

Brand - Seufert
—
Technische
Untersuchungsmethoden
zur Betriebsüberwachung
insbesondere zur Überwachung
des Dampfbetriebes

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Julius Brand

Technische
**Untersuchungsmethoden
zur Betriebsüberwachung**

insbesondere zur Überwachung des Dampfbetriebes

Zugleich ein Leitfaden für Maschinenbaulaboratorien
technischer Lehranstalten

Neu herausgegeben von

Dipl.-Ing. Franz Seufert

Oberingenieur für Wärmewirtschaft

Fünfte, verbesserte und erweiterte Auflage

Mit 334 Abbildungen, einer lithographischen
Tafel und vielen Zahlentafeln



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1926

ISBN 978-3-642-98775-5
DOI 10.1007/978-3-642-99590-3

ISBN 978-3-642-99590-3 (eBook)

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1926 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg

“Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin, 1926

Softcover reprint of the hardcover 5th edition 1926

Vorwort zur vierten Auflage.

Der in den bisherigen Auflagen behandelte Stoff erscheint in der vierten Auflage in anderer Anordnung.

Ausgehend von der Kennzeichnung der Brennstoffe bezüglich ihrer Entstehung oder Gewinnung und der vielen Möglichkeiten ihrer Weiterverarbeitung werden die Verfahren zur Bestimmung der feuerungstechnisch wichtigsten Eigenschaften der Brennstoffe behandelt.

Daran anschließend wird die Verbrennung und die wichtige Rolle, welche die Verbrennungsluft hierbei spielt, besprochen.

Diese Abschnitte machen den ersten Teil des Buches aus.

Im zweiten Teil steht die Kontrolle der Dampfkesselbetriebes und die dabei benötigten Apparate, im dritten Teil die Kontrolle des Dampfmaschinenbetriebes mit den hierzu nötigen Apparaten zur Behandlung.

Die Normen für Leistungsversuche an Dampfmaschinen und Dampfkesseln und die Schmieröluntersuchungen sind in den Anhang verlegt.

Ich glaube hiermit die Gliederung des ganzen Stoffes in logischerer Weise als bisher vorgenommen zu haben.

In Anbetracht der außerordentlichen Bedeutung, welche die Brennstoffe durch die Folgen des Krieges erlangt haben, ist der erste Abschnitt beträchtlich erweitert worden. Die daselbst gebrachte allgemeine Charakteristik der Brennstoffe gab mir Gelegenheit, die weitgehenden Verwendungsmöglichkeiten der aus den Brennstoffen zu gewinnenden, sogenannten Nebenprodukte in zwar knapper, aber doch umfassender Weise zu behandeln.

Neu hinzugekommen ist der Abschnitt über Leistungsversuche an Dampfturbinen, den zu bearbeiten Herr Dipl.-Ingenieur, Oberlehrer Heermann in freundlicher Weise übernommen hat. Auch die Kapitel über den Pronyschen Zaum, die Flüssigkeitsbremse, die elektrodynamische Leistungsbremse und das Torsionsdynamometer von Amsler - Laffon entstammen der Feder des genannten Herrn. Für seine Mitarbeit spreche ich ihm an dieser Stelle meinen besten Dank aus.

Neu hinzugekommen sind ferner kleinere Abschnitte über die Bestimmung der groben Feuchtigkeit, des hygroskopischen Wassers und des Aschegehaltes von Brennstoffen. Außerdem solche über die Berechnung der theoretischen Luftmenge und das Vielfache derselben; über die Bestimmung des Verbrennlichen in den Herdrückständen, die Berechnung der Verdampfungsziffern und über den Wärme- und den Dampfpreis.

In der Absicht, den Studierenden noch besser in das Wesen des Polarplanimeters einzuführen, habe ich den Abschnitt über Flächenmeßinstrumente durch Einfügung einer Abhandlung über den absoluten und den relativen Wert der Noniuseinheit und über die Abhängigkeit des Wertes der Noniuseinheit von der Fahrarmeinstellung vervollständigt.

Erweiterungen haben auch der Abschnitt über Temperaturmessungen und derjenige über Indikatoren erfahren.

Um zu vermeiden, daß der Umfang des Buches durch die Einschaltung der für unbedingt notwendig gehaltenen Ergänzungen und Neuerungen zu sehr anschwillt, und in Rücksicht auf die heutigen sehr hohen Herstellungskosten habe ich an dem Inhalte der dritten Auflage Kürzungen vorgenommen, aber nur an solchen Stellen, wo dies geschehen konnte, ohne den bisherigen Charakter des Buches zu beeinträchtigen.

Schon im Vorwort zur ersten Auflage habe ich gesagt, daß jeder einzelne, der mit einer Einrichtung zur Erzeugung von Wärme oder mit Krafterzeugern, welche die durch eine Heizoperation gewonnene Verbrennungswärme auswerten, zu tun hat, die Pflicht hat, eine möglichst hohe Ausnützung der Verbrennungswärme anzustreben.

Heute ist diese Pflicht, die letzten Endes darauf hinausläuft, die uns von der Natur zur Verfügung gestellten Brennstoffe restlos auszuwerten, in höherem Maße denn je vorhanden, und Riedler sagte vor Jahresfrist mit Recht: „Richtige Auswertung der Brennstoffe ist die kommende wichtigste Aufgabe der Technik, von deren Beherrschung unser Dasein und unsere Zukunft abhängt.“

Möge auch die vierte Auflage des Buches zur Lösung dieser Aufgabe in bescheidenem Maße mithelfen!

Elberfeld, im Juli 1920.

Der Verfasser.

Vorwort zur fünften Auflage.

Auf Wunsch der Verlagsbuchhandlung habe ich die Bearbeitung dieser Auflage übernommen. Die bewährte Einteilung der vierten Auflage ist beibehalten worden; an verschiedenen Stellen habe ich mit Rücksicht auf die neuzeitliche Entwicklung und Bedeutung der Meßtechnik Erweiterungen eintreten lassen. So hielt ich es für notwendig, die bekannteren CO₂-Schreiber ausführlicher als bisher zu behandeln, einmal, um dem Leser die Wichtigkeit und Notwendigkeit dieser Apparate vor Augen zu führen, und dann, um ihm bei der Beschaffung von solchen Meßgeräten die Auswahl zu erleichtern. In diesem Sinne ist auch das dem Buch als Anhang beigegebene Bezugsquellenverzeichnis aufzufassen, das ich der Aufnahme neuer Apparate entsprechend ergänzt habe. Der theoretische Teil ist durch die Aufnahme der Abgasschaubilder

erweitert worden. Dafür konnte die Beschreibung einer Anzahl von Handmeßgeräten wegfallen. Auf die eingehendere Behandlung der Durchführung von Verdampfungsversuchen habe ich besonderen Wert gelegt. Die zugehörigen neuen „Regeln für Abnahmeversuche an Dampfanlagen“ sind mit Erlaubnis des V. D. I.-Verlages an Stelle der bisherigen „Normen“ eingesetzt. Die Behandlung der Indikatoren ist durch Aufnahme von Indikatoren für schnellaufende Maschinen und für Wanderdiagramme vervollständigt. Die in der vierten Auflage erstmalig erschienenen Beiträge von Herrn Dipl.-Ing. Heermann sind mit einigen Erweiterungen fast unverändert übernommen. Besonderen Wert habe ich auf die Verdeutschung entbehrlicher Fremdwörter gelegt.

Neu ist der Abschnitt „Messung von strömenden Dampf-, Luft- und Gasmengen“, der infolge seiner heutigen Bedeutung für die Meßtechnik und den Betrieb nicht mehr übergangen werden durfte. Da gerade diese Meßart augenblicklich in lebhafter Entwicklung begriffen ist, habe ich diesen Abschnitt absichtlich etwas kurz gehalten, auch aus dem Grunde, um den Umfang des Buches nicht zu sehr anwachsen zu lassen. Das Fehlende kann der Leser bei der Auswahl und Beschaffung der zugehörigen Meßgeräte aus den Drucksachen der genannten Firmen entnehmen.

Angesichts der ungeheuren wirtschaftlichen Not, unter der heute die ganze deutsche Industrie leidet, ist die äußerste Sparsamkeit bei der Erzeugung und Verwendung von Wärme zur Herabsetzung der Selbstkosten sowie die Aufstellung von Wärmebilanzen der Betriebe dringend geboten. Das wichtigste Mittel hierzu ist die sachverständige Untersuchung von Feuerstellen und wärmeverbrauchenden Maschinen und Anlagen auf etwaige Fehler und die unermüdliche Betriebsüberwachung durch geeignete Meßgeräte. So möge denn auch die neue Auflage des Buches ihr bescheidenes Teil zur Verbesserung unserer Wärme- und Energiewirtschaft und damit auch zum Wiederaufbau unserer schwer bedrängten Industrie beitragen.

Schließlich fühle ich mich verpflichtet, den Firmen, die mich bei der Bearbeitung des Buches durch Überlassung von Drucksachen, Zeichnungen und Bildstöcken in reichem Maße unterstützt haben, auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Homburg (Niederrhein), Frühjahr 1926.

F. Seufert.

Inhaltsverzeichnis.

I. Die Brennstoffe.

	Seite
A. Die Einteilung, Entstehung oder Gewinnung und Auswertung der Brennstoffe in wirtschaftlicher Beziehung	1
1. Die festen Brennstoffe	2
Das Holz	3
Der Torf	4
Der Torfkoks	6
Die Kohlen	7
Die Braunkohlen	8
Der Braunkohlenkoks oder Grudekoks	9
Die Braunkohlenbriketts	10
Die Steinkohlen	11
Die Steinkohlenbriketts	14
Der Steinkohlenkoks	14.
Die Preßkoksbriketts	16
2. Die flüssigen Brennstoffe	16
Das Erdöl	17
Das Benzin	18
Das Petroleum	18
Das Gasöl	19
Der Teer	19
Der Steinkohlenteer	19
Der Tieftemperaturteer	21
Der Braunkohlenteer	22
Die Teeröle	23
Das Naphthalin	24
3. Die gasförmigen Brennstoffe	25
Das Naturgas	26
Die Gichtgase	26
Die Koksofengase	27
Die Generatorgase	28
4. Heizwerte fester Brennstoffe	30
5. Heizwerte flüssiger Brennstoffe	31
6. Heizwerte gasförmiger Brennstoffe	32
B. Die Bestimmung der feuerungstechnisch wichtigsten Eigenschaften der Brennstoffe und die dazu notwendigen Apparate	32
1. Die Probeentnahme	32
2. Die Bestimmung der groben Feuchtigkeit oder Nässe	37
3. Die Bestimmung der Feuchtigkeit oder des hygroskopischen Wassers	38
4. Die Bestimmung des Aschegehaltes	41
5. Die Bestimmung des Heizwertes	42
Die Bestimmung des Heizwertes fester Brennstoffe	44
Die Krökersche Bombe	48
Das Kalorimeter nach Parr	60
Das Kalorimeter nach Axer	64
Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes auf den Heizwert	65

Inhaltsverzeichnis.

	VII Seite
Die Bestimmung des Heizwertes gasförmiger Brennstoffe	67
Das Junkerssche Kalorimeter	67
Junkers' selbsttätig anzeigendes Kalorimeter	73
Junkers' Abgaskalorimeter.	77
Eichvorrichtung für Gasmesser nach Junkers	78
Die Bestimmung des Heizwertes flüssiger Brennstoffe	80
C. Die Verbrennung der Brennstoffe	83
1. Die Vorgänge bei der Verbrennung	83
2. Die Berechnung der zur Verbrennung von 1 kg Brennstoff theoretisch notwendigen Luftmenge	85
3. Zahlentafel der theoretischen Luftmengen	88
4. Vielfaches der theoretischen Luftmenge	89
II. Die Überwachung des Dampfkesselbetriebes und die dazu erforderlichen Apparate.	
A. Die technische Rauchgasanalyse	92
Die Gasbürette von Bunte	95
Die Absorptionsbürette von Tollens	98
Die Apparate von Hempel	100
Orsatapparate:	
Der Apparat nach Orsat-Fischer	107
Der Apparat nach Muencke	110
Das Absorptionsgefäß nach Kleine	110
Der Apparat nach Orsat-Kleine	111
Der Siccus-Apparat nach Prof. Strache	114
Selbsttätige Apparate:	
Der Ados-Apparat	116
Der Eckardtsche Rauchgasprüfer	119
Der Debro-Apparat	121
Der Gefko-Apparat	125
Der Mono-Apparat	126
Der Duplex-Mono-Apparat	128
Der Siemens-CO ₂ - und CO-Apparat	131
Der Kanarex-Apparat	133
B. Aspiratoren zur Entnahme größerer Gasmengen	135
Der Rauchgas-Sammel-Apparat von Schumacher	135
Der Doppelaspirator	136
C. Berechnung des Luftüberschusses aus der Rauchgasanalyse	137
D. Bestimmung des durch die Abgase verursachten Wärmever- lustes	139
1. Methode	139
2. Methode	141
3. Methode	143
„Mol-Begriff“	143
Abgasschaubilder	144
a) Feste und flüssige Brennstoffe	145
b) Gasförmige Brennstoffe	151
E. Temperaturmessungen	157
Die Flüssigkeitsthermometer	158
Die thermoelektrischen Pyrometer.	160
Die elektrischen Widerstands-pyrometer	164
Die Lichtstrahlungs-pyrometer	165
Das optische Pyrometer von Wanner	165
Die Wärmestrahlungs-pyrometer	172
Die Segerkegel	174
Die Sentinelpyrometer	175
Die kalorimetrische Wärmemessung	176

	Seite
F. Messung von Druckunterschieden (Zugmessung)	177
Der Ebertsche Zugmesser	180
Der Segersche Zugmesser	181
Der Zugmesser nach Rabe	181
Die Zug- und Druckmesser von Lux	182
Das Differentialmanometer von König	184
Der Arndtsche Zugmesser	188
Der Schumachersche Zugmesser	189
Der Zugmesser von Schäffer und Budenberg	190
Das Ätheranemometer	191
Das Mikromanometer von Krell	194
Der Krellsche Zugmesser	197
G. Bestimmung der Rauchstärke	198
Bestimmung der Rauchstärke nach Fritsche	198
Bestimmung der Rauchstärke nach Ringelmann	200
H. Bestimmung des Verbrennlichen in den Herdrückständen	201
I. Durchführung eines Verdampfungsversuches	201
1. Ermittlung der Verdampfungsziiffern	202
2. Ermittlung der stündlichen Dampfleistung auf 1 qm Heizfläche und der Brenngeschwindigkeit	208
3. Ermittlung der Wärmeausnutzung und der Wärmeverluste	208
4. Ermittlung des Dampf- und Wärmepreises	209
5. Beispiel	209

III. Die Überwachung des Dampfmaschinenbetriebes und die dazu notwendigen Apparate.

A. Apparate zur Messung der indizierten Maschinenleistung (Indikatoren)	212
1. Indikatoren der gewöhnlichen Art	212
Der Indikator nach Schäffer und Budenberg mit innenliegender Feder	213
Die Indikatoren nach Schäffer und Budenberg mit außenliegender Feder	215
Der Indikator nach Rosenkranz mit innenliegender Feder	217
Der Indikator nach Rosenkranz mit außenliegender Feder	224
Der Rosenkranzindikator für schnellaufende Motoren	224
Der Maihakindikator	226
Der Maihakindikator für schnellaufende Maschinen	230
2. Indikatoren für Wanderdiagramme	232
Indikatoren für fortlaufend geschlossene Kolbenwegdiagramme, Bauart Rosenkranz	232
Indikatoren für fortlaufend offene Zeit- und Kurbelwegdiagramme, Bauart Rosenkranz	234
Indikatoren für fortlaufend geschlossene Kolbenwegdiagramme, Bauart Maihak	237
3. Der integrierende Indikator von Böttcher	239
4. Die Hubverminderungseinrichtungen	245
Der gebräuchliche Rollenhubverminderer	245
Die Hubverminderungsrolle von Maihak	247
Der Hubverminderer nach Stanek	249
Hebelverbindungen als Hubverminderer	250
5. Die Anbringung des Indikators an der zu indizierenden Maschine	252
6. Die Prüfung der Indikatorfedern	255
a) durch Flüssigkeitsdruck	256
b) durch Gewichtsbelastung	259
Die Prüfungseinrichtung von Rosenkranz	259
Die Prüfungseinrichtung nach Strupler	261
Die Prüfungseinrichtungen von Maihak	262

Inhaltsverzeichnis.

IX

	Seite
7. Die Prüfung des Schreibzeuges	265
a) mit dem Mikrometer	265
b) mit Paßstücken	266
8. Die Berechnung des Maßstabes der Warmfeder	267
9. Meßapparat für Eichdiagramme	267
10. Die Berechnung des mittleren Federmaßstabes	269
1. Methode	270
2. Methode	270
3. Methode von Eberle	270
4. Methode von Meyer	270
11. Berücksichtigung von Proportionalitätsfehlern bei Indikatorfedern	271
Methode von Eberle	271
Methode von Schröter	272
Methode von Schröter-Koob	274
B. Einrichtungen zur Messung der Nutzleistung	277
1. Der Pronysche Zaum und seine Abarten	277
2. Bremsvorrichtungen für Dampfturbinen	280
Die Flüssigkeitsbremse	280
Die elektro-dynamische Leistungswage	282
Das Torsionsdynamometer von Amsler-Laffon	283
Der Torsionsindikator von Föttinger	284
C. Flächenmeßinstrumente	286
1. Die Polarplanimeter	287
Das Amslersche Polarplanimeter	293
Die Coradischen Polarplanimeter	297
Das Kompensationspolarplanimeter	297
Das Präzisionsscheibenplanimeter	303
Die Ottschen Polarplanimeter	303
Das Kompensationsplanimeter	303
Das Universalplanimeter	308
Absoluter und relativer Wert der Noniuseinheit	310
Abhängigkeit des Wertes der Noniuseinheit von der Fahrarmeinstellung	311
Handhabung und Prüfung der Polarplanimeter	314
Das Schneidenradplanimeter	318
2. Der Flächen- und Diagrammesser von Wilda	323
D. Leistungsversuche an Kolbendampfmaschinen	326
1. Berechnung der Leistung einer Kolbendampfmaschine aus dem Dampfdruckdiagramm	326
2. Bestimmung der mittleren Dampfspannung aus dem Dampfdruckdiagramm	328
3. Ausgeführte Leistungsversuche an Kolbendampfmaschinen	334
a) Leistungsversuch zum Zwecke der Bestimmung des Dampfverbrauches einer liegenden Verbund-Auspuffmaschine	334
b) Garantieveruche zum Zwecke der Bestimmung des Dampfverbrauches einer 3000 pferdigen Dreifach-Expansionsmaschine:	
Bestimmung der Konstanten für die Maschinenleistung	338
Untersuchung der Beobachtungsinstrumente:	
Eichung des Speisewasserbehälters	342
Prüfung der Indikatorfedern	345
Untersuchung des Wattmeters	346
Untersuchung der Thermometer	347
Versuchsergebnisse:	
Versuch mit gesättigtem Dampf	347
Versuch mit überhitztem Dampf	352
4. Fehlerhafte und richtige Diagramme	352
Die Art der Anbringung des Indikators an der zu indizierenden Maschine beeinflußt die Form der Diagramme	352

	Seite
Fehler am Indikator selbst und Einfluß derselben auf die Form der Diagramme	357
Fehler an der Dampfmaschine	359
5. Das Rankinisieren der Diagramme	365
E. Leistungsversuche an Dampfturbinen	372
1. Messung der Belastung	372
Messung der Nutzleistung	372
Indizierte Leistung	373
2. Messung des Dampfzustandes vor und am Austritt der Turbine und in den Zwischenstufen	378
3. Messung des Dampfverbrauches	380
4. Ausgeführte Leistungsversuche an Dampfturbinen	381
Leistungsversuch an einer 300 KW-Parsonsturbinen	381
Leistungsversuch an einer 200 KW-A.E.G.-Turbine	384
IV. Messung von strömenden Dampf-, Luft- und Gasmengen.	
A. Theoretische Grundlagen	386
B. Ausführung der Staugeräte	393
1. Das Staurohr	393
2. Der Staurand	395
3. Die Düse	396
4. Das Venturirohr	398
C. Ausführung der Anzeige- und Schreibgeräte	398
Anhang.	
Regeln für Abnahmeversuche an Dampfanlagen	407
Schmieröluntersuchungen	420
1. Prüfung auf die Zähflüssigkeit	421
2. Bestimmung des Flammpunktes:	
a) im offenen Tiegel	423
b) im Pensky-Martens-Apparat	424
Zahlentafel zum Polarplanimeter	426
Verzeichnis derjenigen Firmen, welche die in diesem Werke beschriebenen Apparate anfertigen bzw. liefern	428
Tafel der rankinisierten Diagramme einer 1500 pferdigen Verbund- maschine.	

I. Die Brennstoffe.

A. Die Einteilung, Entstehung oder Gewinnung und Auswertung der Brennstoffe in wirtschaftlicher Beziehung.

Als verbrennbar wird ein Körper dann bezeichnet, wenn er die Eigenschaft besitzt, sich mit Sauerstoff unter Licht- und Wärmeentwicklung zu verbinden.

Nicht alle verbrennbaren Körper sind aber Brennstoffe. Sowohl vom feuerungstechnischen als auch vom wirtschaftlichen Standpunkte aus wird ein verbrennbarer Körper erst dann als Brennstoff anzusehen sein, wenn er in großen Mengen gewonnen werden kann und seine Gewinnung nur verhältnismäßig geringe Kosten verursacht.

Nach dem Aggregatzustand unterscheidet man

feste, flüssige, gasförmige

Brennstoffe.

Jede dieser drei Gruppen kann wieder in natürliche und künstliche Brennstoffe gegliedert werden, so daß sich für die Einteilung der Brennstoffe folgendes Schema ergibt:

	Feste Brennstoffe	Flüssige Brennstoffe	Gasförmige Brennstoffe
Natürliche Brennstoffe	Holz, Torf, Braunkohle, Steinkohle, Anthrazit	Erdöl	Naturgas
Künstliche Brennstoffe	Holzkohle, Torfkohle, Torfkoks, Braunkohlenbriketts, Steinkohlenbriketts, Steinkohlenkoks	Teer, Teeröl, Restöl (Masut)	Generatorgas, Gichtgas, Koksofengas

In Sonderfällen kommen außer den im Schema genannten Brennstoffen auch noch andere Materialien als solche zur Verwendung, die zunächst einem außerhalb des Gebietes der Verbrennung liegenden Hauptzwecke dienen und hierauf als Abfallstoffe durch ihre Verbrennung noch weiter ausgenutzt werden, wie z. B. Lohe in Gerbereien, Flachsabfälle (Scheben) in Flachsspinnereien, Zuckerrohrrückstände in Zuckerfabriken, Farbholzreste in Färbereien, Weintrester in Kellereien, Olivenschalen in Speiseölfabriken.

Spiritus, Benzin, Petroleum sind im Schema ebenfalls nicht angeführt, da sie größtenteils anderen Zwecken als denen der Wärmeerzeugung durch Verbrennung nutzbar gemacht werden; in bestimmten Fällen kommen sie aber auch als Brennstoffe zur Verwendung.

Faßt man den Begriff Brennstoffe weitergehend, so kann noch eine ganze Reihe anderer Körper zu ihnen gezählt werden, so z. B. Aluminium und Silizium. Ersteres tritt im Thermitverfahren, letzteres im Bessemerprozeß als Wärmequelle in die Erscheinung.

Wie ganz natürlich, kommt jede der genannten Brennstoffarten stets nur da als vorwiegendes Feuerungsmaterial in Betracht, wo sie in großen Mengen und deshalb auch verhältnismäßig billig zu beschaffen ist.

1. Die festen Brennstoffe.

Diese bestehen alle in der Hauptsache aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff.

Die Mengen dieser Grundstoffe sind je nach der Brennstoffart verschieden groß, und sie weichen auch bei ein und derselben Brennstoffart voneinander ab.

Die Ausnutzung der festen Brennstoffe geschieht in dreifacher Weise:

durch unmittelbare Verbrennung, oder
 durch Entgasung, oder
 durch Vergasung.

Im ersten Falle werden sie am unwirtschaftlichsten ausgenutzt, weil die unmittelbare Verbrennung, wenn sie nicht eine unvollkommene sein soll, mit Luftüberschuß erfolgen muß, und weil ein beträchtlicher Teil der flüchtigen Bestandteile der Brennstoffe mit den Abgasen verloren geht. Insonderheit sind es ungeheure Mengen von Stickstoff, die auf diese Weise vergeudet werden.

Die Entgasung erfolgt ohne Luftzufuhr und bewirkt eine Zerlegung der festen Brennstoffe in wertvolles Gas, Teer und Ammoniak, während sich als fester Rückstand Koks ergibt, in welchem letzterem der größte Teil des im Brennstoff enthaltenen Stickstoffs verbleibt, also verlorengeht. Immerhin ist die Ausnutzung durch Entgasung eine etwas bessere als durch Verbrennung.

Die Vergasung ist als eine teilweise Verbrennung bei mangelhafter Luftzufuhr anzusprechen, bei welcher die festen Brennstoffe in gasförmige umgesetzt werden, ohne daß feste, verbrennbare Rückstände verbleiben.

Auch diese Art der Auswertung fester Brennstoffe stellt, obwohl sie besser ist als die Verbrennung, noch nicht das erreichbare Beste dar, selbst wenn sie mit Gewinnung der Nebenprodukte (Benzol, Ammoniak, Teer) arbeitet, weil die entstehenden Gase infolge ihres großen Stickstoffballastes arm, d. h. wenig heizkräftig sind. Durch Verwendung von Wasserdampf an Stelle von Luft läßt sich dieser Übelstand umgehen.

Die wirtschaftlich beste Ausnutzung der festen Brennstoffe wird sich ergeben durch ihre Entgasung und die direkt daranschließende Vergasung der bei der Entgasung verbleibenden festen Rückstände, wobei die Vergasung auf die Gewinnung eines hochwertigen Gases und aller wertvollen Nebenprodukte eingestellt sein muß.

Das Holz.

Das Holz ist ein Erzeugnis, welches die Natur in Form von vieljährigen Pflanzen höherer Ordnung, also Bäumen und Sträuchern, liefert. Es ist aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff zusammengesetzt (Zellulose = $C_6H_{10}O_5$) und besitzt aus diesen Elementen geformte Organe zum Wachstum und zur Ernährung.

Das spez. Gewicht des Holzes ist verschieden je nach der Holzart; es schwankt aber bei ein und derselben Holzart, wie die beigegebene Zahlentafel für einige Hölzer zeigt, je nachdem es in grünem Zustande, also unmittelbar nach dem Fällen, oder nach einer mehr oder minder durchgreifenden Trocknung festgestellt wird.

	Spezifisches Gewicht in grünem Zustande	Gewicht bei 60° getrocknet		Spezifisches Gewicht in grünem Zustande	Gewicht bei 60° getrocknet
Buche . . .	0,90 ÷ 1,12	0,66 ÷ 0,83	Tanne . . .	0,77 ÷ 1,23	0,37 ÷ 0,60
Eiche . . .	0,93 ÷ 1,28	0,69 ÷ 1,03	Fichte . . .	0,40 ÷ 1,07	0,35 ÷ 0,60
Esche . . .	0,70 ÷ 1,14	0,57 ÷ 0,94	Lärche . . .	0,52 ÷ 1,00	0,44 ÷ 0,80

Die Verwendung des Holzes ist eine ungemein ausgedehnte und vielfältige. Die alljährlich der Nutzung zugeführte Holzmenge findet zu annähernd gleichen Teilen Verwendung als Nutzholz und als Brennholz. Im ersten Falle erleiden weder die technischen, noch die chemisch-physikalischen Eigenschaften des Holzes eine Veränderung; im letzten Falle wird das Holz durch seine trockene Destillation oder durch Verbrennung nutzbar gemacht. Für Dampfkesselfeuerungen kommt es lediglich in Form von Abfällen (Sägespäne, Hobelspäne, Frässpäne, Schwarten, Stücke) in Sägewerken, Möbelfabriken, Bürstenfabriken, als Lohe in Gerbereien und als Rückstand der Farbenherstellung aus Farbhölzern (Rot-, Blau-, Gelbholz) in Färbereien zur Verwendung. In den beiden letzten Fällen ist wegen des hohen Feuchtigkeitsgehaltes der Lohe und der Farbhölzrückstände und der dadurch bedingten schweren Entzündlichkeit eine Vermischung mit Kohle notwendig, während in den zuerst angeführten Fällen eine solche unter Umständen entbehrlich ist.

Nur in Ländern mit ungeheuren Waldbeständen und mangelhaftem Forstschutze, wie z. B. in Mexiko, können sich in Gegenden mit schlechten Verkehrsverhältnissen auch solche Betriebe, welche keine Holzabfälle ergeben, Holz als ausschließliches Kesselfeuerungsmaterial leisten.

Durch trockene Destillation wird Holz in Holzkohle (spez. Gew. = 0,15 ÷ 0,22 je nach der Härte des Holzes) verwandelt, wobei noch, wenn die Destillation in Retorten und nicht in Meilern vorgenommen wird, Holzessig, Holzteer und gasförmige Produkte gewonnen werden.

Ersterer enthält Methylalkohol (Holzgeist), Essigsäure, Azeton und andere brauchbare Stoffe.

Im Holzteer ist ein schweres Teeröl enthalten, aus welchem das antiseptisch wirkende Kreosot dargestellt werden kann. Durch weitere

Verarbeitung des Teers lassen sich Terpentinharz, Terpentinöl und Kienöl gewinnen, wenn der Teer aus Nadelhölzern herrührt, während der aus Laubhölzern gewonnene Teer Karbolsäure und ähnliche Erzeugnisse liefert.

Die Verkokung des Holzes in Meilern wird heute nur noch selten ausgeführt, obwohl sie eine qualitativ bessere Holzkohle als die Retortenverkokung liefert. Die genannten Nebenprodukte entweichen bei ersterer unbenützt als Rauch, wodurch das Verfahren zu einem sehr unwirtschaftlichen wird.

Auf die Zusammensetzung der Holzkohle ist die Temperatur von Einfluß, bei welcher die Verkokung stattgefunden hat. Je höher die Verkokungstemperatur liegt, desto höher ist der Kohlenstoffgehalt der Kohle, um so geringer ist allerdings auch die Ausbeute an Kohle.

Holzkohle aus Retortenverkokung zwischen 300 und 400° herührend, enthält nach der „Hütte“, Handbuch für Eisenhüttenleute:

Kohlenstoff	80 ÷ 90%	Sauerstoff + Stickstoff	5 ÷ 7%
Wasserstoff	2 ÷ 3%	Asche	2 ÷ 4%

Der Torf.

Der Torf entsteht durch Vermoderung von Pflanzen niederer Art in Gegenwart von Wasser oder Feuchtigkeit.

Als solche Pflanzen kommen hauptsächlich Moose, und zwar in erster Linie sog. Sphagnummoose, und außerdem Sumpfpflanzen in Betracht.

In lufttrockenem Zustand ist die Zusammensetzung des Torfes folgende:

Kohlenstoff	40 ÷ 60%	Schwefel	0,3 ÷ 0,5%
Wasserstoff	4 ÷ 6%	Asche	1 ÷ 15 %
Sauerstoff	25 ÷ 35%	Wasser	bis 35 %
Stickstoff	1 ÷ 6%		

Nach seinem Alter läßt er sich einteilen in:

1. Faser- oder Rasentorf. Er bildet die obere Decke der Torfmoore, ist von hellbrauner Farbe und läßt die Pflanzenteile, aus denen er entstanden ist, deutlich erkennen, indem er eigentlich eine Verfilzung von vermoderten Pflanzenfasern vorstellt.

2. Sumpf- oder Modertorf. Er liegt tiefer als der Fasertorf, ist von dunkelbrauner Farbe, im Gefüge ziemlich dicht und läßt die Pflanzenfasern noch erkennen.

3. Speck- oder Pechtorf. Dieser liegt noch tiefer als der Sumpftorf, ist von Farbe dunkelbraun bis schwarz und zeigt bei dichtem Gefüge keine Pflanzenfasern mehr. Er kommt im Vergleich mit den beiden ersten Torfarten seltener vor.

4. Lebertorf. Dieser stellt das Produkt einer am weitesten vorgeschrittenen Vermoderung dar; er bildet die unterste Schichte alter Moore, ist von Farbe schwarzglänzend und spezifisch schwerer als die übrigen Torfarten.

Hinsichtlich der Gewinnungsstätten unterscheidet man:
Hochmoortorf oder Sphagnumtorf und
Niedermoortorf.

Hochmoore sind in erster Linie durch das reichliche Vorhandensein der Sphagnummoose (Sumpfmoose) und des Heidekrautes gekennzeichnet; außerdem tragen sie noch verkümmerte Bäume, wie Zwergbirke und Krummholzkiefer. Der Hochmoortorf besteht daher in der Hauptsache aus vermoderten Sphagnummoosen und Heidepflanzen. Die wenig durchmoderten oberen Moorschichten, also der jüngere Sphagnumtorf wird meist als Streu benützt. Die tiefer liegenden und daher gut durchmoderten Schichten sind von speckiger Beschaffenheit, und der aus ihnen gewonnene Torf eignet sich sehr gut zu Feuerungszwecken.

Niederungsmoore sind im Bereiche von Wasserläufen, Sümpfen und Seen gelegen. Sie zeichnen sich daher durch das vorwiegende Vorhandensein von Schilf- oder Sauergräsern aus; der aus ihnen gewonnene Torf ist infolge seiner durchgreifenden Vermoderung ein guter Heizstoff. Sein Aschengehalt ist höher als der des Hochmoortorfes.

Nach der Art der Gewinnung unterscheidet man folgende Torfarten:

1. Stichtorf. Er wird von Hand mittels besonders geformter Spaten gestochen. Diese Art der Gewinnung ist nur bei faseriger, ziemlich dichter, zusammenhängender Torfmasse möglich. Die Spaten sind derart geformt, daß die gewonnenen Stücke, die als Soden bezeichnet werden, halbziegelähnliche Form von $25 \times 10 \times 10$ cm oder $25 \times 8 \times 9$ cm oder $20 \times 10 \times 10$ cm Kantenlänge erhalten.

2. Baggertorf. Diese Bezeichnung kommt dem Torfe dann zu, wenn die Torfmasse mittels Baggermaschinen abgegraben wird. Im Anschluß an diese Arbeit besorgen die Torfbaggermaschinen selbsttätig noch das Mischen und das Pressen der Torfmasse in einen Strang mit fünfeckigem oder ovalem Querschnitt, das Zerteilen des Stranges in gleich lange Stücke (Soden) und das Ausbreiten derselben auf dem Trockenfelde.

3. Schöpftorf heißt der Torf dann, wenn er wegen seiner schlammigen, zusammenhanglosen Beschaffenheit aus dem Moore geschöpft werden muß, was mittels eiserner Eimer geschieht.

4. Maschinen-Preßtorf ist das Endprodukt einer maschinellen Zerteilung, Mischung und Verdichtung der Torfmasse. Gegenüber dem mit Handarbeit gewonnenen Torfe zeichnet er sich durch ein größeres spez. Gewicht und größere Festigkeit aus.

5. Streich-, Modell- oder Backtorf wird gewonnen, indem die Torfmasse durch Schlagen mit dreschlegelähnlichen Hölzern oder durch Treten mit Füßen, wobei kleine Brettchen unter die Füße gebunden sind, durcheinandergemengt und dann in bestimmte Formen gebracht wird.

Das spez. Gewicht von rohem, d. h. noch nicht verarbeitetem, lufttrockenem Torfe ist je nach dem Alter des Torfes sehr verschieden. Man kann nehmen für:

Fasertorf . . spez. Gew. = 0,20 ÷ 0,26	Pechtorf . . spez. Gew. = 0,60 ÷ 1,00
Sumpftorf . . „ „ = 0,40 ÷ 0,90	Lebertorf . . „ „ = 1,00 ÷ 1,30

Da der Torf in frischgewonnenem Zustande einen Wassergehalt bis zu 90% aufweisen kann, so muß er vor seiner industriellen Verwertung erst getrocknet werden. Der Umstand, daß der Torf bis in die jüngste Zeit selbst in der Nähe seiner Gewinnungsstätten nicht in großem Maßstabe verfeuert worden ist, hat seinen Grund in der Schwierigkeit der Wasserentfernung.

Am besten geschieht die Trocknung des Torfes durch Lagerung an der Luft während der Sommermonate.

Durch künstliche Trocknung in mit Torf gefeuerten Darröfen erzielte man wohl eine Beschleunigung des Trockenprozesses, auch wurde man von der Jahreszeit und der Witterung unabhängig; doch hat sich dieses Verfahren wegen seines hohen Brennstoffaufwandes als unwirtschaftlich erwiesen und wurde daher wieder aufgegeben.

Durch die Trocknung verliert der Stichtorf ein Viertel und mehr, der Maschinentorf und der Streichtorf ungefähr ein Fünftel des ursprünglichen Volumens.

Der Wassergehalt von lufttrockenem, für Feuerungszwecke bestimmten Torfe soll 35% nicht überschreiten. Guter, lufttrockener Brenntorf hat einen Wassergehalt von 18 ÷ 20%, wenn er als Maschinentorf und einen solchen von 20 ÷ 25%, wenn er als Stichtorf gewonnen ist.

Lange Zeit war die Meinung vorherrschend, daß Torf nur in Vorfeuerungen gut zu verheizen wäre. Neuere Versuche haben aber erwiesen, daß er auch auf dem Planroste, gleichgültig ob derselbe als Innen- oder Unterfeuerung angeordnet ist, mit gutem Wirkungsgrade verfeuert werden kann.

Torf ist gut geeignet zur Vergasung im Generator, weil er dem Durchgang der Verbrennungsluft nur geringen Widerstand entgegensetzt und weil seine Asche locker ist.

Der Torfkoks.

Der Torfkoks wird durch trockene Destillation des Torfes in Retorten gewonnen.

Er zeichnet sich durch große Reinheit aus, indem er so gut wie ganz frei von Schwefel und Phosphor ist. Sein spez. Gewicht ist fast doppelt so groß wie das der Holzkohle. Großstückiger Torfkoks dient als Ersatz für Holzkohle zu Kupferschmiedezwecken, wobei er infolge seiner natürlichen Elastizität die angenehme Eigenschaft hat, im Schmiedefeuer nicht zu zersprätzen. In Eisengießereien wird er zum Trocknen der Formen verwendet. Kleinstückiger Torfkoks eignet sich infolge seines hohen Porengehaltes als Isolierstoff. In ganz feiner Körnung wird Torfkoks als Härtemittel der Lederkohle beigemischt und mit

flüssiger Luft zur Herstellung von Sicherheitspatronen für Bergwerksbetriebe verwendet.

Bei der trockenen Destillation des Torfes werden außer Koks noch brennbare Gase und Teer gewonnen. Aus letzterem lassen sich verschiedene Öle, Paraffin, Ammoniak, Essigsäure, Methylalkohol, Ammonsulfat und essigsaurer Kalk herstellen.

Die Kohlen.

Durch sog. kohlige Vermoderung oder, genauer ausgedrückt, durch chemischen Zerfall der Vertreter einer längst untergegangenen Pflanzenwelt, unter dem Drucke der Erdrinde, in Gegenwart von Wasser, aber vermutlich bei fehlender Luft sind im Laufe vieler Jahrmillionen die Kohlen entstanden. Nicht unwahrscheinlich ist, daß auch die aus dem Erdinnern abfließende Wärme einen, wenn auch bescheidenen Anteil bei der Kohlebildung genommen hat.

Es waren Pflanzen höherer Ordnung, Bäume, riesige Schachtelhalme und ebensolche Farnkräuter, welche das Ausgangsmaterial für die Kohlebildung abgegeben haben.

Da durch neuere Forschungen nachgewiesen ist, daß bei der Zersetzung der Holzsubstanz unter Wasser verschiedenartige Bazillen wesentlich betätigt sind, so ist man zu der Annahme berechtigt, daß derartige kleinste Lebewesen auch bei der Bildung der Kohlen mitgewirkt haben.

Aus der Mächtigkeit der Steinkohlenflöze, die z. B. im Oberschlesischen Kohlenrevier 70 m erreicht, wäre der Schluß zu ziehen, daß die Höhe der Holzschichten, aus denen die Flöze entstanden sind, außerordentlich groß, bis zu 2000 m, hätte sein müssen. Da außerdem an der Kohle nichts auf die in den aufgehäuften Holzmassen doch sicherlich reichlich vorhanden gewesen Hohlräume schließen läßt, so ist die Vermutung berechtigt, daß an der Kohlebildung außer den Vertretern einer hochentwickelten Flora auch noch andere vorweltliche Organismen betätigt gewesen sind. Man nimmt an, daß die Körper ungeheurer Massen von Tieren niederer Ordnung, wie Heuschrecken, Landschnecken, Spinnen, Fliegen und auch Amphibien, durch ihre Verwesung zur Homogenität und Mächtigkeit der Flöze beigetragen haben (Hypothese von F. Simmersbach).

Die Pflanzen bestehen in der Hauptsache aus Zellulose ($C_6H_{10}O_5$), Wasser und geringen Mengen Asche. Beim chemischen Zerfall der Zellulose geht der reaktionsträgere Kohlenstoff nur langsam, der regere Wasserstoff und Sauerstoff dagegen rascher in andere Verbindungen über, und die Folge davon ist, daß die Produkte der chemischen Zersetzung um so kohlenstoffreicher sind, je länger der Zersetzungsprozeß schon im Gange ist.

Graphit, das Endglied der nach aufsteigendem Alter gebildeten Reihe von Erzeugnissen des auch heute noch stattfindenden Kohlebildungsprozesses: Holz — Braunkohle — Steinkohle — Anthrazit — Graphit besteht aus reinem Kohlenstoff.

Daß die Metamorphose der Kohlen wirklich in der angegebenen Reihenfolge stattgefunden hat, dafür liefert die Natur in mannigfacher Art den Beweis, so durch Abdrücke von Blättern und Rinden auf Kohlestücken, dann durch das Vorkommen aller Stufen des Überganges von Holz in Braunkohle (bituminöses Holz, Blätterkohle, Bastkohle), endlich durch Gebilde, die an verschiedenen Stellen der Erde gefunden werden, und bei welchen die einzelnen Entwicklungsstufen der Kohle in unmittelbarem Zusammenhang miteinander stehen. Am ausgeprägtesten und in größtem Maßstabe ist dieses der Fall an einigen Kohlenfundstätten in der Nähe von Kassel, so am Meißner und am Hirschberg, zwei Bodenerhebungen von rd. 700 m absoluter Höhe. Dasselbst finden sich in ein und demselben Flöz Anthrazit, Glanzkohle, Mattkohle, edle Braunkohle und gewöhnliche, erdige Braunkohle ohne scharfe Trennung aneinandergeschichtet.

Auch auf experimentellem Wege ist die Richtigkeit der angegebenen Kohlenmetamorphose nachgewiesen worden, indem es gelungen ist, durch Anwendung sehr hoher Drücke bei mäßigen Temperaturen aus Holz Braunkohle und aus dieser Steinkohle herzustellen (Dr. Bergius).

Wenn die Kohlen reicher an Asche sind als die Hölzer und die Pflanzen überhaupt, so ist dies in erster Linie darin begründet, daß durch Ablagerung mineralischer Stoffe aus dem bei der Kohlebildung gegenwärtig gewesenem Wasser die Kohlensubstanz eine Anreicherung an aschebildenden Bestandteilen erfahren hat. In zweiter Linie ist die Ursache des höheren Aschegehaltes darin zu suchen, daß mit dem Zerfall Hand in Hand gehend und als Folge desselben eine stete Abnahme der kohlebildenden Pflanzenmaterie stattgefunden hat, während der Aschegehalt, absolut genommen, konstant geblieben ist, dagegen relativ eine Erhöhung erfahren hat.

Aus diesem kurz geschilderten Werdegang folgt, daß die Hauptbestandteile der Kohle sind: Kohlenstoff, Wasserstoff, das sind die für die Verbrennung wichtigsten Bestandteile; außerdem Sauerstoff und Asche. Dazu kommt noch bei fast allen Kohlen ein stark schwankender Gehalt an Schwefelverbindungen, welche sowohl in der Kohlensubstanz selbst als auch in den aschebildenden Bestandteilen enthalten sind. Auch Stickstoff kann als ein ziemlich regelmäßig auftretender, für die Verbrennung vollständig nebensächlicher, für die Gasfabrikation aber sehr wohl beachtenswerter Bestandteil der Kohlen genannt werden. (Auch Phosphor und Arsen kommen in vielen Kohlen, aber immer nur in ganz geringen Mengen vor.)

Die Braunkohlen.

In lufttrockenem Zustande ist das spez. Gewicht der Braunkohle zwischen 1,1 und 1,4 gelegen.

Ihre Zusammensetzung wechselt mit dem Fundorte ziemlich stark. Für den lufttrockenen Zustand können folgende Zahlen angegeben werden:

Kohlenstoff	50÷60%	Asche	5÷10%
Wasserstoff	3÷5%	Hygroskopisches Wasser .	8÷25%
Sauerstoff + Stickstoff . .	12÷28%		

Die Einteilung der Braunkohlen erfolgt nach dem Grade der Vermoderung, also nach dem Alter, und zwar unterscheidet man hiernach in der Reihenfolge der Entstehung:

1. Lignit. Derselbe ist von gelber bis dunkelbrauner Farbe. Er läßt noch deutlich die Holzstruktur erkennen und wird daher auch fossiles oder bituminöses Holz genannt. Von einer gewissen Bruchform zu sprechen ist bei ihm nicht angängig, da zu seiner Zerteilung die Säge oder das Beil benutzt werden muß.

2. Gemeine Braunkohle. Sie hat hell- bis schwarzbraune Farbe; das Gefüge läßt zuweilen die Holzstruktur noch erkennen. Der Bruch ist von dichter, oft auch von erdiger Beschaffenheit. Ihre Verbreitung ist eine sehr weitgehende.

3. Erdige Braunkohle. Sie ist von Farbe hell- bis dunkelbraun, sehr leicht zerreiblich, ohne ausgesprochene Struktur und kommt heute verhältnismäßig nur noch selten vor.

4. Blätterkohle. Diese dunkelbraune, glänzende Braunkohle zeigt im Bruche dünnplattiges Gefüge.

5. Pechkohle mit schwarzbrauner bis tiefschwarzer Farbe. Sie ist fest und hart, bricht muschelrig und steht der Steinkohle am nächsten. Eine Abart derselben ist die Gagatkohle, die als Seltenheit in dem Kohlenbergwerk Hausham bei Miesbach gefunden wird und wegen ihrer tiefschwarzen Farbe und hohen Politurfähigkeit auf Jett verarbeitet wird.

Man kann die Braunkohlen auch nach der Art ihrer Verwendung einteilen und erhält alsdann zwei Gruppen:

1. Feuerkohlen. Sie werden unmittelbar oder in Form von Briketts verbrannt.

2. Schwel- oder Schmierkohlen. Unter dieser Bezeichnung sind alle Braunkohlen zusammengefaßt, die schon bei ca. 180° beginnen zu schmelzen, also für die Verfeuerung nicht in Frage kommen.

