 164. 212.
 Wenzel und Schwarz 328.
 Wheeler 21. 60. 250. 287. 289. 365.
 Wielandt 50. 52. 94.
 Wilhelm 306.
 Williams 250.
 Winkler 338.
 Wirth 262.
 Wittfeld 226.
 Wolff 169. 294.
 Wolff und Baer 211.
 Wurm 355.
 Württemberger 274.

Young und Ramsey 285.

b) Erfinder und ausführende Firmen.

Addie 246.
 Ados G. m. b. H. 331.
 A.-G. für Brennstoffvergasung 158.
 228. 230. 258. 262.
 A.-G. für restlose Vergasung 199.
 Aitken 245.
 A. V. G. 237. 264. 316.

Balley 77.
 Bamag. 179. 184. 197. 226.
 Barth, Düsseldorf 179. 182.
 Bayer 329.
 Bedford Gas Comp. (Cedford) 7. 84.
 Bender & Främb, Hagen 71. 165.
 238.
 Bénier 148.
 Benson 245.
 Benz & Co. 210.
 Bérard 245.

Berlowitz 324.
 Bildt 121. 172.
 Bischoff 137. 154. 159.
 Blaß 196.
 Blezinger, Duisburg 98. 147. 157.
 227.
 Bormann 76.
 Boutillier 123.
 Brabbée 325.
 Braun 266.
 Braun & Co. 319. 320.
 Brook 127. 149.
 Brook und Wilson 146.
 Bruckmann 143.
 Burckheiser 309.

Chapmann 185. 190.
 Chavanne 185.
 Claassen 329.

- Clauß 76.
 Clegg 246.
 Constable 147.
 Croßley 294.
- Dango und Dinnendahl 236.
 Dannert 80. 82.
 De Bruyn 328, 329, 332.
 De Fontaine 122. 179.
 De Laval 128. 152.
 Dellwick 73. 196.
 Dellwick-Fleischer Wassergas-Ges.
 199.
 Deschamps 149.
 Deutsche Erdöl A.-G. 227.
 Deutsche Mondgas- und Neben-
 produkten-Gesellschaft 185. 258.
 262. 294.
 Deutzer Gasmotorenfabrik 108. 110.
 148. 155. 168. 208.
 Dichmann 194.
 Dingler 266.
 Dougall 143.
 Dowson 106. 147. 153.
 Duff 125. 153. 170. 192. 294.
- Ebelmen 99. 105. 107. 108. 137. 139.
 146. 165. 245.
 Eckardt 228.
 Eickworth und Sturm 166.
 Eisenhüttenwerk Keula 159. 230.
 — Kladno 178.
 — Königshof 32.
 Elworthy und Williamson 7. 85.
 Erbreich 237.
 Erhardt & Sehmer 179. 258. 262. 294.
 Eyer mann 194.
- Faber du Faur 135. 136. 137.
 Faugé 149.
 Feld 309.
 Fichet & Heurtey 166. 168.
 Fischer u. Schrader 334.
 Fleischer 196.
 Forter-Trump 188. 194.
 Frank-Caro 294. 364.
 Frazer-Talbot 187.
 Fueß, Berlin-Steglitz 324. 328.
- Garland 255. 257.
 Gefko, Köln 331.
 Gehre-Dampfmes ser-Ges. 329.
 George 121.
 Georgs-Marien-Hütte 166. 213.
 Ges. f. Gasfeuerungstechnik 213.
 Ges. f. Abwärmeverwertung 239.
 Göckel 333.
 Goetz 159. 179. 230.
- Goetz und Schulz 123.
 Görlitzer Maschinenfabrik 149. 211.
 Gormann 111. 143. 144. 146.
 Graefe 324.
 Gröbe-Lürmann 142. 150.
 Große, Bischofswerda 179.
 Gute-Hoffnungs-Hütte 179. 184. 194.
 224.
- Hall 194.
 Hartmann & Braun 319.
 Hase, Hannover 319.
 Heinzelmann & Sparmberg 242.
 Heller 162.
 Heraeus 335.
 Hering 150.
 Hilger 176.
 Hinselmann 165. 239.
 Hirth 223.
 Hoffmann 158. 226.
 Hopcraft 150.
 Hugershoff, Leipzig 333.
 Hughes 126. 168. 187. 191.
 Humphrey und Glasgow 82.
 Huth & Röttger, Dortmund 119.
 178.
 Hydroapparate-Bauanstalt 328.
- Jabs 112.
 Jahns 214.
 Junkers 344.
- Kaiser & Schmidt 319.
 Kasalowsky 143.
 Kerpely 128. 133. 152. 172. 182. 183.
 212. 214.
 Ketchum 150.
 Kitson 151.
 Klees, Düsseldorf 321.
 Knaudt 153.
 Koller 183. 366.
 König-Friedrich-August-Hütte 179.
 184.
 Koppers, H., Essen 105. 123. 167.
 194. 200. 298.
 Körting, Hannover 103. 111. 148.
 155. 160. 237.
 Krell 324.
 Kresz 76.
 Kröker 33. 336.
 Krupp 107. 143. 235. 254
 Kubierschky 253.
 Küppers 176.
- Laming 246.
 Langen und Otto 146.
 Langloan 245.
 Lewis 257.