Durch trockene Destillation derselben, Schwelerei genannt, werden gewonnen:

Braunkohlenteer (5÷10% der Kohlenmasse),

Braunkohlenkoks oder Grudekoks (25÷35%),

Schwelwasser (50÷60%),

Schwelgase (Rest).

Über Braunkohlenteer ist in dem Abschnitte „Flüssige Brennstoffe“ Näheres gesagt.

Der Braunkohlenkoks oder Grudekoks.

enthält 15÷25% Asche und ebensoviel Wasser, vom Ablöschen herührend. Er dient in erster Linie für den Hausbrand, weil er die Eigenschaft hat, an der Luft ohne besondere Behandlung unter Entwicklung von gelinder, aber anhaltender Wärme forzuglimmen. In kleinen Mengen wird Grudekoks zur Herstellung von schwarzer Farbe und als Filterstoff für Wasser verwendet.

Das Schwelwasser ist fast wertlos.

Die Schwelgase bestehen nach Scheithauer aus:

$$\begin{array}{llll} \text{CO}_2 = 10 \div 20\% & \text{O} = 0,1 \div 3\% & \text{CO} = 5 \div 15\% & \text{CH}_4 = 10 \div 25\% \\ \text{H} = 10 \div 30\% & \text{N} = 10 \div 30\% & \text{H}_2\text{S} = 1 \div 3\% & \\ & \text{Schwerere Kohlenwasserstoffe} = 1 \div 2\% & & \end{array}$$

Sie dienen zur Beheizung der Schwelöfen und in gereinigtem Zustande zum Antrieb von Motoren.

Die Braunkohlenbriketts.

Im Gegensatz zu den Steinkohlenbriketts werden die Braunkohlenbriketts ohne jedes Bindemittel hergestellt. Dies ist deshalb möglich, weil die Braunkohlen, besonders die jüngeren, gewisse Stoffe, die sog. Bitumen, enthalten, die sich bei einer Erwärmung auf 75° zersetzen und dadurch die Eigenschaft zu kleben annehmen.

Da die frischgeforderte Braunkohle einen Wassergehalt von 50% und mehr aufweist, und dieser hohe Wassergehalt beim nachfolgenden Pressen die Zersetzungstemperatur der Bitumen nicht erreichen ließe, so trocknet man die Rohkohle mittels Abdampfes (z. B. von Gegendruckturbinen), bis der Wassergehalt auf 12–15% gesunken ist, mahlt dann die getrocknete Kohle ganz fein und führt sie hierauf kräftigen Kurbelpressen zu, in welchen sie unter einem Drucke von 1200–1500 at zu Briketts geformt wird. Dabei erhitzt sich das Preßgut weiter als zur Schmelzung der in ihm enthaltenen Bitumen nötig ist, weshalb während des Pressens durch Wasserkühlung für die Innehaltung einer Temperatur im Preßgut von rd. 75° Sorge zu tragen ist.

Infolge des hohen Preßdruckes und der guten Bindung der Kohleteilchen sind die Briketts sehr fest, wetter- und versandbeständig.

Braunkohlenbriketts werden hauptsächlich für den Hausbrand verwendet und haben dann die bekannte längliche Form mit abgestumpften Ecken. Sie eignen sich aber auch für industrielle Feuerungen und erhalten dann vielfach würfelige Form mit $50 \times 60 \times 70$ mm Seitenlänge oder rundliche Form (Sammelbriketts).

Für 1 t fertiger Braunkohlenbriketts kann man an aufzuwendender Rohbraunkohle rechnen:

$$\begin{array}{l} 2,06 \text{ t als Preßgut bestimmt, und} \\ 0,8 \text{ t Feuerkohle zur Erzeugung des Trocknungsdampfes und des} \\ \text{zum Antrieb der maschinellen Hilfseinrichtungen nötigen} \\ \text{Dampfes} \\ \hline 2,86 \text{ t Rohbraunkohle Gesamtaufwand.} \end{array}$$

Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß die Verarbeitung von Rohbraunkohle zu Briketts vom wirtschaftlichen Standpunkte aus unzuweckmäßig ist, weil die Kosten der Umsetzung der Rohbraunkohle in Briketts infolge der dazu nötigen umfangreichen und energieverbrauchenden Einrichtungen (Zerkleinerungs-, Kühl-, Aufgabel-, Sieb-, Berieselungs-, Staubsaugevorrichtungen) und der mit der Brikettierung zusammenhängenden unmittelbaren Verluste an Kohle höher sind als der Wärmegewinn, der sich aus der günstigeren Ausnützung der Braunkohle

in brikettiertem Zustande ergibt. Von wirtschaftlichem Standpunkte aus richtig verfahren ist nur dann, wenn die zur Schwelerei geeignete Braunkohle am Orte ihrer Gewinnung oder in dessen nächster Umgebung vergast und verschwelt wird, während nur die nicht schwelwürdige Rohkohle brikettiert und für Hausbrandzwecke auf kleinere und mittlere Entfernungen abgesetzt wird¹⁾.

Die Steinkohlen.

In lufttrockenem Zustande haben die Steinkohlen ein spez. Gewicht von 1,2÷1,4.

Ihre Zusammensetzung ist je nach Herkunft und Alter starken Schwankungen unterworfen. Als Grenzen der einzelnen Bestandteile können für den lufttrockenen Zustand folgende Zahlen angegeben werden:

Kohlenstoff	70 ÷ 93%	Asche	2 ÷ 12%
Wasserstoff	4,5 ÷ 6%	Hygroskopisches Wasser . .	1 ÷ 6%
Sauerstoff + Stickstoff . .	4 ÷ 25%		

Die Einteilung der Steinkohlen erfolgt von verschiedenen Gesichtspunkten aus. Eine einheitliche Klassifikation ist bis heute noch nicht zustande gekommen.

In bezug auf das Alter unterscheidet man:

1. **Mattkohlen.** Von Farbe sind sie grauschwarz oder auch bräunlichgrau; ihr Aussehen ist matt, also glanzlos, sie brechen flachmuschelig bis eben und weisen nur geringe Sprödigkeit auf. Ihre Verbreitung ist nicht so allgemein wie die der Glanzkohlen. Sie liefern die Hauptmasse der zur Gasdarstellung geeigneten Kohlen.

2. **Glanzkohlen.** Sie sind älter als die Mattkohlen, haben glasähnlichen Glanz, sind sehr spröde und vollkommen spaltbar. Ihre Verbreitung ist eine sehr große; zu ihnen gehört auch der Anthrazit.

Zu einer anderen Einteilung kommt man durch Verkokung einer kleinen Menge gepulverter Kohle im zugedeckten Platintiegel. Je nach der Beschaffenheit der Rückstände dieser Verkokung unterscheidet man:

1. **Sandkohle,** wenn die Rückstände durchwegs sandförmig geblieben sind.

2. **Sinterkohle,** wenn bei der Verkokung die einzelnen Kohleteilchen wohl erweichen, aber nicht zusammenfließen. Die Rückstände bilden dann ein zusammenhängendes Ganzes, welches durch leichten Schlag oder Stoß zerfällt.

3. **Backkohle.** Die einzelnen Kohleteilchen werden bei der Verkokung flüssig und fließen zusammen. Der Verkokungsrückstand bildet daher eine zusammengeschmolzene Masse mit glatter Oberfläche und schwachglänzendem Aussehen. Das Volumen der Rückstände ist größer als dasjenige der verkokten Kohle.

¹⁾ Herbst: Rohstoffverluste im deutschen Kohlenbergbau. Techn. Wirtsch. 1918, Heft 12.

4. Sinternde Sandkohle. Diese ist zwischen die beiden ersten Kohlenarten einzureihen, indem ihre Verkokungsrückstände nur am Rande zusammengesintert, in der Mitte aber noch locker sind.

5. Backende Sinterkohle. Diese bildet eine Übergangsform von der Sinter- zur Backkohle. Ihre Verkokungsrückstände lassen erkennen, daß eine Schmelzung stattgefunden hat, die aber nicht durchgreifend war; stellenweise sind die Rückstände aufgebrochen.

Das Verhalten der Steinkohlen im Platintiegel ist zwar nicht allein maßgebend für die Verkokung im großen, denn bei letzterer ist vor allem die Art der Erhitzung, also die Führung der Temperatur von Einfluß auf das Endprodukt der Verkokung. Langsame und bei niedriger Temperatur beginnende Erhitzung liefert einen stark aufgeblähten, wenig dichten Koks und ein kohlenstoffreiches Gas (Gasfabrikation). Dagegen erhält man durch eine Erhitzung, die rasch und mit hohen Temperaturen einsetzt, einen sehr dichten Koks, aber ein kohlenstoffarmes Gas (Zechenkokerei).

Auch die bei der Verkokung in der Praxis verwendeten Apparate und Einrichtungen sind von Einfluß auf die Beschaffenheit des gewonnenen Koks.

Nichtsdestoweniger sind die bei der Verkokung im Platintiegel gewonnenen Ergebnisse von Wichtigkeit, denn sie geben auf alle Fälle Aufschluß über das Verhalten der Kohle im Feuer.

Sandkohle ist für Dampfkesselfeuerungen insofern die beste, als die Rückstände der Verbrennung glatt durch die Rostspalten fallen. Auch Sinterkohle ist für den genannten Zweck noch geeignet, wenn auch ihre Rückstände erst durch Bearbeitung mit Schürinstrumenten zum Durchfallen durch die Rostspalten veranlaßt werden.

Backkohle ist dagegen für Rostfeuerungen unbrauchbar, weil sie die Rostspalten bald verschmieren und den Betrieb der Feuerung unmöglich machen würde. Hingegen ist sie als Schmiedekohle sehr geeignet.

In Rücksicht auf die Art der bei der Verbrennung entwickelten Flammen unterscheidet man:

1. kurzflämmige und
2. langflämmige Kohlen.

Maßgebend für die Flammenlänge ist der Gehalt der Kohlen an flüchtigen Bestandteilen, also an Gasen, insbesondere an verfügbarem Wasserstoff, d. h. an solchem Wasserstoff, der noch nicht an Sauerstoff gebunden ist. Gasarme Kohlen sind kurzflämmig, gasreiche dagegen langflämmig.

Als Grenze zwischen kurz- und langflämmigen Kohlen wird gewöhnlich ein Gehalt von 25% flüchtiger Bestandteile angesehen.

Bei der oben kurz angegebenen Verkokungsprobe läßt sich auch die Art der Flamme feststellen, indem man die entstehenden Gase, die durch ein im Deckel des Platintiegels angebrachtes Loch entweichen können, zur Entzündung bringt.

Nach der Größe des Gehaltes an flüchtigen Bestandteilen unterscheidet man auch:

1. Fettkohlen,
2. Eßkohlen,
3. Magerkohlen.

Erstere sind reich, letztere arm an flüchtigen Bestandteilen. Die Eßkohlen bilden den Übergang von den fetten zu den mageren Kohlen. Im Ruhrgebiet werden die mageren Kohlen als Eßkohlen bezeichnet.

Im Handel werden die Steinkohlen nach der Korngröße und dem Gehalte an Stücken unterschieden, wobei in den verschiedenen Kohlenbezirken wechselnde Bezeichnungen gebräuchlich sind. So unterscheidet z. B. das Rheinisch-Westfälische Kohlensyndikat:

A. Nichtaufbereitete Kohlen. Die Kohlen werden zum Teil in dem Zustande, wie sie aus der Grube kommen, als Förderprodukte verkauft, und zwar als solche:

1. Fördergruskohlen mit einem Stückgehalt bis zu 15%.
2. Förderkohlen mit einem Stückgehalt von etwa 25%.
3. Gasflamm- und Gasförderkohlen, die im Durchschnitt einen Stückgehalt von 40 ÷ 50% aufweisen.

B. Aufbereitete Kohlen. Der größere Teil der geförderten Kohlen wird der Aufbereitungsanstalt zugeführt und dort durch Absiebungen in Stück-, Nuß- und Feinkohlen getrennt, von denen die beiden letzteren Sorten dann fast ausnahmslos durch die Kohlenwäsche gehen, um als Waschprodukte besser verwertet werden zu können. Man unterscheidet:

4. Stückkohlen, die durch Absieben über Lochungen von 80 mm Durchmesser gewonnen werden. Soweit sie nicht als Stückkohlen zum Verkauf gelangen, verwendet man die Stücke zum Aufbessern der Förderprodukte und erhält dadurch die:

5. Melierten Kohlen mit einem Stückgehalt von etwa 40% und

6. Bestmelierten Kohlen mit einem solchen von etwa 50%; je nach Bedarf wird der Stückgehalt noch erhöht. Vereinzelt werden auch gesiebte bzw. gewaschene Kohlen in der Körnung von etwa 80 bis 100 mm als besondere Sorte geführt, die der gleichmäßigen Stückgröße wegen dann

7. Knabbelkohlen genannt werden.

Der Sieb- und Waschprozeß liefert in der Regel vier bis fünf Nußsorten, deren normale Korngrößen sich in den Grenzen 50/80 mm, 30/50 mm, 15/30 mm und 10/15 mm bewegen. Dementsprechend führen diese Größen der Reihe nach die Bezeichnung:

8. Nuß I bis IV. Soweit nicht der kleinsten Körnung noch diejenigen von etwa 5/10 mm als

9. Nuß V entnommen wird, gilt der unter 10 mm verbleibende Rest als

10. Feinkohle, die für Kokerei- und Brikettzwecke Verwendung findet.

Überreste der Nußsorten durcheinander kommen vereinzelt als

11. gewaschene Nußgruskohlen zur Verladung, während bei Gasflammkohlen unter der Bezeichnung

12. Nußgrus das bei einer Trockenabsiebung bis zu 30 mm und mehr gewonnene Produkt verstanden ist.

Durch Vermischung bestimmter Teile Stück- und kleiner Nußkohlen (III/IV) werden sogenannte

13. gewaschene Melierte hergestellt.

Die bei der Entwässerung mitgeführten Schlämme werden gesammelt und kommen unter der Bezeichnung:

14. Schlammkohlen als Absatzprodukte für Kesselfeuerungen auf den Markt.

Die Steinkohlenbriketts.

Als Rohstoff zur Herstellung von Steinkohlenbriketts dient in erster Linie die bei der Gewinnung und Förderung, hauptsächlich aber bei der Aufbereitung von magerer Kohle abfallende Feinkohle. Es werden aber auch die bei anderen Steinkohlenarten und bei Anthrazit sich ergebenden Abfälle zu Briketts verarbeitet. Bedingung für die Gewinnung guter Steinkohlenbriketts ist ein Aschengehalt der Feinkohle unter 10%.

Als Bindemittel dient Teerpech. Während man früher nur hartes Pech wegen seiner guten Mahlfähigkeit für geeignet erachtet hat, verwendet man heute wegen der größeren Bindekraft auch mittelhartes und sogar weiches Pech für genannten Zweck. Mit Kohlenklein vermischt mahlen sich die beiden letzten Pechsorten ebensogut wie reines Hartpech.

Teerpech fällt bei der Destillation des Steinkohlenteers ab, und zwar in Mengen bis zu 60% der Teermasse. Um Hartpech zu erhalten, muß die Destillation bis zu einer Temperatur von ungefähr 360° getrieben werden, während Weichpech schon bei rund 300° sich abscheidet. Bei zwischenliegenden Temperaturen erhält man ein mehr oder minder weiches Pech.

Der Heizwert von Teerpech liegt bei 8500÷8600 WE, so daß also das Bindemittel den Heizwert der Feinkohle hebt.

Das auf etwa 120° vorgewärmte Gemisch von Feinkohle und Teerpech wird unter einem Drucke von 200÷300 at zu Briketts gepreßt, die entweder von rechteckiger Form mit abgerundeten Ecken sind, wenn sie aus Stempelpressen hervorgehen, oder linsenförmig (Eierbriketts), wenn sie in Walzenpressen hergestellt werden.

Beide Brikettformen eignen sich für industrielle Feuerungen. Die ersten haben den Vorteil, daß sie sich bequem und übersichtlich lagern lassen, aber den Nachteil, daß sie zu erheblicher Grusbildung neigen, wenn sie zerschlagen werden müssen.

Der Steinkohlenkoks.

Der Steinkohlenkoks entsteht bei der trockenen Destillation der Steinkohle, und zwar entweder als Haupterzeugnis (Kokereibetrieb)

oder als Nebenerzeugnis (Leuchtgasdarstellung). Im ersten Falle ist er dichter und kohlenstoffreicher als im letzten Falle.

Obwohl sich jede Steinkohle verkoken läßt, so wählt man doch für den Kokereibetrieb ältere, also kohlenstoffreiche, wasserstoffarme, daher stark backende Kohlen aus, während für die Leuchtgasherstellung ausgesprochen fette, also jüngere und daher gasreiche Kohlen die geeignetsten sind.

Das spez. Gewicht von trockenem Koks ist rund 0,5.

Die mittlere Zusammensetzung von Zechenkoks ist folgende

Kohlenstoff	90 ÷ 95 %	Schwefel	0,5 ÷ 1,0%
Wasserstoff	0,2 ÷ 1,5%	Asche	5,0 ÷ 8,0%
Sauerstoff + Stickstoff	1,4 ÷ 5,5%	Hygroskopisches Wasser	2,0 ÷ 5,0%

Die Einteilung des Koks geschieht entweder nach der Art seiner Gewinnung in:

1. Gaskoks und
2. Zechenkoks oder Hüttenkoks, der wieder in
 - a) Hochofenkoks (porenreicher) und
 - b) Schmelz- oder Gießereikoks (porenärmer)

zerfällt,

oder nach seinem Aschengehalt in:

1. Koks der Klasse 1, wenn der Aschengehalt bis 9% geht,
2. Koks der Klasse 2, wenn der Aschengehalt in den Grenzen 9 ÷ 11% liegt,
3. Koks der Klasse 3, wenn der Aschengehalt über 11% beträgt.

Nach der Korngröße gegliedert, bringt das Rheinisch - Westfälische Kohlensyndikat folgende Kokssorten auf den Markt:

1. Hochofenkoks, für Hochofenwerke, großstückiger Koks, der mit Gabeln verladen wird.
2. Gießereikoks für Gießereien, Maschinenfabriken usw., großstückiger, mit Gabeln verladener Koks, aus dem minderwertige Stücke ausgelesen sind.
3. Brechkoks, hauptsächlich für Zentralheizungen, aber auch für industrielle Zwecke; er wird in besonderen Brechwerken gebrochen und durch Siebe auf verschiedene Größen abgeseibt, nämlich:

70/100 mm bis 50/80 mm:	Brechkok I,
40/70 mm „ 30/50 mm:	Brechkok II,
20/40 mm	: Brechkok III,
10/30 mm „ 10/20 mm:	Brechkok IV.

4. Siebkoks für industrielle Zwecke und vereinzelt auch für Zentralheizungen, nämlich:

70/100 mm bis 50/80 mm:	geseibter Knabbel- u. Abfallkoks,
40/70 mm „ 30/50 mm:	geseibter Kleinkoks,
20/40 mm	: geseibter Kleinkoks (kleineres Korn),
10/30 mm „ 10/20 mm:	Perlkoks.

5. Koksgrus, Abfall bei der Herstellung der Sorten 1—4; Korngröße etwa 0/10 mm bis 0/15 mm (auch Koksasche genannt).

Als Kesselfeuerungsmaterial ist Koks vor dem Kriege nur in wenigen Fällen verwendet worden. Der Grund hierfür lag hauptsächlich auf wirtschaftlichem Gebiete, indem sich der Dampfpreis bei Verfeuerung von Koks höher stellt als bei Steinkohle.

Die Kohlenknappheit, die während des Krieges eintrat, weil große Kohlenmengen zur Gewinnung der für die Spreng- und Explosivstoffherstellung notwendigen Rohstoffe in Koks umgewandelt werden mußten, zwang viele industrielle Werke, zur Verfeuerung von Koks überzugehen.

Es zeigte sich, daß die Verfeuerung von Koks auf gewöhnlichen Planrosten mit Handbeschickung möglich ist, wenn der Brennstoff in mäßiger Stückgröße und in guter Porosität vorliegt, wenn außerdem die Feuerung die Möglichkeit der Anwendung einer hohen Brennschicht bietet und die Zugverhältnisse gut sind. Dabei ist zu empfehlen, die Roststäbe kräftig zu kühlen, weil dadurch ihre Lebensdauer erhöht wird und die Schlacke weniger fest auf ihnen haften bleibt.

Die Kühlung erfolgt bei gewöhnlichen, vollen Roststäben in einfacher Weise durch Einführen von etwas Dampf in den Aschenfallraum, bei Hohlroststäben durch Wasser, welches die Hohlräume durchfließt. Im ersten Falle erzielt man noch den Vorteil einer Erhöhung der Durchlässigkeit der Schlacke.

Die bei großen Dampfanlagen allgemein angewandten Ketten- oder Wanderrostfeuerungen setzten der Einführung von Koks als Brennstoff große Schwierigkeiten entgegen, die hauptsächlich in der schweren Entzündlichkeit von Koks, in der Unentbehrlichkeit einer hohen Brennschicht und in dem Umstande begründet waren, daß der Koks nicht in durchwegs gleichmäßigen Stücken, sondern mit beträchtlichen Mengen Feinkoks vermengt, geliefert wurde.

*Die Preßkoksbriketts.

Diese werden von einigen Gasanstalten aus Kokslein und Hartpech hergestellt, wobei letzteres das Bindemittel bildet. Die Mischung geschieht entweder unter Anwendung von überhitztem Dampf, oder das Kokslein wird in einem luftverdünnten Raume untergebracht, und das Bindemittel in zerstäubter Form in diesen Raum eingeführt. Dadurch dringt es in die Poren der einzelnen Koksteilchen ein, und die durch Pressen der Mischung erhaltenen Briketts (Zylinder von 6×6 cm) werden besonders fest und für den Transport geeignet.

Die Preßkoksbriketts eignen sich gut für Zentralheizungen und auch für Zimmeröfen mit kräftigem Zuge. Durch ihre Herstellung sind die Gaswerke in die Lage versetzt, reichlich anfallende, geringwertige Nebenerzeugnisse gewinnbringend zu verwenden.

2. Die flüssigen Brennstoffe.

Die flüssigen Brennstoffe bestehen aus Kohlenstoff und Wasserstoff, und zwar ist ihr Gehalt an letzterem höher als derjenige der festen Brennstoffe. (Flüssige Brennstoffe enthalten rund 15%, feste Brenn-

stoffe nur 3÷6% Wasserstoff, wovon ein Teil noch chemisch an Sauerstoff gebunden ist.)

Wasserstoff ist im Gegensatz zu Kohlenstoff ein äußerst reaktionsfähiges und mit hoher Temperatur rasch verbrennendes Element, während der reaktionsträgere Kohlenstoff als solcher überhaupt nicht verbrennbar ist. Er muß zunächst in Kohlenoxyd übergeführt werden, und dieses erst ist der Verbrennung fähig.

Feste Brennstoffe, die hauptsächlich aus Kohlenstoff bestehen, müssen, wenn sie verbrannt werden sollen, zuerst in flüchtige und in feste Bestandteile (Kohlenwasserstoffe bzw. Koks) zersetzt werden.

In dem höheren Wasserstoffgehalt und in der Tatsache, daß der Kohlenstoff in Verbindung mit dem Wasserstoffe einer unmittelbaren Verbrennung fähig ist, sind zum Teil die Vorzüge der flüssigen gegenüber den festen Brennstoffen begründet. Diese Vorteile sind: Leichte und rasche Entzündbarkeit, bequeme Regelbarkeit des Feuers innerhalb weiter Grenzen, augenblickliche, weil ohne Zersetzung sich vollziehende Verbrennung, gründliche Mischung mit der Verbrennungsluft und daher vollkommene Verbrennung bei hoher Temperatur, Reinhaltung der Heizfläche auf der Feuerseite, fast jeglicher Fortfall von Verbrennungsrückständen und damit Vermeidung von Wärmeverlusten, die bei den festen Brennstoffen in der Schlacke und Asche unvermeidlich sind, ferner Fortfall der Arbeit des Schürens und Abschlackens und endlich Vermeidung von Wärmeverlusten bei Außerbetriebsetzung der Feuerung.

Als flüssige Brennstoffe kommen gewisse Erzeugnisse der Veredelungsprozesse von

Erdöl und von

Teer

in Betracht.

Das Erdöl.

Über die Entstehung von Erdöl gibt es verschiedene Theorien. Nach der einen ist es das Zersetzungsprodukt mariner Tiere niederer Art, wie Molusken und Korallen.

Nach einer anderen Theorie sind es die im Meere vorkommenden Algen gewesen, welche den Grundstoff für das Erdöl gebildet haben.

Chifford Richardson, Neuyork, zieht aus dem Umstande, daß mit dem Erdöl stets noch Naturgas auftritt, den Schluß, daß die Einwirkung der Oberfläche von festen Körpern (Sanden) auf Naturgas zur Bildung von Erdöl geführt hat.

Je nach dem Orte der Gewinnung ist die Zusammensetzung des Erdöles verschieden; im allgemeinen kann es als ein Gemenge von Kohlenwasserstoffen verschiedenen Aufbaues angesehen werden.

Die elementaren Bestandteile liegen in den Grenzen:

80÷87% Kohlenstoff und 10÷14% Wasserstoff.

Pennsylvanisches Erdöl ist durch einen gewissen Paraffingehalt, russisches durch einen Gehalt von Naphthenen (C_nH_{2n}), kalifornisches

Öl durch Asphalt und das in Kanada und Texas gewonnene Öl durch einen den Durchschnitt übersteigenden Schwefelgehalt gekennzeichnet.

Das spez. Gewicht des Erdöles liegt in den Grenzen $0,75 \div 0,98$; die Farbe geht von Gelb bis Schwarz.

In Deutschland wird Erdöl bei Wietze, Steinförde und Ölheim im Hannoverschen, bei Heide im Holsteinschen und in Südbayern zwischen Kaltenbrunn und Wiessee am Westufer des Tegernsees gefunden. Die Erdölquellen bei Altkirch, Pechelbrunn und Hagenau im Elsaß sind durch den Krieg dem Reiche verlorengegangen.

Kennzeichnend für die deutschen Öle mit Ausnahme des Tegernseer Öles ist ihr verhältnismäßig geringer Gehalt an leichten Kohlenwasserstoffen wie Benzin und Leuchtöl; dagegen ist bei ihnen die Ausbeute an Paraffin und Schmieröl eine gute.

Hohe Feuergefährlichkeit einerseits und wirtschaftliche Gründe andererseits lassen es angezeigt erscheinen, nicht das rohe Erdöl als solches, sondern den nach Abtreibung der in ihm enthaltenen, wertvollen Bestandteile verbleibenden Rückstand zu verfeuern.

Durch fraktionierte Destillation, d. h. durch unterbrochene und in den Temperaturen abgestufte Destillation werden aus dem rohen Erdöl wichtige Produkte gewonnen.

Bei Temperaturen bis 150° scheidet sich Benzin, zwischen 150 und 300° Petroleum und zwischen 225 und 360° Gasöl ab.

Dem nach der Abdestillation des Gasöles sich ergebenden Rückstande wird der Paraffingehalt durch Abspaltung entzogen, vorausgesetzt, daß diese Weiterverarbeitung wirtschaftlich ist. Der dann in einem Betrage von rund 50% der ursprünglichen Rohölmenge verbleibende Rest bildet entweder das Ausgangsmaterial für die Mineral-schmierölfabrikation, wenn solche lohnend ist, oder er wird unter dem Namen Masut (liquid fuel, Pascura, Astatki, Restöl) der Verwendung zu Feuerungszwecken zugeführt.

Das Benzin. Das aus dem Erdöl durch Destillation bis 150° zunächst erhaltene Benzin bezeichnet man als Rohbenzin (Naphtha). Es hat ein spez. Gewicht von $0,65 \div 0,79$ und einen Heizwert von etwa 10 000 WE. Durch weitere Destillation wird es auf Leichtbenzin (bei $30 \div 100^\circ$ gewonnen) und auf Schwerbenzin (bei $100 \div 150^\circ$ gewonnen) verarbeitet.

Aus dem Leichtbenzin wird Petroläther, Gasolin und Benzin (für Autos, Luftfahrzeuge, Löt- und Grubenlampen, Bootsmotore und medizinische Zwecke) hergestellt, während das Schwerbenzin ebenfalls auf Benzin, außerdem noch auf Ligroin und Benzinputzöl verarbeitet wird.

Das Petroleum. Dieses aus dem Erdöl bei Temperaturen von $150 \div 300^\circ$ gewonnene Destillat ist unreines Petroleum mit einem spez. Gewicht von $0,79 \div 0,89$. Erst durch Raffination wird das gereinigte Petroleum erhalten, welches für Leuchtzwecke und als Betriebsstoff für Motore Verwendung findet.

Das aus dem Erdöl bei 225÷360° abdestillierende

Gasöl hat ein spez. Gewicht von 0,83÷0,93. Seine hauptsächlichste Verwendung findet es zum Betriebe von Dieselmotoren. Durch Raffination wird aus ihm das Petroleumputzöl (Gewehröl) gewonnen. Auf 700÷800° erhitzt, zersetzt sich das Gasöl in seine gasförmigen Bestandteile. (Weitere Angaben siehe „Braunkohlenteeröle“).

Der Teer.

Als Teer bezeichnet man allgemein das bei der trockenen Destillation kohlenstoffreicher Materialien aus den Destillationsgasen sich abscheidende zähflüssige Nebenprodukt, welches zum größten Teil aus Kohlenwasserstoffen, zum geringsten Teil aus freiem Kohlenstoff mit beigemengtem Wasser besteht. Es stellt eine dunkle, fast schwarze Masse dar, die nur bei niedriger Temperatur dickflüssig, in der Hitze dagegen dünnflüssig ist.

In Hinsicht auf das Ausgangsmaterial unterscheidet man:

Steinkohlenteer,
Braunkohlenteer,
Holzteer.

Von untergeordneter Bedeutung sind noch der

Ölgasteer (bei der Erzeugung von Ölgas gewonnen
und der Schieferteer (bei der Verschmelzung von Ölschiefer als Rückstand verbleibend).

Der Steinkohlenteer. Je nachdem der Teer bei der Verarbeitung der Steinkohle in Kokereien oder in Gasanstalten oder in Generatoren gewonnen wird, unterscheidet man

Kokereiteer,
Gasteer und
Generatorsteer.

Die anfallenden Mengen betragen bei Kokereien 2÷6%, und bei Gasteer rund 5% der destillierten Kohlenmenge. Die im Generatorbetrieb gewonnene Teermenge ist so gering, daß der Generatorsteer bis jetzt noch keine besondere Bedeutung erlangt hat.

Kennzeichnend für den Steinkohlenteer ist sein Gehalt an freiem Kohlenstoff, durch welchen in erster Linie seine Verwendbarkeit zu Heiz- und Motorzwecken beeinflußt wird. Je höher der Gehalt an freiem Kohlenstoff ist, desto weniger geeignet ist der Teer für die genannten Zwecke, weil die Brenner, bzw. Düsen durch sich bildenden Koks leicht verstopft werden.

Gasteer hat den höchsten Gehalt an freiem Kohlenstoff, bis 33%, während der Kokereiteer in der Regel nicht mehr als 12% enthält.

Als mittlere Zusammensetzung des Steinkohlenteers kann nach Dr. Schmitz angenommen werden:

Kohlenstoff	92,4%	Sauerstoff + Stickstoff	2,5 %
Wasserstoff	4,5%	Schwefel	0,35%

Die Siedepunkte der einzelnen Bestandteile des Teers liegen verschieden hoch, und diesen Umstand benützt man zur Gewinnung der so sehr wichtigen Teerprodukte. Die Teermasse wird, nachdem ihr das Ammoniakwasser (ca. 2,3%) und die Rohbenzole (ca. 25%) entzogen sind, nacheinander in verschiedene Destillierblasen geleitet, die auf zweckentsprechende, verschieden hohe Temperaturen geheizt sind. Die den einzelnen Blasen entweichenden Dämpfe werden durch Abkühlung destilliert. Das Verfahren heißt daher fraktionierte Destillation.

Es scheiden sich in Dampfform ab bei Temperaturen

von 80÷170° die Leichtöle,	von 230÷300° die Schweröle,
„ 170÷230° „ Mittelöle,	„ 300÷360° „ Anthrazenöle.

Als Rückstand verbleibt das Teerpech.

Der Menge nach betragen diese Destillationsprodukte auf wasser- und aschefreien Teer bezogen:

Leichtöle	1,0÷ 6,6%	Anthrazenöle	9,9÷21,9%
Mittelöle	10,2÷14,0%	Pech	51,7÷66,5%
Schweröle	8,5÷13,0%		

Das Ammoniakwasser wird auf Salmiakgeist, schwefelsaures Ammoniak und andere Ammoniakprodukte verarbeitet. Besonders das schwefelsaure Ammoniak hat als Düngemittel für Nutzpflanzen aller Art eine hohe Bedeutung erlangt.¹⁾

Die Rohbenzole und Leichtöle dienen zur Herstellung des Benzols, Toluols, Xylols und Solventnaphtas.

Benzol ist das Ausgangsmaterial für die Anilinfarbenfabrikation. Es dient ferner als Leuchtstoff in den Benzolglühlampen und tritt in neuerer Zeit als Betriebsstoff für Motore an Stelle von Benzin in den Vordergrund.

Toluol dient zur Darstellung von Benzoesäure und Sacharin. Es findet außerdem Verwendung zur Fabrikation vieler Farbstoffe, zur Herstellung medizinischer Präparate und künstlicher Riechstoffe. Die wichtigste Verwendung ist aber die zu Spreng- und Explosivstoffen.

Xylol wird als Lösungsmittel für Fette und Öle verwendet.

Solventnaphta findet Anwendung als Lösungsmittel für Kautschuk und zur Herstellung von Lacken und Harzen.

Die Mittelöle dienen, nachdem sie von Naphtalin (Desinfektionsmittel, Ausgangsmittel für Ruß- und Farbenfabrikation, Brennstoff, siehe später) und Karbolsäure (Ausgangsmaterial für die Herstellung von Farben, Sprengstoffen, pharmazeutischer Erzeugnisse) befreit sind, als Heizöle, als Treiböle für Dieselmotore und als Waschöl für die Benzolgewinnung; oder sie werden auf

¹⁾ Deutschland verbrauchte i. J. 1913 rd. 460 000 t schwefelsaures Ammoniak.

Phenole (dienen zur Herstellung der Pikrin- und der Salicylsäure),
Kresole (dienen zur Herstellung von Desinfektionsmitteln wie z. B. des Lysols) und
Xylenole
verarbeitet.

Die Schweröle, die bei gewöhnlichen Temperaturen viel feste Bestandteile (meist Naphtalin) enthalten, finden Verwendung als Heiz-, Treib- und Waschöle und zum Imprägnieren von Holz.

Die Anthrazenöle scheiden bei niedrigen Temperaturen einen festen Körper, das Anthrazen aus, welcher Vorgang durch Filtrieren noch durchgreifender gestaltet wird. Als Ausgangsmaterial für die Herstellung der Alizarinfarben ist das Anthrazen von großer Bedeutung. Aus den flüssigbleibenden Bestandteilen der Anthrazenöle, den sogenannten filtrierten Anthrazenölen wird das Karbolineum gewonnen, das für desinfizierende Anstriche und zum Imprägnieren von Holz (Eisenbahnschwellen, Telegraphenstangen, Grubenhölzer) Verwendung findet.

In neuerer Zeit wird aus den filtrierten Anthrazenölen durch weitere Verarbeitung das Teerfettöl hergestellt, welches das Ausgangsmaterial für die Gewinnung von Schmieröl bildet. Diese Schmieröle (spez. Gew. 1,1, Flammpunkt 130°, Viskosität 2,25 Englergrad bei 50°) haben gegenüber den Mineralschmierölen den Vorzug, säurefrei zu sein; sie eignen sich zwar weniger zur Verwendung als ausschließliches Schmiermaterial, wohl aber als Zusatz zu Mineralölen, mit welchen sie sich bei einer Temperatur von etwa 80° gut vermischen. Besonders geeignet ist das Teerfettöl zur Herstellung von Starrschmierem.

Das Teerpech wird in zwei Formen gewonnen: als Weichpech, wenn die Destillation nur bis zur Ausscheidung der Schweröle getrieben oder noch früher unterbrochen wird, und als Hartpech, wenn die Destillation bis zur Ausscheidung der Anthrazenöle fortgesetzt wird. Ersteres wird als Anstrichmittel und zur Imprägnierung von Dachpappen, auch zur Brikettierung von Steinkohle verwendet, letzteres dient in gemahlenem Zustande dem gleichen Zwecke.

Der Tieftemperaturteer. Der Kokereiteer sowohl, wie auch der Gasteer sind durch Temperaturen gegangen, die über 1000° liegen, und daher als hoch bezeichnet werden müssen. Die Bildung des Teers findet schon bei Temperaturen unter 500° statt, und wenn solcher Teer untersucht wird, so zeigt sich, daß derselbe keinen der Stoffe: Benzol, Toluol, Xylol, Naphtalin, Anthrazen enthält, ebenso wie ja auch die Steinkohle frei von diesen Stoffen ist, die ihre Entstehung offenbar einer Zersetzung des Teers in dem Bereiche der höheren, über 500° gelegenen Temperaturen verdanken.

Teer, gleichgültig ob aus Stein- oder Braunkohle herrührend, der bei Temperaturen unter 500° gewonnen wird, heißt Tiefemperaturteer oder Urteer. Er hat bezüglich seiner Verarbeitungsfähigkeit große Ähnlichkeit mit dem Erdöl, indem sich aus ihm Benzin, Leuchtöl, Paraffin, Treiböl, Schmieröl herstellen läßt.

Der Braunkohlenteer. Er wird bei der Schwelerei, d. i. trockene Destillation einer besonderen Braunkohlengattung, der sogenannten Schwel- oder Schmierkohle erhalten und stellt eine gelbe bis dunkelbraune, bei gewöhnlicher Temperatur dickbreiige Masse dar, deren spez. Gewicht zwischen 0,85 und 0,91 liegt.

Was die Zusammensetzung des Braunkohlenteers betrifft, so sind es hauptsächlich Kohlenwasserstoffe der Paraffinreihe, die ihn bilden; daneben finden sich noch aromatische Kohlenwasserstoffe, sauerstoffhaltige Körper, Wasser und als besonders kennzeichnend, Schwefel; letzterer im Betrage von $0,5 \div 1,5\%$.

Durch trockene Destillation lassen sich aus dem Braunkohlenteer verschiedene wertvolle Erzeugnisse gewinnen, die alle zwischen 150 und 400° übergehen. Es sind dies:

Rohes Braunkohlenteeröl. Dieses destilliert zuerst über; es ist paraffinfrei und macht rund ein Drittel der Teermasse aus.

Paraffine, weiche und harte ($3 \div 6\%$ bzw. $8 \div 12\%$).

Teerkoks (2%).

Destillationsgase (100 kg Teer geben $2 \div 2,5$ cbm Gas).

Nebenprodukte ($4 \div 6\%$).

Außerdem wird noch Wasser erhalten.

Das rohe Braunkohlenteeröl wird auf dem Wege der trockenen Destillation noch weiter verarbeitet, wodurch folgende Produkte entstehen:

Leichtes Braunkohlenteeröl (Benzin): spez. Gewicht = $0,79 \div 0,81$, Siedepunkt: $100 \div 200^{\circ}$.

Es dient meistens zum Reinigen des Paraffins.

Solaröl: spez. Gewicht = $0,825 \div 0,835$, Siedepunkt: $130 \div 240^{\circ}$.

Es dient zum Betriebe von Motoren, ferner als Lösungsmittel in der chemischen Industrie und als Leuchtöl.

Putzöl: Spez. Gewicht = $0,850 \div 0,860$,

Siedepunkt: $200 \div 300^{\circ}$.

Es wird zum Waschen fettiger Maschinenteile benützt.

Gelböl } spez. Gewicht = $0,865 \div 0,880$; Siedepunkt: 200
Rotöl } $\div 325^{\circ}$.

Sie dienen zur Herstellung feiner Wagenfette, als Treibmittel für kleinere Dieselmotore und als Ersatz für Gasöl.

Gasöl: Spez. Gewicht = $0,880 \div 0,900$,

Siedepunkt: $225 \div 360^{\circ}$.

Es bildet den Ausgangsstoff für die Herstellung von Ölgas, das vorwiegend zur Beleuchtung von Eisenbahnwagen verwendet wird.

Gasöl dient ferner noch zum Karburieren von Wassergas. Als weiteres, wenn auch nicht aus dem Rohöl, doch aber aus dem Braunkohlenteer gewonnenes Öl muß noch das Paraffinöl genannt werden. Dieses stellt sich bei der Gewinnung des Weichparaffins als Ablauföl ein. Spez. Gewicht = $0,900 \div 0,930$; Siedepunkt: über 300° . Es wird in gleicher Weise wie das Gasöl verwendet. Außerdem dient es noch zur Herstellung von Schmiermitteln und Wagenfetten.

Das an zweiter Stelle aufgeführte Produkt der Braunkohlenteer-Destillation, die Paraffine, macht der Menge nach nur $10 \div 12\%$ der Teermasse aus, dem Werte nach steht es aber an erster Stelle. Die Bedeutung der Paraffine für die Kerzenfabrikation ist allgemein bekannt.

Der Teerkoks wird auf Kohlen für die elektrische Industrie verarbeitet.

Die Destillationsgase haben einen Heizwert von $7000 \div 9000$ WE. Sie werden für Beleuchtungs- und Heizzwecke, hauptsächlich aber für motorische Zwecke verwendet.

Als Nebenprodukte sind Kreosotöl und Asphalt zu nennen. Ersteres hat ein spez. Gewicht von $0,950 \div 0,980$ und wird als Imprägnierungsmittel für Eisenbahnschwellen und Grubenhölzer geschätzt. Auch für Desinfektionszwecke ist es in Verwendung. Der Asphalt ergibt sich als Rückstand bei der Destillation des Kreosotöls.

Die mitteldeutschen Braunkohlen enthalten fast durchwegs mehr oder minder große Mengen von Montanwachs, welches wegen seiner sehr schlechten Leitungsfähigkeit für den elektrischen Strom als Isolationsmaterial Verwendung findet. Außerdem dient es auch noch zur Herstellung von Phonographenwalzen und von Schuhcreme.

Die Teeröle. Die unter dieser Bezeichnung als Heizöle und als Treiböle in den Handel gebrachten Produkte sind sowohl aus dem Steinkohlenteer wie auch aus dem Braunkohlenteer hergestellt und zwar umfassen sie, soweit ersterer in Betracht kommt, die Mittel-, die Schwer- und teilweise auch noch die Anthrazenöle.

Während die Treiböle möglichst rein verlangt werden, enthalten die Heizöle bis zu 20% Teerpech und heißen dann gestreckte Teeröle.

Die Heizwerte liegen zwischen 8800 und $10\ 000$ WE, und zwar ist derjenige des reinen Öles nur wenig höher als der des gestreckten Öles.

Das spez. Gewicht ist für reines Öl bei $1,02$, für gestrecktes Öl bei $1,01$ (bei 15°), der Siedepunkt bei rund 200° , der Entflammungspunkt über 65° gelegen.

Bei der Verheizung wird das Öl den Brenndüsen in vorgewärmtem Zustande zugeführt und durch die Drüsen zerstäubt. Dies ist in dreifacher Weise möglich, und danach werden auch drei verschiedene Brennerbauarten unterschieden.

Entweder fließt das Öl den Düsen unter Druck (etwa 0,3 at) zu (Preßöl- oder Zentrifugalzerstäuber), oder den Düsen wird nebst dem Öle noch Dampf oder Preßluft zugeführt (Dampf- oder Preßluftzerstäuber), oder die Düsen werden mit Gebläseluft (400 ÷ 600 mm Wassersäule) gespeist, welche die Zerstäubung des Öles bewirkt. (Gebläseluftzerstäuber).

Die Verheizung der Teeröle muß mit gewisser Vorsicht geschehen, nicht nur deshalb, weil die Öle an und für sich feuergefährlich sind, sondern auch wegen der Gefahr der Bildung explosiver Öldampf-Luftgemische in den Feuerzügen. Diese Gefahr ist bei zeitweiser gewollter Unterbrechung des Feuerungsbetriebes, oder beim ungewollten Abreißen der Flamme besonders nahe gerückt. Gründliche Durchlüftung der Feuerzüge durch weites Öffnen des Rauchschiebers vor der Ingangsetzung der Brenner ist eine einfache Vorbeugungsmaßregel gegenüber den fast immer zerstörend wirkenden Gasexplosionen.

Wegen der Feuergefährlichkeit der Teeröle sind von verschiedenen Feuerversicherungsgesellschaften Sicherheitsvorschriften erlassen worden, nach denen der Entflammungspunkt des Öles nicht unter 60° liegen darf; der Ölbehälter darf nicht oberhalb eines Dampfkessels angebracht werden; die Vorwärmung des Öles hat nur mittels Dampf zu geschehen, und die Temperatur, auf welche das Öl vorgewärmt wird, muß mindestens 20° unter dem Entflammungspunkte liegen.

Das Naphtalin. Naphtalin wird hauptsächlich aus dem Steinkohlenteer, in geringen Mengen auch aus den bei der Steinkohlendestillation entstehenden Gasen gewonnen.

In erster Linie sind es die Mittelöle, aus welchen durch Abkühlung Naphtalin in fester Form sich abscheidet. Die in diesem Produkte noch enthaltenen Ölbestandteile werden zum größten Teil durch Schleudern entfernt und so das Rohnaphtalin erhalten.

Für höhere Ansprüche bezüglich der Reinheit wird das Rohnaphtalin einem weiteren Läuterungsprozeß unterworfen, der in einem Ausquetschen in dampfgeheizten Pressen besteht und der das sogenannte gepreßte Rohnaphtalin liefert.

Naphtalin ist bei gewöhnlicher Temperatur ein fester Körper, dessen spez. Gewicht bei 15° rund 1,1 ist. Bei 79° geht es in den flüssigen Zustand über, wodurch das spez. Gewicht auf 0,98 herabsinkt. (Festes Naphtalin geht also in flüssigem Naphtalin zu Boden.)

Naphtalin hat die Eigenschaft, zu sublimieren, d. h. die bei Erwärmung entstehenden Naphtalindämpfe geben bei Abkühlung bis unter den Schmelzpunkt direkt, also ohne erst flüssig zu werden, in den festen Zustand über.

Der Heizwert von Naphtalin liegt bei 9300 WE. Die bei der Verbrennung erreichte Temperatur beträgt nahezu 2000°.

Rohnaphtalin findet reichlich Verwendung zur Imprägnierung von Holz und zur Herstellung von Ruß und Schwarzfarben.

Gepreßtes Naphtalin ist das Ausgangsmaterial für die Fabrikation der Anilinfarben, des künstlichen Indigos und von Sprengstoffen. Es dient ferner als Treibmittel.

Beide Naphtalinsorten kommen seit dem Kriege auch als Heizmaterial zur Verwendung.

Die Verheizung von Naphtalin geschieht in flüssigem Zustande mittels Brenndüsen, die nach den gleichen Grundsätzen gebaut sind, wie die für Teeröle bestimmten, nur daß bei ihnen noch auf die besondere Dinnflüssigkeit des Naphtalins Rücksicht genommen ist.

Der Naphtalinbehälter, ebenso wie die von ihm zu den Düsen führenden Leitungen müssen während des Feuerungsbetriebes auf $79 \div 80^\circ$ geheizt sein, was am sichersten durch Dampf geschieht. Ein Überschreiten dieser Anwärmetemperatur kann Gefahr bringen, weil der Entflammungspunkt nahe bei dem Schmelzpunkte liegt.

Beim Anheizen ist darauf zu achten, daß das Naphtalin beim Austritt aus dem Brenner nicht erstarrt; Anwärmung des letzteren mittels einer Lötlampe beseitigt die Gefahr.

3. Die gasförmigen Brennstoffe.

Die gasförmigen Brennstoffe sind mit einer einzigen Ausnahme sekundären Ursprungs, indem sie erst durch chemische Umsetzung der natürlichen Brennstoffe: Stein- und Braunkohlen, Holz und Torf entstehen. Auch aus anderen Stoffen, wie z. B. Lederabfällen, Weinstrester, Olivenrückständen lassen sich gasförmige Brennstoffe gewinnen.

Als Feuerungsmaterial verwendet, bieten sie den Vorteil, daß sie sich leicht und innig mit der Verbrennungsluft vermischen und daher verhältnismäßig einfach zu einer vollkommenen Verbrennung gebracht werden können.

Als besonderer Vorzug gegenüber den festen Brennstoffen ist die Möglichkeit ihrer unmittelbaren Ausnützung zur Krafterzeugung zu bezeichnen, wodurch sich eine ungefähr $2\frac{1}{2}$ mal größere Kraftleistung erzielen läßt als auf dem Umwege ihrer Verbrennung unter Dampfkesseln.

Als gasförmige Brennstoffe kommen in Betracht:

- das Naturgas,
- die Gichtgase,
- die Koksofengase,
- die Generatorgase.

Hinsichtlich ihres wirtschaftlichen Wertes können die genannten gasförmigen Brennstoffe in zwei Gruppen gegliedert werden:

Arme Gase mit einem Heizwerte von $700 \div 1500$ WE je cbm. Ihre Gewinnung erfolgt durch Vergasung von Steinkohle, Braunkohle, Torf, Holz und kohlenstoffhaltigen Abfallstoffen unter Zufuhr von Luft, oder Luft und Wasserdampf zusammen in Generatoren. Sie heißen daher allgemein Generatorgase. Zu den armen Gasen zählen auch die Gichtgase der Eisenhochöfen und der Kupfergewinnungsöfen.

Reiche Gase mit einem Heizwerte von 4000 WE je cbm und mehr. Sie werden durch Entgasung von Steinkohle, Braunkohle und Torf unter Luftabschluß gewonnen. Zu ihnen gehören das Leuchtgas und die Koksofengase. Auch das Naturgas, der einzige gasförmige Brennstoff primärer Herkunft, muß zu ihnen gerechnet werden.

Das Naturgas.

Dieses Gas kommt an verschiedenen Stellen der Erde vor, am reichlichsten in Nordamerika, wo in Pennsylvanien die ergiebigsten Quellen fließen. Es wird durch Bohrlöcher abgezapft und mit Hilfe des ihm inwohnenden Druckes (bis 14 at) in ausgedehnten Rohrleitungen nach Fabriken und auch nach Wohnstätten als willkommener, weil heizkräftiger Brennstoff fortgeleitet.

In der Hauptsache besteht das Naturgas aus Kohlenwasserstoffen.

In Deutschland hat die Ende 1910 in der Gemeinde Neuengamme bei Hamburg bei Gelegenheit von Grundwasserbohrungen zum Ausbruch gekommene Erdgasquelle Aufsehen erregt.

Das dieser Quelle entströmende Gas, welches zu 95÷97% aus Methan (CH_4) bestand, wies einen Druck von 30÷40 at auf. Sein Heizwert lag infolge des reichlichen Methangehaltes sehr hoch, im Mittel bei 8400 WE/cbm (unterer Heizwert).

Der Hauptteil des in großer Menge fließenden Gases fand zur Heizung von 24 Dampfkesseln des Hauptpumpwerkes der Hamburger Wasserwerke Verwendung, nur ein kleiner Teil wurde dem Leuchtgas beigemischt. Im Jahre 1918 ist die Quelle versiegt.¹⁾

Die Gichtgase.

Es kommen die den Eisenhochöfen und den Kupfergewinnungsöfen entströmenden Gase in Betracht. Letztere haben zwar nur einen geringen Heizwert (600 WE/cbm), werden aber doch als Betriebsstoff für Gasmaschinen in bestmöglicher Weise ausgenützt.

Die Zusammensetzung der Gichtgase der Eisenhochöfen ist sehr verschieden, wie es ja auch die Beschickung des Hochofens und der Verlauf des Hochofenprozesses selbst ist. Die Analysen von zwei an dem gleichen Ofen bei verschiedenen Arbeitsverhältnissen entnommenen Gasproben ergaben folgende Werte:

	1. Probe	2. Probe
Kohlensäure	6 %	10,9%
Kohlenoxyd	33,3%	27,3%
Wasserstoff	0,8%	3,3%
Stickstoff	59,9%	58,5%
Unterer Heizwert	1037 WE	917 WE/cbm

Durchschnittlich wiegt 1 cbm Gichtgas 1,28 kg.

Die Gichtgase finden Verwendung zur Heizung der Winderhitzer; der Rest wird unter Dampfkesseln verbrannt oder in Gichtgasmotoren zur Krafterzeugung verwertet.

Für 1 t erzeugtes Roheisen kann man 4500÷6900 cbm Gichtgase

¹⁾ Nach Zeitungsmeldungen ist man bei neu aufgenommenen Bohrungen zu Ende des Jahres 1919 auf eine Ader der alten Quelle gestoßen.

rechnen; davon gehen 30÷40% für die Heizung der Winderhitzer und 5% als Verluste ab, so daß noch 55÷60% für Kesselheizung und Motorzwecke zur Verfügung stehen.

Die Koksofengase.

Die Koksofengase entstehen bei der Verkokung von Steinkohle; es sind also Destillationsgase.

Die Verkokung findet statt entweder
in Koksflämmöfen, oder
in Destillationsöfen.

Bei den ersteren werden die aus den Kohlen entweichenden Destillationsgase unter Zusatz von Luft in den neben den Verkokungskammern verlaufenden Heizkanälen verbrannt. Sie liefern also zunächst die für den Verkokungsprozeß selbst notwendige Wärme und gehen dann mit einer Temperatur von 1000÷1200° aus dem Ofen ab, so daß es noch lohnend ist, sie durch die Heizkanäle von Dampfkesseln zu führen. Auf diese Weise ist es möglich, mit der Gasmenge, die aus 1 kg zur Verkokung gebrachter Steinkohle entsteht, 1÷1,2 kg Wasser zu verdampfen.

Diese Art der Auswertung der Kohle durch Verkokung in Flämmöfen ist eine unvollkommene, weil die in den Destillationsgasen enthaltenen wertvollen Bestandteile (Benzol, Teer, schwefelsaures Ammoniak usw.) verloren gehen. Die Koksflämmöfen verschwinden daher immer mehr, um den Destillationsöfen mit Gewinnung der Nebenprodukte Platz zu machen.

Bei dieser zweiten Gattung von Verkokungsöfen werden den Destillationsgasen zuerst die wertvollen Nebenprodukte entzogen, hierauf werden sie in der benötigten Menge zur Heizung der Koksöfen herangezogen, und der dann noch verbleibende Rest wird entweder unmittelbar zur Krafterzeugung in Gasmaschinen verwendet, oder er wird unter Dampfkesseln verbrannt, also indirekt der Krafterzeugung nutzbar gemacht.

Außerdem werden die aus den Heizkammern der Koksöfen abziehenden Gase (Abgase) noch gezwungen, ihre fühlbare Wärme an Kesselheizflächen abzugeben.

Auf diese Weise ist es möglich, in Dampfkesseln mit den zu verbrennenden Destillationsgasen im Verein mit den Abgasen 0,8÷0,9 kg Wasser zu verdampfen (bezogen auf 1 kg verkokte Kohle).

Eine wesentliche Verbesserung der Arbeitsweise der Destillationsöfen ist in neuerer Zeit dadurch eingetreten, daß man nach dem Vorschlage Koppers die Beheizung der Öfen nach dem Regenerativprinzip bewerkstelligt. Dadurch ergibt sich ein Gasüberschuß, der nahezu doppelt so groß ist als bei den ohne Regenerativfeuerung betriebenen Destillationsöfen (für 1 t eingesetzter Kohle 110÷130 cbm gegenüber 60÷70 cbm Gas). Die Zechen sind dadurch in der Lage, nicht nur ihren eigenen Gasbedarf für Gasmaschinen oder Dampfkessel zu decken, sie können auch noch überschüssiges Gas an benachbarte Gemeinden abgeben.

Die Zusammensetzung der Koksofengase ist verschieden und hängt vor allem davon ab, wie lange der Verkokungsprozeß bereits im Gange ist. So gibt die „Hütte“, Taschenbuch für Eisenhüttenleute, an:

	in den ersten 14 Stunden	in den übrigen 19 Stunden
Kohlenwasserstoffe	5 %	2,5%
speziell Methan	37,4%	29,2%
Wasserstoff	44,3%	51,8%
Kohlenoxyd	6,2%	5,0%
Kohlensäure	2,9%	2,0%
Sauerstoff	0,1%	0,4%
Stickstoff	4,1%	9,1%
Oberer Heizwert	6300 WE	4580 WE/cbm.

Die Generatorgase.

Durch unvollkommene Verbrennung von festen Brennstoffen jeglicher Art in schachtförmigen Öfen entstehen brennbare Gase, die allgemein als Generatorgase bezeichnet werden. Sie bestehen hauptsächlich aus Kohlenoxyd und einer großen Menge Stickstoff, der hauptsächlich aus der Verbrennungsluft herrührt.

Bei schärferer Beurteilung muß man die Vorgänge im Generator als eine gleichzeitig vor sich gehende Entgasung und Vergasung der Brennstoffe bezeichnen.

An der Eintrittsstelle der Luft (und des Wasserdampfes) in den Generator findet eine vollständige Verbrennung (Vergasung) des aus höheren Zonen herabkommenden und daselbst bereits entgasten Brennstoffes statt. Die in der Vergasungszone entstehende Kohlensäure setzt sich beim Durchstreichen weiterer glühender Kohlschichten in Kohlenoxyd um ($\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$), dieses geht im Verein mit dem in der Vergasungszone aus dem Wasserdampf freigewordenen Wasserstoff durch die über den glühenden Schichten lagernden Kohlenmassen hindurch und bewirkt deren trockene Destillation (Entgasung).

In dem besonderen Falle, in welchem Luft als sauerstoffabgebendes Mittel benützt wird, heißt das entstehende Gas Luftgas.

Verwendet man aber an Stelle von Luft als Sauerstoffquelle Wasser, indem man dasselbe in Form von Wasserdampf durch den glühenden Brennstoff bläst, so entsteht ein Gas, welches in der Hauptsache ebenfalls aus Kohlenoxyd und außerdem aus Wasserstoff, herrührend von der Zersetzung des Wasserdampfes durch den glühenden Brennstoff, besteht. Es finden nämlich folgende chemische Vorgänge statt:

$\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2$ (bei Temperaturen über 1000°)
und $\text{C} + 2 \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2$ (bei Temperaturen unter 1000°).

Dieses Gas heißt Wassergas. Zu seiner Erzeugung wird Koks oder Anthrazit verwendet. Der Heizwert des Wassergases liegt höher als der des Leuchtgases, da ihm die großen Stickstoffmengen, die in letzterem enthalten sind, fehlen. Doch läßt sich dieses Wassergas nicht in ununterbrochener Weise erzeugen, weil die Zersetzung des Wasserdampfes so viel Wärme beansprucht, daß die Temperatur im Generator bald unter die Zersetzungstemperatur des Wasserdampfes gesunken ist.

Um einem weiteren Fallen der Temperatur Einhalt zu tun, bläst man nun an Stelle von Wasserdampf wieder Luft in den Generator, erzeugt also wieder Luftgas, und zwar so lange, bis die Temperatur über die Zersetzungstemperatur des Wasserdampfes angestiegen ist.

Einfacher gestaltet sich der Betrieb solcher Generatoren, wenn man in das glühende Brennmaterial Luft und Wasserdampf zu gleicher Zeit einbläst, deren Mengen so eingestellt sind, daß eine merkliche Abkühlung des Generatorraumes nicht stattfindet. Das hierbei erzeugte Gas, welches bei richtigem Betriebe der Hauptsache nach aus Kohlenoxyd, Wasserstoff und Stickstoff besteht, heißt Mischgas, nach dem Erfinder des Verfahrens auch *Dowsongas*. Es wird in Hüttenwerken zur Heizung der Siemens-Martinöfen, sowie auch zur Krafterzeugung verwendet.

Gutes Generatorgas aus Steinkohle erzeugt, hat folgende *Zusammensetzung*:

Kohlenoxyd	26 ÷ 32%		Wasserstoff	8 ÷ 12%
Kohlensäure	4% oder weniger		Sauerstoff	0,5%
Methan	1 ÷ 3%		Stickstoff	62%

Wassergas besteht nach *Dolensky* durchschnittlich aus:

Kohlenoxyd	39 ÷ 42%		Wasserstoff	49%
Kohlensäure	2,5 ÷ 6%		Stickstoff	5 ÷ 6%
Methan	0,7%			

An Luftgas erhält man aus 1 kg

Koks	ca. 6,5 cbm		Torf	ca. 2,5 cbm
Steinkohle	„ 5,4 „		Holz	„ 2,0 „
Braunkohle	„ 3,5 „			

Aus 1 kg Anthrazit oder Koks werden 1,8 ÷ 2,0 cbm Wassergas oder rund 4 cbm Mischgas gewonnen.

Der Heizwert von Generatorgas ist sehr verschieden. Je nach der Art des vergasteten Brennstoffes und der Führung des Prozesses liegt er zwischen 750 und 2700 WE/cbm.

Der mittlere Heizwert von Wassergas beträgt 2600 WE/cbm.

Die Verwendung des Wassergases ist eine sehr vielseitige. Es dient in der Eisenindustrie zum Glühen, Schweißen, Schmelzen, zum Löten und zum Härten. In neuerer Zeit tritt jedoch mehr die Verwendung von Wasserstoff oder Azetylen in den Vordergrund. Vielfach wird es auch in der chemischen und keramischen Industrie und in Glashütten verwendet. In Gasanstalten dient es als Zusatz zum Leuchtgas.

Um die Ausnützung der Brennstoffe im Generatorprozeß zu einer möglichst vollkommenen zu gestalten, verbindet man in neuerer Zeit mit ihm die Gewinnung der Nebenprodukte, ein Verfahren, welches besonders bei Verwendung von Braunkohle die günstigsten Aussichten auf eine wirtschaftliche Auswertung auch solcher Braunkohlen eröffnet, die wegen ihrer Armut an Bitumen für die Schwelerei nicht mehr verwendbar sind.

Als schätzenswerteste Nebenprodukte sind in diesem Falle Braunkohlenteer, der als Urteer gewonnen wird und daher besonders wertvoll ist, und Schwefel zu nennen.

4. Heizwerte fester Brennstoffe.

	Unterer Heizwert WE/kg		Bemerkung
	Grenzwerte	Mittelwert	
Steinkohlen.			
Oberschlesien	5300 ÷ 7800	6900	
Niederschlesien	5100 ÷ 7500	6600	
Rheinland-Westfalen	6500 ÷ 8100	7350	
Saargebiet	5500 ÷ 7600	6500	
Hannover (Deister)	6300 ÷ 6500	6480	
Erzgebirgbecken	6100 ÷ 6800	6350	
Zwickauer Becken	6400 ÷ 6900	6630	
Bayern	4000 ÷ 7700	5880	
Böhmen	5700 ÷ 7100	6500	
Steinkohlenbriketts.			
Rheinland-Westfalen	6900 ÷ 7900	7600	
Saargebiet	6900 ÷ 7300	7100	
Steinkohlenkoks.			
Zechenkoks: Schlesien	6900 ÷ 7400	7280	
„ Rheinland-Westfalen	6800 ÷ 7400	7200	
Gaskoks: Oberschlesien	7100 ÷ 7300	7180	
„ Niederschlesien	6900 ÷ 7000	6960	
„ Ruhrgebiet	6700 ÷ 7700	6760	
Braunkohlen.			
Lignit: Bayern	1700 ÷ 1800	1750	49 ÷ 46% Wasser
„ Böhmen	3200 ÷ 3800	3500	45 ÷ 35% „
Braunkohlen: Lausitz	4400 ÷ 5400	4900	16 ÷ 7% „
„ Hessen, Rheinland	3900 ÷ 5400	4750	14 ÷ 9% „
„ Provinz Sachsen	2300 ÷ 5600	4700	23 ÷ 10% „
„ Thüringen, Anhalt			
Mitteldeutsche Rohbraunkohle	1900 ÷ 3000	2400	60 ÷ 45% „
Niederrheinische „	2300 ÷ 2400	2350	60 ÷ 50% „
Böhmische Braunkohle aus dem			
Osegger Bezirk	5000 ÷ 5800	5600	
Brüxer „	4500 ÷ 5100	4800	
Brucher „	4800 ÷ 5500	5200	
Falkenauer „	3100 ÷ 5400	3900	
Bayerische Braunkohlen:			
Schwandorfer Förderkohle	1900 ÷ 2100	2000	
Peißenberger Nußkohle	4400 ÷ 5000	4700	
Penzberger Nußkohle	4400 ÷ 4600	4500	
Haushammer Griefßkohle	4700 ÷ 4900	4800	
„ Nußkohle	4900 ÷ 5500	5200	
Braunkohlenbriketts.			
Lausitz	4700 ÷ 5200	4950	
Rheinland	4400 ÷ 5900	4800	
Provinz Sachsen, Thüringen, Anhalt	4700 ÷ 5200	5000	

	Unterer Heizwert WE/kg		Bemerkung
	Grenzwerte	Mittelwert	
Holz.			
Fichtenholz	4000 ÷ 4300	4150	9,5 ÷ 7,7% Wasser
Buchenholz	2300 ÷ 4000	3100	40 ÷ 7,5% „
Birkenholz	3600 ÷ 4000	3700	lufttrocken
Eichenholz	2400 ÷ 3000	2700	
Tannenholz	3000 ÷ 3300	3100	
Torf.			
Lausitz	3600 ÷ 4650	4000	
Oldenburg	3300 ÷ 3900	3500	
Hannover	3700 ÷ 4100	3900	
Bayern: Rosenheim	3300 ÷ 4200	3700	33 ÷ 16% Wasser
„ Kolbermoor	3500 ÷ 4300	3900	
Verschiedene Brennstoffe.			
Lohe	850 ÷ 1450	1100	
Flußschlamm	2800 ÷ 2900	2850	{ getrocknet und gepreßt
Rauchkammerlösche	4700 ÷ 7000	6000	6 ÷ 4% Wasser

5. Heizwerte flüssiger Brennstoffe.

	Unterer Heizwert WE/kg	
	Grenzwerte	Mittelwert
Erdöl:		
Deutsches Erdöl (Pechelbronn)	8 900 ÷ 10 350	10 040
Galizisches Erdöl	9 950 ÷ 10 190	10 090
Rumänisches Erdöl	9 790 ÷ 9 990	9 860
Russisches Erdöl	9 800 ÷ 10 160	10 040
Nordamerikanisches Erdöl	9 300 ÷ 10 100	9 900
Masut	9 790 ÷ 10 100	9 900
Steinkohlenteer:		
Horizontalofenteer	8 060 ÷ 8 750	8 550
Schrägofofenteer	8 150 ÷ 8 700	8 520
Vertikalofenteer	8 620 ÷ 8 820	8 700
Koksofenteer	8 270 ÷ 8 850	8 620
Wassergasteer	6 800 ÷ 9 580	9 000
Braunkohlenteer	8 590 ÷ 9 430	9 100
Teeröl aus Steinkohle	8 850 ÷ 9 120	8 920
„ aus Braunkohle	9 400 ÷ 10 100	9 800
Petroleum	10 000 ÷ 11 000	10 500
Paraffin	9 300 ÷ 9 900	9 750
Benzol	9 200 ÷ 9 900	9 600
Benzin	9 800 ÷ 10 500	10 200
Naphtalin	9 000 ÷ 9 370	9 300

6. Heizwerte gasförmiger Brennstoffe.

	Oberer Heizwert WE/cbm bei 15° u. 1 at abs	
	Grenzwerte	Mittelwert
Naturgas	6500 ÷ 7300	6900
Gichtgase (Hochofen)	850 ÷ 1050	950
(Kupfergewinnungsöfen)	—	600
Koksofengase in den ersten 14 Stunden	6300	} 5000
„ in den folgenden Stunden	4580	
Generatorgase: Luftgas	750 ÷ 1100	1060
Mischgas	1100 ÷ 1500	1345
Wassergas	2500 ÷ 2700	2600
Braunkohlenschwelgas	—	2470
Leuchtgas ¹⁾	4200 ÷ 5600	5100

B. Die Bestimmung der feuerungstechnisch wichtigsten Eigenschaften der Brennstoffe und die dazu erforderlichen Apparate.

Als feuerungstechnisch wichtigste Eigenschaften kommen hier die grobe Feuchtigkeit (Nässe), die Feuchtigkeit (hygroskopisches Wasser), der Aschegehalt und der Heizwert in Betracht.

Für die Untersuchung der Brennstoffe auf diese Eigenschaften hin müssen aus größeren Brennstoffmengen zuverlässige Durchschnittsproben entnommen werden; daher ist zunächst das Verfahren der Probeentnahme zu behandeln.

1. Die Probeentnahme.

Gleichgültig, ob es sich um die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes oder des Aschegehaltes oder des Heizwertes von Brennstoffen handelt, stets wird die Richtigkeit der Untersuchung von der Genauigkeit der Probeentnahme abhängen. Die Herstellung einer richtigen Durchschnittsprobe, die lange nicht so einfach ist, wie häufig angenommen wird, ist ebenso wichtig wie die nachfolgende Untersuchung der Probe selbst.

Am schwierigsten ist das Ziehen der Probe bei großstückigem Materiale (Stückkohle, Briketts usw.), bei sehr ungleichmäßigen Brennstoffen (Förderkohle usw.) und bei Material, welches durch Schiefer, Pyrite usw. stark verunreinigt ist.

Allgemein umfaßt die Probeentnahme drei Arbeitsvorgänge, nämlich:

1. die Entnahme der Rohprobe (200 ÷ 300 kg, manchmal auch mehr),

¹⁾ Früher war es Norm der Gaswerke, nur Gas von nicht unter 5000 WE zu erzeugen; infolge der Erfahrungen der Kriegsjahre liefern sie jetzt auch Gas von nur 4200 WE.

2. die Entnahme der großen Probe ($1 \div 10$ kg, je nach der Größe der Rohprobe),

3. die Entnahme der Durchschnittsprobe (etwa 100 g).

Bezüglich der Bemessung der Rohprobe gilt der Grundsatz, daß sie um so größer zu nehmen ist, je umfangreicher, je ungleichmäßiger in der Korngröße und je stärker verunreinigt die Kohlenmenge ist, auf welche sich die Rohprobe bezieht. Bei sehr großstückigem Materiale ist eine Zerkleinerung der großen Stücke vor der Entnahme der Rohprobe nicht zu umgehen.

Für normale Verhältnisse genügen $200 \div 300$ kg als Rohprobe, bei ungünstigen Verhältnissen muß man bis 700 kg gehen.

Handelt es sich darum, aus einem mit Schiff oder Eisenbahn ankommenden Brennstoff die Rohprobe zu entnehmen, so geschieht dies am besten in Verbindung mit der Ausladung oder der Kontrollwägung. Gewöhnlich werden ja die Brennstoffe aus dem Schiffe oder dem Eisenbahnzuge in kleine Transportgefäße, wie Karren, Rollwagen u. dgl. gefüllt und in diesen zum Lagerplatze befördert. Bei diesem Abladen in kleinere Transportgefäße gibt man nun jede 40. Schaufel beiseite; bei sehr gleichmäßigem Materiale genügt jede 80. Schaufel, bei sehr ungleichmäßigem Materiale ist es empfehlenswert, schon jede 20. Schaufel zu nehmen.

Ist die Rohprobe vom Lager zu entnehmen, so ist darauf zu achten, daß nicht nur von sämtlichen äußeren Schichten weg, sondern auch aus dem Inneren des Kohlehaufens heraus Material genommen wird. Zu diesem Zweck wird ein Eisenrohr an verschiedenen Stellen in den Haufen gestoßen und dann mit der eingedrungenen Kohle wieder herausgezogen.

Von dieser so erhaltenen Rohprobe werden nun zunächst etwa vorhandene größere Stücke möglichst zerkleinert; alsdann wird das Ganze auf einer Blechtafel durch Umschaufelung tüchtig durchgemischt und schließlich in einen rechteckigen Haufen von gleichmäßiger Schütthöhe (ca. $100 \div 200$ mm) ausgebreitet.

Nunmehr sind zwei Arten der weiteren Behandlung der Rohprobe möglich:

1. Man teilt den Haufen mit einer Schaufel oder einer Latte durch Ziehen der Diagonalen (Abb. 1) in 4 dreieckige Haufen *A*, *B*, *C*, *D*. Zwei gegenüberliegende Teile, z. B. *A* und *C*, werden nun beiseitegeschaufelt, während die zurückbleibenden Teile *B* und *D* wiederum gut vermischt und alsdann abermals in einem rechteckigen Haufen geschaufelt werden. Es erfolgt wieder die Teilung durch die Diagonalen, die Beseitigung zweier gegenüberliegender Teile, das Vermischen der übrig gebliebenen Teile usw. Dieses Verfahren wird so lange fortgesetzt, bis schließlich nur noch rd. 10 kg als große Probe übrigbleiben, die in eine Blechbüchse gefüllt und, nachdem letztere zugelötet¹⁾ ist, zur Heizwertbestimmung aufbewahrt werden.

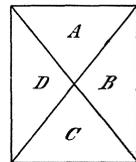


Abb. 1.

¹⁾ In vielen Fällen genügt auch das Überkleben des Deckelrandes der Büchse mit Papier, um eine Veränderung der Kohlenfeuchtigkeit zu verhindern.

2. Statt den rechteckigen Haufen durch die Diagonalen zu teilen, kann man ihn auch durch Linien parallel zu den Rechteckseiten schachbrettähnlich einteilen. Von jedem Felde wird dann mittels eines Löffels eine kleine Menge abgenommen und zu einem besonderen Haufen zusammengeschüttet. Nachdem letzterer tüchtig durchgeschaufelt ist, beginnt das Verfahren von neuem und wird so lange fortgesetzt, bis wiederum nur noch rd. 10 kg als große Probe übrigbleiben.

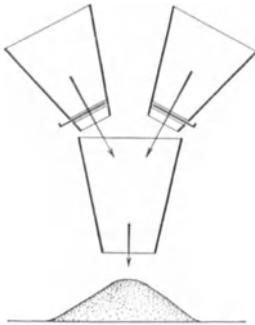


Abb. 2.

Da bei dieser zweiten Methode der Teilung leichter Fehler entstehen können, als bei der Teilung durch die Diagonalen, so ist darauf zu achten, daß die Zerkleinerung der Rohprobe möglichst weit getrieben wird.

Die Erfahrung lehrt, daß eine Durchschnittsprobe um so schlechter gemischt ist, je größer sie ist, und daß durch Umschauflung nur dann eine gute Vermischung erzielt wird, wenn es systematisch geschieht, so ist zwecks Erlangung einer recht zuverlässigen großen Probe folgendes Verfahren empfehlenswert:

Die bei der Herstellung der großen Probe nach Methode 1 jeweils erhaltenen, gegenüberliegenden Dreiecke *A* und *C* (Abb. 1) werden in

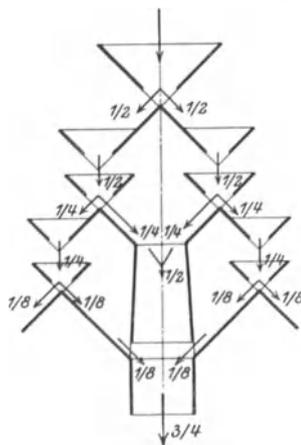


Abb. 3.

zwei schrägliegende, unten durch einfache Schieber verschlossene, trichterförmige Gefäße (Abb. 2) gefüllt, von denen aus die Materialien nach gleichzeitiger Öffnung der Schieber durch einen vertikal stehenden dritten Trichter auf eine Blechtafel fallen, auf welcher sie zu ebensolcher weiteren Behandlung vorbereitet werden. Dieses Verfahren fortgesetzt, bis die gewünschte große Probe von ca. 10 kg übrigbleibt, gibt Gewähr für eine recht vollkommen gemischte Durchschnittsprobe.

In Amerika ist für die Probeentnahme von Erzen und auch von Kohlen der in Abb. 3 dargestellte Riffelapparat¹⁾ in Gebrauch, der, in kleinem Maßstabe ausgeführt, auch bei der Herstellung der großen Probe recht gute Dienste leistet.

Bei ihm findet eine Teilung der in den obersten Behälter eingegebenen Materialmenge im Verhältnis von 3 : 1 statt, indem unten, in der Achse des Apparates, $\frac{3}{4}$, und durch jeden der beiden untersten seitlichen Behälter $\frac{1}{8}$ der oben eingefüllten Kohlenmenge ausläuft. Diese letzteren Anteile werden beseitigt, die ersteren dagegen zum wiederholten Male durch den Apparat geschickt, bis schließlich die große Probe im Betrage von 1 ÷ 10 kg übrigbleibt.

¹⁾ Stahl u. Eisen 1918, Heft 2 u. 3.

Die große Probe wird in luftdicht verschließbaren Gefäßen oder, wenn die grobe Feuchtigkeit nicht bestimmt zu werden braucht, in Holzkisten verpackt.

Zur Entnahme der eigentlichen Durchschnittsprobe muß die Kohle zunächst lufttrocken gemacht werden, was dadurch geschieht, daß man sie im Versuchsraume, dessen Luftfeuchtigkeit auf 50% des gesättigten Zustandes gehalten wird, auf einer Blechtafel ausbreitet und so lange liegen läßt, bis durch wiederholte Wägungen Gewichtskonstanz festgestellt ist. Dann wird die lufttrockene Kohle in einem Mörser zerstoßen, wobei besonders darauf zu achten ist, daß weder am Mörser noch am Stößel Reste von früheren Kohlenproben vorhanden sind.

Der Mörserinhalt wird zu wiederholten Malen ausgeschüttet und nach dem Diagonalverfahren unterteilt; das Material von zwei gegenüberliegenden Dreiecken kommt immer wieder in den Mörser und wird schließlich bis zur Staubfeinheit zerrieben. Dieses Verfahren fortgesetzt, bis noch rd. 100 g Kohle übrigbleiben, liefert die eigentliche Durchschnittsprobe, die dann zu allen folgenden Untersuchungen verwendet wird. Können diese nicht sofort ausgeführt werden, so gibt man die Durchschnittsprobe in eine verkorkbare, vorher im Trockenschranke (Abb. 4 bis 7) aufbewahrte Flasche und versiegelt letztere.

Das vom staatlichen Materialprüfungsamt zu Berlin, vom Verein deutscher Ingenieure, dem deutschen Verein von Gas- und Wasserfachmännern und dem Verein der Schweizer Dampfkesselbesitzer empfohlene Verfahren zur Probeentnahme ist folgendes:

Von jeder auf den Lagerplatz gebrachten Karre wird eine Schaufel, beim Abladen eines Wagens jede zwanzigste Schaufel beiseite in Körbe oder mit Deckel versehene Kisten geworfen, wobei darauf zu achten ist, daß das Verhältnis von Stücken und Kleinkohle in der Probe dem der Lieferung möglichst entspricht. Diese Rohprobe im Gewichte von ungefähr 250 kg wird auf einer festen, reinen Unterlage (Beton, Steinfließen u. dgl.) ausgebreitet und bis zur Ei- oder Walnußgröße kleingestampft. Die so zerkleinerten Kohlen werden durch wiederholtes Umschaufeln gemischt, quadratisch zu einer Schicht von 8÷10 cm Höhe ausgebreitet und durch die beiden Diagonalen in vier Teile geteilt. Die Kohlen von zwei gegenüberliegenden Dreiecken werden beseitigt, der Rest noch weiter zerkleinert, etwa auf Haselnußgröße, gemischt und abermals zu einem Viereck ausgebreitet, das in gleicher Weise behandelt wird. So wird fortgefahren, bis eine Probemenge von 1÷10 kg, je nach der Lieferung, übrigbleibt, welche in luftdicht verschlossenen Gefäßen, oder wenn es auf die ursprüngliche bzw. Grubenfeuchtigkeit nicht ankommt, in Holzkisten zur Untersuchung verschickt wird. Es kann auch eine besondere kleinere Probe zur Bestimmung der Feuchtigkeit luftdicht verpackt zur Versendung kommen. Von einem schon abgeladenen Kohlenhaufen muß man an verschiedenen Stellen und von allen Seiten, auch von innen und unten, Proben weg-

nehmen und dieselben vereinigen, bis eine entsprechende Menge beisammen ist.

Die von der Versuchsanstalt in Karlsruhe für die Probeentnahme von Brennstoffen gegebenen Vorschriften lauten folgendermaßen:

„Von dem zu prüfenden Material wird beim Beladen oder Abladen eines Waggons jede zwanzigste oder dreißigste Schaufel beiseite in Körbe oder Eimer geworfen, wobei darauf zu achten ist, daß das Verhältnis von großen und kleinen Stücken in der Probe dem Verhältnis in der Lieferung entspricht. Bei grobstückigem Material soll diese erste Probe keinesfalls unter 300 kg betragen. Die Rohprobe im Gewicht von 250÷500 kg wird auf einer reinen, festen Unterlage, am besten auf Eisen (evtl. auf Beton, Steinfließen, Bohlen, z. B. dem Boden eines leeren Waggons od. dgl.) ausgebreitet und bis zur Walnußgröße kleingestampft. Dabei ist zu beachten, daß die Stücke beim Zerschlagen an ihrem Platz liegenbleiben müssen, und vor allem die schwerer zerschlagbaren Schiefer besonders gut zerkleinert werden. Holzstücke, Kieselsteine und Körper, die dem zur Untersuchung stehenden Material nicht eigen sind, müssen entfernt werden, keinesfalls aber dürfen Schiefer oder andere Unreinigkeiten, die dem Material angehören, ausgelesen werden. Nach dem Zerkleinern werden die Kohlen oder der Koks durch wiederholtes Umschaufeln nach Art der Betonbereitung gemischt, quadratisch zu einer Schicht von 8÷10 cm Höhe ausgebreitet und durch die beiden Diagonalen in vier Teile geteilt. Das Material in zwei gegenüberliegenden Dreiecken wird beseitigt, der Rest noch weiter zerkleinert, etwa auf Haselnußgröße, gemischt und abermals zu einem Viereck ausgebreitet, das in gleicher Weise behandelt wird. Vor jeder Teilung muß das Material so weit zerkleinert sein, daß die Probe auch dann nicht beeinflußt würde, wenn die zwei größten Stücke reine Steine wären und beide in einen Teil der Probe kämen. Also darf das größte Stück höchstens $\frac{1}{4000}$ der Probe wiegen. (Liegen z. B. 300 kg Probe vor, so darf das größte Stück nur 75 g wiegen usw.) In dieser Weise wird die Probe weiter geteilt, bis eine Probemenge von etwa 10 kg übrigbleibt, die in gut verschlossenen Gefäßen zur Untersuchung verschickt wird.

Ist der Wassergehalt maßgeblich, so ist die Probe sofort nach oder vor Feststellung des Gesamtgewichts der Ladung zu entnehmen und luftdicht zu verpacken. Bei sehr hohen Wassergehalten empfiehlt es sich, die ganze erste Probe (von 300 kg z. B.) sofort genau zu wiegen, an trockener, reiner Stelle auszubreiten, bis sie trocken ist, dann zurückzuwiegen, die kleine Probe in angegebener Weise zu ziehen und bei Einsendung den ermittelten Wasserverlust anzugeben. Man vermeidet auf diese Weise, daß die Probe während der Aufarbeitung Wasser verliert.

Liegen die Kohlen auf Lager, so sind mindestens an zehn verschiedenen Stellen Proben von je 25÷30 kg zu entnehmen, die zusammengeschüttet zur Durchschnittsprobe verarbeitet werden. Bei grobstückigem Material soll die erste Rohprobe nicht unter 300 kg betragen.

Je ungleichmäßiger nach Stückgröße, Steingehalt und Feuchtigkeit die Kohle ist, desto größer ist diese erste Probe zu nehmen, und desto

sorgfältiger muß die Zerkleinerung und Mischung von Anfang an sein, um einen guten Durchschnitt zu erhalten.“

Die vom Vereine deutscher Ingenieure aufgestellten Regeln für Abnahmeversuche an Dampfanlagen¹⁾ sagen in bezug auf die Entnahme von Durchschnittsproben folgendes:

„Man verfährt bei der Probenahme in der Weise, daß man von den praktisch sich ergebenden Einheiten, Transportgefäßen, tarierten Wiegegefäßen usw. jeweils eine oder mehrere Schaufeln voll nimmt und diese Einzelmengen in einem mit Deckel versehenen Behälter sammelt. Bei feuchtem Brennstoff ist eine mit Blech ausgekleidete Kiste mit kleiner Öffnung und dichtschießendem Deckel zu verwenden. Bei ungleichmäßig sortierten Kohlen ist darauf zu achten, daß das Verhältnis zwischen Stück- und Feinkohle in der Probe das gleiche ist wie in der Gesamtmenge des Brennstoffes. Die Probe wird durch wiederholtes Zerkleinern, Mischen und Teilen auf sauberer harter Unterlage aufbereitet. Bei der letzten Zerkleinerung dürfen die Stücke nicht größer als nußgroß sein. Die Probemenge wird ausgebreitet und in bekannter Weise durch Vierteln eines Quadrates oder sonstige Unterteilung der Durchschnittsprobe entnommen. Bei Mischungen aus festen Brennstoffen muß von jedem Brennstoff eine eigene Probe gezogen werden. Enthält ein Brennstoff Schiefer in deutlich erkennbarer Menge, so sind die Schieferstücke bei der Aufbereitung der Probe auszusondern, fein zu zerkleinern und sodann über die ganze Probe zu zerstreuen. Bei Briketts schlägt man Stücke ab, und zwar gleichmäßig aus inneren und äußeren Teilen. Die Proben (mindestens 5 kg) sind in verlöteten Blechbüchsen oder anderen geeigneten Gefäßen, die ein Verdunsten der Feuchtigkeit oder Entweichen der flüchtigen Bestandteile verhindern, bis zur Vornahme der Analysen aufzubewahren. Bei flüssigen und gasförmigen Brennstoffen ist, wenn irgend möglich, die ununterbrochene Probenahme anzuwenden.“

2. Die Bestimmung der groben Feuchtigkeit oder Nässe.

Unter grober Feuchtigkeit oder Nässe ist derjenige Wassergehalt eines Brennstoffes verstanden, der aus demselben entweicht, wenn er an der Luft so lange gelagert wird, bis Gewichtskonstanz eingetreten ist. Der sich dabei einstellende Feuchtigkeitsgehalt ist von demjenigen der Luft abhängig. Da dieser aber stark schwankt, so hat man sich dahin geeinigt, als Bezugs-Feuchtigkeitsgrad denjenigen zu wählen, bei welchem die umgebende Luft bei Zimmertemperatur ($18 \div 20^\circ$) die Hälfte des überhaupt möglichen Wasserdampfgehaltes aufweist.

Die große Probe wird gewogen und im Versuchsraum, dessen Feuchtigkeitsgehalt auf der soeben angegebenen Höhe gehalten wird, auf einer Blechtafel ausgebreitet und solange gelagert, bis keine Gewichtsabnahme mehr festzustellen ist. Die Kohle hat dann den Zustand der Lufttrockenheit erreicht, und der Gesamtunterschied zwischen diesem und dem ursprünglichen Zustande, ausgedrückt in Prozenten

¹⁾ Siehe Anhang.

des letzteren, gibt die grobe Feuchtigkeit oder Nässe an, für welche auch der Ausdruck „Grubenfeuchtigkeit“ zu finden ist. Doch ist diese Bezeichnung nur dann zutreffend, wenn der ursprüngliche Zustand derjenige war, in welchem die Kohle aus der Grube gekommen ist.

3. Die Bestimmung der Feuchtigkeit oder des hygroskopischen Wassers.

Von der lufttrockenen Durchschnittsprobe werden 2–5 g in einen Porzellantiegel, dessen Gewicht genau festgestellt ist, gefüllt und dann in einem Trockenschrank, der schon vorher auf eine Temperatur von 105° gebracht ist, 1 Stunde lang dieser Temperatur ausgesetzt. Nach dieser Zeit wird die Probe (mit Tiegel) im Exsikkator erkaltet gelassen, abermals gewogen, hierauf wiederum für 1 Stunde in den Trockenschrank gegeben und dann in erkaltetem Zustande wieder gewogen. Gewöhnlich ist dabei kein neuer Gewichtsverlust mehr festzustellen; sollte dies aber doch der Fall sein, so müßte die Probe abermals in das Luftbad gebracht werden.



Abb. 4.

Der gesamte Gewichtsverlust, angegeben in Prozenten der eingewogenen, lufttrockenen Durchschnittsprobe, gibt den Feuchtigkeitsgehalt oder den Gehalt an hygroskopischem Wasser an.

Es ist vorteilhaft, zur Kontrolle den Versuch doppelt auszuführen.

Um im Trockenschranke eine Zersetzung der Kohlenprobe zu vermeiden, ist mit Sorgfalt darauf zu achten, daß die Temperatur von 105° nicht überschritten wird. Auch soll die Trocknung nicht offen, sondern in zugedeckten Gefäßen geschehen. Selbst dann ist die Einwirkung des Sauerstoffs der Luft auf die Brennstoffprobe nicht ausgeschlossen, indem aus derselben nicht nur Wasserdampf, sondern auch Kohlensäure entweicht. Besonders bei Braunkohlen ist der hierdurch verursachte Fehler unter Umständen beträchtlich.

Die Abb. 4 zeigt einen einfachen, aus Eisenblechen hergestellten Trockenkasten mit einer durchlocherten Blecheinlage, während der in Abb. 5 abgebildete Trockenkasten doppelwandig ausgeführt ist. Bei ihm tritt, wie die Durchschnitzzeichnung erkennen läßt, die kalte Luft von unten ein, strömt in schlangenförmigen Windungen zwischen den durch die Flamme stark erhitzten Bodenplatten hindurch und tritt dann durch zahlreiche kleine Öffnungen in den eigentlichen Trockenraum, aus welchem sie durch Öffnungen, die auf der oberen Platte mittels eines Schiebers eingestellt werden können, entweicht. Für den Abzug der Verbrennungsgase, welche den doppelten Mantel des Trocken-

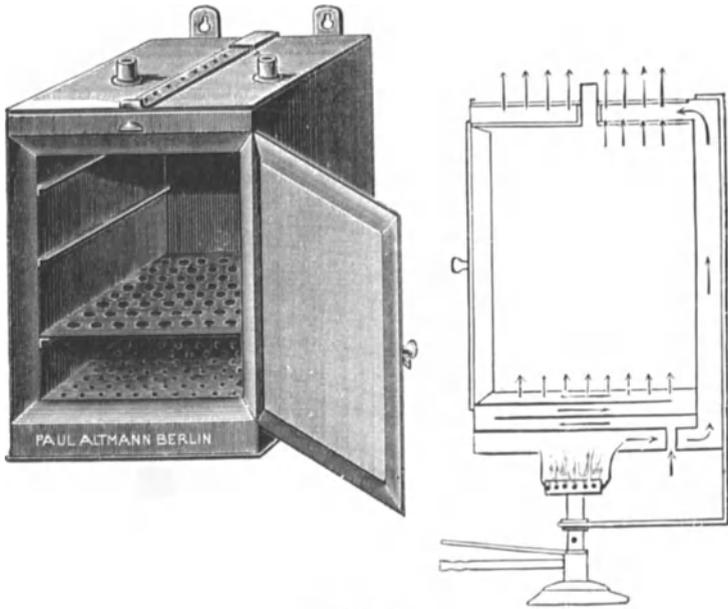


Abb. 5.

schrankes durchziehen, ist gleichfalls auf der Oberplatte des Schrankes ein regelbarer Schieber angebracht.

Durch diese Konstruktion des Trockenschrankes ist einerseits ein

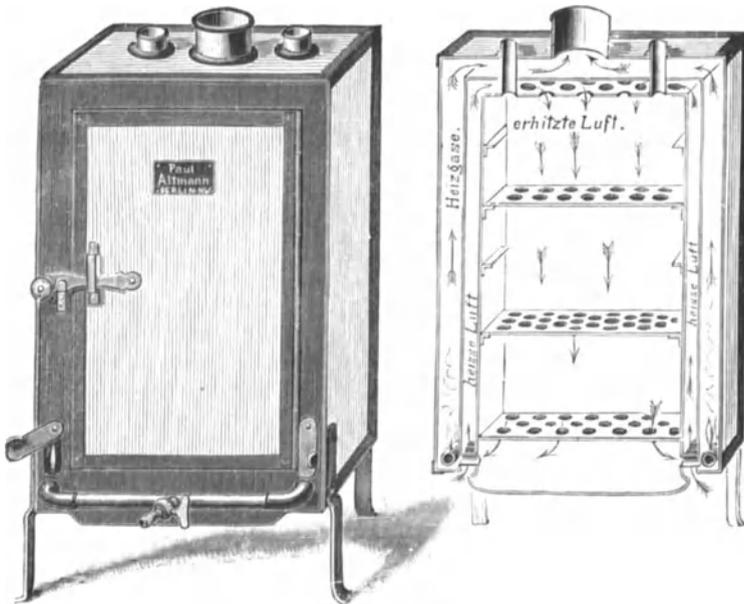


Abb. 6.

schnelles Trocknen, andererseits die größtmögliche Ausnützung der Wärmequelle erreicht. Es empfiehlt sich, diese Kästen mit einer starken Asbestumkleidung zu versehen, um die Wärmeausstrahlung der freien Mantelflächen möglichst zu beschränken. Die Stutzen im Deckel sind zur Einführung von Thermometern bestimmt.