- Libra-Werk 330.
 Liegel 145.
 Linck 258. 261.
 Lundin 245. 247.
 Lürmann 107. 142. 254.
 Lynn 257. 294.
 Lynn und Rambush 185.
- M**
 Maihak 332.
 M.A.N. 111. 158. 179. 222. 226.
 Manstaedt & Co. 236.
 Marconnet 223.
 Marischka 200. 202. 213.
 Moeller 107. 111. 143. 153.
 Mond 61. 152. 249. 286. 364.
 Moore 295.
 Morgan 121. 153. 169. 172. 185. 187.
 188.
 Muhlert 311.
 Müller, Duisburg 151.
 Müller (Lurgi G. m. b. H.) 230.
- Nehse 107. 111. 143.
 Neilson 140. 245. 246.
- O**
 Odelstjerna 161.
 Olschewsky 111. 143. 146.
 Otto & Co. 201. 269.
- P**
 Page 137.
 Pelouze 267.
 Petry & Heeking 267.
 Pfeiffer 147.
 Pintsch A.-G. 80. 111. 112. 167. 179.
 184. 196. 197. 206. 224. 228. 235.
 237. 257. 261. 267. 332.
 Poetter & Co. 179.
 Poetter G. m. b. H. 176. 194. 237.
 310.
 Power Gas Corp. 294.
 Prandtl 325.
- Q**
 Quoilin 121.
- R**
 Raff'oer 268.
 Rehmann 133. 167. 175. 184.
 Reuther & Reisert 329.
 Riché 108. 149.
 Riedel 85. 105.
 Riedinger & Blau, Augsburg 81.
 Rincker & Wolter 80. 82.
 Riter Conley Co. 224.
 Robin 137.
 Ronay 123.
 Rosenmüller, Dresden 324. 325.
- S**
 Sabatier & Senderens 7. 85.
 Sachs 298.
 Schäffer & Buddenberg 318.
 Schenk, Darmstadt 330.
 Schneefuß 153.
 Schraml 143.
 Schultze, Charlottenburg 324. 328.
 Schulz-Knautd (Stahlwerk) 154.
 Schwartzkopf 141.
 Schwarz, Dortmund 266.
 Sépulchre 99. 139. 166.
 Sichel 150.
 Siemens 68. 106. 107. 140. 141. 144.
 149. 159. 161. 170. 208. 245.
 Siemens & Halske 319. 329.
 Smith 153.
 Solvay & Co. 120.
 Spetzler & Co. 235.
 Spieß, Siegen 330.
 Stabe 329.
 Stahlwerk Böhler 219.
 Stapf 154.
 Strache 74. 197.
 Summerlee Iron Work 245.
 Sutherland 146. 150. 245.
- T**
 Talbot 187. 194.
 Talbot und Hughes 125.
 Taylor 125. 128. 149. 150. 168. 184.
 187.
 Tebrich 263.
 Theissen 266.
 Thomson 105. 255. 257.
 Thwaite 108. 109. 114. 146.
 Thyssen & Co. 174. 295.
 Timm 223.
 Turk 154. 157.
- U**
 Underfeed Stoker Co. 123.
- V**
 Vereinigte Fabriken f. Laboratoriums-
 Bedarf 333.
- W**
 Wagemann, Seybel & Co. 140.
 Warsteiner Gruben- und Hütten-
 werk 196.
 Wiedenbrück 194.
 Wilson 146. 152.
 Withfield 257.
 Würth 166. 213.
- Y**
 Young 288.
- Z**
 Zahn 145.
 Zschockewerke 207.