Während bei den gewöhnlichen Trockenschränken, bei welchen die Erhitzung durch eine Flamme am Boden geschieht, der untere Teil des Innenraumes stets überhitzt wird, bleibt bei der Konstruktion nach der Abb. 6 die Temperatur in allen Teilen des Trockenraumes

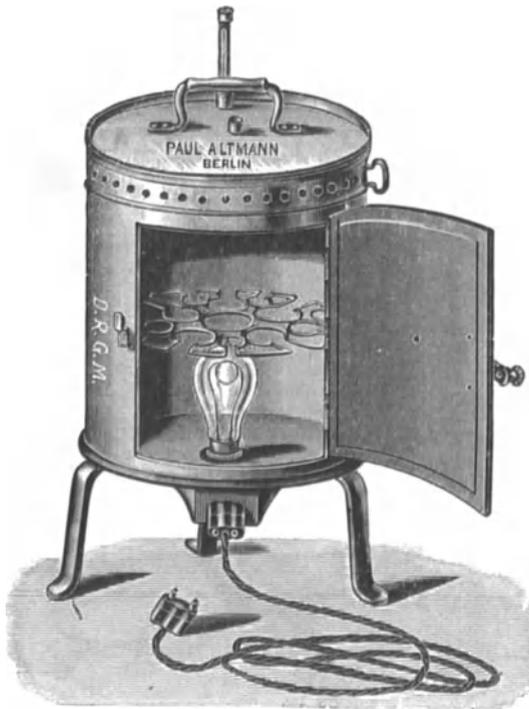


Abb. 7.

konstant. Die Heizgase steigen von der unten an zwei Seiten eingeführten Heizschlange an den Seitenwandungen des Apparates hoch und ziehen oben an der Decke ab, während die Luft von unten in die innerhalb der Heizkammern liegenden, den Trockenraum umschließenden Kammern eintritt, sich daselbst erhitzt, durch Öffnungen an der Decke des Trockenraumes in diesen einströmt, um ihn unten wieder zu verlassen. Der Apparat wird in vier verschiedenen Größen mit Asbestverkleidung ausgeführt.

Wenn es sich, wie es meistens der Fall ist, darum handelt, im Innern des Trockenraumes eine nur innerhalb ganz enger

und bestimmter Grenzen schwankende Temperatur aufrechtzuerhalten, so muß die Regulierung an dem Brenner bzw. an dem Hahn der Heizschlange vorgenommen werden. Einfacher läßt sich dieser Zweck bei dem in Abb. 7 dargestellten Trockenschrank von Burdakow erreichen, bei welchem als Heizvorrichtung eine auf einem Sockel aufgeschraubte leicht auswechselbare Glühlampe dient. Je nach der Leucht- bzw. Heizkraft der Glühlampe lassen sich im Innern des Trockenschrankes verschiedene Temperaturen von 60 bis 150° erreichen. Zur Lüftung ist der Deckel des Apparates mit Zuglöchern versehen, welche gegen die am oberen Schrankrande angebrachten Löcher registerartig einzustellen sind. Die in halber Höhe des Trockenraumes befindliche Trocken-

platte kann in der Horizontalen gedreht werden, so daß alle ihre Ausschnitte vor die Türöffnung kommen, wodurch das Einlegen bzw. Herausnehmen der zu trocknenden Proben sehr erleichtert ist.

In neuerer Zeit bringt die Firma W. C. Heraeus in Hanau einen Trockenschrank, dessen äußere Form Ähnlichkeit mit Abb. 5 hat, dessen Mantel und Boden jedoch mit elektrisch geheizten Widerstandsdrähten versehen ist. Ein seitlich angebrachter Drehschalter gestattet eine sehr genaue Einstellung der Innentemperatur.

Vor der abermaligen Wägung der getrockneten Probe muß man diese vollständig erkalten lassen. Dies darf aber nicht offen an der Luft geschehen, sondern muß in einem sog. Exsikkator vorgenommen werden. Die Einrichtung dieses Apparates ist aus Abb. 8



Abb. 8.



Abb. 9.

vollständig zu ersehen. Soll er in Benutzung genommen werden, so ist die untere flache Schale mit Schwefelsäure zu füllen.

Die Abb. 9 zeigt einen Exsikkator nach Nablensz. Derselbe wird in seinem unteren Teile ebenfalls mit Schwefelsäure gefüllt. Zur Regelung des Lufteintrittes in den beim Erkalten entstehenden luftverdünnten Raum ist der Deckel mit einem Stopfenhahne versehen, der in den Griff des Exsikkatordeckels derart eingeschliffen ist, daß der Stopfen nur wenig aus dem Deckelknopfe hervorragt. Der Eintritt der Luft erfolgt durch zwei in halber Höhe des Deckelknopfes angebrachte Bohrungen, denen zwei Löcher im Stopfen entsprechen. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß der Hahn vor Zerstörung durch Abstoßen möglichst geschützt ist.

4. Die Bestimmung des Aschegehaltes.

Zur Bestimmung des Aschegehaltes gibt man von der lufttrockenen Durchschnittsprobe $2\div 5$ g in einen vorher gewogenen Porzellan- oder Platintiegel und erhitzt, die Temperatur langsam

bis zur Dunkelrotglut ansteigen lassend, über einem Bunsenbrenner 2÷3 Stunden lang, bei Koks etwas länger.

Der im Tiegel verbleibende Rückstand stellt die Asche dar, deren Gewicht in Prozenten der eingewogenen Durchschnittsprobe angegeben wird.

Auch diese Probe soll in zwei oder dreifacher Ausführung vorgenommen werden. Daher sind Muffelöfen, welche die gleichzeitige Aufnahme von mehreren Tiegeln ermöglichen, zur Vornahme von Veraschungsproben besonders geeignet. Diese Art von Öfen sind für Heizung mittels Gas oder elektrischen Stromes eingerichtet. In letzterem Falle ist noch der Vorteil zu verzeichnen, daß durch einfache Stromregulierung die Konstanthaltung der geeigneten Höchsttemperatur möglich ist.

5. Die Bestimmung des Heizwertes.

Unter Heizwert versteht man die von 1 kg bzw. 1 cbm eines Brennstoffes bei vollkommener Verbrennung entwickelte Wärmemenge. Bei festen und flüssigen Brennstoffen bezieht man den Heizwert auf 1 kg, bei gasförmigen auf 1 cbm (0° 760 mm), seltener auf die Gewichtszu einheit.

Als Einheit der Wärmemenge gilt die Kalorie (kcal), d. i. diejenige Wärmemenge, die nötig ist, um 1 kg Wasser von $14,5^{\circ}$ auf $15,5^{\circ}$ erwärmen.

Nicht in allen Höhenlagen der Temperaturskala ist die Wärmemenge, die zur Erhöhung der Temperatur von 1 kg Wasser um 1° aufgewendet werden muß, gleich 1 Kalorie; so sind z. B. für eine Temperatursteigerung

von 80° auf 81°	1,0014 Kalorien
„ 40° „ 41°	0,9971 „
„ 0° „ 1°	1,0091 „

aufzubringen.

In der Praxis sieht man von diesen Unterschieden ab und setzt die spez. Wärme des Wassers — diese ist ja identisch mit den angegebenen Kalorienzahlen — für das ganze Intervall $0\div 100^{\circ}$ gleich eins.

Wenn es sich um verhältnismäßig kleine Wärmemengen handelt, wie z. B. bei Heizwertbestimmungen, wo nur etwa 1 g Brennstoff verbrannt wird, so legt man der Wärmemessung die kleine Kalorie zugrunde, d. i. diejenige Wärmemenge, die zur Erhöhung der Temperatur von 1 g Wasser um 1° nötig ist, und heißt sie auch Grammkalorie (gcal).

Im Gegensatz hierzu wird die auf 1 kg Wasser bezogene Wärmeinheit als große Kalorie oder Kilogrammkalorie (kcal) bezeichnet.

Im folgenden ist die große Kalorie durch WE, die kleine Kalorie durch gWE gekennzeichnet.

Bei der Kalorimetrierung solcher Brennstoffe, die Wasser in Form von Feuchtigkeit, und auch bei solchen, die freien Wasserstoff enthalten, der dann zu Wasser verbrennt, wird das Gesamtwasser, das

unmittelbar nach der Verbrennung in Dampfform aufgetreten ist, in flüssiger Form sich niederschlagen, weil gemäß den Versuchsbedingungen die Verbrennungsgase auf Zimmertemperatur abgekühlt werden.

Die Kondensationswärme dieses Wassers wird also mitgemessen; der in dieser Weise ermittelte Heizwert heißt daher oberer Heizwert (H_o). Langbein nennt ihn Verbrennungswärme.

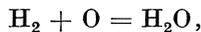
Bestimmt man die Menge des während der Kalorimetrierung sich niederschlagenden Gesamtwassers, und zieht man die Kondensationswärme desselben vom oberen Heizwert ab, so erhält man den unteren Heizwert (H_u), der auch nutzbarer Heizwert genannt wird.

Bei den Dampfkesselfeuerungen gehen die Abgase in der Regel (aber nicht immer, z. B. nicht bei manchen Ekonomiseranlagen) mit Temperaturen in den Fuchskanal, die über 100° gelegen sind. In diesen Fällen ist es üblich, wenn auch nicht immer richtig, anzunehmen, daß die Kondensationswärme der in den Verbrennungsgasen enthaltenen Wasserdämpfe nicht in die Erscheinung tritt, und man rechnet gemäß dieser Annahme mit dem unteren Heizwert.

Dr. Deinlein hat aber nachgewiesen¹⁾, daß selbst dann, wenn die Abgastemperatur über 100° liegt, doch Wasserniederschläge (Schwitzwasserbildungen) aus den Verbrennungsgasen an gewissen Heizflächenteilen eintreten können. Wenn die Temperatur eines Heizflächenteiles auf der Gasseite unter dem Taupunkte der vorüberziehenden Verbrennungsgase liegt, dann stellen sich unbedingt Wasserniederschläge an den betreffenden Heizflächenteilen ein. Als Taupunkt ist die Temperatur zu verstehen, bei welcher die Verbrennungsgase bei dem in ihnen gerade herrschenden Drucke eben mit Wasserdampf gesättigt sind. In diesem Falle müßte also mit dem oberen Heizwert gerechnet werden.

Die üblichen Heizwertangaben beziehen sich in der Regel auf den unteren Heizwert. Streng genommen müßte stets auch der obere Heizwert beigefügt sein.

Wenn der Feuchtigkeits- und der freie Wasserstoffgehalt eines Brennstoffes bekannt ist, so läßt sich aus dem oberen der untere Heizwert berechnen, denn aus der Gleichung:



oder mit den Atomgewichten:

$$2,016 + 16 = 18,016$$

folgt, daß 1 Gew.-Tl. Wasserstoff $\frac{18,016}{2,016} = 8,93 = \infty 9$ Gew.-Tle. Wasser ergibt.

Wenn ein Brennstoff H Gewichtsprocente Wasserstoff und w Gewichtsprocente Wasser (Feuchtigkeit) enthält, so ergibt sich bei der Verbrennung von 1 kg dieses Brennstoffes $\left(\frac{9H}{100} + \frac{w}{100}\right)$ kg Gesamt-

¹⁾ Zeitschr. d. Bayer. Revisions-Vereins 1917, S. 17.

wasser. Rechnet man die Kondensationswärme von 1 kg Wasserdampf zu rund 600 WE, so ist die entsprechende Kondensationswärme gleich $600 \cdot \left(\frac{9H}{100} + \frac{w}{100} \right)$ WE, und damit ergibt sich die Beziehung:

$$H_o = H_u + 6 \cdot (9H + w).$$

Die Bestimmung des Heizwertes fester Brennstoffe.

Die genaue Bestimmung des Heizwertes von Brennstoffen ist — von rein wissenschaftlichem Interesse abgesehen — nach zwei Richtungen hin erforderlich.

Die Feststellung der Nutzwirkung einer Feuerung — die Dampfkesselanlagen werden hier wohl am häufigsten in Betracht kommen — ist nur möglich bei einer genauen Kenntnis des Heizwertes des verwendeten Brennstoffs. Nur wenn man weiß, welche Leistung in Wärmeenergie man von einem gegebenen Brennstoff im günstigsten Falle erwarten kann, ist man auch imstande, die Feuerungsanlage, in welcher dieser Brennstoff verfeuert wird, als gut oder schlecht, also verbesserungsbedürftig, zu beurteilen.

Der zweite Grund, der ebenfalls die Kenntnis des genauen Heizwertes eines Brennmaterials als notwendig erscheinen läßt und hauptsächlich für große Dampfbetriebe von Bedeutung ist, liegt in dem Bestreben, möglichst sparsam zu wirtschaften. Der Preis eines Brennmaterials ist kein Maßstab für dessen Heizwert, und doch handelt es sich in weitaus den meisten Fällen, in denen Brennstoffe verbraucht werden, um Ausnützung der Heizkraft derselben. Nur an der Hand einer zuverlässigen Bestimmung des Heizwertes des in Frage kommenden Brennstoffs ist der Verbraucher in der Lage, sich beim Einkaufe vor Schaden zu bewahren.

Die verschiedenen Methoden, die zur Bestimmung des Heizwertes verbrennbarer Stoffe angewendet werden, lassen sich einteilen in:

1. Bestimmung des Heizwertes mit Hilfe empirischer Formeln;
2. unmittelbare Bestimmung des Heizwertes, und zwar:
 - a) im großen (an Dampfkesseln),
 - b) im kleinen (in Kalorimetern).

Von den mannigfachen, zur ersten Gruppe gehörigen Methoden hat keine so häufige Anwendung gefunden wie die Heizwertbestimmung nach der Formel von Dulong.

Dieser Forscher ging bei der Entwicklung seiner Formel von der Annahme aus, daß die die Brennstoffe bildenden Elemente nicht, wie es tatsächlich der Fall ist, in organischen Verbindungen und verwickelten Atomkomplexen vorhanden sind, sondern, nebeneinanderliegend, die Substanz der Brennstoffe bilden. Nur unter Zugrundelegung dieser Annahme ist es richtig, wenn Dulong sagt, daß die bei der Verbrennung eines Brennstoffes entstehende Wärmemenge gleich ist der Summe jener Wärmemengen, die erzeugt würden, wenn jedes einzelne, zur Wärmeentwicklung fähige Element, also hauptsächlich Kohlenstoff, Wasserstoff und Schwefel für sich verbrannt würde.

Es ergibt nun:

1 kg Kohlenstoff zu CO_2 verbrannt 8100 WE (genauer 8140 WE)

1 kg Wasserstoff „ H_2O „ 28800 WE

1 kg Schwefel „ SO_2 „ 2230 WE

Enthält also 1 kg getrockneter Kohle z. B.

0,80 kg Kohlenstoff = 80% C,

0,06 kg Wasserstoff = 6% H,

0,01 kg Schwefel = 1% S,

während der Rest in Asche und Stickstoff besteht, so bestimmt sich der Heizwert dieser Kohle nach Dulong zu:

$$H_w = 0,80 \cdot 8100 \text{ WE} = 80 \cdot 81 \text{ WE}$$

$$+ 0,06 \cdot 28800 \text{ WE} = 6 \cdot 288 \text{ WE}$$

$$+ 0,01 \cdot 2230 \text{ WE} = 1 \cdot 22,3 \text{ WE}$$

$$H_w = (80 \cdot 81 + 6 \cdot 288 + 1 \cdot 22,3) \text{ WE}.$$

Bezeichnet man den prozentualen Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Schwefelgehalt mit C , bzw. H , bzw. S , so ist:

$$H_w = 81 \cdot C + 288 H + 22,3 S.$$

Enthält ein Brennstoff, wie es ja gewöhnlich der Fall ist, auch Sauerstoff, z. B. $O\%$, so nimmt man an, daß dieser bereits mit der entsprechenden Menge Wasserstoff, also mit $\frac{1}{8} \cdot O$ -Teilen, zu Wasser verbunden ist, weshalb man in der letzten Formel an Stelle von H den

Wert $H - \frac{O}{8}$ setzen muß; man erhält also:

$$H_w = 81 \cdot C + 288 \cdot \left(H - \frac{O}{8} \right) + 22,3 S.$$

Die Brennstoffe enthalten stark wechselnde Mengen von hygroskopischem Wasser. Es seien z. B. in 1 kg Steinkohle 0,20 kg = 20% hygroskopisches Wasser enthalten, so wird dieses Wasser in all den üblichen Feuerungsanlagen verdampft und entweicht in Dampfform mit den Heizgasen aus der Feuerung.

Wird der Brennstoff mit einer Temperatur von t° auf den Rost gebracht, so beansprucht 1 kg des enthaltenen hygroskopischen Wassers $(639,3 - t)$ WE, um in Dampf von 1 at verwandelt zu werden. Dieser Dampf wird aber auf Kosten des Wärmeinhaltes des auf den Rost gebrachten Brennstoffes noch weiter erhitzt bis auf die Temperatur T° der Abgase (Fuchsgase). Hierzu gehören für je 1 kg Wasserdampf 0,48 $(T - 100)$ WE, so daß die gesamte, an 1 kg hygroskopisches Wasser abgegebene Wärmemenge den Betrag

$$[(639,3 - t) + 0,48(T - 100)] \text{ WE}$$

ausmacht.

In obigem Beispiele wäre diese Wärmemenge

$$= [639,3 - t + 0,48(T - 100)] \cdot 0,20 \text{ WE}$$

oder

$$= \frac{639,3 - t + 0,48(T - 100)}{100} \cdot 20 \text{ WE}.$$

Bei $w\%$ Gehalt an hygroskopischem Wasser ist also diese Wärmemenge

$$= \frac{639,3 - t + 0,48(T - 100)}{100} \cdot w \text{ WE.}$$

Ist z. B. $t = 20^\circ$, $T = 300^\circ$ und $w = 20\%$, so erhält man für den letzten Ausdruck den Wert

$$\frac{715,3}{100} \cdot w = \approx 7 \cdot w = 7 \cdot 20 \text{ WE} = \mathbf{140 \text{ WE.}}$$

Diese Wärmemenge ist aber, wenn das hygroskopische Wasser mit den Abgasen in Dampfform entweicht, und dies ist die Regel, für die Feuerung verloren, daher in negativem Sinne in Anrechnung zu bringen.

Enthält also ein Brennstoff $C\%$ Kohlenstoff, $H\%$ Wasserstoff, $O\%$ Sauerstoff, $S\%$ Schwefel und $w\%$ hygroskopisches Wasser, so rechnet sich der Heizwert des Brennstoffs zu:

$$H_w = 81C + 288\left(H - \frac{O}{8}\right) + 22,3S - \frac{639,3 - t + 0,48(T - 100)}{100} \cdot w \text{ WE,}$$

wobei angenommen ist, daß der Brennstoff mit t° in die Feuerung gebracht wird, und daß die Feuergase mit einer Temperatur von T° in den Schornstein entweichen.

Hieraus ist deutlich zu ersehen, daß ein bestimmter Brennstoff für eine gegebene Feuerungsanlage eigentlich einen ständig (mit t und T) wechselnden Heizwert hat, den man in geeigneter Weise den nutzbaren Heizwert nennen könnte.

Um aber von solchen Unbestimmtheiten frei zu sein, haben sich der Verein deutscher Ingenieure und der Internationale Verband der Dampfkessel-Überwachungsvereine zu einer für den praktischen Gebrauch geeigneten, auf der Dulong'schen Hypothese beruhenden Formel, der sog. Vereinsformel, geeinigt, wonach der Heizwert eines Brennstoffs bestimmt ist aus:

$$H_w = 80C + 290\left(H - \frac{O}{8}\right) + 25S - 6w.$$

Diese Formel kann aber keine absolut richtigen Werte geben, da vor allem, wie schon erwähnt, die Grundannahme Dulong's, wonach die Brennstoffe nur Gemische der Elemente C , H , O , S sind, nicht zutrifft.

Die Formel ist aber außerdem noch unzuverlässig, da die Konstanten 80, 290, 25 (die hundertsten Teile der Heizwerte von C , H , S) noch nicht endgültig festgelegt sind; so gilt z. B. für Kohlenstoff in Holzkohle

nach	Scheurer-Kestner:	Heizwert = 8103 WE,	also	Konstante = 81,03,
„	Favre-Silbermann:	„ = 8071 WE,	„	„ = 80,71,
„	Berthelot:	„ = 8137 WE,	„	„ = 81,37,

für Kohlenstoff in Graphit

nach Favre - Silbermann: Heizwert = 8047 WE, also Konstante = 80,47,
 „ Berthelot: „ = 7901 WE, „ „ = 79,01.

Ähnlich sind die Verhältnisse bei Wasserstoff.

Außerdem nimmt die Dulong'sche Formel an, daß sämtlicher im Brennstoffe enthaltene Schwefel zu schwefliger Säure (SO₂) verbrennt, während in Wirklichkeit ein Teil des Schwefels zu Schwefelsäureanhydrid (SO₃) oxydiert. Im ersten Falle entstehen aber 2230 WE, im letzten Falle dagegen 3300 WE.

Mit Hilfe der Dulong'schen Formel läßt sich also der Heizwert der Brennmaterialien nur näherungsweise bestimmen, und zwar sind die Abweichungen von den kalorimetrisch ermittelten Heizwerten abhängig von der Art der Brennstoffe. Sie sind bei Steinkohle kleiner als bei Braunkohle, Holz und Torf.

Dr. Aufhäuser schreibt hierüber in Lunge - Berl: Chemisch-technische Untersuchungsmethoden 1921, S. 430: „Die Formel gibt für Antrhazite und magere Kohlen meist sehr gute Übereinstimmung (0,5%) mit den kalorimetrisch ermittelten Werten, für Steinkohle beträgt die Abweichung 1÷1,5%, für Braunkohle und Torf 3÷4%. Für Holz und andere pflanzliche Stoffe und für alle flüssigen Brennstoffe ist sie unbrauchbar.“

Die nachstehende Zahlentafel, welche nach Versuchen von Ingenieur L. C. Wolff, Magdeburg¹⁾, ausgeführt ist, gibt hiervon einen deutlichen Beweis.

Brennstoff	Heizwert in WE/kg		Abweichung in Proz.
	nach Dulong berechnet	kalorimetrisch ermittelt	
Steinkohle (engl.)	7171	7288	1,6
Braunkohle (Prov. Sachsen)	2456	2230	10,1
Torf (Mecklenburg)	2498	2711	7,9
Holz (Birke)	2967	3428	13,5

Die Münchener Heizversuchsanstalt stellte für verschiedene Steinkohlensorten die Heizwerte gleichzeitig nach der Dulong'schen Formel und kalorimetrisch fest, wobei sich, wie folgende Tabelle zeigt, ganz beträchtliche Unterschiede einstellten:

Art der Kohle (Saarkohle)	Heizwert in WE/kg		Unterschied	
	nach Dulong berechnet	kalorimetrisch berechnet	in WE	in Proz. des berechneten Wertes
St. Ingbert	7981	7704	-277	-3,6
Dudweiler I	7938	7801	-137	-1,7
Reden Merschweiler	7319	7031	-288	-3,9
Mittelbexbach	7496	7188	-308	-3,8

Welchen Einfluß die Vervollkommnung der kalorimetrischen Messung auf die Genauigkeit der Ergebnisse hat, zeigen folgende, im

¹⁾ Flugblatt 6 des Magdeburger Vereins für Dampfkesselbetrieb.

chemischen Hauptlaboratorium der Zeche Rheinpreußen ermittelten Zahlen (1924/25):

	Heizwert in WE/kg		Unterschied	
	nach Dulong berechnet	kalorimetrisch ermittelt	in WE	in Proz. des be- rechneten Wertes
Fettförderkohle . . .	6967	6929	− 38	0,5
„ . . .	6727	6715	− 12	0,2
„ . . .	7856	7880	+ 24	0,3
„ . . .	6736	6780	+ 44	0,7
Fettfördergrus . . .	6900	6910	+ 10	0,1
Magerkohle Nuß I .	7445	7432	− 13	0,2
„ „ II .	7499	7473	+ 26	0,3
„ „ III .	7529	7492	− 37	0,5
„ „ IV .	7497	7456	− 41	0,5
Magerfeinkohle . . .	6824	6710	− 114	1,7

Die Dulong'sche Formel ist nur anwendbar, wenn die elementaren Bestandteile eines Brennmaterials ihrem Gewichte nach bekannt sind. Diese festzustellen ist Aufgabe der Elementaranalyse, einer schwierigen, in der Regel von einem Chemiker auszuführenden Arbeit. Man gibt daher in den meisten Fällen der Heizwertbestimmung in Kalorimetern den Vorzug.

Die Krökersche Bombe. Schon Lavoisier und Laplace haben die bei der Verbrennung entstehende Wärme durch Kalorimeter bestimmt. In einem irdenen Gefäße, welches mit Eis umgeben war, hatten sie Holzkohle verbrannt und durch die Menge des geschmolzenen Eises die erzeugte Wärme bestimmt.

Genauere Versuche in dieser Richtung wurden aber erst von Dulong ausgeführt. Nach ihm hatten noch verschiedene andere Forscher, so z. B. Ure, Bargum, Deville, Bolley, Andrews, Schwackhöfer, Favre und Silbermann, Scheurer - Kestner, Alexejew, Thomson, Fischer usw. Kalorimeterbauarten ersonnen, doch hatten all diese Apparate den Übelstand, daß es schwer fiel, eine vollständige Verbrennung zu erzielen, und daß sie, wenn auch nicht alle, umständlich zu handhaben waren. Erst seit Hempel nachwies, daß man 1 g Kohle in einem Gefäße von 0,25 l Inhalt, gefüllt mit Sauerstoff von 12 at Spannung, mit Sicherheit vollständig verbrennen kann, ist eine Reihe von Kalorimeterbauarten entstanden, die obige Schwierigkeiten nicht mehr aufweisen.

Vor allem war es Berthelot, der, auf dieser Erfahrung fußend, eine sog. kalorimetrische Bombe konstruierte. Ähnlich dieser sind die Apparate von Stohmann, Hempel und endlich die Mahlersche Hautbitze.

In neuerer Zeit ist von Dr. Kröker eine kalorimetrische Bombe erdacht worden, die den Bedürfnissen der Betriebspraxis, ein rasches und doch genügend genaues Arbeiten zu ermöglichen, Rechnung trägt. Sie ist in der Form und in ihren Dimensionen der Hempelschen Bombe nachgebildet. Abb. 10 zeigt die Bombe im Schnitte. Sie besteht aus

einem vernickelten oder emaillierten Stahlgefäße¹⁾ von 10 mm Wandstärke und etwa 300 ccm Inhalt mit gasdicht aufschraubbarem Deckel. Letzterer trägt in der Mitte eine Verstärkungsleiste, durch welche die Gaszu- und -ableitungskanäle K_1 und K_2 gelegt sind. Der Kanal K_2 , welcher durch das Platinrohr R nach dem Inneren der Bombe verlängert ist, wird zur Einführung des komprimierten Sauerstoffs in die Bombe benützt, während der Kanal K_1 zur Ableitung der Verbrennungsgase dient.

Zur Füllung der Bombe nimmt man am einfachsten käuflichen Sauerstoff, der in Stahlzylindern, ähnlich wie Kohlensäure, hoch verdichtet, von verschiedenen Fabriken bezogen werden kann. Die Kanäle K_1 und K_2 sind durch in Stopfbuchsen laufenden Schraubenspindeln V_1 und V_2 verschließbar. Die Spitzen dieser Spindeln sind aus Platiniridium gefertigt, um gegen Korrosionen durch die Verbrennungsprodukte widerstandsfähig zu sein. Zum gleichen Zwecke ist der Deckel der Bombe auf der Unterseite mit dünnem Platinbleche belegt, während das Innere der Bombe gewöhnlich mit einer soliden Emailschiicht ausgefüttert ist. (Auf Wunsch wird an Stelle dieses Emailbelages auch eine Ausfütterung mit Platinblech ausgeführt, wodurch sich allerdings der Preis der Bombe wesentlich erhöht.) D ist ein Platindraht, der isoliert durch den Deckel der Bombe geführt ist und zur Befestigung des Zünddrahtes dient. P_1 und P_2 sind zwei Klemmschrauben oder Steckkontakte, an welchen die Zuleitungsdrähte einer Tauchbatterie, bzw. eines Akkumulators oder einer Starkstromleitung mit vorgeschaltetem Widerstande enden. Wird um die Platinansätze a_1 und a_2 ein dünner Zünddraht gewickelt, so ist der Stromkreis geschlossen.

Als Zünddraht kann ein ganz dünner Eisendraht (0,1 mm dick) dienen; doch üben die abschmelzenden Teile desselben auf die Emaile, oft auch auf Platin eine zerstörende Wirkung aus; daher ist die Verwendung von Nickelindraht, oder in besonderen Fällen von Platindraht mit Baumwollfaden umwickelt, mehr zu empfehlen.

Am Boden der Bombe sitzen drei kurze Füße. In einem besonderen, auf dem Experimentiertische durch die Schrauben B (Abb. 11) befestigten Untersatz (Abb. 11) sind drei Löcher f ausgespart, in welche

¹⁾ In neuerer Zeit wird die Bombe samt Deckel ohne Vernicklung oder Platinierung und ohne Emaillierung aus Kruppschem rostfreien Stahl hergestellt.

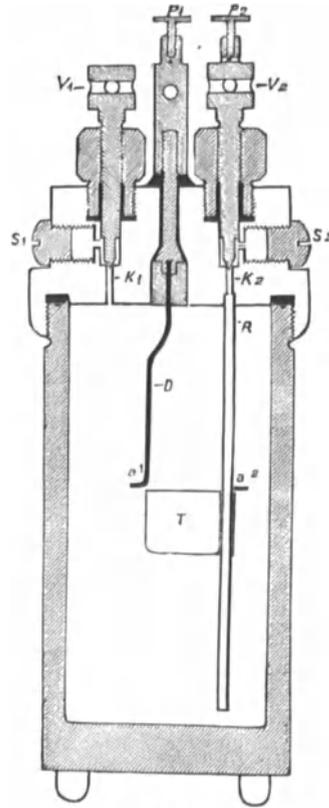


Abb. 10.

die Füße der Bombe passen. Da der Hohlraum der Bombe mit Sauerstoff von 20—25 at Spannung gefüllt wird, so ist es natürlich nötig, daß der Bombendeckel gasdicht aufgeschraubt werden kann. Dies wird erreicht, indem man die Bombe mit den drei Füßen in die Löcher f des Untersatzes setzt und alsdann über die kräftige Leiste des Deckels einen doppelarmigen Schlüssel mit zur Leiste passendem Ausschnitte steckt. Da das Dichten des Deckels gegen den Rand der Bombe durch einen zwischengelegten Bleiring (in Abb. 10 schwarz angedeutet) geschieht, so bringt immerhin schon ein mäßiges Anziehen mit dem Schlüssel einen gasdichten Schluß zustande. Ebenso erfordert der Schluß der Ventile V_1 und V_2 nur einen geringen Kraftaufwand.

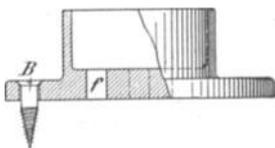


Abb. 11.

Es ist empfehlenswert, die zu verbrennende Substanz fein zu pulvern, was am einfachsten in einem Porzellan- oder Eisenmörser geschieht. Von diesem Pulver wird nun bei Steinkohle etwa 1 g, bei Braunkohle etwa 1,5 g um ein 4 ÷ 5 cm langes Stück des Zünddrahtes zu einem Brikett gepreßt, was mit der in Abb. 12 abgebildeten Preßform sehr leicht zu erreichen ist.

Die Preßform J (Abb. 12) hat eine senkrechte Bohrung von 12 mm Durchmesser, die unten durch ein Verschlußstück E mit feinem, zentrischem Loch verschlossen wird. Durch dieses Loch im Verschlußsteile E wird der Zünddraht D so eingeführt, daß er oberhalb desselben eine kleine Schleife bildet. Diese Schleife wird beim Füllen der Preßform

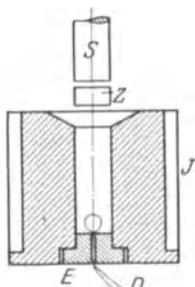


Abb. 12.

von dem pulverisierten Brennstoffe umgeben. Ist die bereits angegebene Menge Brennstoff in die Bohrung von J eingefüllt, so legt man zunächst das stählerne Zwischenstück Z darauf, dann wird der Stempel S aufgesetzt und das Ganze unter eine einfache Schraubenpresse gebracht. Es genügt schon ein mäßiger Druck auf den Stempel S , um aus dem eingefüllten Brennstoffe ein Brikettchen zu formen, durch welches hindurch das Stück Zünddraht D , dessen Gewicht natürlich vorher genau festgestellt worden ist, läuft.

Nunmehr wird auf einer chemischen Wage das Brikettchen samt Zünddraht gewogen; dann erhält man durch Subtraktion beider Gewichte das Gewicht der zur Verbrennung gelangenden Substanz.

Es gibt Brennstoffe, die sich nur unvollkommen oder überhaupt nicht zu einem Brikett pressen lassen, wie z. B. Anthrazit und Koks und alle bitumenarmen Stoffe. Diese werden einfach in gepulvertem Zustande in den Platintiegel T (Abb. 10) gefüllt, während der Zünddraht so um a^1 und a^2 (Abb. 10) gewickelt wird, daß er die im Tiegel T befindliche Substanz berührt.

Im ersten Falle, wo man die zu verbrennende Substanz in Form eines Briketts anwenden kann, wird, nachdem die Drahtenden um a^1

und a^2 gewickelt sind, der Tiegel T so unterhalb des Briketts angeordnet, daß bei der Verbrennung möglichst wenig glühende Brennstoff- und Zünddrahtteile auf den Boden der Bombe fallen.

Die Bombe muß, bevor der Brennstoff eingebracht wird, einige Zeit im Trockenschranke gestanden haben, damit ihre Innenwandung von aller etwa anhaftenden Feuchtigkeit befreit ist.

Nachdem die Schnittschrauben S_1 und S_2 (Abb. 10) entfernt sind, wird der Deckel der Bombe in der angegebenen Weise festgeschraubt.

Um die Bombe nunmehr mit Sauerstoff zu füllen, wird das Sauerstoffüberleitungsrohr r (Abb. 13) mittels der Überwurfmutter m an den Sauerstoffzylinder und mittels der Schraube n und des Konus k (Abb. 13) an den Kanal K_2 (Abb. 10) des Bombendeckels angeschlossen.

Wird die Ventilspindel V_2 (Abb. 10) etwas gelüftet, so hat der verdichtete Sauerstoff Zutritt zum Innern der Bombe. Um die in der letzteren befindliche atmosphärische Luft auszutreiben, öffnet man beim Einleiten des Sauerstoffs auch die zweite Ventilschraube V_1

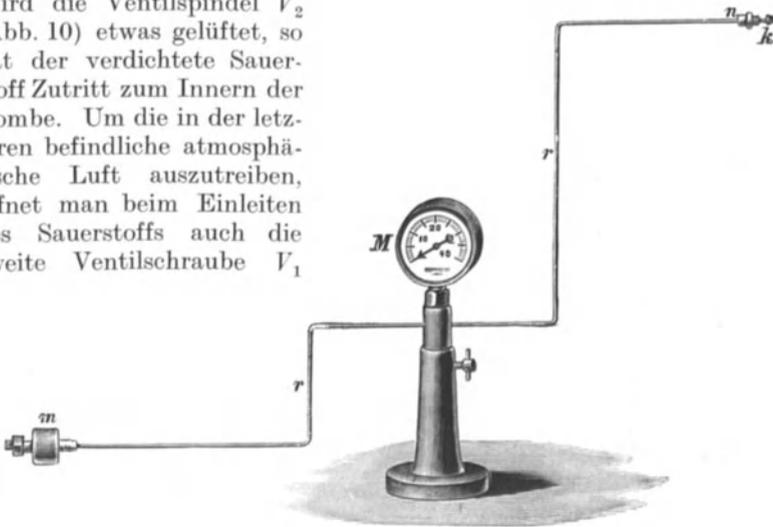


Abb. 13.

(Abb. 10) kurze Zeit. Nachdem diese wieder geschlossen ist, wird der Druck des Sauerstoffs im Innern der Bombe bald die gewünschte Höhe von $20 \div 25$ at erreicht haben, was an dem mit Sicherheitsventil versehenen Manometer M abgelesen werden kann. In diesem Augenblicke wird V_2 geschlossen. Bei der Zuleitung des Sauerstoffs zur Bombe ist Vorsicht zu empfehlen, damit nicht durch den zu stürmisch in die Bombe eintretenden Sauerstoffstrom der Brennstoff zerstäubt wird.

Ist die Füllung mit Sauerstoff geschehen, so wird die Bombe, nachdem die Schnittschrauben S_1 und S_2 (Abb. 10) wieder eingesetzt sind, in das Kalorimetergefäß gebracht, ein einfaches, hochglanzvernickeltes Blechgefäß, in welchem vorher Wasser im Gewichte von 2000 g oder 2100 g abgewogen worden ist. Das Ganze, also Kalorimetergefäß und Bombe, kommt nunmehr in den doppelwandigen metallenen Schutzmantel K (Abb. 14), dessen Raum zwischen den Doppelwänden mit Wasser ausgefüllt ist. Durch diese Einrichtung sollen die Einflüsse

von außen auf die Temperatur des Kalorimeterwassers tunlichst ausgeschaltet werden.

Um die Verteilung der Temperatur im Kalorimeterwasser möglichst rasch und gleichmäßig erfolgen zu lassen, wird in das Kalorimetergefäß ein die Bombe umgebendes Rührwerk eingesetzt. Dieses besteht aus 3 durchlochtem Blechringen *e* (Abb. 15), welche durch die Stangen *s s* und das Querhaupt *q* zu einem Ganzen verbunden sind. Das Querhaupt *q* trägt eine Stange *t*, welche oben in einer Hülse *C* endet. Mit letzterer wird das Rührwerk an den Bewegungsmechanismus angeschlossen, der von der Rillenscheibe *D* (Abb. 14) aus entweder durch einen kleinen Motor oder von Hand angetrieben wird.

Zur Bestimmung der Temperaturen des Kalorimeterwassers wird ein Thermometer *B* (Abb. 14) eingeführt, und zwar verwendet man entweder ein Laboratoriumsthermometer, welches $\frac{1}{100}$ Grade abzulesen und $\frac{1}{1000}$ Grade abzuschätzen gestattet, oder ein Differentialthermometer nach Beckmann. Die Ablesung dieser Thermometer erfolgt mit Hilfe der Lupe *A* (Abb. 14). Sind die Poldrähte der zur Zündung verwendeten Stromquelle durch *P*₁ und *P*₂ (Abb. 10) festgeklemmt (selbstverständlich muß in den Stromkreis ein Stromunterbrecher eingeschaltet sein), und ist die Öffnung von *K* (Abb. 14) durch einen zweiseitigen Deckel geschlossen, so sind die Vorbereitungen zum Versuche beendet.

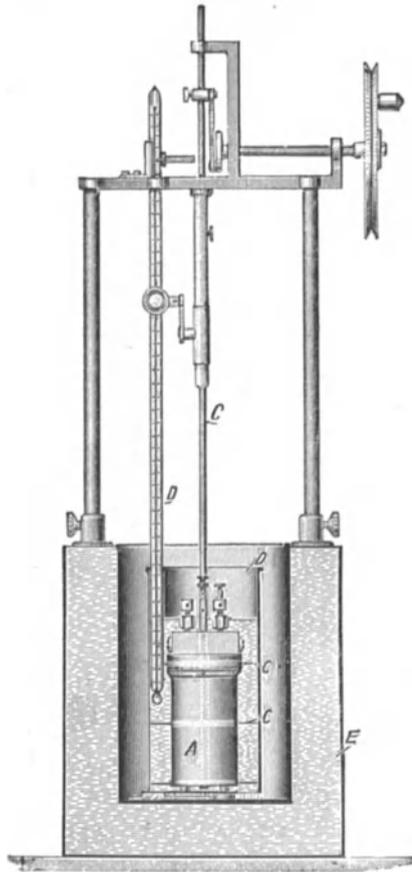


Abb. 14.

Als Stromquelle benutzt man entweder eine Tauchbatterie oder Akkumulatoren, die derart zu schalten sind, daß sie eine Spannung von 8÷10 Volt geben. Am einfachsten ist es aber, sowohl den Strom für die Zündung als auch den zum Antriebe eines kleinen Elektromotors für das Rührwerk notwendigen Strom aus einer vorhandenen Lichtleitung abzunehmen, wobei allerdings eine Drosselung der Spannung notwendig wird. Fuchs¹⁾ gibt für diesen Zweck einen einfachen

¹⁾ Fuchs: Generator-Kraftgas- und -Dampfkesselbetrieb. Berlin: Julius Springer, 1913.

Apparat an, der sowohl die Zündvorrichtung als auch den Regulierwiderstand für den Elektromotor enthält. In Abb. 16 ist das Schaltungs-schema dieses Apparates abgebildet.

Der hochgespannte Strom tritt an den Stellen + und - in den Apparat ein und teilt sich dann in die zwei Stromkreise *I* und *II*. Ersterer ist für den Motor bestimmt, der durch *a* dargestellt ist. Durch den Regulierwiderstand *b* kann die Drehzahl des Motors verändert werden.

Der Stromkreis *II* dient zur Zündung; *c* ist ein Schalter, *d* der Zünddraht, *e* eine Widerstandsspirale und *f* eine Glühlampe. Bei 220 Volt Spannung benutzt man in *e* einen Widerstand von rund 100 Ω und in *f* eine 16kerzige Lampe. Beim Einschalten des Stromes wird diese Lampe so lange glühen, bis *d* abgeschmolzen und damit der Strom unterbrochen ist. Dadurch wird also eine Kontrolle darüber ausgeführt, ob der Stromkreis innerhalb der Bombe geschlossen ist oder nicht.

Der eigentliche Versuch zerfällt in drei Teile, nämlich Vorversuch, Hauptversuch und Nachversuch.

Nachdem die Versuchseinrichtungen in der oben beschriebenen Weise zusammengestellt sind, wird das Rührwerk in langsame, aber gleichmäßige Bewegung versetzt. Beobachtet man nun nach einiger Zeit das Thermometer *B* (Abb. 14), so wird man wahrnehmen, daß die Temperaturänderungen innerhalb gleicher Zeitabstände (gewöhnlich beobachtet man von Minute zu Minute) gleich oder doch nahezu gleich sind. Wenn dieser Zustand wirklich eingetreten ist, so schreibt man von Minute zu Minute die Temperatur des Kalorimeterwassers auf, etwa 8- bis 10 mal. Dies ist der Vorversuch. Stellen sich während desselben stark ungleichmäßige Schwankungen ein, oder sind die Temperaturunterschiede erheblich groß (etwa ein oder mehrere Zehntelgrade), so ist der Vorversuch von neuem zu beginnen.

Ungefähr 10 Sekunden, bevor der Vorversuch zu Ende geht, wird der elektrische Zündstrom geschlossen und ist damit der Hauptversuch eingeleitet. Durch das Schließen des Stromes gerät der im Innern der Bombe befindliche, um *a*¹ und *a*² (Abb. 10) gewickelte Zünddraht ins Glühen, um, da er ja von hochkomprimiertem Sauerstoffe umgeben ist, sehr rasch samt dem ihm anhaftenden Brennstoffbrikett zu verbrennen. Der Eisendraht verbrennt dabei zu Eisenoxyd, während die Kohle — und Berthelot hat dies für jeden verbrennbaren Stoff nachgewiesen — vollständig verbrennt, ohne Bildung von Teernebeln, die bei anderen Kalorimetern

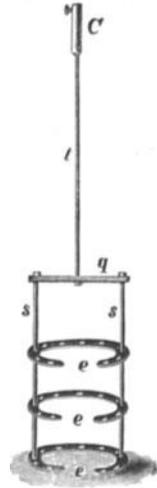


Abb. 15.

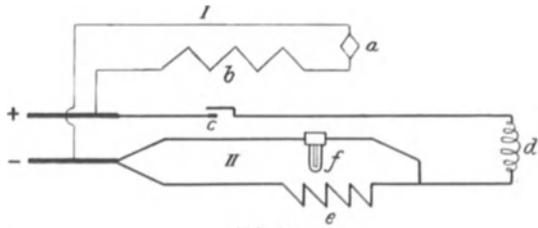


Abb. 16.

offener Verbrennung schwer zu vermeiden sind und den Versuch unbrauchbar machen. Eine Ausnahme in letzter Beziehung macht nur Koks, der selbst in komprimiertem Sauerstoffe fast nie vollständig verbrennt. Bei kalorimetrischen Untersuchungen von Koks ist es daher nötig, diesen mit einer genau gewogenen Menge Paraffin, dessen Verbrennungswärme man kennt oder vorher bestimmt hat, vermischt zu verbrennen.

Einfacher ist es, den Platintiegel mit ausgeglühtem Asbestpapier auszukleiden und den Koks in grobpulverigem Zustande einzufüllen. Auf diese Weise erzielt man auch bei anderen, schwer verbrennlichen und nicht brikettierbaren Stoffen eine vollkommene Verbrennung.

Kurz nach dem Schließen des Stromes beginnt das Thermometer *B* (Abb. 14) rasch zu steigen. Die Temperaturen sind jetzt mit erhöhter Schärfe zu beobachten, und ist ganz besonders auf die Feststellung des Maximums der Temperatur Sorgfalt zu legen. Dieses tritt in der Regel nach 5 ÷ 10 Minuten ein. Damit ist das Ende des Hauptversuchs erreicht, und es beginnt der Nachversuch.

Die Temperatur des Kalorimeterwassers fängt an zu fallen und ist nach 8 ÷ 10 Minuten lang zu beobachten.

Während sämtlicher Temperaturbeobachtungen ist das Rührwerk langsam, aber möglichst gleichmäßig in Bewegung zu halten.

Bei der Verbrennung der gewöhnlichen Brennstoffe entsteht Wasser, welches zum Teil aus dem im Material enthaltenen Wasserstoffe gebildet wird, zum Teil aus dem hygroskopischen Wasser besteht. Bei der Verbrennung auf dem Roste einer Feuerungsanlage wird dieses Gesamtwasser in Dampf verwandelt und zieht als solcher mit den Rauchgasen ab. Die Bildungswärme dieses Dampfes, der eine Temperatur von 200 ÷ 300° und manchmal noch darüber hat, ist also bei den gebräuchlichen Feuerungsanlagen in den meisten Fällen vollständig verloren. Bei der Verbrennung in der Bombe wird aber dieser Wasserdampf, ebenso wie die anderen Verbrennungsprodukte auf ca. 20° abgekühlt, er kondensiert also und gibt die dabei frei werdende Wärmemenge an das Kalorimeterwasser ab. Es wird mithin bei der Untersuchungsmethode im Kalorimeter mehr Wärme erzeugt und gemessen als bei der Verbrennung auf dem Roste einer Feuerung, und dies ist der Grund, warum bei jeder Heizwertbestimmung eine quantitative Bestimmung des Gesamtwassers ausgeführt werden muß.

Da die Abgangstemperaturen der Rauchgase und natürlich auch des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes starken Schwankungen unterliegen, so würden, wie schon gelegentlich der Entwicklung der Dulong'schen Formel gezeigt worden ist, die auf die Verdampfungswärme des Gesamtwassers bezüglichen Abzüge ebenfalls stark schwankend sein.

Um von dieser Unsicherheit frei zu sein, hat man sich dahin geeinigt, daß für jedes Kilogramm mit den Rauchgasen abziehenden Wasserdampfes 600 WE subtraktiv in Anrechnung zu bringen sind.