2. Patentverzeichnis.

D.R.P. Nr.	Erfinder, Gegenstand	Seite
31	Liegel, Gaserzeuger	145
519	Gröbe-Lürmann, Schwelgaserzeuger	142
937	Sickel, Aschenaustragung mit Schnecken	150
2155	Gormann, Kraftgaserzeuger	111. 143
2697	Kasalowsky, Retorten	143
5163	Kasalowsky, Retorten	143
5588	Brook u. Wilson, Gaserzeuger	146
5856	Bruckmann, Gaszimmerofen	144
6015	Nehse, Gaserzeuger	143
6113	Moeller, Gaserzeuger mit Retorten	143. 153
7003	Gröbe, Abfahrbarer Treppenrost	150
7024	Moeller, Gaserzeuger mit Retorten	143. 153
8668	Nehse, Gaserzeuger	143
9364	Hering, Aschenaustragung mit Schnecke	150
9418	Bruckmann, Gaszimmerofen	144
13282	Krupp, Retorten	143
13617	Lürmann, Schwelgaserzeuger	142
15147	Olschewsky, Gaserzeuger	111. 144
15210	Pfeiffer, Regelung des Dampfzusatzes	147
15621	Thwaite, Zwillingsgaserzeuger	146
16223	Siemens, Vorwärmung der Gebläseluft	144
18719	Knaudt, Kühlring	153
20726	Siemens, Kühlring, Berieselung des Rostes	106. 144
24238	Sutherland, Zwillingsgaserzeuger	146
27165	Dowson, Kraftgasanlage	147
29316	Brook, Drehbare Windhaube	127. 149
35262	Zahn, Gaserzeuger	145
50137	Taylor, Drehbarer Teller	128. 149
52296	Hopcraft, Drehbarer Planrost	150
55811	Solvay & Co., Fülltrichter	120
69433	Krupp, Stochlochkugeln	235
69651	Siemens, Chem. Regeneration	68. 144
71778	Ketchum, Drehbarer Planrost	150
72747	Bildt, Beschicker	121
72891	Siemens, Chemische Regeneration	68. 145
72899	Siemens, Gaserzeuger für chemischen Regeneration	68. 145
73945	Bénier, Sauggasanlage	148
76967	Wiedenbrück, Stochvorrichtung	194
77554	Hall, Stochvorrichtung	194
81545	de Laval, Drehbarer Rost	128. 152
81763	Kitson, Drehbarer Planrost	151
87444	Müller, Drehbarer Rost	151
88565	de Laval, Drehbarer Rost	128. 152
101610	Blezinger, Steinzusatz im Gaserzeuger	98
105511	Dellwick, Wassergasverfahren	73
108183	Kitson, Drehbarer Rost	151
115105	Underfeed Stoker Co., Gaserzeuger	123
131529	Turk, Kühlringe für Feuerungen	153
132562	Timm, Trommelvergaser	223
135025	Thomson, Zonengaser	105. 255
140639	Duff, Drehbarer vieleckiger Schacht	125
144826	Jahns, Gaserzeuger für Abfallkohlen	214
147061	Jahns, Gaserzeuger für Abfallkohlen	214
148854	Ronay, Gaserzeuger mit Unterbeschickung	123
154759	Jahns, Gaserzeuger für Abfallkohlen	241
159889	George, Selbsttätiger Beschicker	121