Um die Bestimmung des Gesamtwassers auf bequeme Weise zu ermöglichen, hat die Krökersche Bombe im Deckel noch zwei Bohrungen, die mit den Kanälen K_1 bzw. K_2 (Abb. 10) in Verbindung

stehen und während der Verbrennung durch die Schnittschrauben S_1 und S_2 verschlossen sind. Diese beiden Bohrungen wurden schon zur Austreibung der in der Bombe enthaltenen Luft und zum Einfüllen von verdichtetem Sauerstoffe benutzt. Bei der Wasserbestimmung wird nun, nachdem die Schnittschrauben S_1 und S_2 entfernt und an ihre Stelle zwei ca. 200 m lange Röhren eingeschraubt sind, der Kanal K_1 mit einer genau gewogenen Chlorkalziumvorlage E (Abb. 17) in Verbindung gebracht, während der andere Kanal K_2 mit einem Chlorkalziumturme C (Abb. 17) verbunden ist. Letzterer ist an eine Luftdruckvorrichtung angeschlossen. Als solche dienen am einfachsten zwei große Glasflaschen A und B (Abb. 17), von denen die eine mit Wasser gefüllt und höhergestellt wird, so daß letzteres nach der tiefergestellten Flasche abfließen kann. Die Bombe Z (Abb. 17) wird in ein auf $105 \div 110^\circ$ erhitztes Ölbad D oder in ein entsprechendes Heißluftbad gestellt. Da diese Temperatur nicht überschritten werden soll und eine fortwährende Regelung am Brenner F unbequem ist, so ersetzt man vorteilhaft das Öl durch eine Mischung von Wasser und Glycerin, die so ausprobiert ist, daß sie bei ca. 110° siedet. Es wird nun der Kanal K_1 , der an die Chlorkalziumvorlage E angeschlossen ist, durch ganz vorsichtiges Hochschrauben des Ventils V_1 (Abb. 10) geöffnet, so daß die in der Bombe eingeschlossenen und noch unter hohem Drucke stehenden Verbrennungsgase allmählich durch die Vorlage E (Abb. 17) abströmen können, wobei sie gezwungen werden, ihren Feuchtigkeitsgehalt an das Chlorkalzium abzugeben. Dieser Vorgang dauert ungefähr $20 \div 30$ Mi-

nuten, und nun ist noch das in der Bombe enthaltene Wasser auszutreiben. Dieses ist, da die Bombe eine Temperatur von $105 \div 110^\circ$ angenommen hat, in Dampf verwandelt, welcher, nachdem auch das



Abb. 17.

zweite Ventil V_2 geöffnet ist, mit der durchströmenden, im Turme C (Abb. 17) getrockneten Luft durch die Vorlage E geführt wird, wo ihn das Chlorkalzium vollständig absorbiert. Nach weiteren $25 \div 30$ Minuten ist auch dieser Vorgang beendet, und es bedarf nur noch einer genauen Wägung der Chlorkalziumvorlage, um das Gesamtwasser bestimmt zu haben.

In Abb. 17 bedeutet N ein mit Öl gefülltes Glasgefäß, in welches die Abgase aus der Bombe Z geleitet werden, nachdem sie bereits durch die Vorlage E gegangen sind. Durch die im Öle aufsteigenden Gasperlen ist man in der Lage, festzustellen, ob überhaupt noch Gase aus Z abströmen, und mit welcher Geschwindigkeit dies geschieht. Außerdem ist die Gefahr, daß von der Atmosphäre aus Feuchtigkeit in die Vorlage eintritt, beseitigt.

Da der im Handel bezogene, verdichtete Sauerstoff stets etwas Feuchtigkeit enthält, so kommt die zuletzt bestimmte Wassermenge nicht allein aus der in der Bombe verbrannten Brennstoffmenge, sondern rührt zum Teile auch von der Sauerstofffüllung her. Man bestimmt deshalb genau in der vorher beschriebenen Weise durch einen Vorversuch diejenige Wassermenge, die in der zur Füllung der Bombe nötigen Menge Sauerstoff von bestimmter Spannung ($20 \div 25$ at) enthalten ist. Natürlich muß für jedes neubezogene Gefäß mit Sauerstoff dieser Versuch wiederholt werden.

Die bei der Verbrennung irgendeines verbrennbaren Stoffes in der Bombe entstehende Wärmemenge wird nicht vollständig an das Kalorimeterwasser übergehen, sondern ein Teil derselben wird aufgewendet werden müssen, um das Kalorimetergefäß, die Bombe, das Rührwerk und den Teil des Thermometers, der in das Kalorimeterwasser eintaucht, auf die Maximaltemperatur zu bringen.

Diejenige Wärmemenge, die nötig ist, um die Temperatur der genannten Teile um 1° zu erhöhen, heißt der Wasserwert des Kalorimeters.

Diese Konstante bestimmt sich aus dem Gewichte all der genannten, mit dem Kalorimeterwasser in Berührung kommenden Teile und deren spezifischen Wärme, ist aber auf diese Weise nur schwierig zu ermitteln. Einfacher und zuverlässiger bestimmt sich der Wasserwert des Kalorimeters durch Versuche.

Man verbrennt, ebenso wie bei Versuchen mit Brennstoffen, die genau gewogene Menge einer Substanz, deren Verbrennungswärme bekannt ist, und stellt den Unterschied zwischen der dadurch erzeugten und der im Kalorimeter nachgewiesenen Wärmemenge fest. Als solche Substanz kann man u. a. chemisch reinen Zucker verwenden, da dessen Verbrennungswärme durch Berthelot zuverlässig zu 3962 WE bestimmt wurde.

Außer den bereits behandelten Berichtigungen, wovon die eine durch die beim Versuche zur Kondensation gelangende Gesamtwassermenge, die andere durch die Wärmeaufnahme aller mit dem Kalorimeterwasser in Berührung kommenden Teile bedingt ist, ist bei jeder

Verbrennung im Kalorimeter noch eine Reihe anderer Berichtigungen durchzuführen, und zwar:

1. in bezug auf die durch die Verbrennung des zur Zündung verwendeten Drahtes entstehende Wärmemenge,
2. in bezug auf die bei der Verbrennung in der Bombe entstehenden Säuren,
3. in bezug auf den Einfluß der Umgebung auf die Temperatur des Kalorimeterwassers,
4. in bezug auf Fehler, die in den Angaben des verwendeten Thermometers enthalten sind.

Die erste Berichtigung ist sehr einfach, da das Gewicht des zur Zündung dienenden Eisendrahtes ohnehin bestimmt wird. Nach Berthelot ist die Verbrennungswärme von Eisen (zu Eisenoxyd verbrannt) 1601 WE.

Viel verwickelter ist die zweite auf die zur Bildung kommenden Säuren bezügliche Berichtigung. Da der käufliche verdichtete Sauerstoff fast stets Stickstoff enthält, so ist die Bildung von Salpetersäure unvermeidlich. Außerdem sind viele Brennstoffe schwefelhaltig. In verdichtetem Sauerstoffe verbrennt der Schwefel entweder zu Schwefelsäureanhydrid, welches sich in dem Verbrennungswasser zu verdünnter Schwefelsäure auflöst, oder aber, wie vielfache Beobachtungen zeigen, zu schwefliger Säure. In der Praxis erhält man bei der Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe auf dem Roste einer Feuerungsanlage entweder schweflige Säure oder auch Schwefelsäure. Langbein spricht nun die in der Bombe entstehende, aus dem Schwefelgehalte der verbrannten Probe herrührende Säure nur als verdünnte Schwefelsäure (Schwefelsäureanhydrid in Wasser gelöst) an und nimmt ferner an, daß bei der Verbrennung auf dem Roste nur schweflige Säure entsteht. Es ist dadurch eine Umrechnung des in der Bombe gefundenen Schwefelsäuregehaltes auf schweflige Säure nötig.

In Anbetracht dieser Unbestimmtheiten und im Interesse der Einfachheit der Heizwertbestimmungen läßt Bunte sowohl die gebildete Salpetersäure als auch die Schwefelsäure unberücksichtigt. Die dadurch entstehenden Fehler sind nur bei stark schwefelhaltigen Stoffen von einiger Bedeutung. Verf. berücksichtigt nur die Entstehung von Salpetersäure, und zwar derart, daß er die bei der ersten Berichtigung gefundene Zahl um $8 \div 10$ gWE aufrundet.

Da sich der Einfluß der Umgebung auf die Temperatur des Kalorimeterwassers selbst bei sorgfältigster Isolierung nicht ausschließen läßt, so ist es nötig, der durch das Thermometer festgestellten Differenz der Temperaturen des Kalorimeterwassers vor der Zündung und bei Erreichung des Temperaturmaximums eine Berichtigungszahl hinzuzufügen. Regnault und Pfaundler haben zu dieser dritten Berichtigung eine Formel aufgestellt, die von Stohmann verbessert wurde. Sie ist zum ersten Male in dem Flugblatte Nr. 7 des Magdeburger Vereins für Dampfkesselbetrieb veröffentlicht und lautet:

$$\text{Berichtigung} = \frac{v - v'}{\tau' - \tau} \cdot \left(\frac{t_2 - t_1}{9} + \frac{t_1 - t_n}{2} + \sum_1^{n-1} (t) - n \cdot \tau \right) - (n - 1) \cdot v.$$

Hierin bedeutet:

v	= Mittel der vor der Zündung abgelesenen minutlichen Temperaturänderungen,
v'	= Mittel der im Nachversuche abgelesenen minutlichen Temperaturänderungen,
τ	= Mittel der Temperaturablesungen des Vorversuches,
τ'	= „ „ „ „ Nachversuches,
$t_1, t_2 \dots t_n$	= „ „ „ „ Hauptversuches,
n	= Anzahl „ „ „ „

Die vierte Berichtigung ist nötig, weil die käuflichen Thermometer, auch wenn es beste Erzeugnisse sind, fast nie fehlerfrei sind. Man darf daher zu kalorimetrischen Versuchen, wo schon $\frac{1}{1000}$ Grad eine Rolle spielt, nur solche Thermometer benutzen, die von der physikalisch-technischen Reichsversuchsanstalt geprüft, und deren Fehler in einem Prüfungsscheine niedergelegt sind. Ein derartiger Schein gibt z. B. an, daß das eingesandte Thermometer bei

+14 Grad um 0,01	}	Grad	+20 Grad um 0,01	}	Grad		
+15 „ „ 0,02			+21 „ „ 0,01			} zu hoch	
+16 „ „ 0,01			+22 „ „ 0,01				
+17 „ „ 0,01			+23 „ „ 0,01				} zeigt,
+18 „ „ 0,01			+24 „ „ ohne wesentliche				
+19 „ „ 0,01			Fehler ist.				

Die vorstehend angegebenen Fehler gelten nur unter der Voraussetzung, daß der Quecksilberfaden seiner ganzen Länge nach sich in der zu messenden Temperatur befindet. Wenn dagegen, wie es bei den vorliegenden Versuchen stets der Fall ist, ein Teil des Fadens aus dem Kalorimeterwasser, dessen Temperatur gemessen werden soll, herausragt, so ist zu der abgelesenen und nach den vorstehenden Fehlerangaben berichtigten Temperatur die Verbesserung $\frac{x(T-t)}{6300}$ hinzuzufügen, wobei x die in Graden ausgedrückte Länge des herausragenden Teiles des Quecksilberfadens, T die zu messende Temperatur und t die mittlere Temperatur des herausragenden Fadens bedeutet. Letztere wird durch ein Hilfsthermometer ermittelt, welches neben dem Versuchsthermometer so aufgehängt ist, daß sein Quecksilbergefäß sich in halber Höhe des herausragenden Quecksilberfadens befindet.

Es folgt nun eine vollständig durchgerechnete Heizwertbestimmung. Die untersuchte Kohle ist schlesische Steinkohle.

Zimmertemperatur: 20°.

Gewicht des Kalorimeterwassers = 2100 g.

Gewicht des Eisendrahtes + Kohlenbrikettchen = 1,0959 g

Gewicht des Eisendrahtes allein = 0,0187 g

Gewicht des Kohlenbrikettchens allein = 1,0772 g

Gewicht der Chlorkalziumvorlage:

a) vor dem Versuche = 48,2169 g

b) nach dem Versuche = 48,7605 g

Gewicht des Gesamtwassers = 0,5436 g

Gewicht des Wassers im Sauerstoff = 0,0250 g

Gewicht des Wassers in der Kohle = 0,5186 g = 48,1%.

Gang der Temperaturen.

Nr.	Vorversuch		Hauptversuch		Nachversuch		Bemerkungen
	Ableseung $\tau =$	Diff. $v =$	Ableseung $t_1, t_2, t_3 \dots =$	Korr. Ableseung $t =$	Ableseung $\tau' =$	Diff. $v' =$	
1	18,752°	+	18,759°	18,749°	21,744°	—	
2	18,753	0,001°	19,170	19,160	21,742	0,002°	
3	18,754	0,001	20,530	20,520	21,738	0,004	
4	18,755	0,001	21,240	21,230	21,733	0,005	
5	18,756	0,001	21,590	21,580	21,728	0,005	
6	18,757	0,001	21,720	21,710	21,723	0,005	
7	18,758	0,001	21,749	21,739	21,718	0,005	
8	18,759	0,001	Diff.				
9	18,759	0,000	$t_n - t_1 =$	2,990°			
Sa.	168,803°	0,007°			152,126°	0,026°	
Mittel	18,756°	0,001°			21,732°	0,004°	

$$\begin{aligned}
 \text{Berichtigung} &= \frac{v - v'}{\tau' - \tau} \cdot \left(\frac{t_2 - t_1}{9} + \frac{t_1 + t_n}{2} + \sum_1^{n-1} (t) - n \cdot \tau \right) - (n - 1) \cdot v \\
 &= \frac{0,001 + 0,004}{21,732 - 18,756} \cdot \left(\frac{19,160 - 18,749}{9} + \frac{18,749 + 21,739}{2} \right. \\
 &\quad \left. + 122,949 - 7 \cdot 18,756 \right) - 6 \cdot 0,001 \\
 &= + 0,014^\circ.
 \end{aligned}$$

Wirkliche Temperaturzunahme = $2,990^\circ + 0,014^\circ = 3,004^\circ$.

Gewicht des Kalorimeterwassers = 2100 g

Wasserwert des Kalorimeters = 340 g (aus Vorversuchen bestimmt).

Sa. = 2440 g.

Im ganzen erzeugte Wärmemenge:

$$\begin{aligned}
 &= 3,004 \cdot 2440 \text{ gWE} \\
 &= 7329,76 \text{ gWE}.
 \end{aligned}$$

An dieser gesamten Wärmeentwicklung sind beteiligt:

- die verbrannte Kohle,
- der verbrannte Zünddraht,
- die Bildungswärme geringer Mengen von Salpetersäure und Schwefelsäure.

Der gesuchte Heizwert der Kohle stellt sich dar in der Formel:

$$\begin{aligned}
 \text{Heizwert} &= [a - (b + c)] : 1,0772, \\
 &= [7329,76 - (b + c)] : 1,0772.
 \end{aligned}$$

0,0187 g Eisendraht geben bei vollständiger Verbrennung zu Eisenoxyd:

$$0,0187 \cdot 1601 \text{ gWE} = 29,9 \text{ gWE} \approx 30 \text{ gWE} = b \text{ gWE}.$$

Für die gebildeten Säuren werden $10 \text{ gWE} = c \text{ gWE}$ in Abzug gebracht.

Also ist der gesamte, in der Bombe entwickelte Heizwert der Kohle

$$\begin{aligned}
 &= [7329,76 - (30 + 10)] : 1,0772 \\
 &= \approx 6767,3 \text{ WE} = \text{oberer Heizwert}.
 \end{aligned}$$

Für die festgestellten 48,1% Gesamtwasser in der Kohle sind in Abzug zu bringen:

$$48,1 \cdot 6 \text{ WE} = 288,6 \text{ WE.}$$

Der untere Heizwert der untersuchten Kohle beträgt also:

$$(6767,3 - 288,6) \text{ cal} = 6478,7 \text{ WE.}$$

Das Kalorimeter nach Parr. Diese Einrichtung zur Bestimmung des Heizwertes von Brennstoffen hat mit der zuletzt beschriebenen Krökerschen Bombe das eine gemeinsam, daß sie ebenfalls auf der von Berthelot angegebenen Idee aufbaut, wonach bei Heizwertbestimmungen während des Versuches Gase weder zugeführt noch nach außen abgeleitet werden dürfen, daß vielmehr alle Vorgänge sich in dem geschlossenen Raume innerhalb des Kalorimeters abspielen müssen.

Im Unterschiede zur Krökerschen Bombe wird beim Parrschen Kalorimeter der zur Verbrennung nötige Sauerstoff erst durch die Verbrennung selbst entwickelt, und zwar aus einem Körper, der noch die Eigenschaft hat, die Verbrennungsprodukte im Augenblicke ihrer Entstehung an sich zu ketten, so daß also im Verbrennungsraume höherer Druck weder nötig ist, noch solcher erzeugt wird.

Als solcher Körper wird Natrium-superoxyd (NaO) angewendet, welches die bei der Verbrennung entstehende Kohlensäure (CO_2) und das Wasser in Form von Natriumkarbonat bzw. Natriumhydrat bindet.

Der für den Versuch ausgewählte Brennstoff wird mit einer gewissen Menge Natrium-superoxyd gemischt, in ein vollkommen dicht verschließbares, zylindrisches Gefäß, die Patrone, gefüllt und durch ein glühendes Metallstiftchen zur Entzündung gebracht.

Die Patrone ist dabei im Kalorimeter untergebracht.

Dieses besteht, wie Abb. 18 zeigt, aus dem Messinggefäße *A*, welches sich zum Schutze gegen Einflüsse von außen in einem aus Hartpapier hergestellten Behälter *C* befindet, der aus dem gleichen Grunde von einem zweiten Hartpapiergefäße *B* umgeben ist. Ein doppelter Deckel verschließt diese beiden Gefäße *C* und *B*.

Die Patrone *D* ist in der Achse des ganzen Kalorimeters so angeordnet, daß sie unten mit einer körnerartigen Vertiefung im Boden auf einer auf einem Dreifuße ruhenden Spitze gelagert ist, während ihr oberer Teil durch den Doppeldeckel geführt ist und außen einen Schnurlauf *P* trägt. Auf dem genannten Dreifuße im Innern des Kalorimetergefäßes *A* ruht noch ein beiderseits offener Blechzylinder *E*, der die Patrone *D* bis über die Hälfte ihrer Höhe umgibt. Die Patrone

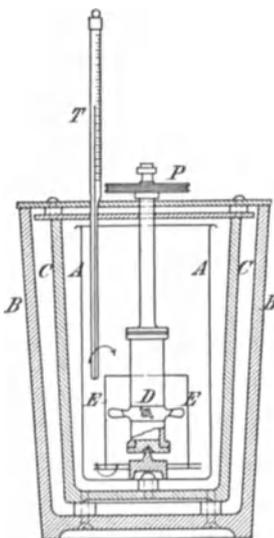


Abb. 18.

befindet sich während des Versuches in Drehung. Vier kleine, an ihrem Umfange sitzende Schraubenflügel setzen das Wasser in *A* in Bewegung, und es ist Aufgabe des Blechzylinders *E*, diesen Umlauf so zu leiten, daß er in der durch den Pfeil angedeuteten Weise stattfindet. Der Antrieb der Patrone kann von einer kleinen Wasserturbine aus oder durch einen Elektromotor geschehen. Die dazu nötige Kraft ist sehr klein; es genügt schon die für eine 10 kerzige Glühlampe nötige Energiemenge.

In Abb. 19 ist die Patrone in etwas größerem Maßstabe im Schnitte dargestellt. Sie besteht in der Hauptsache aus einem zylindrischen Gefäße *A*, welches an beiden Enden mit Innengewinde versehen ist, unten, um den Verschußdeckel *B* dicht einschrauben, oben, um in gleicher Weise den zweiten Verschußdeckel *C* gasdicht einsetzen zu können.

Zur sicheren Abdichtung dieser beiden Deckel werden Lederringe als Dichtung zwischen Deckel und Mantel eingesetzt.

Der obere Deckel *C* ist zu einem hohlen Stängelchen ausgebildet, in welchem ein in der Längsrichtung durchbohrter Stift *E*, der unten ein einfaches Ventil *D* trägt, beweglich angeordnet ist.

Eine Spiralfeder sorgt dafür, daß der Stift *E* stets seine höchste Stellung einnimmt, daß also das Ventil *D* für gewöhnlich geschlossen ist. Der obere Knopf des Stiftes ist abschraubbar, um jederzeit das Ventil *D* und die Spiralfeder herausnehmen und alle Teile gründlich reinigen zu können.

Da das Kalorimeter ein sehr rasches Arbeiten ermöglichen soll, so sind ihm verschiedene Hilfsapparate beigegeben; ebenso ist das noch zu beschreibende Verfahren beim Experimentieren selbst, obigem Zwecke entsprechend, nach ganz bestimmten Regeln zugeschnitten.

Vorbereitungen zum Versuche. Das Kalorimeter nebst allem Zubehör ist einige Stunden vor Ausführung des Versuches in den Experimentierraum zu bringen, damit alle Teile Zimmertemperatur angenommen haben. Das zur Verwendung kommende Kalorimeterwasser hat aus dem gleichen Grunde in einem beigegebenen Meßkolben, der, bis zu einer Strichmarke gefüllt, 2 l Wasser faßt, mindestens 1 Stunde vor Beginn des Versuches im Versuchszimmer gestanden.

Da die Temperatursteigerung, die das Kalorimeterwasser während des Versuches erfährt, rd. $2 \div 3^\circ$ beträgt, und die Einflüsse der Umgebung des Kalorimeters auf die Temperatur des Kalorimeterwassers für praktische Zwecke unberücksichtigt bleiben können, wenn die Zimmertemperatur in der Mitte der Anfangs- und Endtemperatur des Wassers liegt, so kühlt man das im Meßkolben aufbewahrte Wasser unmittelbar vor dem Versuche um $1 \div 1\frac{1}{2}^\circ$ ab. Dieses Abkühlen geschieht am einfachsten, indem man den Meßkolben unter die Wasserleitung nimmt und ihn äußerlich von kälterem Wasser so lange berieseln

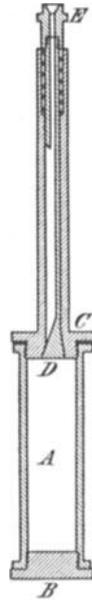


Abb. 19.

läßt, bis ein in den Kolben eintauchendes Thermometer die gewünschte Temperatur anzeigt.

Der Dreifuß, ebenso wie der Zylinder *E* werden, nachdem sie gut abgetrocknet sind, in das aus dem Hartpapierbehälter genommene Kalorimetergefäß *A* (Abb. 18) gestellt; hierauf füllt man vorsichtig das Kalorimeterwasser aus dem Kolben in *A* ein.

Patrone, Deckel, Stängelchen, Ventil und Spiralfeder werden sorgfältig abgetrocknet.

Ebenso wie das Kalorimeterwasser nur dem Volumen nach bestimmt wurde, werden die zur Anwendung kommenden Reagenzien nicht gewogen, sondern volumetrisch gemessen.

Die zu untersuchende Durchschnittsprobe der Kohle muß gut getrocknet sein; sie soll nur $2 \div 3\%$ Feuchtigkeit enthalten.

Braunkohle muß so weit zerkleinert werden, daß sie durch ein Sieb mit 0,3 mm Maschenweite geht, Steinkohle, Anthrazit und Koks sind noch feiner zu pulverisieren.

Die Patrone, deren Boden man eingeschraubt hat, stellt man auf einen Bogen weißes Papier und streicht nun mittels eines Pinsels die Kohlenprobe vom Uhrglase, auf welchem man sie abgewogen hat, in das Innere der Patrone. Danebenfallende Kohleteilchen werden natürlich von dem Papiere aus ebenfalls in die Patrone gepinselt.

In einem beigegebenen Meßbecher, der, wenn er bis zum Streichmaße gefüllt ist, gerade 10 g Natriumsuperoxyd enthält, gibt man dieses Reagens ebenfalls in die Patrone und verschließt diese.

Es ist besonders sorgfältig darauf zu achten, daß das Natriumsuperoxyd möglichst wenig mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommt, weshalb es in einer gut schließenden Glasflasche aufzubewahren ist. Mit feuchten Körpern, wie z. B. Kohle, Sägespäne usw., darf Natriumsuperoxyd nicht zusammengebracht werden, da sonst leicht ein Entzünden eintritt.

Wenn die Patrone geschlossen ist, wird der Knopf *E* zur Sicherung des Ventilschlusses nach oben gedrückt und die Patrone tüchtig hin und her geschüttelt und zum Schlusse auf den Tisch gestoßen, damit sich der Inhalt zu Boden setzt.

Ausführung des Versuches. Man befestigt die Flügel an der Patrone und setzt letztere auf die Spitze des Dreifußes (Abb. 18); alsdann bedeckt man die Hartpapiergefäße mit dem Doppeldeckel, steckt den Schnurlauf auf das Stängelchen, legt die Treibschnur um und setzt endlich das Thermometer *T* (Abb. 18) ein. Hierauf bringt man den Elektromotor oder die Wasserturbine in Gang. Der Umlauf der Patrone muß im Sinne des Zeigers der Uhr erfolgen.

Dann beobachtet man die Temperatur des Kalorimeterwassers so lange, bis sie konstant geworden ist, was gewöhnlich nach 3 bis 4 Minuten eintritt. Nach festgestellter Temperaturkonstanz wird ein inzwischen in einer Bunsenflamme lebhaft rotglühend gemachtes Eisenstäbchen durch die Bohrung des Knopfes *E* gesteckt, letzterer rasch niedergedrückt, damit das Stäbchen in das Innere der Patrone gelangen kann, worauf man den Knopf ebenso rasch zurückgehen läßt,

damit keine Gase aus der Patrone entweichen können. Dadurch, daß das Gemisch von Natriumsuperoxyd und Kohle zur Entzündung gekommen ist, fängt das Thermometer an, rasch zu steigen, bis nach Verlauf von etwa 5 Minuten das Temperaturmaximum eintritt. Dieses ist natürlich scharf zu beobachten, was leicht möglich ist, da das Thermometer T mit Sicherheit Ablesungen bis auf $0,005^\circ$ gestattet. Der Versuch ist beendet.

Um sich zu überzeugen, ob aller Kohlenstoff verbrannt ist, legt man die von ihren Deckeln befreite Patrone in warmes Wasser (was auch schon zum Zwecke der gründlichen Reinigung nötig ist) und neutralisiert die Lösung der Verbrennungsrückstände in diesem Wasser mit Salzsäure.

Berechnung der Versuchsergebnisse.

Der Wasserwert des Kalorimeters einschließlich einer in das Wasser reichenden Eintauchlänge des Thermometers von 14 cm beträgt 123,5 g. Dieser Wert ändert sich durch Austausch der Patrone nicht, da sämtliche Patronen aus dem gleichen Materiale gefertigt und von demselben Gewichte sind.

Gewicht des Kalorimeterwassers	= 2000 g
Summe der Wasserwerte	= 2123,5 g
Gewicht des Eisenstäbchens (konstant)	= 0,4 g
Spezifische Wärme des Eisens	= 0,12 (WE)
Temperatur der Rotglut	= 700°

Also Wärmemenge, die durch das glühende Eisenstäbchen zugeführt wurde,

$$= 0,4 \cdot 700 \cdot 0,12 \text{ gWE} = 33,6 \text{ gWE}.$$

2123,5 gWE ergeben eine Temperaturerhöhung von 1° ,

33,6 gWE ergeben eine Temperaturerhöhung von $0,015^\circ$.

Man hat also für das glühende Eisenstäbchen einen Abzug von $0,015^\circ$ zu machen.

Abgelesene Temperaturerhöhung = T° ,

in Rechnung zu ziehende Temperaturerhöhung $t = T^\circ - 0,015^\circ$.

Wie nun genaue Versuche gezeigt haben, entfallen von der Temperaturerhöhung t° 73% auf die eigentliche Verbrennung und 27% auf die Reaktion der Verbrennungsprodukte mit dem Reagens.

Verbrennt man also 1 g Braunkohle, so sind

$$\begin{aligned} 0,73 \cdot 2123,5 \cdot t \text{ WE} &= 1550,1 \cdot t \text{ WE} \\ &= \infty 1550 \cdot t \text{ WE} \end{aligned}$$

auf Rechnung der Kohle zu setzen.

Der Heizwert der Braunkohle findet sich also bei obiger Versuchseinrichtung einfach, wenn man die berichtigte Temperaturerhöhung mit 1550 multipliziert.

Ist Steinkohle zu untersuchen, so wiegt man nur 0,5 g der Durchschnittsprobe ab, vermischt diese mit 10 g Natriumsuperoxyd und mengt außerdem noch 0,5 g Weinsäure bei.

Für diese Weinsäuremenge sind nach diesbezüglichen Versuchen
in Abzug zu bringen: $0,835^\circ$
Für das glühende Eisenstäbchen sind in Abzug zu bringen: $0,015^\circ$
Insgesamt: $0,85^\circ$

Im übrigen ist der Rechnungsgang derselbe wie bei Braunkohle, nur ist die berichtigte Temperaturerhöhung t mit $2 \cdot 1550 = 3100$ zu multiplizieren, um den Heizwert von 1 g Steinkohle zu erhalten.

Bei Anthrazit mischt man außer 10 g Natriumsuperoxyd noch 0,5 g Weinsäure und 1 g Kaliumpersulfat bei, wodurch sich eine Gesamtberichtigung der abgelesenen Temperaturerhöhung von $0,99^\circ$ ergibt.

Das Kalorimeter nach Axer. Dieses unterscheidet sich von dem Parrschen Kalorimeter grundsätzlich nur durch die Art der sauerstoffliefernden Chemikalien und der Zündung. Der mit diesen Chemikalien gemischte Brennstoff wird in eine offene Patronenhülse gefüllt, letztere mit einem Zündschwämmchen versehen und in eine Verbrennungsglocke eingesetzt. Nach Entzünden des Schwämmchens wird die Verbrennungsglocke in ein mit 4000 g Wasser gefülltes Glasgefäß gestülpt, worauf die Verbrennung erfolgt. Die Wassertemperatur wird in der üblichen Weise bis zur Erreichung der Höchsttemperatur beobachtet. Aus der Wassermenge, der Temperaturzunahme des Wassers und der Apparatkonstanten läßt sich der obere Heizwert annähernd berechnen. Vor Ausführung der Untersuchung ist die Temperatur des Wassers auf 2° unter Zimmertemperatur einzustellen. Die Kohlenprobe ist in einem Mörser so fein zu stampfen, daß sie durch das beigegebene Sieb geht. Nur bei Anthrazit ist es notwendig, die Probe noch feiner zu stampfen und dem Sieb eine Einlage aus feiner Seide zu geben. Die genau gewogene Kohlenprobe ist mit den Chemikalien in einer Porzellanschale gut zu mischen. Die einzufüllenden Mengen sind folgende.

Steinkohlenuntersuchung: 2 g Kohlenpulver, 18 g phosphorsaures Kali, 2 g Kalisalpet (also 20 g Mischsalz). Berechnungsbeispiel:

Wassertemperatur vor der Verbrennung	12,9145°
Höchste Wassertemperatur	16,3745°
Temperaturzunahme	<u>3,4600°</u>
Dazu 6% Apparatkonstante $3,46 \cdot 0,06$	= 0,2076°
Von 2 g Kohle herrührend	<u>3,6676°</u>
Oberer Heizwert der Kohlenprobe $3,6676 \cdot \frac{4000}{2}$	= 7335 WE/kg.

Anthrazituntersuchung: 1,5 g Kohlenpulver, 24 g Mischsalz in dem oben angegebenen Verhältnis, 0,5 g Naphthalin. Berechnungsbeispiel:

Temperaturzunahme des Wassers	3,3860°
Abzug für Verbrennung des Naphthalins	<u>0,7000°</u>
Von 1,5 g Anthrazit herrührend	<u>2,6860°</u>
Dazu 6% Apparatkonstante $2,6860 \cdot 0,06$	= 0,1610°
Von 1,5 g Anthrazit herrührend	<u>2,8470°</u>
Oberer Heizwert der Probe $\frac{2,8470 \cdot 4000}{1,5}$	= 7592 WE/kg.

Koksuntersuchung: 0,2 g Kokspulver, 1,8 g einer guten Gaskohle, deren Heizwert vorher für sich zu bestimmen ist, 22 g Mischsalz. Berechnungsbeispiel:

Temperaturzunahme des Wassers	3,3400°
Dazu 6% Apparatkonstante $3,34 \cdot 0,06$	= 0,2004°
Von $0,2 + 1,8 = 2,0$ g Brennstoffgemisch herrührend	<u>3,5404°</u>
Oberer Heizwert des Brennstoffgemisches $\frac{3,5404 \cdot 4000}{2,0}$	= 7080 WE/kg
Oberer Heizwert der Gaskohle (vorherbestimmt)	= 7092 „
1 kg Gemisch enthält $\frac{1,8}{2}$ kg Gaskohle und	
$\frac{0,2}{2}$ kg Koks.	

Für die Gaskohle vom Heizwert des Gemisches abzuziehen $\frac{1,8}{2} \cdot 7092 = 6383$ WE

Also enthalten $\frac{0,2}{2}$ kg Koks $7080 - 6383 = 679$ WE

Oberer Heizwert der Koksprobe $679 : \frac{0,2}{2} = 6790$ WE/kg.

Braunkohlenuntersuchung: Wegen des gewöhnlich hohen Wassergehaltes ist die Probe durch Erhitzen auf 105° zu trocknen und nochmals zu pulvern. 1,5 g Kohlenpulver, 8 g chloresures Kali, 1 g Kalisalpeter. Berechnungsbeispiel:

Kohlengewicht vor der Trocknung	50,0 g
Kohlengewicht nach der Trocknung	<u>32,5 g</u>
Wassergehalt	<u>17,5 g</u>
Wassergehalt $\frac{17,5 \cdot 100}{50}$	= 35,0%
Trockensubstanz	65,0%
Temperaturzunahme des Wassers	1,926°
Dazu 6% Apparatkonstante $1,926 \cdot 0,06$	= 0,116°
Von 1,5 g Kohle herrührend	<u>2,042°</u>
Heizwert der Trockensubstanz $\frac{2,042 \cdot 4000}{1,5}$	= 5445 WE/kg.

Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes auf den Heizwert eines Brennstoffes.

Der Heizwert eines Brennstoffes ist von dem bei seiner Verbrennung ermittelten Gesamtwasser abhängig. Dieses rührt zum größten Teile von dem hygroskopischen Wasser, also von der natürlichen Feuchtigkeit des Brennstoffes her.

Da letztere bei ein und demselben Brennstoff großen Schwankungen unterworfen ist, so ist die Angabe des Heizwertes nur dann von Bedeutung, wenn gleichzeitig der Feuchtigkeitsgehalt angegeben ist, den der Brennstoff zur Zeit der Untersuchung hatte.

Ein Zusatz, wie z. B. „die Kohle wurde in grubenfeuchtem Zustande“ untersucht, ist nichtssagend, da der Begriff „grubenfeucht“ nichts weniger als feststehend ist.

Besonders bei Braunkohlen, die frisch gefördert, oft 50% und mehr Feuchtigkeit aufwiesen, können bei der Wertschätzung bedeutende Irrtümer durch Nichtangabe des Feuchtigkeitsgehaltes der untersuchten Probe entstehen.

Da aber

$$H' = h',$$

so ist

$$\frac{H}{100 - W} = \frac{h}{100 - w}$$

oder

$$H = \frac{100 - W}{100 - w} \cdot h.$$

Die Bestimmung des Heizwertes gasförmiger Brennstoffe.

Das Junkerssche Kalorimeter. Hierzu ließe sich auch die im vorigen Abschnitte beschriebene Krökersche Bombe verwenden, doch wäre das Verfahren mit dieser ebenso verwickelt und zeitraubend wie für feste Brennstoffe. Die chemische Elementaranalyse, zu der man früher stets Zuflucht nahm, wird aber aus bereits dargelegten Gründen gerne umgangen, und man kann dies um so eher tun, als in dem Kalorimeter von Prof. Junkers ein Apparat gegeben ist, mit welchem man ebenso einfach wie rasch und zuverlässig den Heizwert von brennbaren Gasen bestimmen kann. Das Junkerssche Kalorimeter bietet noch den ganz besonderen Vorteil, daß es ununterbrochen arbeitet, also die Ausführung einer ganzen Reihe von Heizwertbestimmungen ein und desselben Gases ermöglicht, ohne daß jede einzelne Bestimmung, wie es sowohl bei der Bombe als auch bei der chemischen Elementaranalyse der Fall wäre, besonders vorbereitet wird. Dank diesem Vorzuge ist es möglich, innerhalb verhältnismäßig kurzer Zeit einen guten Durchschnittswert zu bestimmen, was z. B. bei Leuchtgas, welches, selbst wenn es aus großen Behältern entnommen wird, nicht selten seine Zusammensetzung rasch ändert, die Genauigkeit der gewonnenen Ergebnisse wesentlich erhöht.

Die Arbeitsweise des Apparates ist folgende:

Das zu untersuchende Gas strömt dem Kalorimeter ununterbrochen zu und verbrennt im Apparate. Die dabei erzeugte Wärme geht an das Wasser über, welches das Kalorimeter stetig durchfließt.

Der ermittelte Heizwert ist nur dann richtig, wenn die Abkühlungs- und Strahlungsverluste des Kalorimeters so gering sind, daß sie vernachlässigt werden dürfen, und wenn die Temperatur der aus dem Kalorimeter abziehenden Verbrennungsgase gleich der Lufttemperatur ist.

Um nun den Heizwert H eines Gases zu finden, ist nur die Feststellung folgender Größen nötig:

1. die Gasmenge G , welche innerhalb einer gewissen Zeit im Kalorimeter verbrennt;
2. die Wassermenge W , welche innerhalb derselben Zeit durch das Kalorimeter fließt;
3. die Temperaturerhöhung $T_a - T_e$, welche diese Wassermenge im Kalorimeter erfährt.

Der gesuchte Heizwert ist dann:

$$H = \frac{W \cdot (T_a - T_e)}{G}.$$

Die Einrichtung des Junkersschen Kalorimeters ist aus Abb. 20 deutlich zu ersehen:

Der Apparat besteht im wesentlichen aus einem herausnehmbaren, die Wasser- und die Verbrennungskammer in sich schließenden Innenkörper, einem Außenmantel mit Füßen, Boden, Deckel und der Wasser- und der Gasarmatur.

Gas- und Wasserweg werden in der Hauptsache von zwei konzentrisch angeordneten Blechmänteln begrenzt. Die Verbrennungsgase geben auf ihrem ganzen Wege ihre Wärme an von fließendem Wasser bespülte Blechwandungen ab, ohne mit dem Wasser in Berührung zu kommen.

Die eigentliche Verbrennungskammer 45, in welcher das Gas in einem gewöhnlichen, regelbaren Bunsenbrenner 23 verbrannt wird, bezweckt nur in geringem Maße eine Wärmeübertragung an das Wasser, vielmehr soll in ihr eine vollkommene Verbrennung erreicht werden, verbunden mit einem guten Auftrieb der Verbrennungsgase.

Oben, wo die Verbrennungskammer kegelförmig abgeschlossen ist, ändern die heißen Gase ihre Strömungsrichtung, um in einen ringförmigen Spalt einzutreten.

Konzentrisch zur Verbrennungskammer ist ein Röhrenheizkörper eingebaut, der in seiner ganzen Ausdehnung von den heißen Gasen bestrichen wird und als der eigentliche, die Wärme aufnehmende Teil anzusehen ist. Durch Anwendung des Gegenstroms zwischen Gas und Wasser findet hier eine vollkommene Wärmeabgabe an das Wasser statt. Durch den vernickelten und polierten Außenmantel, welcher eine ruhende Luftschicht umschließt, ist die Wärmeausstrahlung auf das geringste Maß beschränkt. Eine Sammelkammer nimmt die bis auf Zimmertemperatur abgekühlten Gase auf, welche schließlich durch den schräg ansitzenden Abgasstutzen 16 in die Atmosphäre abgeführt werden. Zur Regelung des Verbrennungsvorganges bzw. des Luftüberschusses dient die verstellbare Drosselklappe 17. Das Thermometer 13 ist zum Messen der Abgastemperatur bestimmt.

Im folgenden seien die Einzelteile zusammen mit der Aufstellung des Kalorimeters beschrieben:

Zunächst wird das Kalorimeter so aufgestellt, daß der Hahn 1 zur Regelung des Wasserzuflusses sich links befindet und das Lot 9 einspielt; dann können die beiden in $\frac{1}{10}^\circ$ eingeteilten Wasserthermometer mittels der Lupen 14 gut abgelesen werden. Der Wasseranschluß 2 wird durch einen Gummischlauch mit der Wasserleitung verbunden. Das Wasser fließt durch das Rohr 1 unter stets gleichbleibendem Druck dem Apparate zu, während der über den Überlauf 4 fließende Wasserüberschuß durch das Rohr 3 nach einem Trichter abströmt. Will man nicht nur den Druck, sondern auch die Temperatur des zufließenden Wassers gleichhalten, dann entnimmt man zweckmäßig das Wasser

einem mit Schwimmkugelhahn versehenen Vorratsbedälter von etwa 120 l Fassungsraum, dessen Inhalt die Temperatur des Versuchsraumes annimmt. Zur besonderen Überwachung des Überlaufes, der ständig in Tätigkeit sein muß, ist in die am Stutzen 3 angeschlossene Schlauchleitung ein kurzes Glasrohr einzuschalten. Das große Wasser-Meßgefäß 19 wird auf eine empfindliche Wage 25 gestellt, die bei 20 kg Belastung durch ein Übergewicht von 1 g noch aus schlagen muß. Nachdem das

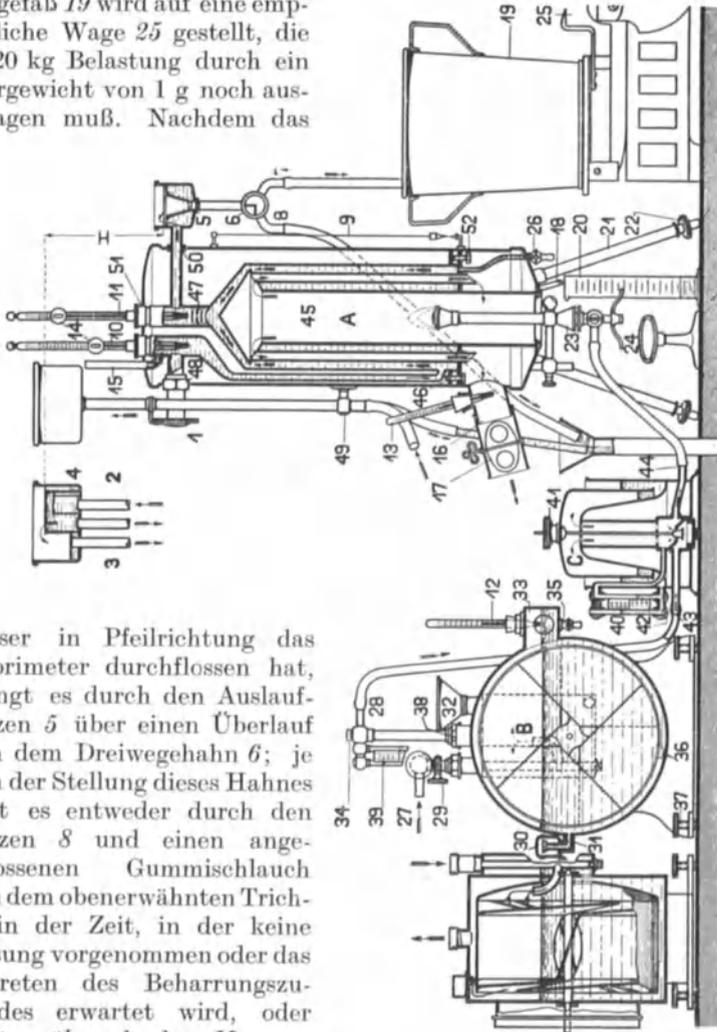


Abb. 20.

Wasser in Pfeilrichtung das Kalorimeter durchflossen hat, gelangt es durch den Auslaufstutzen 5 über einen Überlauf nach dem Dreiwegehahn 6; je nach der Stellung dieses Hahnes fließt es entweder durch den Stutzen 8 und einen angeschlossenen Gummischlauch nach dem obenerwähnten Trichter in der Zeit, in der keine Messung vorgenommen oder das Eintreten des Beharrungszustandes erwartet wird, oder fließt während der Messung

durch den Stutzen 7 und einen Gummischlauch nach dem Meßgefäß 19. Die Umschaltung geschieht augenblicklich, ohne daß ein Schlauch herumgeschwenkt werden muß, wodurch das Wasser aufgestaut werden würde. Das durch die Verbrennung des Wasserstoffs entstehende Wasser sammelt sich an den Kalorimeterwandungen und fließt durch den Stutzen 18 ab, unter den bei Beginn des Versuches das kleine Meßgefäß 20 gestellt

wird. Das Thermometer *13* dient zur Messung der Abgastemperatur. Das Rohr *15* bewirkt beim Auffüllen des Apparates die Entlüftung.

Zur Messung der Gasmenge ist der Gasmesser *B* vorhanden, der durch die Stellschrauben *37* nach der Libelle *38* wagerecht einzustellen ist. Vor der Füllung des Gasmessers mit Wasser ist der Zeiger auf *5 l* einzustellen; nur bei dieser Stellung können sich keine Luftsäcke in der Meßtrommel bilden. Das Gas tritt durch den Stutzen *27* ein und durch den Stutzen *28* aus. Nach Entfernung der Verschlußschraube des Fülltrichters *32*, nach Öffnen der Entlüftungsschraube *34* und des Hahnes *31* am Spiegelüberlauf *30* wird das Wasser langsam in den Fülltrichter eingegossen. Im Kästchen *30* befindet sich ein trichterartiges Rohr, das nach vollendeter Füllung genau mit dem Wasserspiegel abschneidet. Hält man nach beendigter Füllung eine weiße Karte so über den Trichter, daß man ihr Spiegelbild im Wasser sieht, so ist die Füllung richtig, sobald das Spiegelbild gerade ist. Bei vorhandener Krümmung nach oben oder unten muß Wasser zu- oder abgelassen werden. Das Ablassen geschieht durch Öffnen des Hähnhens *35*. Nach erfolgter Füllung sind sämtliche Hähne *31*, *34* und *35* zu schließen und die Verschlußschraube in dem Trichter *32* wieder einzusetzen. Das Manometerglas *39* ist bis zur Nullmarke mit gefärbtem Wasser zu füllen. Das gut dicht einzusetzende Thermometer *12* dient zur Messung der Gastemperatur, der Hahn *29* zur genauen Einstellung der stündlichen Gasmenge.

Durch den Gasdruckregler *C* wird der Gasdruck konstant erhalten. Zur Auffüllung des Reglers wird Wasser in den ringförmigen Spalt zwischen Außenmantel und Reglerglocke bis zur Nullmarke des Manometerröhrchens *40* eingegossen. Die Belastungsscheiben *41* (je *20 g*) ermöglichen eine Veränderung des Gasdruckes um je *2 mm* Wassersäule. Der Regler kann durch Lösen der Schlitzschraube *42* entleert werden.

Die Gesamtanordnung ist in Abb. 21 wiedergegeben. Vor der Inbetriebsetzung ist das Kalorimeter auf Wasser- und Gasdichtheit nachzuprüfen. Aus dem mit Wasser gefüllten Apparat darf nur bei *5* Wasser austreten. Setzt man die fertig zusammengebaute Einrichtung unter Gasdruck und schließt man den Brennerhahn *23*, dann muß der Zeiger des Gasmessers vollkommen stillstehen. Hierauf ist der Dreiwegehahn *6* so zu stellen, daß das Wasser nach *8* abfließen kann, und der Wasserzufluß langsam geöffnet. Der Einstellhahn *1* ist so zu stellen, daß durch den Stutzen *3* ständig Wasser ausfließt. Nur in diesem Falle ist die Wasserüberdruckhöhe *H* stets unverändert. Dann öffnet man den Hahn in der Gasleitung und läßt zunächst auf zwei Umgänge des Gasmessers Gas entweichen, wobei man die Glocke des Reglers auf und ab bewegt, um die Luft zu verdrängen. Dann wird der Brenner entzündet, auf vollkommene, ruhige Verbrennung eingestellt und über den am Boden befindlichen Haltestift zentral in die Verbrennungskammer eingeschoben. Der Brenner kann mit Düsen von verschiedenem Durchmesser versehen werden. Der Gasverbrauch und die Flammengröße ist so zu wählen, daß dem Kalorimeter stündlich nicht mehr als *900–1000 WE* zugeführt werden.

Der Stundenverbrauch ist zu wählen bei Gasen von etwa

	5 000 WE/cbm ob. Heizwert rd. 200 l mit 2 mm Düsenbohrung
4 000	„ „ „ „ 250 l „ 2 mm „
3 000	„ „ „ „ 340 l „ 2,5 mm „
12 000--15 000	„ „ „ „ 500 l „ 4 mm „

Nach Einführung des Brenners in das Kalorimeter beginnt das Warmwasserthermometer *11* zu steigen, bis der Beharrungszustand erreicht ist. Die durchfließende Wassermenge ist durch den Hahn *1* so einzustellen, daß der Temperaturunterschied zwischen dem warmen und dem kalten Wasser $10\div 12^{\circ}\text{C}$ beträgt. Mit dem Versuch

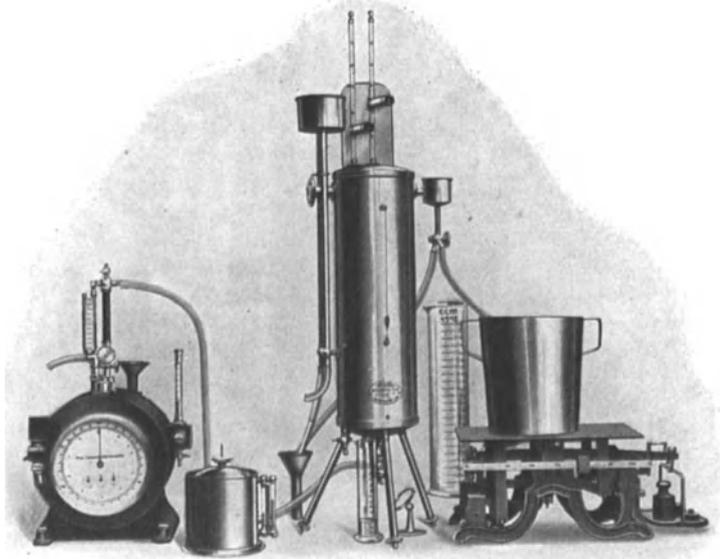


Abb. 21.

darf erst dann begonnen werden, wenn das Warmwasserthermometer *11* seinen höchsten Stand erreicht hat, ihn dauernd beibehält und wenn das Kondenswasser am Abflußröhrchen *18* gleichmäßig abtropft.

Ausführung des Versuches. Man führt zweckmäßig zwei Versuche aus, den ersten zur Bestimmung der Kondenswassermenge mit 60 l Gas und den zweiten mit 10 l Gas zur Bestimmung des oberen Heizwertes.

1. Versuch: Beim Durchgang des Zeigers des Gasmessers durch eine volle Literzahl wird der Meßzylinder *20* unter das Abflußröhrchen *18* gestellt. Der Stand des Gasmessers wird aufgeschrieben und durch Addition von 60 l die Zahl vorausbestimmt, bei deren Erreichung der Meßzylinder mit dem aufgefangenen Kondenswasser entfernt werden muß. Der größeren Genauigkeit wegen empfiehlt es sich, das Kondenswasser zu wägen (Genauigkeit 0,5 g).

2. Versuch: Beim Durchgang des Zeigers des Gasmessers durch eine volle Literzahl wird der Schalthahn 6 augenblicklich auf den Stutzen 7 umgestellt, wodurch das Meßwasser in das Meßgefäß 19 geleitet wird. Nach zwei vollen Umgängen des Gasmessers (10 l) wird der Schalthahn auf den Stutzen 8 zurückgestellt, wodurch die Kühlwassermenge bestimmt ist und gewogen werden kann. Während des Versuches werden die beiden Wasserthermometer wechselweise beim

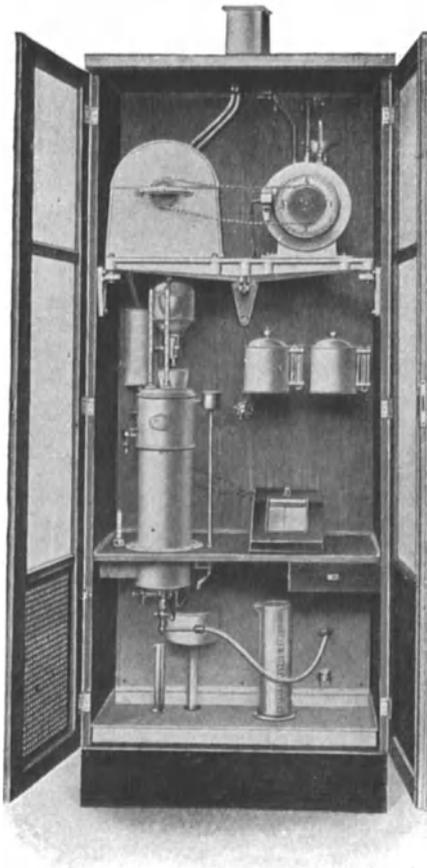


Abb. 22.

Durchgang des Gasmesserzeigers durch je einen Ganz- und Halbliterstrich abgelesen, so daß man bis zum Schluß des Versuches von jedem Thermometer 10 Ablesungen erhält. Vor jeder Ablesung wird leicht mit einem Bleistift an die Thermometer geklopft, um das Hängenbleiben des Quecksilberfadens zu vermeiden. Da die Thermometer in $\frac{1}{10}$ Grade geteilt sind, lassen sich $\frac{1}{100}$ Grade leicht abschätzen. Das Kühlwasser ist mit 1 g Genauigkeit zu wägen. Dieser Versuch ist nach Bedarf ein- oder zweimal zu wiederholen.

Beispiel: Bestimmung der Heizwerte von Leuchtgas.

Barometerstand: $B = 761$ mm QS.

Raumtemperatur: $t_r = 23,5^\circ$.

Barometerstand bei 0° : $B^0 = 758,1$ mm QS.

Temperatur im Gasmesser: $t_g = 21,2^\circ$.

Zugehörige Spannung des Wasserdampfes: $S = 18,7$ mm QS.

Temperatur der Abgase: $t_a = 18,3^\circ$.

Druck im Gasmesser: $p_1 = 35$ mm WS = $2,58$ mm QS.

Eichfaktor des Gasmessers: $f = 1,005$.

Faktor zur Umrechnung des Gasvolumens auf 0° und 760 mm:

$$F = \frac{273}{760} \frac{B_0 + p_1 - S}{t_g + 273} f = \frac{273}{760} \cdot \frac{758,1 + 2,58 - 18,7}{21,2 + 273} \cdot 1,005 = 0,9105.$$

Kondenswasser von $g = 60$ l Gas: $k = 52,3$ g (ccm).

$$\text{Verdampfungswärme } c = \frac{0,6 \cdot k \cdot 1000}{g} = 10 \cdot k = 523 \text{ WE/cbm.}$$

Versuchsergebnisse bei Verbrennung von je $G = 10$ l Gas:

Temperaturablesungen.

	I		II		III	
	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2
1. Ablesung	16,95	26,74	16,92	26,68	16,90	26,70
2. „	95	71	92	73	90	73
3. „	95	83	92	73	90	70
4. „	96	80	92	71	90	70
5. „	95	81	92	70	90	70
6. „	94	81	91	73	90	70
7. „	94	73	91	62	90	64
8. „	93	78	90	70	90	69
9. „	93	80	91	72	90	63
10. „	93	74	92	66	90	64
Mittelwerte	16,943	26,775	16,915	26,698	16,900	26,683
Berichtigung nach Eichschein		-0,02		-0,02		-0,02
Berichtigte Werte	16,94	26,75	16,92	26,68	16,90	26,66
Temperaturunterschied t_a		9,81		9,76		9,76
2. Kühlwasser W g		4048		4067		4074
Obere Heizwerte						
$H_o = \frac{W \cdot t_a}{G}$ WE/cbm	3971		3969		3976	
Mittelwert	3972 WE/cbm					
Unterer Heizwert						
$H_u = H_o - c$ WE/cbm	3972 - 523 = 3449 WE/cbm					
Auf 0° und 760 mm umgerechnet:						
Oberer Heizwert $\frac{H_o}{F} =$	4360 WE/cbm					
Unterer Heizwert $\frac{H_u}{F} =$	3790 WE/cbm					

Prof. Junkers selbsttätig anzeigendes Kalorimeter. Die Wirkungsweise dieses Kalorimeters (Abb. 22) beruht darauf, daß der aus der Formel zur Berechnung des Heizwertes

$$H = \frac{W \cdot (T_a - T_e)}{G}$$

sich ergebende Quotient

$$\frac{W}{G} = \frac{\text{Wassermenge}}{\text{Gasmenge}}$$

konstant gehalten wird. Ist dieser Quotient z. B. bei einem für Leuchtgas eingerichteten selbsttätigen Kalorimeter $= \infty 0,36$, dann ist der gesuchte Heizwert $= 0,36(T_a - T_e)$ für 1 l Gas. Der Heizwert ist also eine Funktion des Temperaturzuwaches, und dieser ist der Maßstab für den Heizwert.

Man kann bei konstantem $\frac{W}{G}$ den Heizwert schon an den Thermometern des Kalorimeters ablesen, und zwar sind hierzu, wie im vorher-

gehenden gezeigt wurde, zwei Ablesungen erforderlich: eine (T_c) am Kaltwasser-, die andere (T_a) am Warmwasserthermometer. Die Differenz dieser beiden Thermometerangaben ist dann mit dem bei jedem Apparate bekannten Quotienten $\frac{W}{G}$ zu multiplizieren. Diese Rechnung und die vorhergehenden Ablesungen fallen nun bei dem selbsttätigen Kalorimeter weg durch die Anwendung eines Thermoelementes, welches von dem Kalt- und Warmwasserstrom umflossen wird. Die Spannung des entstehenden thermoelektrischen Stromes ist genau proportional der Temperaturdifferenz. Es ist also auch der Heizwert proportional der Spannung des erzeugten Stromes. Mißt man diese Spannung durch ein empfindliches Voltmeter, so sind die Angaben des letzteren ein Maßstab für den Heizwert. Die Skala dieses Voltmeters ist derart groß und deutlich, daß man den Heizwert bequem mit $\frac{1}{2}\%$ Genauigkeit ablesen kann. Das verwendete Voltmeter wird mit einer WE-Skala versehen, an welcher der Heizwert unmittelbar abgelesen werden kann. Auch wird es auf Wunsch mit einer selbsttätigen Registriervorrichtung ausgerüstet.

Dadurch, daß die Anzeige des Heizwertes auf elektrischem Wege erfolgt, ist der Vorteil geschaffen, daß die Ablesevorrichtung weit entfernt von dem eigentlichen Kalorimeter aufgestellt werden kann, und daß mehrere Anzeigevorrichtungen mit demselben Kalorimeter verbunden werden können.

Die Abb. 23 zeigt die schematische Anordnung des Kalorimeters.

Die Konstanthaltung des Quotienten $\frac{W}{G}$ wird praktisch erreicht durch die zwangläufige Kuppelung eines Gasmessers 2 mit einem Wassermesser 1, indem der in der Zeiteinheit verbrannten Gasmenge bzw. der Gasmenge jeder Umdrehung des Messers stets eine ganz bestimmte, durch das Kalorimeter fließende Wassermenge entspricht und die Änderung des einen auch die Änderung des anderen zur Folge hat.

Wie schon gesagt, wird hierdurch die Temperaturerhöhung der Maßstab für den Heizwert. Um aber die Ablesung noch einfacher zu gestalten, ist in den Kalt- und Warmwasserweg des Kalorimeters ein Thermoelement eingeschaltet.

Der Kalorimeterkörper, der die Gasflamme aufnimmt und die von derselben entwickelte Wärme an den durchfließenden Wasserstrom abgibt, ist in Abb. 23 mit 10 bezeichnet.

Unter 7 ist ein Zuflußregler dargestellt, der den Wasserzufluß zum Schwimmerkasten dem Bedürfnis entsprechend einstellt. 16 und 17 sind zwei Gasdruckregler, welche den Gasdruck vor und hinter dem Gasmesser innerhalb gewisser Grenzen gleichmäßig erhalten.

Der Zuflußregler 8 sorgt für eine möglichst gleichmäßige Wasserzufuhr zum Wassermesser.

Der Wasseranschluß erfolgt bei 6. Das Wasser fließt zunächst zu dem auf dem Schranke befindlichen Zuflußregler 7, welcher als Schwimmerbehälter ausgebildet ist und die Wassermenge selbsttätig regelt.

Vor dem eigentlichen Eintritt des Wassers in den Wassermesser 1 wird durch den Regler 8 nochmals eine feinfühligere Regelung vorgenommen. Durch eine im Innern des Wassermessers vorgesehene Überlaufvorrichtung tritt das Wasser in das Ausgleichgefäß 9 und sodann in das eigentliche Kalorimeter 10. Das aus demselben ausfließende Wasser wird durch die Leitung 11 in das Gefäß 12 abgeführt. Das Ab-

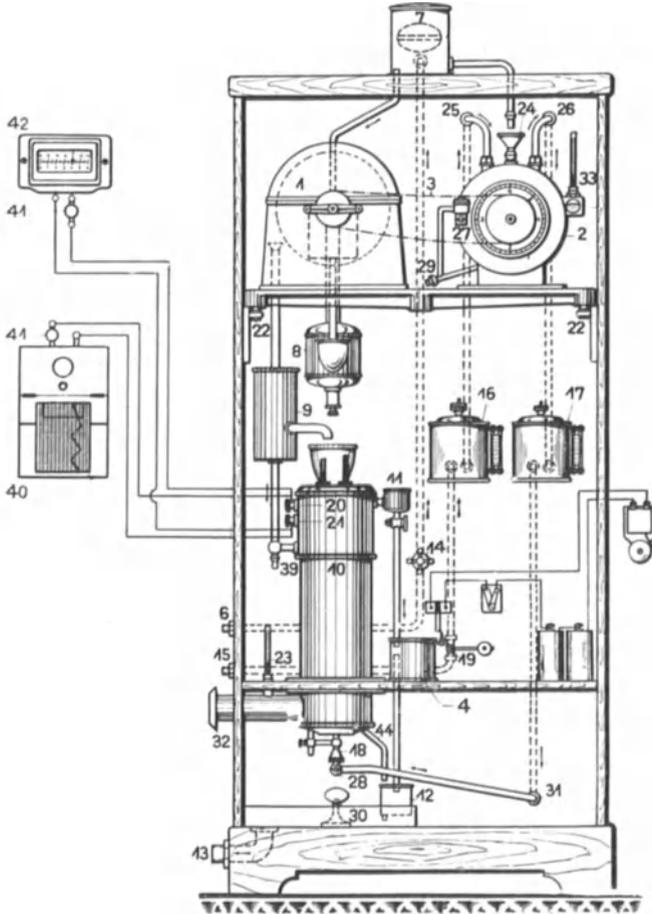


Abb. 23.

stellen des Wassers erfolgt durch den Hahn 14. Das bei 15 angeschlossene Gas strömt durch den Druckregler 16 zum Gasmesser 2, wird durch den Regler 17 nochmals reguliert und gelangt durch ein Entwässerungskästchen in dem Brenner 18.

Die Abführung der Verbrennungsgase geschieht durch den links am Schrank befindlichen Blechstutzen. Das An- und Abstellen des Gases erfolgt durch den Gashahn 19. Das Thermoelement sitzt in der oberen Erweiterung des Kalorimeterkörpers 10. Die Klemm-

schrauben 20 und 21 dienen zum Anschluß der Drähte, welche mit dem Millivoltmeter verbunden werden.

Soll der Apparat in Betrieb gesetzt werden, so sind zunächst die beiden Gashähne 19 und 28 zu öffnen. Nachdem der Wasserhahn 14 ebenfalls geöffnet ist und durch das Auslaufrohr 11 des Kalorimeters Wasser in den unteren Behälter 12 abfließt, kann das Gas entzündet und der Brenner in das Kalorimeter eingesetzt werden. Das Warmwasserthermometer beginnt sofort zu steigen und hat seinen Stillstand erreicht, sobald im Kalorimeter der Beharrungszustand einge-

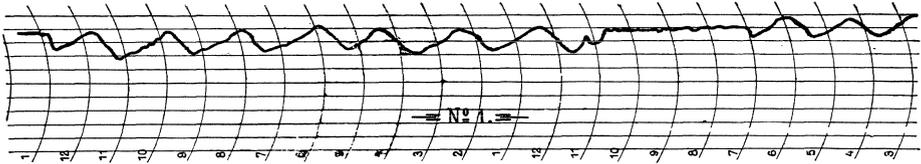


Abb. 24.

treten ist. Gleichzeitig beginnt nach Verbindung des Kalorimeters mit dem Millivoltmeter der Zeiger des letzteren auszuschlagen, womit die Anzeige des Heizwertes begonnen hat.

Die Außerbetriebsetzung geschieht dadurch, daß der Brenner herausgenommen, die Gas- und Wasserhähne geschlossen und das Uhrwerk des Millivoltmeters ausgeschaltet wird.

Das selbsttätige Kalorimeter zeigt naturgemäß den oberen Heizwert des Gases an, d. h. den Heizwert, welcher sich ergibt, wenn das Gas unter dem jeweiligen Barometerstand und der jeweiligen Gastemperatur

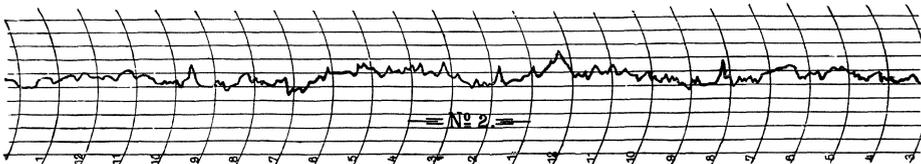


Abb. 25.

verbrennt und wenn die Verbrennungsgase auf die Temperatur der Verbrennungsluft abgekühlt werden. Der in den Verbrennungsgasen enthaltene Wasserdampf ist also vollständig kondensiert, und der Heizwert enthält die Kondensationswärme des Wasserdampfes.

Häufig ist eine Umrechnung dieses oberen Heizwertes gar nicht nötig; z. B. bei Gasmaschinenuntersuchungen, wo das Gas in der Maschine und im Kalorimeter unter demselben Druck und annähernd derselben Temperatur steht, ist der Heizwert des Gases gerade unter diesen vorliegenden Druck- und Temperaturverhältnissen von Interesse.

Da das selbsttätige Kalorimeter so eingerichtet ist, daß es den Heizwert auf einem Papierstreifen aufzeichnet, so ist es besonders damit Vorteil zu verwenden, wo Heizwertschwankungen auftreten, die durch Vornahme von Stichproben nicht in genügendem Maße nach-

zuweisen sind, deren Kenntnis aber von Wichtigkeit ist, wie z. B. in gastechnischen Laboratorien für Daueruntersuchungen von Gasmaschinen, Generatoren usw.; in Gaserzeugungsbetrieben zur fortlaufenden Kontrolle des Heizwertes von Leuchtgas, Generatorgas, Wassergas usw.; in Kokereien, Hochofenanlagen zur Überwachung der betr. Prozesse; in Gasmaschinenbetrieben.

Diagramm 1 (Abb. 24) ist dem Bildstreifen einer Leuchtgasanstalt entnommen und zeigt den Verlauf des Heizwertes unmittelbar hinter dem Ofen.

Diagramm 2 (Abb. 25) zeigt die Aufzeichnung des Heizwertes des von einem Braunkohlengenerator zum Betriebe einer Gasmaschine

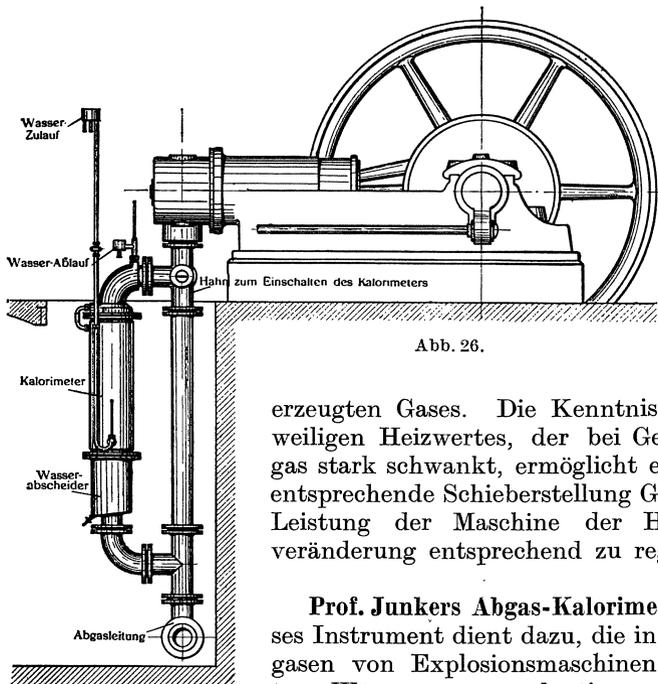


Abb. 26.

erzeugten Gases. Die Kenntnis des jeweiligen Heizwertes, der bei Generatorgas stark schwankt, ermöglicht es, durch entsprechende Schieberstellung Gang und Leistung der Maschine der Heizwertveränderung entsprechend zu regeln.

Prof. Junkers Abgas-Kalorimeter. Dieses Instrument dient dazu, die in den Abgasen von Explosionsmaschinen enthaltene Wärmemenge zu bestimmen und so

eine genaue Wärmebilanz aufstellen zu können.

Es ist nach den gleichen Grundsätzen wie das Junkerssche Kalorimeter zur Heizwertbestimmung von Gasen und flüssigen Brennstoffen gebaut. Außerdem ist es mit einem sicherwirkenden Wasserabscheider versehen, der die Menge des in den Abgasen enthaltenen Wasserdampfes zu messen ermöglicht.

Die Messung beschränkt sich lediglich auf zwei Temperaturablesungen und eine Feststellung der durch das Kalorimeter geflossenen Wassermenge. Alsdann ist

$$\text{Wärmemenge} = \text{Temperaturdifferenz} \times \text{Wassermenge.}$$

Abb. 26 zeigt die allgemeine Anordnung eines solchen Abgas-Kalorimeters.

Eichvorrichtung für Gasmesser nach Prof. Junkers. Die große Genauigkeit, die sich mit dem Junkersschen Kalorimeter erreichen läßt, wird sehr häufig durch die Ungenauigkeit der Gasmesser ungünstig beeinflusst; hierzu gesellen sich nicht selten noch andere Fehlerquellen, wie z. B. ungenaue Wasserfüllung des Gasmessers, schlechte Aufstellung desselben, so daß es sehr wohl angezeigt ist, bei wichtigen Untersuchungen stets eine Eichung des Gasmessers vorzunehmen. Hierzu eignet sich der von Junkers & Co., Dessau, hergestellte

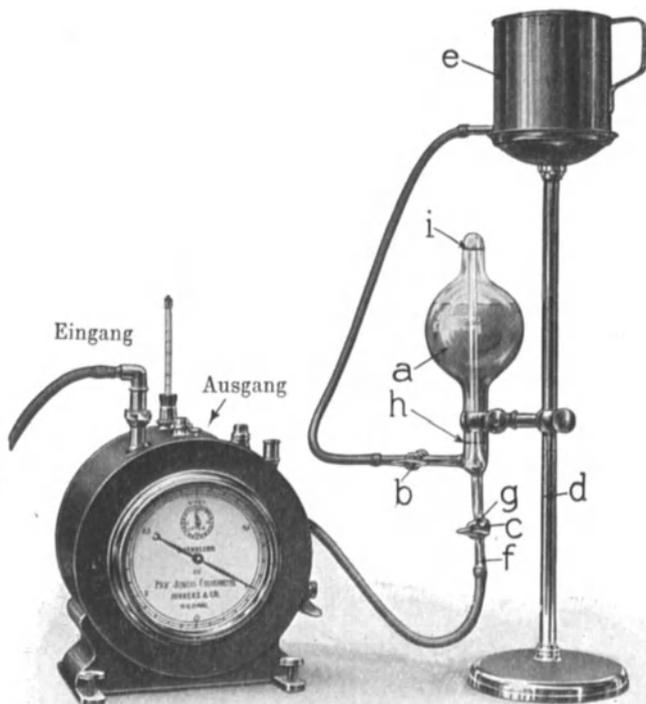


Abb. 27.

Eichapparat ganz vorzüglich. Derselbe ist in Abb. 27 dargestellt und hat folgende Einrichtung:

Das dem Eichapparate zugrunde liegende Meßverfahren beruht darauf, daß man durch abwechselndes Entleeren und Füllen eines mit Wasser gefüllten, am Halse und an der Spitze geeichten Glasballons das Volumen von 1 l absaugt. Dieses Entleeren und Wiederfüllen des Ballons mit Wasser geschieht durch Tiefer- und Höherstellen eines mit dem Ballon *i* durch Gummischlauch verbundenen Niveaufäßes. Zum Ein- und Auslassen des Gases dient ein Dreiweghahn *g*, welcher durch Vermittlung des bis nahe an die Spitze des Ballons reichenden

Fortsatzes *a* der Hahnrohre den Ballon abwechselnd mit der Atmosphäre und mit dem zu eichenden Apparate verbindet.

Um Fehler beim Eichn zu vermeiden, ist vor Beginn der Eichung folgendes zu beachten:

Der zu eichende Gasmesser, das Füllwasser in demselben, der Glasballon *i* und das Wasser im Niveaugefäße sollen möglichst dieselbe, und zwar Zimmertemperatur haben. Man vermeide daher tunlichst die Erwärmung des Glasballons durch ausgeatmete Luft oder durch Körperwärme. (3° Temperaturunterschied im Glasballon und im Gasmesser bedeuten etwa 1% Meßfehler.) Es empfiehlt sich daher, die Temperatur im Gasmesser und diejenige des Wassers im Niveaugefäße zu beobachten.

Zweckmäßig eicht man mit Luft, die durch den Gasmesser gesaugt wird. Will oder muß man mit Gas eichen, so muß vor Beginn der Eichung der Gasmesser einige Zeit in Tätigkeit gewesen sein, damit das Füllwasser mit den in ihm löslichen Bestandteilen des Gases gesättigt ist. In diesem Falle leitet man am besten das abgemessene Gas durch das Mundstück *g* nach einem Brenner und verbrennt es daselbst.

Die Eichung selbst verläuft in folgender Weise: Man bringt zunächst durch Ansaugen von Luft durch den Gasmesser oder durch Verbrennenlassen einer entsprechenden Gasmenge den großen Zeiger des Gasmessers auf den Nullpunkt des Zifferblattes. Nachdem alle Schlauchverbindungen dicht hergestellt sind, füllt man bei geschlossenem Hahne *b* das Niveaugefäß bis zu etwa $\frac{2}{3}$ seiner Höhe mit Wasser, welches schon längere Zeit im Versuchsraume gestanden hat. Dann stellt man das Niveaugefäß auf den Ständer *d*, öffnet den Durchgangshahn *b*, so daß Wasser vom Niveaugefäße nach dem Glasballon *i* abfließt. Damit die in letzterem enthaltene Luft durch das Röhrchen entweichen kann, ist gleichzeitig der Dreiweghahn *c* nach *g* hin geöffnet. Ist der Glasballon bis zur oberen Strichmarke mit Wasser gefüllt, so schließt man den Hahn *b* und öffnet den Dreiweghahn *c* nach *f* hin. Hierauf stellt man das Niveaugefäß auf den Experimentiertisch und öffnet den Hahn *b*. Dadurch fließt das Wasser aus dem Glasballon nach dem Niveaugefäße zurück. Ist der Wasserspiegel bis zur unteren Marke *h* am Halse des Glasballons gefallen, so schließt man den Hahn *b*, denn nunmehr ist genau 1 l Wasser abgelaufen und 1 l Luft oder Gas durch den Gasmesser nach dem Glasballon gesaugt worden. Der Unterschied zwischen der jetzigen Zeigerstellung und den Angaben des Zifferblattes gibt den Fehler des Gasmessers an.

Man öffnet nun den Dreiweghahn *c* nach *g* hin, setzt das Niveaugefäß *e* auf den Ständer *d*, öffnet auch den Hahn *b* und füllt auf diese Weise den Glasballon für eine zweite Messung wieder bis zur oberen Strichmarke. So fortschreitend erhält man die genauen Literteilstriche des Zifferblattes sowie einen Berichtigungsfaktor für je eine Trommelumdrehung.

Die Bestimmung des Heizwertes flüssiger Brennstoffe.

Bei der Bestimmung des Heizwertes flüssiger Brennstoffe wird aus schon bekannten Gründen ebenfalls die kalorimetrische Bestimmungsmethode angewendet, und zwar findet auch hierbei wegen der bereits im vorigen Abschnitte angeführten Vorzüge das Junkerssche Kalorimeter Verwendung.

Die Vorbereitung des Kalorimeters zum Versuche ist dieselbe, wie sie im vorvorigen Abschnitte beschrieben wurde, nur daß Gasmesser und Gasdruckregler und die hierfür nötigen Verbindungen in Wegfall kommen, so daß also die vorbereitenden Arbeiten hier noch einfacher sind. Die zu untersuchenden Brennstoffe, wie Benzin, Petroleum,

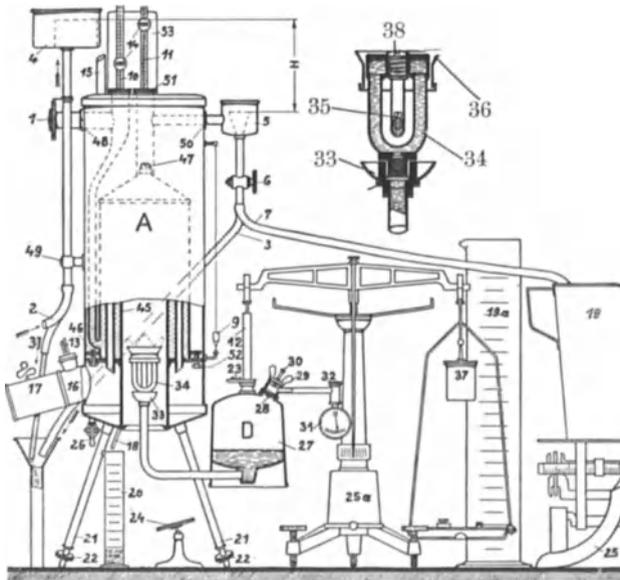


Abb. 28.

Spiritus, Schmieröl, gelangen in einer besonderen, von der Firma Junkers & Co., Dessau, hergestellten Lampe zur Verbrennung. Die Messung der im Kalorimeter verbrannten Flüssigkeitsmengen geschieht dem Gewichte nach unter Zuhilfenahme einer eigenartig konstruierten, ebenfalls von der genannten Firma gelieferten Wage, die in Abb. 28 in Verbindung mit dem Brenner und in zweckmäßiger Anordnung neben dem Kalorimeter dargestellt ist. Die eine Schneide dieser Wage trägt nicht wie gewöhnlich eine Wagschale, sondern nimmt den Brenner auf.

Um die Lampe zu füllen, löst man die Flügelmutter 29 (Abb. 28), nimmt den Arm mit dem Manometer ab und gießt etwa 150 ÷ 200 ccm Brennstoff (filtriert) in den Behälter. Dann setzt man den Manometerarm wieder auf und schraubt die Füllöffnung fest zu. Der Spiegel 24

hat den Zweck, die Lage des Brenners bequem zu kontrollieren. Die Inngangsetzung der Lampe, die natürlich vor Einführung derselben in den Verbrennungsraum geschehen muß, vollzieht sich so: Man füllt das Schälchen 33 unter dem Brennerkopfe 34 mit Spiritus und entzündet diesen. Die kleine Flügelschraube oberhalb des Ventils bei 30 schraubt man ganz nach oben (links herum), nimmt die Kapsel 30 ab, schraubt dann den Luftschlauch der beigegebenen Pumpe an das Ventilgewinde und die Luftpumpe an den Schlauch. Wenn der Spiritus in der kleinen Schale 33 fast verbrannt ist, preßt man mittels der Pumpe durch einige Kolbenstöße Luft in den Behälter, wodurch der Brennstoff im Brenner aufsteigt und an dessen heißen Oberfläche vergast wird. Das aus der Brennerdüse ausströmende Gas entzündet sich an der Spiritusflamme und unterhält die Verbrennung, auch wenn der Spiritus in 33 ausgebrannt ist.

Wenn kein Gas ausströmt, so ist die Düse verstopft und muß mit der beigegebenen Nadel gereinigt werden. Nie benutze man eine andere Nadel, etwa Nähnadel, welche unfehlbar die Düse beschädigen würde.

Man preßt so viel Luft in den Behälter ein, daß eine gute, gleichmäßig brennende Flamme erzielt wird. Ist die Flamme zu groß, so kann durch Öffnen der Schraube 32 Luft abgelassen werden. Ist die Flamme richtig eingestellt, so schraubt man die kleine Flügelmutter des Ventiles wieder fest, entfernt die Pumpe und schraubt die Kapsel 30 auf das Gewinde.

Die Wärmeentwicklung in der Stunde soll, wie schon auf S. 70 angegeben, etwa 800 ÷ 1000 Kalorien betragen, also müssen etwa 100 g Petroleum, Benzin oder Schmieröl bzw. 130 g Spiritus in der Stunde verbrennen.

Soll die Lampe abgestellt werden, so öffnet man die Schraube 32, wodurch sich der Luftdruck sofort verliert, und die Flamme erlischt.

Der Lampe sind zwei Brennerköpfe beigegeben, einer mit großer, der andere mit kleiner Düse. Der Kopf mit der großen Düse ist für wasserhaltige Brennstoffe (z. B. Spiritus), derjenige mit der kleinen Düse für kohlenstoffreiche Brennstoffe (z. B. Petroleum) bestimmt. Je größer der Kohlenstoffgehalt, desto kleiner muß die Düsenbohrung sein. Spiritus erfordert den geringsten Luftdruck, unter 200 mm, Mineral- und Schmieröl den höchsten. Vegetabilische und animalische Öle dürfen nur verbrannt werden, wenn sie bei höchstens 250° Siedepunkt vollständig flüchtig sind, ohne Kohle oder sonstige Rückstände

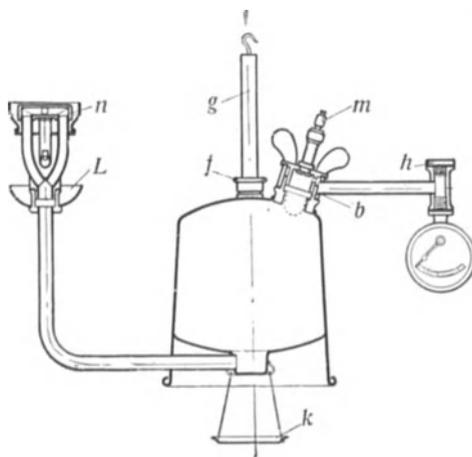


Abb. 29.

zu hinterlassen. Nicht benutzbar sind also z. B. Rüböl, Baumöl, Knochenöl. Mineralschmieröle können untersucht werden, wenn sie bei 250° vollständig verdampfen. Bei schwer siedenden Ölen reicht die Vorwärmung durch die Spiritusflamme zuweilen nicht aus. Es muß alsdann der Brennerkopf mittels einer Lötlampe vorgewärmt werden.

Stoßweises Brennen tritt ein, wenn nicht genügend vorgewärmt oder der Luftdruck zu hoch ist. Man öffne dann die Schraube *h* und wärme nochmals vor.

Nach dem Gebrauch ist die Lampe gut zu reinigen; sind Schmieröle verbrannt worden, zunächst mit Petroleum, dann mit Benzin. Darauf ist die Lampe mit einer kleinen Menge des neu zu untersuchenden Brennstoffes auszuspülen; dann erst darf der zu einer neuen Untersuchung bestimmte Brennstoff eingefüllt werden.

Gang des Versuches: Nachdem die zu untersuchende Flüssigkeit in die Lampe mit entsprechendem Brenner eingefüllt ist, wird dieser unter Beobachtung der zuletzt gegebenen Verhaltensmaßregeln in Tätigkeit gesetzt und dann, wie in Abb. 28 gezeigt ist, mit der einen Seite des Wagebalkens in Verbindung gebracht. Alsdann füllt man das Gegengewicht mit so vielen Schrotkörnern, als zur Ausbalancierung der gefüllten Lampe nötig ist.

Wenn das Kalorimeter mit Wasser gefüllt ist und dieses am Abflusse ausläuft, nimmt man die Lampe von der Wage ab, führt sie in die Verbrennungskammer des Kalorimeters ein und hängt sie dann wieder an die Wage. Das Thermometer am Wasseraustritt beginnt sofort zu steigen. Vermittels des Regulierhahnes am Kalorimeter ist die Wasserzufuhr so einzustellen, daß der Temperaturunterschied zwischen Zufluß- und Abflußwasser etwa $10 \div 12^\circ$ beträgt. Nach Erreichung des Beharrungszustandes, d. h. wenn das Thermometer zu steigen aufhört, legt man ein kleines Gewicht auf die Schale 23, so daß der betreffende Wagebalken nach unten sinkt. Die Wage wird erst dann wieder ihren Gleichgewichtszustand erreichen, nachdem eine dem aufgelegten kleinen Gewichte entsprechende Brennstoffmenge verbrannt ist. In dem Augenblicke, in welchem der Zeiger der Wage durch den Nullpunkt geht, schaltet man den Schalthahn 6 auf die Auslaufleitung 7 in das Meßgefäß 19 ein. Gleichzeitig belastet man die Schale 23 mit $5 \div 10$ g und beginnt mit der Ablesung der beiden Thermometer, die in regelmäßigen Zwischenräumen zu erfolgen hat. Das Auffangen des Wassers sowie das Ablesen der Thermometer wird in dem Augenblicke unterbrochen, in welchem ein abermaliges Heben der Lampe eintritt und der Zeiger wiederum durch den Nullpunkt geht.

Dann sind $5 \div 10$ g Brennstoff verbrannt.

Beispiel: Brennstoff: Benzin.

Kühlwassermenge $W = 5,25$ kg.

Mittlerer Temperaturunterschied $t_2 - t_1 = 18,7 - 8,7 = t_d = 10,0^\circ$.

Brennstoffmenge $G = 5,0$ g.

Kondenswasser $K = 12,7$ g.

Obere Verbrennungswärme von 1 g Benzin $= \frac{5,25 \cdot 10}{5,0} = 10,5 \text{ WE/g.}$

Oberer Heizwert $H_o = 1000 \cdot 10,5 = 10500 \text{ WE/kg.}$

Unterer Heizwert $H_u = H_o - \frac{K \cdot 600}{10} = 9738 \text{ WE/kg.}$

Bei der Kalorimetrierung von schweren Erdölen genügt die Anwärmung des Brennerkopfes mittels der unter demselben befindlichen Spiritusflamme nicht, vielmehr muß mit einer hochtemperierten Flamme, am besten mit einer Lötlampe, der Brennerkopf bis zur Rotglut angewärmt werden, und dann erst darf auf den Flüssigkeitsbehälter Luftdruck gegeben und das Öl dem Brenner zugeführt werden. Bei besonders schweren Ölen ist es unter Umständen nötig, zwischen den einzelnen Versuchen den Brennerkopf ab und zu nachzuwärmen, um eine dauernde Vergasung zu erhalten.

C. Die Verbrennung der Brennstoffe.

1. Die Vorgänge bei der Verbrennung.

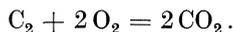
Um einen Brennstoff bei seiner Verwendung in Feuerungen möglichst vollkommen ausnutzen zu können, ist es von grundlegender Bedeutung, die Vorgänge bei der Verbrennung genau zu kennen.

Verbrennung im engeren Sinne ist die Vereinigung von Kohlenstoff (C) und Wasserstoff (H) mit Sauerstoff (O) unter Licht- und Wärmeentwicklung.

Sämtliche Brennstoffe enthalten Kohlenstoff in mehr oder weniger großen Mengen, während bei allen bis jetzt gebräuchlichen Feuerungen der zur Verbrennung nötige Sauerstoff der atmosphärischen Luft entnommen wird.

Bei Koks und Anthrazit (auch bei Holzkohle) verläuft der Verbrennungsvorgang am einfachsten, da diese Brennstoffe fast ausschließlich aus Kohlenstoff bestehen, der nur durch geringe mineralische Beimengungen (die sich beim Verbrennen als Schlacke und Asche ausscheiden) verunreinigt ist.

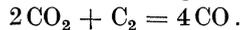
Eine sichere Verbindung von Kohlenstoff mit Sauerstoff findet nur dann statt, wenn diese Elemente oder die den Kohlenstoff enthaltenden Brennmaterialien vorher bis zu einer gewissen Temperatur — der Entzündungstemperatur — erhitzt waren. Diese liegt für Koks und Anthrazit bei ca. 700°. Hier fangen die genannten Brennstoffe an zu glühen, und bei genügender Luftzufuhr verbindet sich ihr Kohlenstoff unter Wärmeentwicklung mit dem Sauerstoffe der Luft zu Kohlendioxyd CO_2 (fälschlich Kohlensäure genannt, ist eigentlich das Anhydrid der Kohlensäure) nach der Gleichung:



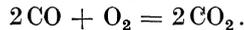
Im weiteren Verlaufe der Verbrennung sind nun zwei Fälle möglich:

1. die gebildete Kohlensäure geht mit dem Stickstoffe der Verbrennungsluft und mit dem eventuell vorhandenen überschüssigen Sauerstoffe als Heizgas durch die Feuerzüge den vorgeschriebenen Weg zum Schornsteine, wobei die Heizgase Gelegenheit haben, ihren Wärmeinhalt zum größten Teile an Heizflächen abzugeben, oder

2. die Kohlensäure trifft unmittelbar nach ihrer Entstehung auf weitere glühende Brennstoffschichten, durch welche sie zu Kohlenoxyd reduziert wird nach der Gleichung:



Trifft das so entstandene Kohlenoxydgas auf seinem weiteren Wege nochmals auf Sauerstoff (Luft), so verbrennt es, wenn genügend hohe Temperatur vorhanden ist, vollständig zu Kohlensäure nach der Gleichung:



Hierbei bilden sich kurze blaue Flammen. Trifft aber das Kohlenoxydgas keinen Sauerstoff (Luft) mehr an, oder fehlt es an genügend hoher Temperatur, so zieht es unverbrannt mit den Heizgasen ab, wodurch große Wärmeverluste verursacht werden, denn 1 kg Kohlenstoff liefert:

zu Kohlenoxyd verbrannt 2440 WE
zu Kohlensäure verbrannt 8140 WE.

Kohlenoxydgas vereinigt sich schon bei rd. 300° mit Sauerstoff zu Kohlensäure. Diese Temperatur ist leicht zu erreichen und in jeder Feuerung gewöhnlich vorhanden; deshalb ist zu einer vollkommenen Verbrennung von Koks, Anthrazit (und Holzkohle) nur nötig, für das Vorhandensein genügender Sauerstoffmengen Sorge zu tragen; es ist also nur den genannten Brennstoffen genügend Luft zuzuführen.

Nicht so einfach sind die Vorgänge bei der Verbrennung der gewöhnlichen Brennstoffe: Holz, Torf, Braun- und Steinkohle.

Außer Kohlenstoff enthalten diese Brennstoffe noch Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff.

Diese drei Elemente sind sowohl unter sich als auch mit dem Kohlenstoffe auf die verschiedenartigste Weise verbunden. Besonders mannigfaltig sind die Verbindungen, in denen der Kohlenstoff mit dem Wasserstoffe auftritt: die Kohlenwasserstoffe.

Ferner enthalten diese Brennstoffe noch: Wasser, außerdem mineralische Bestandteile und sehr häufig Schwefel.

Bei der Verbrennung werden zunächst

das Wasser,	}	verdampft und als Gase ausgetrieben,
die Stickstoffverbindungen,		
die Schwefelverbindungen und hauptsächlich		
die Kohlenwasserstoffe der verschiedenartigsten Zusammensetzung		

während

der Kohlenstoff (in Form von Koks)	}	als Rückstände verbleiben.
und die mineralischen Bestandteile (in Form von Asche, zusammengebackt, gesintert oder sandförmig)		

Im weiteren Verlaufe der Verbrennung spielen nun die verschiedenen Kohlenwasserstoffe eine wichtige Rolle.

Von verschiedenen dieser Verbindungen verbrennt nur der Wasserstoff zu Wasser unter Entwicklung von 2800 WE je Kubikmeter¹⁾, während sich der Kohlenstoff ausscheidet und entweder

ebenfalls verbrennt, wenn genügend Sauerstoff (Luft) und die nötige hohe Temperatur im Verbrennungsraume vorhanden ist; dabei verursacht er das Leuchten der Flamme;

oder

der Kohlenstoff findet nicht rechtzeitig genügend Sauerstoff (Luft) vor, oder die Temperatur im Verbrennungsraume ist zu tief gesunken, dann verbrennt der Kohlenstoff nicht, sondern scheidet sich als Ruß ab.

Zur vollständigen Verbrennung der ausgeschiedenen Kohlenwasserstoffe ist also nötig, daß überall im Verbrennungsraume eine verhältnismäßig hohe Temperatur herrscht, und daß überall der nötige Sauerstoff vorhanden ist.

Der im Rückstand gebliebene Koks verbrennt, wie schon vorher angegeben, unter einfachen Bedingungen vollständig.

Um also bei den gewöhnlichen Brennstoffen: Holz, Torf, Braunkohle, Steinkohle eine vollkommene, also wirtschaftliche Verbrennung zu erzielen, sind folgende Gesichtspunkte zu beachten:

Es muß

1. genügend hohe Temperatur im Verbrennungsraume herrschen,
2. eine genügende Luftmenge zugeführt werden,
3. für eine gute Vermischung dieser Luft mit den zu verbrennenden Verbrennungsgasen gesorgt werden.