D.R.P. Nr.	Erfinder, Gegenstand	Seite
165 061	Schneefuß, Schüttelkorbrost	153
161 980	Marconnet, Staubblasegaserzeuger	223
167 469	Blezinger, Gaserzeuger mit Ausfahrrosten	147
168 874	v. Kerpely, Drehrostgaserzeuger	132. 152
169 998	Jahns, Gaserzeuger für Abfallkohle	214
170 406	Boutillier, Gaserzeuger mit Unterbeschickung	123
173 405	Blezinger, Ausfahrroste	147
173 651	Boutillier, Gaserzeuger mit Unterbeschickung	123
175 131	Stapf, Kühlringe	154
189 354	Kresz, Kontinuierlicher Wassergasprozeß	76
195 293	Goeltz u. Schulze, Rührvorrichtung	123
206 576	Jabs, Querstromvergasung	112
209 387	Pintsch A. G., Vortrocknung mit Motorabgasen	228
210 703	Quoilin, Selbsttätiger Beschicker	121
210 889	Küppers, Drehrost	176
211 167	Chavanne, Drehrost	185
216 786	Rehmann, Drehrost	175
221 170	v. Kerpely, Aschenasträger für Drehroste	182
229 879	Gute-Hoffnungs-Hütte, Rührvorrichtung	194
230 124	Poetter G. m. b. H., Drehrost	176
235 488	v. Kerpely, Stufenrost	222
238 597	Dichmann, Stocheinrichtung	194
238 829	Caro, Gaserzeuger für Amoniakgewinnung	365
241 586	Bender & Främb's, Verdampfer	239
242 017	v. Kerpely, Hochdruckgaserzeuger	224
242 685	Koller, Fräserrost	183
249 686	Koppers, Planiervorrichtung	123
249 687	Koppers, Planiervorrichtung	123
255 291	Frank-Caro, Vergasung mit Ammoniakgewinnung	294
255 341	D. Hüttenbau-Ges., Drehrost	179
265 697	Koppers, Planiervorrichtung	123
266 601	Moore, Gaserzeuger für Ammoniakgewinnung	295
269 349	Bormann, Wassergaserzeuger	76
271 995	Lynn und Rambush, Drehrost	185
274 011	Sachs, Heiß-kaltes Rohr für Ammoniakgewinnung	298
275 221	Dellwick-Fleischer Wassergas-Ges., Trigaserzeuger	199
278 512	Dellwick-Fleischer Wassergas-Ges., Trigaserzeuger	199
279 550	Koppers, Verfahren zur Ammoniakgewinnung	298
281 096	Waldeck, Koksvergasung mit Ammoniakgewinnung	283
283 196	Poetter G. m. b. H., Stochvorrichtung	194
284 264	Pintsch A. G., Ringgaserzeuger	226
284 702	Bormann, Wassergaserzeuger	76
286 600	Dellwick-Fleischer Wassergas-Ges., Trigaserzeuger	199
287 252	Dellwick-Fleischer Wassergas-Ges., Trigaserzeuger	199
287 525	Koller, Fräserrost	183
288 127	Hoffmann, Aschenasträger für rechteckige Gaserzeuger	158. 226
289 770	Koppers, Drehrost für zwei Reaktionsgase	105
291 225	Eyermann, Stochvorrichtung	194
291 500	Smith, Schüttelkorbrost	153
294 333	Dolensky, Trigaserzeuger	199
296 335	Bamag, Aschenastragung für rechteckige Gaserzeuger	226
299 565	Manstaedt & Co., Tragbares Dampfstochloch	236
300 452	Pintsch A. G., Querstromvergasung und Trocknung	112
302 804	Riedel, Methanbildung in Gaserzeugern	85
302 827	Eckardt, Gaserzeuger mit Vortrocknung	228
304 986	Morgan Constr. Co., Drehrost	185
306 060	Eckardt, Gaserzeuger mit Vortrocknung	228
306 988	Muhlert, Schwefelgewinnung aus Gasen	311

D.R.P. Nr.	Erfinder, Gegenstand	Seite
308 259	Riedel, Ammoniakschutz durch Dampf	105
315 014	M.A.N., Aschenaustragung für rechteckige Gaserzeuger	226
323 588	D.E.A., Preßsteine mit Zusätzen	227
357 238	Trenkler, Wärmerückgewinnung beim Mond-Verfahren	293

Ausländische Patente.

Österr. Pat. Nr.		
16 700	v. Kerpely, Drehrost	131. 152
Amerik. Pat. Nr.		
114 979/1914	Garland, Schwelgaserzeuger	255
Engl. Pat. Nr.		
5 701/1828	Neilson, Feuerung mit vorgewärmter Luft	140
7 460/1837	Midgley und Kyan, Salzzusatz bei Kokerei	288
57/1874	Aitken, Ammoniakgewinnung	245
4 697/1882	Wilson, Gaserzeuger	152
39 23/1883	Mond, Ammoniakgewinnung	286
8 973/1885	Mond, Ammoniakgewinnung	286
27 379/1897	Talbot und Hughes, Drehbarer Schacht	125

3. Sachverzeichnis.

Abgasregeneration 70.	Beschickungsvorrichtungen, selbst-
Abhitzedampfkessel bei Gaserzeu-	tätige 121.
gern 148. 200.	Betriebskosten 191. 192.
Aerogengas 81.	Bewertung der Brennstoffe 18.
Ammoniakgewinnung 245. 287.	Blaugas 81.
— Anlagen zur 288.	Braunkohle, Einteilung 25.
Anordnung der Gaserzeuger 231.	Braunkohlenvergasung 139. 225.
Anthrazit 25.	Brennstoffe, natürliche, Entstehung
Armgas 5.	10. 20.
Asche der Brennstoffe, Zusammen-	— — Einteilung der 10. 24.
setzung 29.	— Analyse der 332.
— — Schmelzbarkeit 29.	— flüssige 15.
Aschenabfuhr 244.	— gasförmige 15.
Aschenaustragung, besondere Ein-	— Heizwert der 33.
richtungen für 182.	— künstliche 43.
Aschenentfernung 149.	— Zusammensetzung 18.
Aufarbeitung der Rückstände 102.	Brennstoffbett 92.
Aufbereitung der Brennstoffe 30, 44.	— Auflockerung des 98.
Aufenthaltszeiten im Gaserzeuger 95.	Brennstoffgemische, Vergasung von
Auftrieb der Gase 103.	359.
Augenkohle 25.	Brikettierung der Braunkohle 45.
Ausmauerung der Gaserzeuger 178.	— der Steinkohle 44.
234.	
Azetylen 7. 83.	Charakteristik der Brennstoffe 35.
	Chemische Regenerierung 144.
Backfähigkeit, Ursachen der 22.	
Ballaststoffe 17.	Dampf-gase 5.
Becherwerke 240.	— Bildungsvorgänge 61. 65.
Becherwerksentlader 242.	Dampfkessel als Kühlmäntel 143.
Benoidgas 81.	200.
Benzol, Dampfdrucktabelle von 81.	Dampfmessung 329.
Berichtigung der Mengenmessung	Dampfschlußmelder 74. 197.
328.	Dampfstrahlgebläse 103. 237.
Beschickung mit Ringraum 107.	Dampfzuführung 104. 238.