2. Die Berechnung der zur Verbrennung von 1 kg Brennstoff theoretisch notwendigen Luftmenge.

Bei der Berechnung der zur Verbrennung der Gewichtseinheit eines Brennstoffes von bestimmter Zusammensetzung notwendigen Luftmenge geht man von denjenigen Bestandteilen aus, die sich bei der Verbrennung mit dem Sauerstoffe der Luft verbinden, das sind: Kohlenstoff, Wasserstoff und Schwefel.

Die atmosphärische Luft ist ein Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff, und zwar enthalten:

100 Gewichtsteile (Gew.-Tle.) Luft: 23,19 Gew.-Tle. Sauerstoff und 76,81 Gew.-Tle. Stickstoff.

100 Raumteile Luft: 20,96 Raum-Tle. Sauerstoff und 79,04 Raum-Tle. Stickstoff.

1 cbm Luft wiegt unter Normalverhältnissen (0°, 760 mm) 1,293 kg.

1 kg Luft nimmt unter Normalverhältnissen 0,775 cbm ein.

¹⁾ Oberer Heizwert bei 15° und 760 mm Quecksilbersäule.

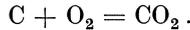
86 Berechnung der zur Verbrennung von 1 kg Brennstoff notwendigen Luftmenge.

Die Atomgewichte der bei der Verbrennung in Betracht kommenden Elemente sind, auf

Sauerstoff = 16 bezogen, für
 Wasserstoff = 1,008
 Kohlenstoff = 12
 Schwefel = 32,07.

Kohlenstoff.

Der Vorgang bei der vollkommenen Verbrennung von Kohlenstoff ist dargestellt durch die Gleichung:



Die entsprechenden Atomgewichte eingesetzt, ergibt:

$$12 + 2 \cdot 16 = 44$$

oder: $12 + 32 = 44.$

12 Gew.-Tle. Kohlenstoff beanspruchen 32 Gew.-Tle. Sauerstoff,
 1 Gew.-Tl. Kohlenstoff beansprucht $\frac{32}{12}$ Gew.-Tle. Sauerstoff.

Je 23,19 Gew.-Tle. Sauerstoff bedingen den Aufwand von 100 Gew.
 Tln. Luft (0°, 760 mm).

1 kg Kohlenstoff beansprucht demnach

$$\frac{\frac{32}{12} \cdot 100}{23,19} = 11,499 \text{ kg} = 8,912 \text{ cbm Luft.}$$

Ist der Kohlenstoffgehalt eines Brennstoffes in Gewichtsprozenten (C) gegeben, so erhält man diejenige Luftmenge in Kilogramm, die zur vollkommenen Verbrennung des in 1 kg Brennstoff enthaltenen Kohlenstoffs nötig ist, zu

$$\frac{C}{100} \cdot 11,499 \text{ kg} = \frac{C}{100} \cdot 8,912 \text{ cbm.}$$

Ist die Verbrennung eine unvollkommene, so gilt die Gleichung:



oder: $12 + 16 = 28.$

1 kg Kohlenstoff nimmt also $\frac{16}{12}$ kg Sauerstoff, gleichwertig mit $\frac{\frac{16}{12} \cdot 100}{23,19}$ kg = 5,749 kg oder 4,456 cbm Luft in Anspruch.

Bei der unvollkommenen Verbrennung von 1 kg Brennstoff mit C Gewichtsprozenten Kohlenstoff werden von letzterem

$$\frac{C}{100} \cdot 5,749 \text{ kg} = \frac{C}{100} \cdot 4,456 \text{ cbm}$$

Luft benötigt.

Wasserstoff.

Für die Verbrennung von Wasserstoff gilt die Gleichung:



oder: $2 \cdot 1,008 + 16 = 18,016.$

1 kg Wasserstoff beansprucht also $\frac{16}{2,016}$ kg Sauerstoff oder $\frac{16}{2,016} \cdot 100$
 $\frac{23,19}{23,19}$ kg = 34,224 kg oder 26,524 cbm Luft.

Bei der Verbrennung von 1 kg Brennstoff mit H Gewichtsprozenten freiem Wasserstoff werden von diesem

$$\frac{H}{100} \cdot 34,224 \text{ kg} = \frac{H}{100} \cdot 26,524 \text{ cbm}$$

Luft beansprucht.

Wenn nun, wie es bei festen Brennstoffen der Fall ist, ein Teil des Wasserstoffgehaltes bereits an Sauerstoff gebunden ist, dann kommt für die Verbrennung nur der freie Wasserstoff in Frage, der allein noch Luft zu seiner Verbrennung beansprucht. Aus der diesbezüglichen Gleichung:

$$\begin{aligned} & \text{H}_2 + \text{O} = \text{H}_2\text{O} \\ \text{oder:} & \quad 2 \cdot 1,008 + 16 = 18,016, \\ \text{oder:} & \quad 1 + \frac{16}{2,016} = \frac{18,016}{2,016} \end{aligned}$$

folgt, daß je $\frac{16}{2,016}$ Gew.-Tle. oder rund je 8 Gew.-Tle. Sauerstoff 1 Gew.-Tl. Wasserstoff gebunden halten, so daß von dem gesamten Wasserstoffgehalte noch $\left(H - \frac{O}{8}\right)$ Gew.-Tle. verfügbar, d. h. zur Verbrennung frei sind. Dann ist der Luftbedarf dieser Wasserstoffmenge, wenn H und O in Gewichtsprozenten gegeben sind:

$$\frac{\left(H - \frac{O}{8}\right)}{100} \cdot 34,224 \text{ kg} = \frac{\left(H - \frac{O}{8}\right)}{100} \cdot 26,524 \text{ cbm.}$$

Schwefel.

Schwefel ist in den festen Brennstoffen vielfach als Schwefelkies (FeS_2) enthalten. Die chemische Gleichung, welche die Verbrennung dieser Verbindung veranschaulicht, lautet:

$$\begin{aligned} & 2 \text{FeS}_2 + 11 \text{O} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 4 \text{SO}_2, \\ \text{oder} & \quad 2 \cdot (55,84 + 2 \cdot 32,07) + 11 \cdot 16 = (2 \cdot 55,84 + 3 \cdot 16) + 4(32,07 + 2 \cdot 16), \\ & \quad \text{oder } (111,68 + 128,28) + 176 = 159,68 + 256,28. \end{aligned}$$

Es erfordern also 128,28 Gew.-Tle. Schwefel zu ihrer Verbrennung 176 Gew.-Tle. Sauerstoff.

1 kg Schwefel nimmt demnach $\frac{176}{128,28}$ kg Sauerstoff, entsprechend

$$\frac{\frac{176}{128,28} \cdot 100}{23,19} \text{ kg} = 5,916 \text{ kg} = 4,585 \text{ cbm}$$

Luft in Anspruch.

88 Berechnung der zur Verbrennung von 1 kg Brennstoff notwendigen Luftmenge.

Ist der Schwefelgehalt (S) eines Brennstoffes in Gewichtsprozenten gegeben, so erhält man die Luftmenge, die zur Verbrennung des in 1 kg Brennstoff enthaltenen Schwefels nötig ist, zu

$$\frac{S}{100} \cdot 5,916 \text{ kg} = \frac{S}{100} \cdot 4,585 \text{ cbm}.$$

Enthält also ein Brennstoff C Gewichtsprocente Kohlenstoff, H Gewichtsprocente Wasserstoff, O Gewichtsprocente Sauerstoff und S Gewichtsprocente Schwefel, so ist die zur vollkommenen Verbrennung von 1 kg dieses Brennstoffes nötige Luftmenge

$$\text{in kg: } L_g = \frac{1}{100} \cdot \left(11,499 C + 34,224 \left[H - \frac{O}{8} \right] + 5,916 S \right),$$

$$\text{in cbm: } L_v = \frac{1}{100} \cdot \left(8,912 C + 26,524 \left[H - \frac{O}{8} \right] + 4,585 S \right).$$

Unter Zugrundelegung dieser Formeln ist für verschiedenartige Brennstoffe der theoretische Luftbedarf L_g und L_v berechnet und in der folgenden Zahlentafel zusammengestellt worden.

3. Zahlentafel der theoretischen Luftmengen.

Brennstoffart (lufttrocken)	Zusammensetzung in Gewichtsprozenten					Theoretische Luftmenge	
	C	H	N	O	S	L_g kg	L_v cbm
Torf (Lausitz)	50,00	5,00	1,00	25,00	0,30	6,452	5,000
Braunkohle (Thüringen)	48,68	4,05	0,38	16,26	1,62	6,385	4,948
Braunkohle (Hessen)	48,63	4,28	0,50	11,83	4,08	6,792	5,264
Braunkohle (Böhmen)	58,16	5,02	0,60	9,29	2,55	8,160	6,324
Braunkohle (Böhmen)	63,97	5,04	1,00	15,75	0,51	8,437	6,539
Braunkohle (Sachsen)	50,45	4,62	0,47	24,24	0,89	6,398	4,958
Braunkohlenbriketts (Lausitz)	55,24	4,28	0,60	15,84	2,75	7,302	5,659
Braunkohlenbriketts (Prov. Sachs.)	54,16	4,52	0,48	15,75	3,33	7,298	5,656
Braunkohlenbriketts (Rheinland)	52,54	3,90	0,88	20,49	0,80	6,548	5,075
Braunkohlenbriketts (Rheinland)	57,00	4,40	1,00	21,38	0,75	7,191	5,573
Steinkohle (Oberschlesien)	80,94	5,20	1,00	8,21	0,80	10,782	8,356
Steinkohle (Oberschlesien)	59,76	3,89	1,00	13,48	2,80	7,794	6,040
Steinkohle (Oberschlesien)	70,38	4,89	1,00	10,03	0,84	9,388	7,276
Steinkohle (Sachsen)	68,36	4,91	1,12	9,68	2,24	9,260	7,176
Steinkohle (Sachsen)	76,62	4,71	1,00	8,58	1,03	10,117	7,841
Steinkohle (Westfalen)	82,89	5,48	1,00	4,55	1,42	11,296	8,754
Steinkohle (Rheinland)	73,57	4,83	0,61	7,55	0,90	9,844	7,629
Steinkohle (Rheinland)	69,68	4,42	1,00	7,15	1,17	9,290	7,200
Steinkohlenbriketts (Westfalen)	82,90	4,12	1,00	3,53	1,00	10,851	8,410
Steinkohlenbriketts (Sachsen)	78,00	2,60	0,96	2,54	0,78	9,796	7,592
Anthrazit (Westfalen)	86,56	3,18	1,17	3,48	0,75	10,950	8,486
Anthrazit (Westfalen)	87,84	3,30	1,00	1,93	0,89	11,201	8,681
Steinkohlenkoks (Schlesien)	86,44	0,59	1,10	2,96	1,07	10,074	7,807
Steinkohlenkoks (Schlesien)	90,24	0,33	—	0,81	0,99	10,514	8,148
Steinkohlenkoks (Westfalen)	86,21	0,24	—	0,93	1,49	10,043	7,783
Steinkohlenkoks (Westfalen)	90,36	0,02	—	1,20	1,18	10,501	8,138

4. Vielfaches der theoretischen Luftmenge.

Für 1 kg mittlerer Steinkohle kann man theoretisch etwa 8 cbm = 10,32 kg Luft (0° 760 mm) rechnen.

Würde man einer Feuerung, in der feste Brennstoffe zur Verbrennung gelangen, ein diesen Zahlen entsprechendes Luftquantum, die theoretische Luftmenge zuführen, so wäre es unmöglich, diese Luft so innig mit den aus den Brennstoffen sich entwickelnden verbrennbaren Gasen zu vermischen, daß überall im Verbrennungsraume eine vollständige Verbrennung stattfindet.

Zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung ist es daher nötig, die Luft im Überschusse zuzuführen. Je nach der Ausführung und dem Zustande der Feuerungsanlage verlangt die vollständige Verbrennung etwa die 1,5÷2,5fache theoretische Luftmenge. In guten Anlagen ist es bei aufmerksamer Bedienung des Feuers möglich, mit einem etwa 1,3fachen Luftüberschusse eine vollständige Verbrennung zu erzielen.

Mit der Bemessung dieses Luftüberschusses muß man aber sehr vorsichtig zu Werke gehen, denn sowohl eine zu kleine als auch eine zu reichliche Zufuhr von Luft wirkt schädigend auf die Ausnützung des Brennmaterials.

Im ersten Falle wird Mangel an Sauerstoff vorhanden sein; die Verbrennung wird daher eine unvollständige sein. (Die Rauchgase enthalten viel Kohlenoxydgas.)

Ein zu großer Überschuß an Verbrennungsluft wirkt ebenfalls schädlich. Die ganze in die Feuerung eintretende Luftmenge, gleichgültig, ob sie zur Verbrennung notwendig ist oder nicht, wird schließlich auf diejenige Temperatur erhitzt sein, mit welcher die Gase in den Schornstein abziehen. Hat man nun sehr viel Luft in die Feuerung eingeführt, so wird sich die entwickelte Wärmemenge auf ein größeres Gasvolumen verteilen als bei mäßigem Luftüberschusse. Die im Verbrennungsraume erzielte Temperatur wird daher im ersten Falle kleiner sein als im zweiten Falle.

Bei einem Kohlensäuregehalt der Rauchgase von 5% wird ungefähr die 3,8fache theoretische Luftmenge in die Feuerung eintreten. Zur Verbrennung von 1 kg mittlerer Steinkohle werden also rd.

$$8 \cdot 3,8 \text{ cbm} = 30,4 \text{ cbm Luft (0° , 760 mm)}$$

aufgewendet.

Tritt z. B. die Luft mit 20° in den Verbrennungsraum ein, und ziehen die Verbrennungsgase mit z. B. 270° nach dem Schornsteine ab, so hat eine Temperaturerhöhung von 270° — 20° = 250° stattgefunden.

Wird 1 cbm Luft um 1° in seiner Temperatur erhöht, so sind hierzu 0,32 WE erforderlich. Die Erwärmung der Rauchgase erfordert also im vorliegenden Falle

$$30,4 \cdot 250 \cdot 0,32 \text{ WE} = 2430 \text{ WE}.$$

Von dieser Wärmemenge sind aber nahezu zwei Drittel als vergeudet zu betrachten, da man bei einem 1,3fachen Luftüberschusse (an Stelle

des 3,8fachen Luftüberschusses) nur ca. ein Drittel der im angenommenen Falle durch den Rost eingesaugten Luft um 250° zu erhitzen gehabt hätte.

Nachfolgende Zahlentafel gibt den Zusammenhang zwischen dem Vielfachen der theoretischen Luftmenge und der in eine Feuerung eingeführten Luftmenge nebst den daraus erwachsenden Wärme- bzw. Kohlenverlusten an.

Vielfaches der theoretischen Luftmenge	Für 1 kg Kohle verbrauchte Luftmenge kg	Wärmeeinheiten, die nötig sind, um diese Luftmenge um 250° zu erwärmen WE	Bei einer Kohle von 7000 Wärmeeinheiten bedeutet dies einen Kohlenverlust von %
1,3	13,42	797	11,4
1,4	14,45	858	12,2
1,5	15,48	919	13,1
1,6	16,51	980	14,0
1,7	17,54	1041	14,9
1,8	18,58	1103	15,7
1,9	19,61	1164	16,6
2,0	20,64	1225	17,5
2,1	21,67	1287	18,4
2,2	22,70	1348	19,2
2,3	23,74	1410	20,1
2,4	24,77	1471	21,0
2,5	25,80	1532	21,9
3,0	30,96	1838	26,3
3,5	36,12	2145	30,6
4,0	41,28	2451	35,0
4,5	46,44	2757	39,4
5,0	51,60	3064	43,8

Im Verbrennungsraume soll eine möglichst hohe Temperatur unterhalten werden, denn

1. entzünden sich die mit der Luft in Berührung kommenden Brennstoffe nicht von selbst, es bedarf vielmehr dazu einer bedeutenden Erhöhung der Temperatur (entweder der Luft oder des Brennstoffs). Der chemische Prozeß der Verbrennung wird sich um so schneller und lebhafter abwickeln, je höher die vorhandene Temperatur ist;

2. sagt das Gesetz der Wärmeübertragung, daß die Geschwindigkeit der Wärmeübertragung um so größer ist, je heißer eine Flamme (oder das heizende Medium) im Verhältnisse zur Temperatur des zu erhitzenen Körpers ist.

Durch eine Erhöhung der Temperatur im Verbrennungsraume einer Feuerungsanlage, z. B. eines Dampfkessel, wird sich die Leistungsfähigkeit der Anlage erhöhen; es wird also die Menge des von einem Dampfkessel stündlich auf einem Quadratmeter Heizfläche erzeugten Dampfes einen größeren Betrag annehmen.

Das bei jeder Feuerungsanlage anzustrebende Ziel wird, wie schon angegeben, darin bestehen, die zur Verwendung kommenden Brennstoffe tunlichst hoch auszubeuten.

Wie aus dem Vorangegangenen wohl deutlich zu ersehen ist, läßt sich dieses Ziel nur durch vollkommene Verbrennung der Brenn-

stoffe bei dem kleinsten Überschusse an atmosphärischer Luft erreichen.

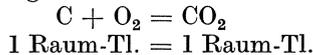
Die Überwachung einer Feuerungsanlage wird sich in erster Linie auf die Bestimmung der Zusammensetzung der aus dem Verbrennungsraume entweichenden Heizgase beziehen. Diese Untersuchung hat sich besonders auf den Gehalt der Heizgase an Kohlensäure (CO_2), Kohlenoxyd (CO) und Sauerstoff (O) zu erstrecken, da die Mengen dieser Gase ohne weiteres einen Schluß auf den Verlauf der Verbrennung zulassen. Die Untersuchung der Heizgase in der angegebenen Richtung wird mittels der sog. Rauchgasanalyse ausgeführt. An der Hand derselben läßt sich durch einfache Rechnung auch der Betrag des zur Verbrennung verwendeten Luftüberschusses feststellen.

Nimmt man endlich noch einige Temperaturbestimmungen zu Hilfe, so ermöglicht die Rauchgasanalyse auch die Berechnung derjenigen Verluste, welche durch die mit hoher Temperatur nach dem Schornsteine abziehenden Gase verursacht sind, und die gewöhnlich als Schornsteinverluste bezeichnet werden.

II. Die Überwachung des Dampfkesselbetriebes und die dazu erforderlichen Apparate.

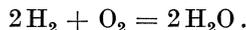
A. Technische Rauchgasanalysen.

Wenn sich der Sauerstoff der Verbrennungsluft mit dem Kohlenstoff des Brennstoffs zu Kohlensäure (CO_2) verbindet, so findet keine Änderung des Volumens des Sauerstoffs statt, wie durch räumliche Deutung der Gleichung

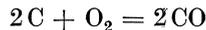


ohne weiteres klargelegt ist, weil das Volumen von C vernachlässigt werden kann.

Würde man also das Volumen der durch den Schornstein entweichenden Gase auf den Druck und die Temperatur der in die Feuerung eintretenden atmosphärischen Luft umrechnen, so müßte sich dasselbe Volumen ergeben. In Wirklichkeit ist dies aber nicht der Fall, da die Verbrennungsgase stets Wasserdampf enthalten, der zum Teil aus der den Brennstoffen anhaftenden natürlichen Feuchtigkeit, zum Teil aus dem Feuchtigkeitsgehalt der verwendeten Luft herrührt und zum Teil bei der Verbrennung durch Vereinigung des Wasserstoffs der Brennstoffe mit Sauerstoff der Verbrennungsluft entsteht nach der Gleichung:



Enthalten endlich die Verbrennungsgase auch noch Kohlenoxyd, welches nach der Gleichung:



entsteht, so ist hierin wieder ein Grund zu finden, weshalb das umgerechnete Volumen der Schornsteingase nicht genau gleich dem Volumen der in die Feuerung eingetretenen Luftmenge sein kann, denn sowohl bei der Entstehung von Wasser (in Dampfform) als auch von Kohlenoxyd tritt, wie die räumliche Deutung der beiden letzten chemischen Gleichungen erkennen läßt, an die Stelle des verbrauchten Sauerstoffvolumens das doppelte Volumen von Wasserdampf bzw. Kohlenoxyd.

Für die Betriebspraxis können aber die beiden letzten Vorgänge vernachlässigt werden, so daß man also mit hinreichender Genauigkeit das Volumen der in die Feuerung einziehenden Luft gleich dem Volumen der aus dem Schornsteine entweichenden Verbrennungsgase — umgerechnet auf Druck und Temperatur der Verbrennungsluft — setzen kann.

Die atmosphärische Luft, die bei allen technischen Feuerungen als Sauerstoffquelle dient, besteht, wenn man von einem geringfügigen Gehalt an Wasserdampf und Kohlensäure absieht, in reinem Zustande aus

79,04 Raumteilen Stickstoff und 20,96 Raumteilen Sauerstoff.

Würde man reinen Kohlenstoff mit der theoretischen Luftmenge vollkommen verbrennen, so würden dennoch die Verbrennungsgase an Stelle des Sauerstoffs der Luft Kohlensäure enthalten, also aus 20,96% CO₂ und 79,04% N₂ bestehen. Weil jedoch bei den üblichen Brennstoffen ein Teil des Sauerstoffs zur Verbrennung des Wasserstoffs erforderlich ist, entstehen bei der Verbrennung fester Brennstoffe theoretisch nur etwa 19% CO₂¹⁾. Aus den früher angegebenen Gründen muß jedoch stets Luft im Überschuß zugeführt werden; es wird also nur ein Teil des Sauerstoffs durch Kohlensäure ersetzt, während der übrige Teil des Sauerstoffs als solcher in den Abgasen wieder erscheint, so daß stets

$$\text{CO}_2 + \text{O}_2 \text{ etwa} = 19\%$$

ist. Beträgt z. B. der CO₂-Gehalt der Abgase $k = 9,5\%$, so enthalten die Abgase $19 - 9,5 = 9,5\%$ O₂; d. h. die Hälfte des für die Verbrennung des Kohlenstoffs verfügbaren Sauerstoffs wurde zur Bildung von CO₂ verwendet, während die zweite Hälfte unausgenutzt blieb, oder, mit anderen Worten, es wurde etwa das Doppelte der theoretischen Luftmenge zugeführt, also Vielfaches der theoretischen Luftmenge $m = 2$. Allgemein ist für feste Brennstoffe

$$m \text{ etwa} = \frac{19}{k}.$$

Im allgemeinen kann man annehmen, daß eine Feuerung sehr gut geführt ist, wenn die Rauchgase

12 ÷ 15 Volumenprocente CO₂ enthalten,

während Kohlenoxyd fehlen soll, oder höchstens in Spuren vorhanden sein darf²⁾. Die Rauchgasanalyse ist demnach ein Mittel zur Feststellung des Luftüberschusses.

Die Apparate, deren man sich in der Praxis zur Untersuchung der Rauchgase bedient, lassen sich ihrer Wirkungsweise nach in zwei Gruppen einteilen:

1. mechanisch wirkende Apparate,
2. chemisch wirkende Apparate.

Die ersteren ermöglichen gewöhnlich nur die Bestimmung der Kohlensäure (CO₂), und zwar auf Grund der ungleichen spezifischen Gewichte von Luft und Verbrennungsgasen, welcher Unterschied um so größer ist, je größer der Kohlensäuregehalt der Verbrennungsgase ist.

¹⁾ Genaue Berechnung s. später unter „Berechnung des Luftüberschusses“.

²⁾ Die Verwertung der Untersuchung auf Sauerstoff zur Prüfung der Vollkommenheit der Verbrennung folgt später.

Wichtiger als die Apparate der ersten Gruppe sind die Apparate der zweiten Gruppe, die eine chemische Untersuchung der Rauchgase bezwecken.

Ihr Arbeitsgrundsatz ist kurz folgender: Ein genau abgemessenes Volumen (z. B. 100 ccm) der zu untersuchenden Gasprobe wird mit einem zuverlässigen Absorptionsmittel einige Zeit in innige Berührung gebracht. Wird hierauf der Gasrest wieder gemessen, so gibt der Verlust den Gehalt der untersuchten Probe an derjenigen Gasart an, für welche das angewandte Reagens ein Absorptionsmittel ist.

Bei den im folgenden näher beschriebenen Apparaten dieser zweiten Gruppe kommen als Absorptionsmittel in Verwendung:

für Kohlensäure	Kalilauge,
für Sauerstoff	Pyrogallussäure oder Phosphor,
für Kohlenoxyd	Kupferchlorür,
für Kohlenwasserstoffe . . .	rauchende Schwefelsäure.

Sollen diese Reagenzien für die Betriebspraxis geeignet sein, so kommt es nicht nur darauf an, daß sie überhaupt noch Gase absorbieren, sondern daß diese Absorption mit genügender Schnelligkeit vor sich geht.

Da die Fähigkeit der Absorption mit der Dauer des Gebrauches der Absorptionsmittel abnimmt, um schließlich ganz zu verschwinden, so ist es zur Vermeidung von falschen Analysen nötig zu wissen, welche Gasmenge von den genannten Reagenzien mit Sicherheit absorbiert werden kann, ohne daß eine merkliche Abnahme der Absorptionsfähigkeit eintritt.

Herstellung des Absorptionsmittels:

a) Für Kohlensäure: Man löst 100 Gewichtsteile Ätzkali K_2O (in Stängchenform) in 200 Gewichtsteilen destillierten Wassers auf:



und läßt die Lösung (Kalilauge) vor Gebrauch erkalten. Wegen der starken Ätzwirkung der Kalilauge ist jedes Umherspritzen zu vermeiden.

b) Für Sauerstoff: Entweder folgende Mischung: 15÷20 g pulverförmige Pyrogallussäure in 200 ccm Kalilauge von der obigen Zusammensetzung gelöst oder weißen Phosphor in Stängchenform. Erstere Mischung ist nur einige Tage brauchbar und soll in dem später genannten Orsatapparat durch eine über die freie Öffnung des Absorptionsgefäßes gestülpte Gummiblase vor Luftzutritt geschützt werden. Die Blase kann jedoch bei der Ausführung der Analyse hinderlich werden. Phosphor absorbiert innerhalb 3 Minuten; er ist stark giftig, gerät an der Luft leicht in Brand, darf nur mit der Pinzette angefaßt, nur unter Wasser zerschnitten und der Luft nur so lange ausgesetzt werden, wie zum Überführen in das mit Wasser gefüllte Absorptionsgefäß notwendig ist. Phosphor absorbiert gut bei etwa 20°, dagegen hört bei +7° seine Absorptionsfähigkeit ganz auf, ebenso bei Anwesenheit von schweren Kohlenwasserstoffen. In diesem Fall muß das Gas vor der Absorption des Sauerstoffes in rauchende Schwefelsäure geleitet werden.

c) Für Kohlenoxyd: Ammoniakalische Kupferchlorürlösung¹⁾. Man hält 2 haltbare Lösungen vorrätig und mischt sie vor Gebrauch zu gleichen Teilen.

Lösung 1: 250 g Salmiak NH_4Cl in 750 ccm Wasser, dazu 100 g Kupferchlorür Cu_2Cl_2 und eine Kupferspirale.

Lösung 2: Die Lösung 1 wird mit $\frac{1}{3}$ ihres Volumens mit Salmiakgeist NH_3 versetzt, dazu eine Kupferspirale.

Professor Hempel hat für die gebräuchlichen Absorptionsmittel den sog. Wirkungswert oder zulässigen Absorptionswert durch Versuche festgestellt²⁾. Derselbe beträgt für

Kalilauge	40 ccm,
Pyrogallussäurelösung nach Hempel	2,25 ccm,
Phosphor	unbegrenzt,
salzsaure Kupferchlorürlösung	4 ccm,
ammoniakalische Kupferchlorürlösung	4 ccm,

d. h. 1 ccm Kalilauge ($33\frac{1}{3}$ proz. Ätzkalilösung) kann mit Zuverlässigkeit 40 ccm Kohlensäure absorbieren, wobei Hempel eine vierfache Sicherheit angenommen hat, so daß in Wirklichkeit 1 ccm obiger Kalilauge 160 ccm Kohlensäure aufzunehmen imstande ist. Analog sind die Verhältnisse bei den übrigen der vorher angeführten Absorptionsmittel.

Die Einrichtung derjenigen Apparate, die eine chemische Untersuchung der Rauchgase bezwecken, ist entweder derart, daß das Abmessen eines bestimmten Gasvolumens und die darauffolgende Absorption in ein und demselben Gefäße oder in getrennten Gefäßen vorgenommen werden.

Zu den ersteren zählt die bekannte Buntische Bürette und die Bürette von Tollens, zu den letzteren die Hempelschen Apparate zur Gasanalyse und die Orsatapparate.

Die Gasbürette von Bunte. Die Buntische Gasbürette (Abb. 30) besteht in der Hauptsache aus der eigentlichen Bürette, einem zylindrischen, oben etwas erweiterten Glasgefäße von ca. 110 ccm Inhalt. Die Rohrenden dieses graduierten Gefäßes tragen je einen Glashahn *a* und *b*, und zwar ist *b* ein Dreiweghahn, während *a* nur eine Bohrung besitzt. An das Rohrstück, in welchem der Dreiweghahn *b* sitzt, schließt nach oben hin ein kleiner, ebenfalls zylindrischer Behälter an, der in ungefähr halber Höhe eine Strichmarke *c* trägt. Um plötzliche Temperaturschwankungen von dem in der Bürette eingeschlossenen Gase fernzuhalten, ist die Bürette mit einem weiten Glasmantel *A* umgeben, der während der Versuche mit Wasser gefüllt sein muß. Durch eine Klemme *B* wird die Bürette samt Mantel an einem eisernen Stativ befestigt. Letzteres hat oben einen tellerartigen Aufsatz, der für eine Glasflasche *C* mit Tubus bestimmt ist.

Um die Bürette mit Gas zu füllen, stellt man den Dreiweghahn *b* so ein, daß seine axiale Bohrung mit dem Inneren der Bürette

¹⁾ Eine andere Bestimmungsart mit Hilfe von Abgasschaubildern folgt später unter „Berechnung des Luftüberschusses aus der Rauchgasanalyse“.

²⁾ Hempel: Gasanalytische Methoden.

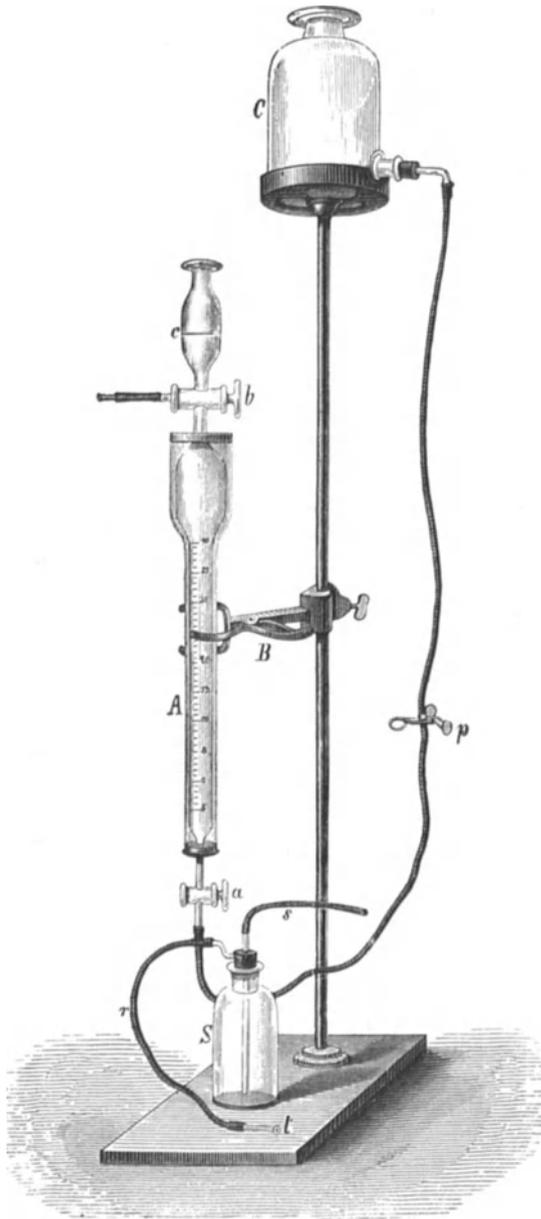


Abb. 30.

in Verbindung steht, und schließt mit Hilfe eines Gummischlauches das zu diesem Zwecke besonders lang ausgeführte Küken von *b* an die Gasleitung an, während man das Rohr-ende unterhalb des Hahnes *a*, nachdem dessen Bohrung vertikal gestellt ist, ebenfalls mittels Gummischlauches mit einer Gummipumpe (Abb. 31), wie solche auch beim Orsat-Apparate Verwendung findet, in Verbindung bringt. Es ist nun vor allem darauf zu achten, daß die in der Bürette eingeschlossene Luft vollständig entfernt wird. Man muß zu diesem Zwecke die Gummipumpe mehrere Male hintereinander durch Zusammendrücken mit der Hand in Tätigkeit setzen, so daß schließlich die in der Bürette eingeschlossen gewesene Luft durch die zu untersuchenden Gase weggespült worden ist.

Die Hähne *a* und *b* werden geschlossen. Dann schließt man die Gasleitung unmittelbar hinter dem Hahne *b* durch einen Quetschhahn ab, weshalb es empfehlenswert ist, an die Spitze des Hahnes *b* zuerst ein kurzes Stück Gummischlauch (mit Quetschhahn), dann ein Stück Glasrohr anzuschließen und mit diesem erst die eigentliche

Gasleitung zu verbinden, dann beseitigt man die Gummipumpe und verbindet dafür die untere Spitze der Bürette mit der im Wasser gefüllten Flasche *C* (wie Abb. 30 zeigt). Der obere Aufsatz der Bürette wird bis zur Marke *c* mit Wasser gefüllt.

Das in der Bürette unter beliebigem Drucke befindliche Gasvolumen ist nun auf 100 ccm und unter bestimmten Druck zu bringen. Zu diesem Zwecke wird der Hahn *a* geöffnet und durch Hochheben der Flasche *C* der Wasserspiegel in der Bürette bis zum Teilstriche Null getrieben. Hierauf wird der Hahn *a* geschlossen und der Hahn *b* geöffnet, so daß das Innere der Bürette mit dem Aufsätze in Verbindung tritt. Die Folge hiervon wird sein, daß ein Teil des eingeschlossenen Gases in Blasenform durch das Wasser entweicht, während letzteres durch kapillare Wirkung über dem in der Bürette befindlichen Gase schweben bleibt. Der Druck, unter welchem dieses Gas nunmehr steht, ist gleich dem augenblicklichen Atmosphärendrucke, vermehrt um das Gewicht einer kleinen, bis zur Marke *c* reichenden Wassersäule. Dieser Druck läßt sich während des Versuches stets wieder herstellen.

Der Hahn *b* wird geschlossen, *a* geöffnet, damit durch Tiefstellung der Flasche *C* das in der Bürette befindliche Sperrwasser so weit wie möglich abfließen kann; dann wird *a* wieder geschlossen und der Verbindungsschlauch von der unteren Spitze der Bürette abgezogen. Das Absaugen des in der Bürette befindlichen Sperrwassers kann auch mit Hilfe der in Abb. 30 dargestellten Saugflasche *S* geschehen. Man verbindet zu diesem Zwecke den Schlauch *s* dieser Flasche bei geschlossenem Hahne *a* mit der unteren Spitze der Bürette, stellt durch Saugen am Ende *t* des Schlauches *r* einen luftverdünnten Raum in *S* her und öffnet nun den Hahn *a*, wodurch das Sperrwasser bis auf einen kleinen Rest aus der Bürette nach der Flasche *S* abfließen wird. In derselben Weise verfährt man auch, wenn es sich im weiteren Verlaufe der Untersuchung darum handelt, in der Bürette befindliche Absorptionsflüssigkeiten aus derselben zu entfernen. Die in einer Glas- oder Porzellanschale bereitgehaltene Absorptionsflüssigkeit wird nun so unterhalb der Bürette aufgestellt, daß die untere Spitze der letzteren genügend weit zum Eintauchen kommt. Öffnet man nun den Hahn *a*, so wird die Absorptionsflüssigkeit eingezogen. Findet ein weiteres Steigen derselben nicht mehr statt, so schließt man den Hahn *a*, nimmt die Bürette aus der Klemme *B* und schüttelt sie einige Male hin und her, um die Absorption zu beschleunigen, taucht die untere Spitze wieder in die Absorptionsflüssigkeit ein, öffnet den Hahn *a* und läßt nochmals Flüssigkeit in die Bürette eintreten, schließt *a*, schüttelt abermals und fährt so fort, bis die Absorptionsflüssigkeit in der Bürette nicht mehr steigt. Dann bringt man die Bürette wieder in die Klemme, füllt den Aufsatz bis zur Marke *c* mit Wasser und öffnet den Hahn *b*, so daß das Innere der Bürette mit dem Aufsätze in Verbindung steht. Es wird nun so lange Wasser in die Bürette eindringen, bis sich im Innern derselben der zu Beginn des Versuches vorhanden gewesene Druck wieder eingestellt hat. Durch Nachgießen ist der Wasserspiegel im Aufsätze stets auf Marke *c* zu halten. Wird nun der Hahn *b* geschlossen,



Abb. 31.

so gibt der Stand der Kalilauge, wenn solche als Absorptionsflüssigkeit Verwendung gefunden hat, den Gehalt der untersuchten Gase an Kohlensäure an.

Soll auch der Sauerstoffgehalt der Rauchgase bestimmt werden, so ist zunächst die in der Bürette befindliche Kalilauge vorsichtig abzusaugen und dann die untere Spitze in Pyrogallussäurelösung zu tauchen. Im übrigen ist die Handhabung genau dieselbe wie bei der Bestimmung des Kohlensäuregehaltes. Der schließliche Stand der Absorptionsflüssigkeit in der Bürette gibt die Summe des Kohlensäure- und Sauerstoffgehaltes an.

Würde endlich in gleicher Weise Kupferchlorür als Absorptionsflüssigkeit benutzt werden, so ließe sich ebenso auch der Gehalt der Rauchgase an Kohlenoxyd feststellen.

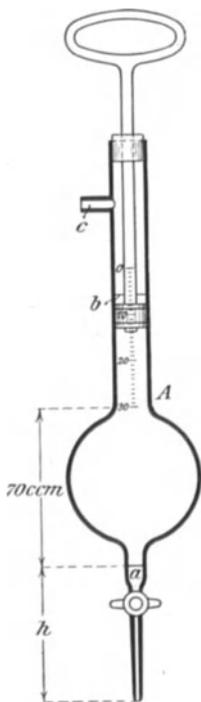


Abb. 32.

Die Absorptionsbürette von Tollens. Während bei der Bunte'schen Bürette, ebenso wie bei den noch zu beschreibenden Apparaten vom Hempel und Orsat, das Abmessen des zu untersuchenden Rauchgasvolumens durch einen mittels Niveaugefäßes bewegten Wasserspiegel geschieht, ist es bei der Bürette von Tollens ein gasdicht schließender, leicht beweglicher Kolben, der zur Abmessung des Gasvolumens dient. Dadurch, daß das Niveaugefäß in Wegfall gekommen ist, ist die Handhabung des Apparates vereinfacht und die Dauer einer Analyse verkürzt.

Die Bürette, welche in Abb. 32 dargestellt ist, besteht aus einem oberen zylindrischen Teile von etwa 16 mm lichter Weite, in welchen ein besonders konstruierter Gummikolben gasdicht eingesetzt werden kann, einer daran schließenden kugelförmigen Erweiterung, durch welche eine kurze Baulänge des Apparates erzielt wird, einem engeren Teile mit eingeschliffenem Glashahne und einer etwa 80 mm langen, kapillaren Hahnspitze. Am oberen Ende der Bürette befindet sich ein kurzer, seitlicher Rohransatz *c*. Der zylindrische Teil ist in $\frac{1}{5}$ cm eingeteilt. Vom Nullstriche dieser Skala bis zur Marke *a* an der unteren Verengung beträgt der Inhalt der Bürette 100 cm. Der zylindrische Teil weist noch eine empirisch bestimmte Marke *b* auf.

Der Kolben, welcher in dem zylindrischen Teile der Bürette hin und her geht, besteht aus einer Gummikugel, die zwischen zwei Schraubenmuttern auf der Kolbenstange sitzt. Durch Drehen an der oberen dieser beiden Muttern kann diese Gummikugel so stark zusammengepreßt werden, daß sie dicht an der Glasröhre anliegt und doch leicht hin und her geht, nachdem sie mit Öl geschmiert ist. Die an der Glaswandung anliegende Fläche des Kolbens soll ca. 4÷6 mm breit sein.

Soll eine Analyse ausgeführt werden, so schließt man zunächst die Hahnspitze der Bürette mittels Gummischlauches an die nach der

Gasentnahmestelle führende Leitung an, hierauf setzt man den eingeöhlten Kolben ein, drückt den lose auf der Kolbenstange befindlichen Korken in die obere Öffnung der Bürette hinein und bewegt den Kolben einige Male hin und her. Zuletzt läßt man ihn $2 \div 3$ cm über dem Rohransatz c stehen. Dann schließt man an c eine Gummipumpe (siehe Abb. 31) an und drückt letzteren $8 \div 10$ mal zusammen. Dadurch werden Rauchgase in die Bürette gesaugt. Nunmehr schiebt man den Kolben etwa 3 cm unter den Rohransatz c herunter und schließt den Hahn. Nachdem die Verbindungen der Bürette mit dem Aspirator und der Rauchgasleitung gelöst sind, handelt es sich darum, eine Gasmenge von 100 ccm unter einem bestimmten Drucke abzumessen. Dies wird dadurch erreicht, daß man den Kolben bis zur Marke b herabdrückt und hierauf den Hahn öffnet. Dann befinden sich genau 100 ccm Rauchgas in der Bürette, und zwar unter einem Drucke x , der gleich dem Atmosphärendrucke A minus der Wassersäule h (Abb. 33) ist, wie durch folgende einfache Überlegung leicht zu beweisen ist.

Würde man das untere Ende der Bürette in Wasser tauchen und den Kolben bis zum Nullpunkte hochziehen,* so würde sich der Wasserspiegel, nachdem man die Bürette aus dem Wasser genommen hat, auf die Marke a (Abb. 32) einstellen. Bezeichnet f den lichten Querschnitt der Bürette in der Höhe der Marke a , so gilt in Rücksicht auf die hydrostatischen Druckverhältnisse die Gleichgewichtsbedingung:

$$x \cdot f = A \cdot f - h \cdot f,$$

also:

$$x = A - h.$$

Nunmehr kann die Absorption der Kohlensäure bewerkstelligt werden. Zu diesem Zweck taucht man die Hahnspitze in ein Gefäß mit Kalilauge, saugt durch Hochziehen des Kolbens (aber nicht über den Ansatz c hinaus) etwa 5 ccm Kalilauge an, schließt den Hahn und schüttelt die Bürette hin und her. Nach etwa $\frac{1}{2}$ Minute taucht man die Hahnspitze nochmals in die Kalilauge ein und öffnet den Hahn, wobei noch etwas Kalilauge nachgesaugt wird. Nach erfolgter Absorption drückt man die Lauge bis auf einen kleinen Rest, der die Hahnspitze verschließt, hinaus. Nunmehr spült man die Bürette durch Einsaugen und Herausdrücken von Wasser, welches die Temperatur des Versuchsraumes haben muß, aus, wobei darauf zu achten ist, daß der Teil unterhalb der kugelförmigen Ausbauchung der Bürette stets mit Wasser gefüllt ist. Stellt man schließlich durch entsprechende Bewegung des Kolbens den Wasserspiegel auf die Marke a ein, so gibt der augenblickliche Stand des Kolbens die absorbierten Volumenprocente Kohlensäure an. Bezüglich der verschiedenen Stellungen des Kolbens ist zu bemer-

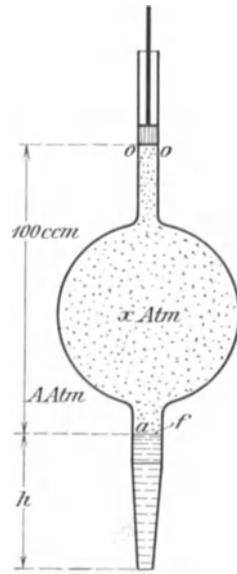


Abb. 33.

ken, daß für dieselben stets die untere Kante der unteren runden Schraubenmutter maßgebend ist.

Drückt man nun das in der Bürette befindliche Wasser heraus und saugt Pyrogallussäure ein, so wird in gleicher Weise der Sauerstoffgehalt der Gase bestimmt; ebenso läßt sich durch nachfolgendes Einsaugen von Kupferchlorürlösung der etwa vorhandene Kohlenoxydgehalt der Gase ermitteln.

Bei der Handhabung der Bürette ist besonders darauf zu achten, daß sie stets nur oberhalb des Nullstriches angefaßt wird, damit nicht die Handwärme die Temperatur der eingeschlossenen Gase verändert.

Es ist ratsam, nach einer Reihe von Analysen die Bürette durch Einsaugen von möglichst viel Wasser und tüchtiges Schütteln zu reinigen. Am Schlusse der Versuche wird in gleicher Weise verfahren; dabei muß der zylindrische Teil der Bürette durch Einführen eines mit Flachs umwickelten Wischstockes noch besonders gesäubert werden. Während des Nichtgebrauches darf der Kolben niemals in der Bürette steckenbleiben, da er sich sonst nach einiger Zeit festsetzen würde.

Obwohl die Einrichtung der bisher beschriebenen Büretten einfach ist, so gestaltet sich das Arbeiten mit ihnen doch zeitraubend und umständlich. Wird nicht nach jeder Probenahme auf sorgfältigste Reinigung des Apparates geachtet, so kommen nur zu leicht falsche Analysen zustande, indem die an der Innenwandung der Bürette haften gebliebenen Teile der Absorptionsflüssigkeiten schon während des Ansaugens der neuen Gasprobe auf dieselbe einwirken.

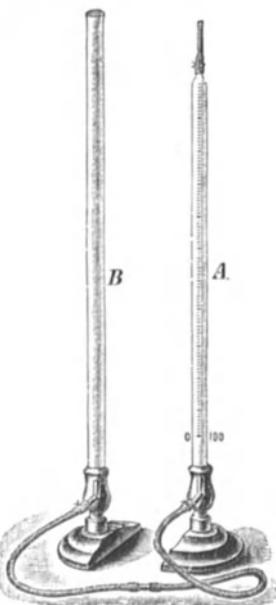


Abb. 34.

Diejenigen Apparate, bei denen die Meßbürette und der Absorptionsraum getrennt sind, weisen diesen Fehler nicht auf. Auch ermöglichen sie ein rascheres und bequemerer Ausführen der Analyse.