- Dampfzuführung am Rande 105.
 Dampfzusatz im Gaserzeuger 57.
 Deckplatte 235.
 Deltatheorie 13.
 Desintegrator 266.
 Destillation bei niedriger Temperatur 38.
 — — hoher Temperatur 38.
 — von Torf 40.
 — — Zellulose 41.
 Destillationsgase 42.
 — Einflüsse derselben 86.
 Destillationsrückstände 27. 46.
 Detritus 29.
 Dissoziation des CO_2 52.
 — — CO 52.
 — — H_2O 76.
 Doppelgas 6. 76.
 Doppelgaserzeuger 111. 197.
 Drehfilter 267.
 Drehrostgaser 128. 152. 172.
 — mit trockener Austragung 183.
 Dreieck (Gibb'sches) 40.
 Druckmessung 324.

 Edelgase 6. 39.
 Einteilung der Gase 3.
 Entgasung 1.
 — Vorgänge bei der 37.
 Entgasungswärme 41.
 Entlüftungsklappe 232.
 Erdölbildung 14.

 Fächerrost 179.
 Faulschlamm bildung 10. 25.
 Faserkohle 25.
 Fassung der Bunker 243.
 Feinkohlenvergasung 222.
 Feuchtigkeitsbestimmung im Gas 321.
 Feuchtigkeitsballast im Gas 248. 275. 358.
 Flammentemperatur 277.
 Fördereinrichtungen 240.
 Förderkohlenvergasung 98.
 Fräserrost 183.
 Fühlbare Wärme der Gase 278. 356.
 Füllschächte 106. 112. 142.
 Fülltrichter 114. 235.
 — mit Ablenkring 117.
 — — Doppelkegel 118.
 — — losem Ring 116.

 Gasanalyse 337.
 Gasanalysenapparate 331.
 Gasarten, Einteilung 3.
 Gaser, Gaserei 8. 9.

 Gaserzeuger, Definition 1. 136.
 — Einteilung 7. 103.
 — Sprachliches 8.
 Gaserzeuger mit drehbarem Schacht 125.
 — — — Teller 127.
 — — mittlerem Gasabzug 110. 113. 143. 146. 149. 156.
 — — Schwelaufbau 257. 263.
 — — Schweleinbau 258. 262.
 — — Umführung 111. 143.
 — — umgekehrten Zug 107. 139.
 — — Wasserbad 153. 169.
 — rostlose 145. 162.
 Gaserzeugeranlagen 231.
 Gaserzeugung, elektrische 82.
 Gasmotor 146.
 Gasraum der Brennstofffüllung 94.
 — im Gaserzeuger 106.
 Gaszusammensetzung bei amerikanischen Gaserzeugern 191.
 — — aschenreichen Brennstoffen 215.
 — — Drehrostgaserzeugern 211.
 — — feinkörnigen Brennstoffen 219.
 — — Gleichstromgaserzeugern 211.
 — — Rohbraunkohle 230. 241.
 — — Sauggasanlagen 208. 209.
 — — verschiedenen Brennstoffen
 — — verschiedener Belastung 206.
 — — wasserreichen Brennstoffen 219. 221.
 — Versuche von Bone u. Wheeler 60.
 — — — Dowson 148.
 — — — Ebelmen 139.
 — — — Neumann 61. 62.
 — — — Wendt 57.
 — — — Wielandt 50.
 Glanzkohle 25.
 Gleichstromgaserzeuger 105.
 Glockenwäscher 208.
 Greiferkatzen 241.

 Halbgas 5.
 — Vorgänge bei Herstellung 56, 63.
 Halbgasfeuerung 136. 160.
 Halbkoks 251.
 Heißblasen der Wassergaserzeuger 73.
 Heizwert der Brennstoffe 33. 336.
 — des Gases, Berechnung 343.
 Hochbunker 243.
 Hochdruckgaserzeuger 183. 224
 Hochofengas 56.
 — Regeneration von 72. 79.
 Holzvergasung 188.
 Huminsäuren, Bildung 21. 32.
 Humusgesteine 10.

- Infiltration 29.
 Inkohlungsvergang 11.
 Isokaloren 91.
 Isothermen 92.

 Kalkofengas, Regenerierung von 72.
 Kalorimeter 34. 344.
 Kannelkohle 25.
 Karbogase 6.
 Karburierung von Wassergas 80. 82.
 Katalytischer Einfluß der Kohle 64.
 Kaustobiolithe 13.
 Kettenbahn 242.
 Kohlenäquivalente 307.
 Kohlenbildung 12.
 Kohlenlagerung unter Wasser 32.
 Kohlenoxydbildung 49.
 Kohlenoxydbildungsgleichgewicht 65.
 Koksofengas 39.
 Kolonnenkühler 253.
 Kondensation 245.
 Kontaktmetamorphose 13.
 Konusführung bei Fülltrichtern 119.
 Korbrostgaserzeuger 153. 160. 162. 185.
 Kraftgaserzeugung 147. 156.
 Krane 241.
 Kübelbeschickung 232. 240.
 Kühlkästen 153.
 Kühlmäntel 101. 143. 153. 173.
 Kühlringe 101. 154.
 Kühltürme, Querschnitte von 253.
 Kugellagerung bei Drehrosten 181.

 Lagerung der Brennstoffe, Verhalten bei 30.
 Laufkatzen 241.
 Leistung der Gaserzeuger 104. 205.
 Lignintheorie der Steinkohlenbildung 21.
 Liptobiolithe 10.
 Luftgas 5.
 — alter Art 81.
 — Vorgänge bei der Herstellung von 51.

 Maschinentorf, Herstellung 46.
 Mattkohle 25.
 Mengenmessung 324.
 Messungen im Betrieb 316.
 Methananreicherung 84.
 Methanherstellung (rein) 85.
 Mineralölverbrauch 281.
 Mischgasanlage (Dowson) 147.
 Mond-Gaserzeuger, Versuche am 61.

 Nadelrost 183. 224.
 Naßpreßsteine, Herstellung 45.

 Nebenproduktengewinnung 246.
 Normen 354.

 Oberfeuer, Bildung von 96. 204.
 Ölgase 6. 79.
 Ölschiefervergasung 216.
 Orsatapparat 329.
 Oxydation beim Lagern 31.
 Oxygase 6. 78. 82.

 Querschnitte von Leitungen u. dgl. 234.
 Querstromvergasung 112.

 Planiereinrichtungen 123.
 Plandrehrostgaserzeuger 159. 230.
 Planrostgaserzeuger 137. 154.
 Plattelkohle 25.
 Pélouzeapparate 268.
 Pentaïrgas 81.
 Polygonrostgaserzeuger 161.
 Pseudokannelkohle 27.
 Pyrometer 318.
 Pyropissit 25.

 Randfeuer 97.
 Randgase, Einfluß der 65.
 Reaktionstemperatur bei Bildung von CO₂ 53.
 — — — — CO 55.
 — — — — Halbgas 66.
 Regenerationsgase 5. 68.
 Regeneration bei Öfen 141.
 — chemische 144.
 Regler 237.
 Reichgase 3.
 Reinigungsanlagen, einfache 245. 252.
 Retorten (Schwel-) 143. 254.
 Rollenlagerung bei Drehrosten 181.
 Roste, mechanische 101. 128.
 Rührvorrichtungen 125.
 Rußbildung 274.

 Sapropelithe 10.
 Sattgase 6.
 Sättigung der Vergasungsluft 298.
 Sauerstoff der Brennstoffe 16.
 Sauerstoffaufnahme beim Lagern 31.
 Sauggasanlagen 148.
 Schacht, drehbarer 125.
 Schachtkühlung 101.
 Schieber 233.
 Schlackenschmelzgaserzeuger 99. 138. 165. 223.
 — Bilanz 53. 213.
 Schmelzbarkeit der Aschen 29. 101.
 Schmierkohle 25.
 Schnellkalorimeter 337.

- Schwachgase 5.
 Schwefelgehalt der Brennstoffe 16.
 Schwefelgewinnung 309.
 Schwelgase 3.
 Schwelkohle 25.
 Schwelverfahren 103.
 Schwemmttheorie 13.
 Seilbahnen 242.
 Sortierungen der Kohlen 30.
 Spezifische Wärmen 278.
 Stapelung der Brennstoffe 239.
 Staublech, Wirkung des 133.
 Staubkohlenvergasung 71.
 Staubsäcke 233.
 Staudüsen 327.
 Stauflanschen 327.
 Staurohre 325.
 Stauscheiben 325.
 Steinkohle, Einteilung der 24.
 Stickstoff der Brennstoffe 16.
 — Verhalten des — bei Destillation 43. 283.
 Stochlochverschlüsse 235.
 — Dampf- 235.
 Stochvorrichtungen, selbsttätige 187.
 Stoffbilanz 348.
 Streifenkohle 25.
 Stufengesetz 49.

 Taupunktsbestimmung 320.
 Teerabscheidung 248. 260.
 Teereinspritzung 269.
 Teergewinnung 250.
 Teerspülung 260.
 Temperaturmessung 317.
 Thermometer 317.
 Thermolemente (Pyrometer) 319.
 Tiefbunker 241.
 Torf, Einteilung 25.
 Torfbildung 11.
 Transportbänder 240.
 Treppenrostgaserzeuger 140. 159.
 Trichterbildung 96.
 Trigaserzeugung 199.
 Trockenfilter 268.

 Unterscheidung, Braunkohle von Steinkohle 24
 Urteer 251.

 Ventile 233.
 Venturirohr 328. 329.
 Verbandsformel 34.

 Verbrennungsbombe 33. 336.
 Verbrennungstemperaturen 274.
 Verbrennungswärme 34.
 Verdampfer 71. 238.
 Vergasung 2.
 — Einteilung der Verfahren 58.
 Vergasungsdiagramme 91.
 Vergasungsdreieck 90.
 Vergasungsleistung 104. 205.
 Vergleich der Vergasung und Verbrennung 118.
 Verkokung 28. 38.
 Verwitterung der Brennstoffe 31. 239.
 Vollgase 5. 79.
 Vortrocknung der Brennstoffe 47. 228.
 Vorwärmung der Vergasungsluft 144. 147.

 Wagen, automatische 330.
 Wärmebilanz, Aufstellung von 348.
 — von Drehrostgaserzeugern 212. 213.
 — — Schlackenschmelzgaserzeugern 213.
 — bei Urteergewinnung 261.
 Wärmeinhalt der Gase 356.
 Wärmepreis 280.
 Wärmerückgewinn 292. 355.
 Wärmeverluste bei Weiterleitung von Gasen 232. 249.
 Wasserabschluß 101. 169.
 Wasserbeimischung zur Luft 105.
 Wassergas 6. 7.
 — Vorgänge bei der Bildung von 73.
 Wassergaserzeugung 111. 194.
 — kontinuierliche 76.
 Wassergasgleichgewicht 59.
 Wasserstoff, disponibler (freier) 35.
 Windbedarf 237.
 Windhauben 127. 149. 167.
 Wirkungsgrad, Definitionen 356.
 — der Wassergasanlagen 74.
 Wirtschaftlichkeit der Nebenproduktengewinnung 300. 306.
 — — Urteergewinnung 279.

 Zersetzung des Kohlenoxyds 52.
 — der Kohlenwasserstoffe 52. 274.
 — des Wasserdampfes 61. 362.
 Zinderfabrikation 102.
 Zwillingsgaserzeuger 108. 146.

Gaswirtschaft. Ein Beitrag zur Prüfung der Wirtschaftlichkeit der Nebenproduktengewinnung, des Gasbetriebes für Stahlwerke und Kraftwerke und der Gasfernversorgung. Von **Rich. F. Starke**, Oberingenieur und Prokurist des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes A.-G., Gasabteilung Essen. 1921. GZ. 6.4

Die Zwischendampfverwertung in Entwicklung, Theorie und Wirtschaftlichkeit. Von Dr.-Ing. **Ernst Reutlinger**, Köln. Mit 69 Textfiguren. 1912. GZ. 4

Die Wärme-Übertragung. Auf Grund der neuesten Versuche für den praktischen Gebrauch zusammengestellt. Von Dipl.-Ing. **M. ten Bosch**, Zürich. Mit 46 Textabbildungen. 1922. GZ. 4

Die Abwärmeverwertung im Kraftmaschinenbetrieb mit besonderer Berücksichtigung der Zwischen- und Abdampfverwertung zu Heizzwecken. Eine wärmetechnische und wärmewirtschaftliche Studie. Von Dr.-Ing. **Ludwig Schneider**. Vierte, durchgesehene und erweiterte Auflage. Mit 180 Textabbildungen. 1923. Gebunden GZ. 8

Die Grundgesetze der Wärmeleitung und des Wärmeüberganges. Ein Lehrbuch für Praxis und technische Forschung. Von Dr.-Ing. **Heinrich Gröber**, Oberingenieur an der Bayrischen Landeskohlenstelle. Mit 78 Textfiguren. 1921. GZ. 7

Kohlenstaubfeuerungen für ortsfeste Dampfkessel. Eine kritische Untersuchung über Bau, Betrieb und Eignung. Von Dr.-Ing. **Friedrich Münzinger**. Mit 61 Textfiguren. 1921. GZ. 4

Die Leistungssteigerung von Großdampfkesseln. Eine Untersuchung über die Verbesserung von Leistung und Wirtschaftlichkeit und über neuere Bestrebungen im Dampfkesselbau. Von Dr.-Ing. **Friedrich Münzinger**. Mit 173 Textabbildungen. 1922. GZ. 4; gebunden GZ. 6

Ruths-Wärmespeicher in Kraftwerken. Von Dr.-Ing. **Friedrich Münzinger**. Mit 38 Abbildungen. (Sonderabdruck aus den Mitteilungen Nr. 319 der Vereinigung der Elektrizitätswerke e.V.) 1922. GZ. 0.7

Hochleistungskessel. Studien und Versuche über Wärmeübergang, Zugbedarf und die wirtschaftlichen und praktischen Grenzen einer Leistungssteigerung bei Großdampfkesseln nebst einem Überblick über Betriebserfahrungen. Von Dr.-Ing. **Hans Thoma**, München. Mit 65 Textfiguren. 1921. GZ. 4.5; gebunden GZ. 6.5

Die Grundzahlen (GZ.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.

Das Entwerfen und Berechnen der Verbrennungskraftmaschinen und Kraftgas-Anlagen. Von Dr.-Ing. e. h. **Hugo Güldner**, Maschinenbaudirektor, Vorstand der Güldner-Motoren-Gesellschaft in Aschaffenburg. Dritte, neubearbeitete und bedeutend erweiterte Auflage. Mit 1282 Textfiguren, 35 Konstruktionstafeln und 200 Zahlentafeln. Dritter, unveränderter Neudruck. 1922. Gebunden GZ. 42

Untersuchungen über den Einfluß der Betriebswärme auf die Steuerungseingriffe der Verbrennungsmaschinen. Von Dr.-Ing. e. h. **Hugo Güldner**. Mit etwa 47 Abbildungen. Erscheint Ende Sommer 1923

Die Gasmachine. Ihre Entwicklung, ihre heutige Bauart und ihr Kreisprozeß. Von **R. Schöttler**, Geh. Hofrat, o. Professor an der Technischen Hochschule zu Braunschweig. Fünfte, umgearbeitete Auflage. Mit 622 Figuren im Text und auf 12 Tafeln. 1909. Gebunden GZ. 20

Skizzen von Gasmachines. Zusammengestellt von **R. Schöttler**, o. Professor an der Technischen Hochschule in Braunschweig. (Aus: Schöttler, Die Gasmachine, 5. Auflage.) Dritter Abdruck mit zahlreichen Ergänzungen aus anderen Werken. 1920. GZ. 1.2

Dampf- und Gasturbinen. Mit einem Anhang über die Aussichten der Wärmekraftmaschinen. Von Dr. phil., Dr.-Ing. **A. Stodola**, Professor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich. Fünfte, umgearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 1104 Textabbildungen und 12 Tafeln. Um einen Anhang vermehrter Neudruck. Erscheint im Herbst 1923

Die flüssigen Brennstoffe, ihre Gewinnung, Eigenschaften und Untersuchung. Von Dr. **L. Schmitz**, Chemiker. Zweite, erweiterte Auflage. Mit 56 Textabbildungen. 1919. Gebunden GZ. 5.5

Technische Wärmelehre der Gase und Dämpfe. Eine Einführung für Ingenieure und Studierende. Von **Franz Seufert**, Studienrat a. D., Oberingenieur für Wärmewirtschaft, Stettin. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 26 Textabbild. und 5 Zahlentafeln. 1923. GZ. 1.8

Wahl, Projektierung und Betrieb von Kraftanlagen. Ein Hilfsbuch für Ingenieure, Betriebsleiter, Fabrikbesitzer. Von **Friedrich Barth**, Oberingenieur in Nürnberg. Dritte, umgearbeitete und erweiterte Aufl. Mit 176 Fig. im Text und auf 3 Taf. 1922. Gebunden GZ. 15

Taschenbuch für den Fabrikbetrieb. Bearbeitet von zahlreichen Fachleuten. Herausgegeben von Professor **H. Döbel**, Ingenieur, Berlin. Mit 933 Textfiguren und 8 Tafeln. 1923. Gebunden GZ. 15

Die Grundzahlen (GZ.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.