Die Apparate von Hempel. Bei den Hempelschen Apparaten geschieht das Entnehmen und Abmessen der Gasprobe in folgender Weise:

Das Glasrohr *B* (Abb. 34), auch Niveauröhre genannt, ist ebenso wie die in $\frac{1}{5}$ ccm geteilte Glasröhre *A* (Abb. 34), die eigentliche Meßbürette, unten mit einem schweren, eisernen Fuße versehen, derart, daß die umgebogenen, verzüngten und etwas aufgekröpften Enden der Rohre herausragen. Die Meßbürette *A* läuft oben in ein ca. 1 mm weites Röhrchen aus, über welches ein gut anschließendes Stück Gummischlauch gezogen wird. Mit Hilfe eines Quetschhahnes wird dieses Schlauchstück knapp über dem oberen Ende des Röhrchens

abgeschlossen. Der Inhalt der Meßbürette beträgt etwas mehr als 100 ccm. Die Teilung in $\frac{1}{5}$ ccm ist derart angeordnet, daß der oberste Teilstrich 100 da liegt, wo das obere Röhrchen an die Bürette anschließt. Der unterste Teilstrich Null kommt dadurch einige Zentimeter über den oberen Rand des Eisenfußes zu liegen. Die Numerierung der Skala ist eine doppelte; einmal ist der unterste, das zweitemal der oberste Teilstrich als Nullpunkt angenommen. Die weiteren Enden von *A* und *B* werden nun durch einen ziemlich langen Gummischlauch miteinander verbunden. In die Niveauröhre *B* gießt man so viel destilliertes Wasser ein, daß bei geöffnetem Quetschhahne beide Rohre *A* und *B* bis etwas über die Hälfte gefüllt sind. Damit die im Gummischlauche enthaltene Luft gänzlich entweicht, ist es ratsam, bei geöffnetem Quetschhahne das Rohr *B* einige Male rasch zu heben und zu senken; schließlich wird *B* so hoch gehalten, daß *A* und auch das obere Schlauchstück sich vollständig mit Wasser füllt. Dabei soll in *B* das Wasser noch einige Zentimeter über dem Eisenfuß stehen. Nunmehr wird der Quetschhahn geschlossen.

Das Füllen der Meßbürette *A* mit dem zu untersuchenden Gase geschieht, wie aus Nachfolgendem bald ersichtlich sein wird, am besten unter Druck. Deshalb ist es zweckmäßig, das Absaugen der Rauchgase aus dem Rauchgaskanale durch einen sog. Flaschenaspirator (Abb. 35) zu bewerkstelligen, der im gewünschten Falle auch als Druckvorlage dienen kann.

Zwei Glasflaschen F_1 , F_2 (Abb. 35) von je ca. 5 l Inhalt sind in der Nähe des Bodens je mit einem Tubus zur Einführung eines Gummistopfens mit eingesetztem Glasrohre versehen. Durch einen über diese Glasrohre gezogenen Gummischlauch *G* sind beide Flaschen miteinander verbunden. An den durch den Hals der hochgestellten Flasche F_1 mittels eines Gummistopfens gezogenen Glasrohrkrümmer ist ein kurzes Schlauchstück mit Quetschhahn q_1 und an dieses ein ebenfalls kurzes, gerades Glasrohr *g* angeschlossen. Von letzterem aus wird ein Schlauch *C* nach der Gasentnahmestelle geführt. In beide Flaschen wird destilliertes Wasser gefüllt, und zwar in F_1 (bei abgequetschtem Schlauche *G*) bis zum Halse, in F_2 bis über den Tubus. (Da Wasser immerhin die Eigenschaft hat, Gase zu absorbieren, so empfiehlt es sich, zum Füllen der Flaschen F_1 und F_2 Glycerin zu nehmen, welches aber, damit es leichtflüssig wird, mit Wasser verdünnt werden muß.) Wird der Schlauch *G* durch Öffnen von q frei, so fließt das Wasser von F_1 nach F_2 , wodurch die Gase nach F_1 gesaugt werden. Hat sich F_2 mit Wasser

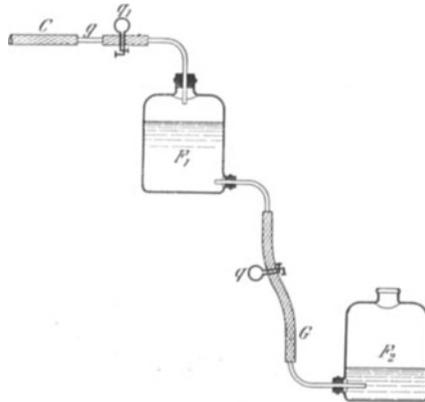


Abb. 35.

nahezu gefüllt, so wird der Schlauch G abgequetscht. Die atmosphärische Luft, welche vor dem Absaugen im Schlauche C enthalten war, wurde mit den Rauchgasen nach F_1 gesaugt, deshalb vertauscht man nunmehr F_1 und F_2 , ohne an den bestehenden Schlauchverbindungen etwas zu ändern. Indem nunmehr das Wasser aus der hoch gestellten Flasche F_2 nach F_1 abfließt, werden aus letzterer Flasche die vorher angesaugten Gase samt der mit ihnen vermischten atmosphärischen Luft nach dem Rauchgaskanal zurückgedrückt. Wiederholt man dieses Verfahren noch einige Male, so ist der störende Einfluß der ursprünglich mit angesaugten Luft sicher ausgeschaltet. Ist F_1 zum letzten Male mit Gasen gefüllt worden, so schließt man mit Hilfe des Quetschhahnes q_1 das am Glasrohrkrümmer befindliche Schlauchstück möglichst nahe am Krümmer ab und löst außerdem die Verbindung von C mit dem Glasrohre g . Schlauch G wird ebenfalls abgequetscht.

Um das Gas aus der Flasche F_1 nach der Meßbürette A (Abb. 34) überzuführen, verfährt man wie folgt (siehe Abb. 36):

Die mit Gasen gefüllte Flasche F_1 wird tief, die Flasche F_2 hoch gestellt. Ein Gummischlauch S , der an beiden Enden ein kurzes, nach außen etwas verjüngtes Glasrohr trägt, wird zunächst an das Schlauchstück, welches sich an dem Krümmer der Flasche F_1 be-

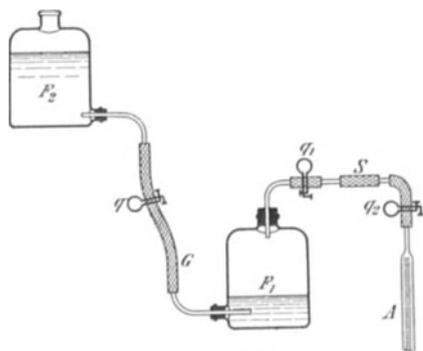


Abb. 36.

findet, angeschlossen (Abb. 36). Werden die Quetschhähne q und q_1 geöffnet, so strömt Gas durch den Schlauch S aus, wodurch die in S befindliche atmosphärische Luft ausgetrieben wird. Ist dies mit Sicherheit geschehen, so wird das am noch freien Ende von S befindliche Glasröhrchen mit dem kurzen Gummischlauch verbunden, der am oberen Ende der Meßbürette A sich befindet und der vorher durch Hochhalten von B (Abb. 34) mit Wasser gefüllt worden war. Löst man hierauf den an der oberen Fortsetzung von A befindlichen Quetschhahn q_2 (Abb. 36), so wird das Gas unter Druck in A einströmen. Dabei darf die Niveauröhre B natürlich nur so hoch stehen, daß der durch den Flaschenaspirator erzeugte Druck zur Überwindung aller Widerstände ausreicht. Ist A ungefähr bis zur Hälfte mit Gas gefüllt, so kann B auf dieselbe Unterlage gestellt werden, auf der A sich bereits befindet. Man leitet so lange Gas nach A über, bis sich der Wasserspiegel in A unmittelbar über dem eisernen Fuße einstellt. Dann wird sowohl der Quetschhahn q_2 auf A als auch q_1 geschlossen.

Das in A eingeschlossene Gasvolumen ist nun genau auf 100 ccm zu verringern und auf atmosphärischen Druck zu bringen.

Zu diesem Zwecke wird zunächst die Verbindung des Gaszuführungsschlauches S mit der Meßbürette A gelöst; dann hebt man die Niveau-

röhre *B* so hoch, daß der Wasserspiegel in der Meßbürette *A* über den unteren Nullpunkt zu stehen kommt; hierauf drückt man mit dem Daumen und Zeigefinger der rechten Hand den Verbindungsschlauch zwischen *A* und *B* dicht unterhalb der Meßbürette *A* zusammen; die Niveauröhre *B* stellt man jetzt auf den Arbeitstisch, hebt mit der linken Hand *A* etwas, durch vorsichtiges Lockern der den Verbindungsschlauch von *A* und *B* zusammendrückenden Finger der rechten Hand sinkt der Wasserspiegel in *A* allmählich bis zum unteren Nullpunkte. Ist dies geschehen, so quetscht man mit der rechten Hand den Verbindungsschlauch von *A* und *B* fest zusammen und lüftet mit der linken Hand den am oberen Ende von *A* sitzenden Quetschhahn q_2 . Dadurch wird so viel Gas aus der Meßbürette *A* abströmen, daß schließlich im Innern derselben atmosphärische Spannung herrscht.

Während der Ausführung der Untersuchung darf natürlich, um Temperaturschwankungen des eingeschlossenen Gasvolumens zu vermeiden, die Meßbürette *A* niemals am Glasrohre angefaßt werden.

Die so abgemessene und auf atmosphärischen Druck gebrachte Gasprobe muß nun mit den Absorptionsflüssigkeiten in innige Berührung gebracht werden, welcher Vorgang sich in den Absorptionspipetten abspielt.

Für die Absorption von Kohlensäure benutzt Hempel eine Pipette, wie sie Abb. 37 zeigt.

Zwei Glaskugeln, von denen die tiefer liegende *K* etwas mehr als 100 ccm Inhalt hat, während die höher liegende *L* rd. 100 ccm faßt, sind durch ein U-förmig gebogenes Glasrohr verbunden. An *K* schließt sich ein doppelt gebogenes, starkwandiges Kapillarrohr an, während das kleinere Gefäß *L* durch ein gerades Stück Glasrohr von größerer Weite seine Fortsetzung nach oben findet. Durch dieses Röhrrchen wird mittels eines kleinen Glastrichters Kalilauge von $1,20 \div 1,28$ spez. Gew. eingegossen, und zwar so viel, daß die Kugel *K* vollständig, *L* dagegen nur etwas gefüllt ist. Durch Saugen am Kapillarrohre zieht man den Flüssigkeitsfaden in dasselbe hinein.

Eine etwas andere Form der Absorptionspipette für Kohlensäure zeigt Abb. 38. Hierbei ist die größere Glaskugel *K* (Abb. 37) durch ein zylindrisches Gefäß *K* ersetzt, welches unten einen weiten, durch Gummistopfen verschließbaren Hals trägt. Durch letzteren werden vor dem Einfüllen der Absorptionsflüssigkeit kleine Drahtrollen oder kleine Gummistücke in das zylindrische Gefäß gebracht. Diese dienen zur Vergrößerung der mit Absorptionsflüssigkeit benetzten Fläche.

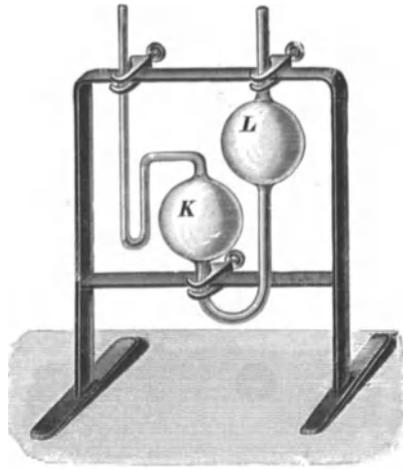


Abb. 37.

Auf das Kapillarrohr wird ein kurzes Stück Gummischlauch gesteckt; die Verbindung der Meßbürette *A* mit der eben beschriebenen Pipette wird nun einfach dadurch hergestellt, daß man ein kapillares Schenkelrohr (Abb. 39) einerseits in das auf dem Kapillarrohre der Pipette, andererseits in das am oberen Ende der Meßbürette *A* befindliche Schlauchstück steckt. Hierbei muß die Pipette höher stehen als

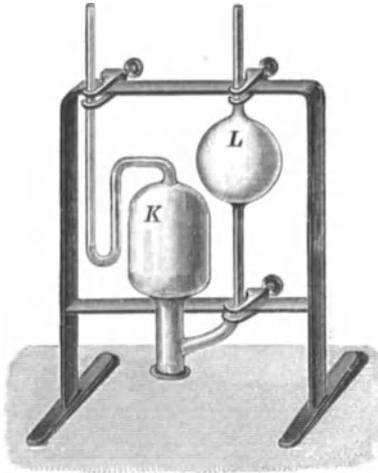


Abb. 38.

die Meßbürette *A*, weshalb es vorteilhaft ist, ein einfaches Holzbankchen herzustellen, dessen Höhe so bemessen ist, daß das Kapillarrohr der Pipette, wenn letztere auf dem Bankchen steht, und die obere Ausmündung der Meßbürette, wenn diese mit dem Bankchen auf derselben Unterlage ruht, in gleicher Höhe liegen.

Man öffnet nun den oben an der Meßbürette sitzenden Quetschhahn, hebt die Niveauröhre *B*, erst langsam, dann rascher, und drückt dadurch die Gasprobe von der Meßbürette *A* nach der Pipette hinüber. Ist der Wasserspiegel in *A* bis an den oberen Nullpunkt gestiegen, so wird der vorhin geöffnete Quetschhahn geschlossen. Man läßt nun die Gas-

probe ungefähr $\frac{1}{2}$ Minute mit der Absorptionsflüssigkeit in Berührung, senkt hierauf die Niveauröhre *B* und öffnet gleichzeitig den Quetschhahn an *A*, wodurch die Gasprobe aus der Pipette nach *A* zurückgesaugt wird. Ist die Absorptionsflüssigkeit im Kapillarrohre der Pipette bis dahin gestiegen, wo sie vor dem Überführen der Gasprobe stand, so wird der Quetschhahn an *A* geschlossen. Durch Heben und Senken der Niveauröhre *B* bringt man die Wasserspiegel in *A* und *B* auf gleiche Höhe.



Abb. 39.

Der Stand des Wasserspiegels in *A* über dem unteren Nullpunkte gibt den Gehalt der Gasprobe an Kohlensäure an.

Hier ist noch auf einen Fehler aufmerksam zu machen, der sich nur schwer vermeiden läßt, der aber so klein ist, daß er ohne weiteres vernachlässigt werden kann. Beim Übertreiben der Gasprobe in die Pipette wird auch die Luftmenge, welche in dem kapillaren Schenkelrohre sich befindet, in das Absorptionsgefäß getrieben und mit der Gasprobe vermischt; doch ist ihre Menge und noch mehr das in ihr enthaltene Kohlensäurequantum so klein, daß der hierdurch veranlaßte Fehler unberücksichtigt bleiben kann.

Wird nun die Verbindung der Meßbürette *A* mit der Absorptionspipette für Kohlensäure gelöst (das Schenkelrohr kann ein für allemal an der Pipette bleiben), dafür aber mittels eines anderen Schenkel-

rohres die Verbindung mit der Sauerstoffpipette hergestellt, so kann, genau so wie vorher die in der Gasprobe enthaltene Kohlensäure, nunmehr der Gehalt an Sauerstoff bestimmt werden.

Die Einrichtung der Sauerstoffpipette ist verschieden, je nachdem Phosphor oder Pyrogallussäurelösung als Absorptionsmittel angewendet wird.

Die Sauerstoffpipette für Phosphorfüllung ist von derselben Form wie die in Abb. 38 dargestellte Pipette für Kohlensäurebestimmung.

Der zylindrische Behälter *K* (Abb. 38) wird zuerst durch den Hals mit Wasser gefüllt, dann wird weißer Phosphor in Stangenform eingebracht. Der Verschluß des zylindrischen Behälters *K* muß hierauf in sehr sicherer Weise geschehen, damit von dem eingefüllten Wasser nichts verloren geht. Auch darf die zum Gebrauche vorbereitete Pipette nicht umgelegt werden, da sonst das Absperrwasser zum größten Teile ausfließen würde. In beiden Fällen käme der vom Wasser entblößte Phosphor zur Entzündung.

Um einer Umwandlung des weißen Phosphors in unwirksamen roten vorzubeugen, ist darauf zu achten, daß

die Pipette nie dem direkten Sonnenlichte ausgesetzt wird. Sie wird am besten nach dem Gebrauche in ein verschließbares Kästchen gestellt.

Das Verfahren der Sauerstoffbestimmung in der Phosphorpipette ist genau dasselbe wie bei der Kohlensäurebestimmung, nur ist es empfehlenswert, besonders bei Versuchen in schwach geheizten Räumen, die Einwirkung des Phosphors auf die Rauchgase mindestens 3÷4 Minuten lang andauern zu lassen, da die Reaktion des Sauerstoffs auf Phosphor bei niederen Temperaturen nicht immer zuverlässig vor sich geht.

Die Sauerstoffpipette für Pyrogallussäurelösung ist eine sog. zusammengesetzte Pipette (Abb. 40), die aus vier kugelförmigen Gefäßen *M*, *N*, *O*, *P* besteht, welche unter sich durch U-förmig gebogene Rohre verbunden sind, während, ähnlich wie bei der Kohlensäurepipette, von dem äußersten linken Glasgefäße *M* ein gebogenes Kapillarrohr, von dem äußersten rechten Glasgefäße *P* ein gerades, weites Rohrstück abzweigt.

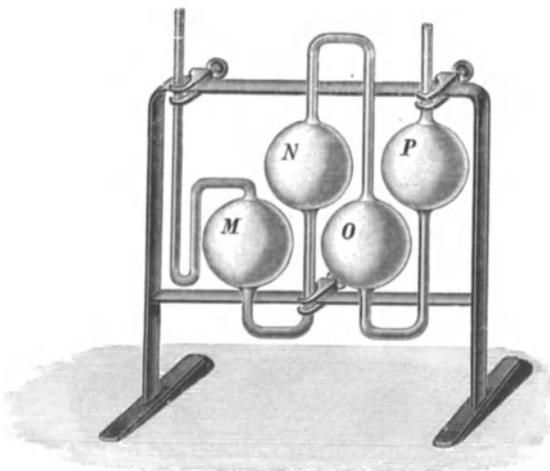


Abb. 40.

Um die zusammengesetzte Pipette mit Absorptionsflüssigkeit zu füllen, stellt man sie auf den Kopf, taucht das Ende des Kapillarrohres oder einen daran angeschlossenen Gummischlauch in die Absorptionsflüssigkeit und zieht diese durch Saugen am weiten Rohrstücke der Pipette in das Gefäß *M*, bis dieses gefüllt ist; dann kehrt man die Pipette wieder um und bringt nun durch das weite Rohrstück etwas destilliertes Wasser in die kugelförmigen Gefäße *O* und *P*. Dadurch ist ein Wasserverschluß gebildet, eine Vorsichtsmaßregel, die bei denjenigen Absorptionsflüssigkeiten anzuwenden ist, die sich, wie z. B. Pyrogallussäure und Kupferchlorür, bei der Berührung mit Luft rasch verändern.

Da Pyrogallussäure ein träges Absorptionsmittel ist, besonders bei niedrigen Temperaturen, so muß ihr zur Reaktion genügend Zeit (3—5 Minuten) gelassen werden; ein mäßiges Schütteln der Pipette unterstützt die Reaktion nicht unwesentlich.

Besonders zu beachten ist auch noch der Umstand, daß die Pyrogallussäurelösung einen verhältnismäßig geringen Absorptionswert hat, also oft erneuert werden muß.

Sollen die Rauchgase auch auf ihren Kohlenoxydgehalt untersucht werden, so treibt man den nach der Bestimmung des Kohlen säure und Sauerstoffgehaltes verbleibenden Gasrest, so wie schon bei der Kohlensäurebestimmung beschrieben, durch die Kohlenoxyd pipette mit Kupferchlorür lösung. Dies ist eine zu-

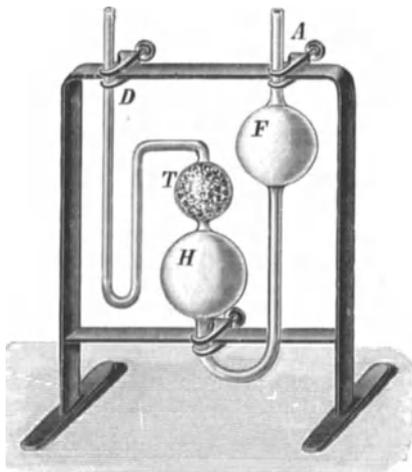


Abb. 41.

sammengesetzte Pipette von der gleichen Einrichtung, wie sie aus Abb. 40 zu ersehen ist.

Das Einfüllen dieser Kupferchlorürlösung in die Pipette geschieht genau so wie das Einfüllen der Pyrogallussäurelösung.

Da die Absorption von Kohlenoxyd nur langsam vor sich geht, so muß die Gasprobe mindestens 3÷4 Minuten im Absorptionsgefäße verweilen, bevor sie wieder in die Meßbürette zurückgebracht werden darf.

Zuweilen ist es auch von Wert, Gase auf die Anwesenheit schwerer Kohlenwasserstoffe hin zu untersuchen. Dies geschieht mit Hilfe einer mit rauchender Schwefelsäure gefüllten Pipette, wie sie in Abb. 41 abgebildet ist. Diese besteht aus drei kugelförmigen Gefäßen *F*, *H*, *T*; an *T* schließt sich das gebogene Kapillarrohr *D*, an *F* das weitere, gerade Rohr *A* an. Die Absorption erfolgt in den beiden Gefäßen *H* und *T*; letzteres ist zur Vergrößerung der Absorptionsfläche mit Glaskügelchen ausgefüllt. Durch *A* wird mittels eines Glastrichters

so viel rauchende Schwefelsäure eingegeben, daß die Behälter *H* und *T* ganz, *F* dagegen nur zum Teil angefüllt sind. Um die Schwefelsäure auch noch nach dem Kapillarrohre *D* überzuführen, läßt man durch *A* verdichtete Luft eintreten.

Es ist noch zu bemerken, daß, wenn eine Untersuchung auf schwere Kohlenwasserstoffe stattfinden soll, diese immer unmittelbar nach der Kohlensäurebestimmung, also vor der Sauerstoffbestimmung ausgeführt werden muß.

Orsat-Apparate.

Der Apparat nach Orsat-Fischer. Dieser ist entweder zur Absorption von zwei Gasarten (Kohlensäure und Sauerstoff oder Kohlensäure und Kohlenoxyd) oder für drei Gasarten (Kohlensäure, Sauerstoff, Kohlenoxyd) eingerichtet.

Abb. 42 zeigt den von Prof. Fischer verbesserten Orsatapparat zur Bestimmung von zwei Gasbestandteilen.

Das Abmessen der zu untersuchenden Gasprobe geschieht in der Bürette *A*, die in ihrem unteren, engeren Teile in $\frac{1}{10}$ ccm, in ihrem oberen, erweiterten Teile in ganze Kubikzentimeter eingeteilt ist. Ein weites Glasrohr, welches mit Wasser zu füllen ist, umgibt die Bürette *A*, damit Beeinflussungen der Temperatur der in *A* eingeschlossenen Gase von außen her möglichst ferngehalten sind. An die Bürette *A* schließt oben mittels Gummischlauches ein starkwandiges, enges,

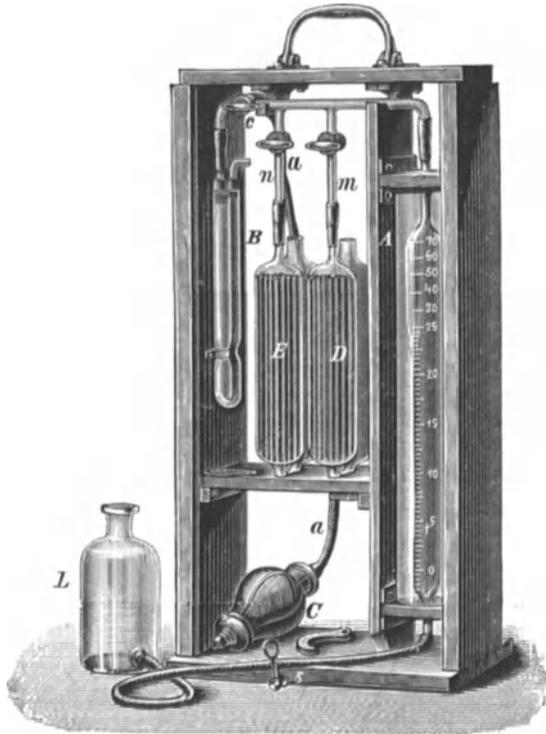


Abb. 42.

wagerechtes Glasrohr an, das links den Dreiweghahn *c* enthält. Hinter diesem Hahne ist, ebenfalls durch einen Gummischlauch, ein U-förmiges Rohr *B* angeschlossen, in welches etwas Wasser gegossen wird, während der freibleibende Raum des Schenkelrohres *B* mit Watte ausgefüllt wird. An das erwähnte wagerechte, enge Glasrohr schließen nach unten hin zwei gleichartige Glasrohransätze *n* und *m* an, von denen jeder einen einfachen Glashahn enthält. An diese Rohrstücke *n* und *m* sind die Ab-

sorptionsgefäße *E* und *D* angeschlossen, die mit Glasröhrchen angefüllt sind, damit eine möglichst große, mit Absorptionsflüssigkeit benetzte Oberfläche erhalten wird. Jedes dieser Gefäße steht unten durch einen kurzen Rohrkrümmer mit einem gleichgroßen, aber nicht mit Röhrchen ausgefüllten Glasgefäße in Verbindung, welches die während der Absorption aus *E* resp. *D* verdrängte Flüssigkeit aufnimmt. Zur Abhaltung der atmosphärischen Luft sind diese Glasgefäße mit einem Gummistopfen, der ein kurzes, U-förmiges Glasröhrchen mit Gummibeutel enthält, abgeschlossen. In Abb. 43 ist diese Einrichtung fortgelassen; sie ist aber aus der nächsten Abb. 44, die einen Orsatapparat für drei Gasarten zeigt, zu ersehen. Die Bürette *A* wird unten durch einen Gummischlauch mit der Flasche *L* verbunden. Das Küken des Dreiweghahnes *c* ist besonders lang ausgeführt und zur Aufnahme des Schlauches *a* eingerichtet. Letzterer endigt andererseits an der Gummipumpe *C*.

Die Rauchgaszuleitung wird mit dem freien Schenkel des U-förmigen Filterrohres *B* verbunden.

Der ganze Apparat ist in einem mit zwei Schiebern verschließbaren Holzkasten untergebracht und so bequem tragbar geeignet.

Handhabung des Apparates. Man füllt zuerst den die Meßbürette *A* umgebenden Glaszylinder und auch die Flasche *L* mit destilliertem Wasser. Dann werden die Absorptionsmittel in die dafür bestimmten Behälter *D* und *E* gefüllt, indem die Gummistopfen mit den Glasröhrchen und Gummibeuteln von den mit *D* und *E* in Verbindung stehenden Glaszylindern abgenommen werden, und in die letzteren so viel Absorptionsflüssigkeit gegossen wird, daß sie reichlich zur Hälfte gefüllt sind. Dann stellt man den Dreiweghahn *c* horizontal, schließt die einfachen Glashähne in *m* und *n*, hebt die Flasche *L*, öffnet den Quetschhahn *s* und läßt so lange Wasser in die Bürette *A* eintreten, bis diese bis zur Marke 100 ccm gefüllt ist. Nun schließt man den Quetschhahn. Hierauf dreht man den Dreiweghahn *c* um 90°, so daß die zweite Hahnbohrung mit dem U-förmigen Rohre *B* in Verbindung steht, öffnet den Hahn in Rohrstücke *m*, senkt die Flasche *L* und öffnet vorsichtig den Quetschhahn *s*. Dadurch steigt die in *D* befindliche Absorptionsflüssigkeit hoch bis zu einer auf dem Rohrstücke *m* angebrachten Strichmarke, worauf der Hahn in *m* geschlossen wird. Ganz in derselben Weise wird die im zweiten Gefäße *E* und die eventuell in einem dritten Gefäße befindliche Absorptionsflüssigkeit bis zu leicht erkennbaren Marken hochgesaugt. Darauf setzt man die Gummistopfen mit Glasröhrchen und Gummibeutel wieder luftdicht ein. Das U-förmige Rohr *B* ist, wie schon angegeben, nachdem einige Tropfen destilliertes Wasser eingegossen sind, mit losegezupfter Watte gefüllt. Hierdurch erreicht man, daß die Rauchgase, bevor sie in die Meßbürette *A* gelangen, mit Feuchtigkeit gesättigt und von Ruß und Flugasche gereinigt werden. Wird endlich *B* noch mit der Rauchgaszuleitung verbunden, so ist der Apparat zum Versuche vorbereitet.

Es ist durchaus notwendig, nach diesen Vorbereitungen zu untersuchen, ob der Apparat dicht ist. Zu diesem Zwecke stellt man

den Dreiweghahn *c* wagrecht, quetscht die Rauchgaszuleitung möglichst nahe an der Gasentnahmestelle mit der Hand oder mittels eines Quetschhahnes ab, stellt die Flasche *L* auf den Tisch und öffnet langsam den Quetschhahn *s*. Dabei wird augenblicklich der Wasserspiegel in der Meßbürette etwas sinken, um dann unverrückbar festzustehen. Sinkt der Wasserspiegel langsam weiter, so liegt an irgendeiner Stelle eine Undichtheit vor, die natürlich erst aufgesucht und beseitigt werden muß, bevor man zur Untersuchung der Rauchgase übergeht.

Diese verläuft wie folgt: Durch Hochheben der Flasche *L* füllt man die Meßbürette *A* bis zum Teilstriche 100 ccm mit Wasser, schließt den Quetschhahn *s* und stellt den Dreiweghahn *c* so, daß die eine seiner Bohrungen mit dem Filterrohre *B* in Verbindung steht, und saugt durch 10 ÷ 15 maliges Zusammendrücken des mit Hilfe des Schlauches *a* an das Küken von *c* angeschlossenen Gummisaugers *C* solange Rauchgase an, bis die ganze Leitung sicher mit Gasen gefüllt ist. Dann wird der Dreiweghahn *c* horizontal gestellt und durch ruckweises Öffnen und Schließen des Quetschhahnes *s* bei tiefgestellter Flasche *L* das Wasser in der Meßbürette *A* zum Sinken gebracht, bis der Wasserspiegel den Punkt 0 ccm um einige Zentimeter unterschritten hat. Dadurch sind gleichzeitig Rauchgase in die Bürette *A* gesaugt worden. Man stellt nun den Dreiweghahn *c* so, daß jede Verbindung nach der Bürette hin aufgehoben ist, komprimiert durch Hochheben von *L* die in der Bürette *A* eingeschlossenen Gase so weit, daß der Wasserspiegel in *A* auf 0 einspielt, zieht für einen Augenblick den Gaszuleitungsschlauch von *B* ab und stellt *c* horizontal, so wird ein Teil der Gase in *A* ausströmen, wodurch sich in der Bürette atmosphärische Spannung einstellt. Der Hahn *c* wird hierauf wieder so gestellt, daß jede Verbindung mit *A* aufgehoben ist. Der Gaszuleitungsschlauch kann wieder an *B* angeschlossen werden.

Die abgefangene Gasmenge (100 ccm) ist nunmehr zwischen der Wassersäule in *A*, dem Dreiweghahne *c* und den Hähnen in *m* und *n* eingeschlossen.

Zur Bestimmung des Kohlensäuregehaltes öffnet man den Hahn in *m*, vorausgesetzt, daß das Gefäß *D* mit Kalilauge gefüllt ist, stellt die Flasche *L* hoch, öffnet den Quetschhahn *s* vorsichtig und treibt die Gase aus der Meßbürette *A* in das Absorptionsgefäß *D* hinüber, so lange, bis der Wasserspiegel in *A* auf der Strichmarke 100 ccm steht. Der Quetschhahn *s* wird geschlossen und das Gas einige Augenblicke im Absorptionsgefäß *D* gelassen. Durch Senken der Flasche *L* und vorsichtiges Öffnen des Quetschhahnes *s* saugt man das Gas wieder nach der Bürette *A* zurück, und zwar solange, bis die Kalilauge wieder bis zur Strichmarke in *m* hochgestiegen ist. Wiederholt man dieses Verfahren noch ein- bis zweimal, treibt also noch einige Male die Gasprobe in das Absorptionsgefäß *D* und saugt sie wieder nach der Bürette *A* zurück, so ist man sicher, daß sämtliche Kohlensäure, die in der abgefangenen Gasmenge enthalten war, durch die Kalilauge absorbiert worden ist. Hat man das letztmal zurückgesaugt, so schließt man den Hahn in *m*. Bei geöffnetem Quetschhahn *s* hebt man die

Flasche *L* neben der Bürette *A* so hoch, daß das Wasser in beiden Gefäßen gleich hoch steht; hierauf schließt man den Quetschhahn *s*, liest den Stand des Wassers in *A* ab und hat damit den Gehalt des untersuchten Gases an Kohlensäure in Volumenprozenten erhalten.

Treibt man in gleicher Weise den Gasrest in das zweite, mit Pyrogallussäurelösung oder Phosphorstäbchen gefüllte Absorptionsgefäß *E* und wieder nach der Meßbürette *A* zurück, so erhält man aus der Differenz der Wasserstände in der Bürette den Gehalt des untersuchten Gases an Sauerstoff.

Beispiel:

Inhalt der Meßbürette	100 ccm
Stand des Wassers in der Bürette nach Absorption mit Kalilauge	11,9 ccm = 11,9% CO ₂
Stand des Wassers in der Bürette nach Absorption mit Pyrogallussäure	19,1 ccm
	also = (19,1 — 11,9%) = 7,2% O ₂ .

Die Gummipumpen sind häufig undicht. In diesem Falle empfiehlt sich folgendes Verfahren zum Füllen der Bürette mit Rauchgas: Man stellt durch entsprechende Drehung des Dreiweghahnes *c* die Verbindung zwischen der Absaugstelle und der Bürette her und zieht durch Senken der Niveauflasche *L* Gas in die Bürette, die man vorher ganz mit Wasser gefüllt hat. Hierauf wird der Dreiweghahn auf Verbindung der Bürette mit der Atmosphäre umgestellt, die Flasche *L* gehoben und dadurch das Gas wieder ausgetrieben. Dieses Verfahren wird so oft wiederholt, bis eine genügende Gasmenge abgesaugt ist. Bei weiten Absaugeröhren und langen Verbindungsschläuchen berechnet man zweckmäßig das zwischen dem unteren Ende des Entnahmerohres und dem Orsat eingeschlossene Volumen und saugt etwa das Doppelte dieses Volumens ab, um ganz sicher frisches Gas in die Bürette zu bekommen. Auch die bei der Hempelschen Bürette angegebene Art der Füllung (S. 101) ist hier anwendbar.

Der Apparat nach Orsat-Muencke. Soll auch der Kohlenoxyd-gehalt der Rauchgase bestimmt werden, so ist ein Apparat mit drei Absorptionsgefäßen zu verwenden, wie ihn z. B. Abb. 43 in der Abänderung von Muencke zeigt. Das dritte Absorptionsgefäß ist mit Kupferchlorürlösung zu füllen, deren Herstellung auf S. 95 beschrieben worden ist. Um dieses Reagens längere Zeit wirksam zu erhalten, bringt man in das Absorptionsgefäß Glasröhrchen, durch welche hindurch Kupferdraht gezogen ist.

Im übrigen gestaltet sich das Arbeiten mit drei Absorptionsgefäßen ebenso wie mit zwei solchen.

Stellt sich z. B. nach Absorption mit Kupferchlorürlösung der Wasserspiegel in der Meßbürette *A* auf 20,1 ccm ein, so ist der Gehalt der untersuchten Rauchgase an Kohlenoxyd = (20,1 — 19,1%) = 1%.

Das Absorptionsgefäß nach Kleine. Dieses Absorptionsgefäß, dessen Form so gehalten ist, daß es in jeden Orsatapparat eingesetzt

werden kann, ist aus dem Bestreben entstanden, dem gewöhnlichen Gefäße eine Form zu geben, die es ermöglicht, daß das zu untersuchende Gas die Absorptionsflüssigkeit durchdringen muß, ohne daß hierbei Hähne bedient werden. Diese Einrichtung besteht, wie Abb. 44 zeigt, aus einem in den Schenkel *a* eingeschmolzenen Rohre *r*, welches in dem Schenkel fast bis unten hinreicht und daselbst mit kleinen Verteilöffnungen versehen ist. In diesem Rohre befindet sich sowohl oben als unten ein Schwimmventil *w* bzw. *v*; ferner ist in dem Rohre *r* ein Rohr *i* eingeschmolzen, welches oben bei *o* in dem Schenkel *a* seitlich am Rohre *r* ausmündet und anderseits bis zur Mitte von *r* reicht. In diesem Rohre befindet sich ebenfalls ein

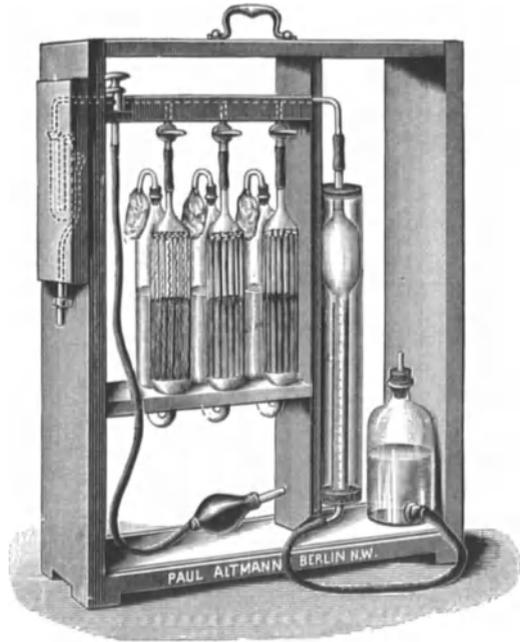


Abb. 43.

Rückschlagventil *p* mit einer Schliffstelle *q* oben. Das zu untersuchende Gas nimmt seinen Weg durch das Rohr *r* und tritt unten aus diesem heraus durch die Absorptionsflüssigkeit über diese. Beim Absaugen des Gases hebt sich das Ventil *v* und drückt gegen die Schliffstelle *s*, wodurch dieser Weg verschlossen wird. Das Gas muß nun durch die Öffnung *o* in das Rohr *i* eintreten, wobei sich das Ventil *p* infolge der Saugwirkung senkt. Beim weiteren Saugen füllt sich der ganze Schenkel mit Absorptionsflüssigkeit, bis das Ventil *w* gegen die Schliffstelle *x* gedrückt wird. Dieser Vorgang kann beliebig oft durch Heben und Senken der Niveauflasche wiederholt werden. Zur Absorption von Kohlensäure und Sauerstoff genügt einmalige, zu der von Kohlenoxyd zwei- bis viermalige Wiederholung. Bei den Absorptionsgefäßen für Sauerstoff ist zum Einfüllen der Phosphorstangen vorne eine kleine Öffnung angebracht.

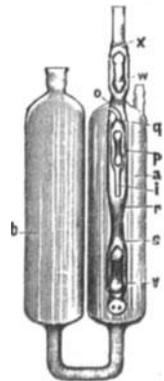


Abb. 44.

Der Apparat nach Orsat-Kleine. Der Apparat, welcher in Abb. 45 und Abb. 46, in letzterer schematisch, dargestellt ist, dient zu Bestimmung von CO_2 , O , CO und H und ist mit vier Absorptionsgefäßen ausgerüstet.

Gefäß <i>A</i>	dient zur Bestimmung von	H	und ist mit	Schwefelsäure	gefüllt.
„ <i>B</i>	„	„	„	CO	„ „ „ Kupferchlorür „
„ <i>C</i>	„	„	„	O	„ „ „ Phosphorstangen „
„ <i>D</i>	„	„	„	CO ₂	„ „ „ Kalilauge „

Das Absorptionsgefäß *A* kann durch das mit Palladium gefüllte Verbrennungsröhrchen *G* mit der Meßbürette *m* in Verbindung gesetzt werden. Letztere enthält oben ein Rückschlagventil *o*, durch welches verhindert ist, daß die Sperrflüssigkeit in das horizontale Kapillarrohr gelangt, und durch welches auch eine Beobachtung der früher daselbst angebrachten Marke überflüssig wird.

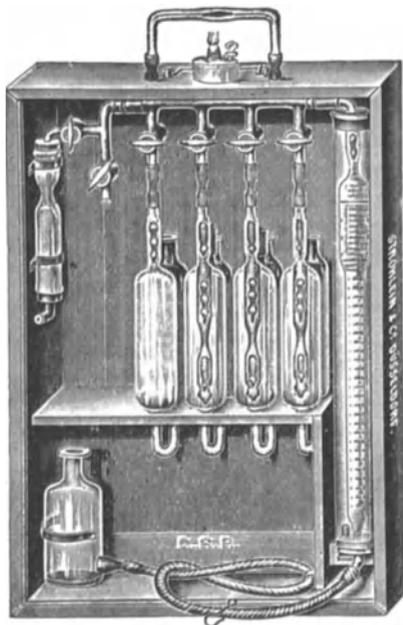


Abb. 45.

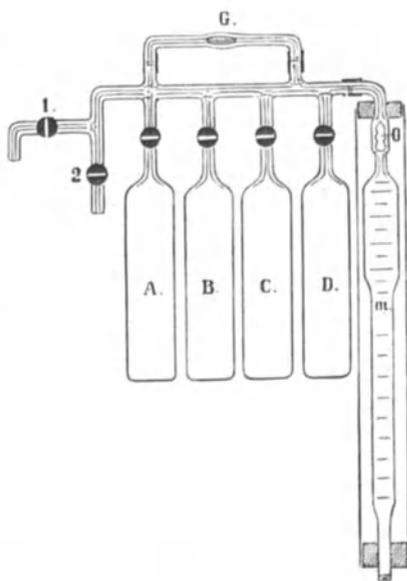


Abb. 46.

Die Meßbürette *m* wird durch Hochheben der Niveauflasche so lange mit Wasser, welches durch Schwefelsäure etwas angesäuert ist, gefüllt, bis das Ventil *o* an der Schließstelle anliegt.

Der Hahn *1* wird mit der Gasabzapfstelle verbunden. Stehen die Gase unter Überdruck, so läßt man nach Öffnung des Hahnes *1* so lange Gase durch den Hahn *2* entweichen, bis die Luft sicher aus der Leitung entfernt ist.

Haben die Gase aber, wie z. B. bei Feuerungen, Unterdruck, so schließt man an den Hahn *2* eine Gummipumpe (Abb. 31) an und saugt mit dieser so lange an, bis die Leitung mit Gasen gefüllt ist.

Hahn *2* wird nunmehr geschlossen; durch Senken der Niveauflasche bei geöffnetem Quetschhahn läßt man die Sperrflüssigkeit in *m* bis etwas unter den Nullpunkt fallen.

Stehen die abgasaugten Gase unter Überdruck, so öffnet man Hahn 2 so lange, bis die Sperrflüssigkeit bis zum Nullpunkte gestiegen ist. Man hält hierbei die Niveauflasche möglichst nahe an die Bürette, und zwar so, daß der Meniskus der Flüssigkeit mit dem Nullpunkte zusammenfällt. Die abgefangenen Gase haben dann atmosphärische Spannung.

Stehen die zu untersuchenden Gase aber unter Unterdruck, so werden sie in der schon beim einfachen Orsatapparat beschriebenen Weise auf atmosphärische Spannung gebracht.

Jetzt kann man zur Bestimmung der einzelnen Bestandteile des Gases übergehen.

Zunächst leitet man das Gas zur Bestimmung der Kohlensäure in das Gefäß *D*, indem man die Niveauflasche hebt und die Sperrflüssigkeit in die Meßbürette *m* steigen läßt, bis sich das Ventil schließt, leitet es durch Senken der Flasche wieder in die Meßbürette zurück und schließt den Hahn am Absorptionsgefäße. Nach einigen Minuten liest man die absorbierte Kohlensäure ab, wobei man wieder die Niveauflasche an die Meßbürette hält, so daß der Meniskus der Flasche mit dem der Bürette zusammenfällt.

Die Absorption des Sauerstoffs geschieht in gleicher Weise in der Pipette *C*. Um eine vollständige Absorption zu bewirken, empfiehlt es sich, das Gas 5 Minuten in der Pipette stehenzulassen und dann zur Feststellung der Kontraktion zurückzusaugen.

Es folgt die Absorption des Kohlenoxyds in der Pipette *B*. Nach fünfmaligem Einleiten ist dieselbe beendet. Da die Absorptionsfähigkeit der Kupferchlorürlösung für Kohlenoxyd mit der fortschreitenden Sättigung durch Kohlenoxyd abnimmt, so benutzt man am besten zwei Gefäße zur Absorption von Kohlenoxyd. Beginnt die erste Pipette langsam zu absorbieren, so erneuert man die Lösung und benutzt die zweite als erste Pipette, so, daß immer die frische Lösung zuletzt gebraucht wird. Hierbei ist noch zu bemerken, daß die Absorption von Kohlenoxyd auch dann noch nicht vollständig gelingt, was namentlich bei kohlenoxydreichen Gasen zu beachten ist. Man muß deshalb nach beendeter Wasserstoffverbrennung und nach Ablesen der Volumenkontraktion das Gas in dem Absorptionsgefäße *D* noch von seinem vom Kohlenoxyd herrührenden Gehalt an Kohlensäure befreien und alsdann die Gesamtkontraktion an der Meßbürette *m* ablesen.

Wenn das Kohlenoxyd nur in geringen Mengen (2÷3%) vorhanden ist, so kann man zur Bestimmung desselben besser die Absorption durch Kupferchlorür unterlassen und das Kohlenoxyd zusammen mit dem Wasserstoff verbrennen.

Zur Verbrennung des Wasserstoffs verfährt man wie folgt: Hat man Kohlensäure, Sauerstoff und Kohlenoxyd zur Absorption gebracht, so bringt man zu dem in der Meßbürette *m* befindlichen Gasreste durch Öffnen des Hahnes 2 und Tiefhalten der Flasche so viel Luft, daß das Gesamtvolumen etwa 100 ccm beträgt, d. h. ungefähr den Nullpunkt der Teilung erreicht.

Nachdem man das Gesamtvolumen genau abgelesen hat, zündet man das Lämpchen unter dem Verbrennungsröhrchen *G* an und er-

wärmt letzteres mäßig. Nun öffnet man den Hahn an der Pipette *A* und hebt die Niveauflasche, um das Gas langsam durch die Verbrennungskapillare zu leiten. Hat die Flüssigkeit das Ventil erreicht, so wiederholt man das Hin- und Herführen des Gases noch einmal und liest nach 5 Minuten ab. Ist das zu untersuchende Gas wasserstoffreich, so saugt man nach der ersten Verbrennung und Feststellung der Kontraktion nochmals Luft ein und verbrennt wiederum in gleicher Weise. Jetzt schreitet man zur Absorption der von Kohlenoxyd herrührenden Kohlensäure in der Pipette *D*.

Ein besonders einfacher, für mäßige Ansprüche genügend genauer Apparat mit kleinen Abmessungen ist

Der Siccus-Apparat nach Prof. Strache (Abb. 47 und 48). Das Wesen dieses Apparates liegt darin, daß ein in einer Pumpe gemessenes Gasvolumen durch einmalige Hin- und Herbewegung des Pumpenkolbens in ein mit einem festen Absorptionsmittel gefülltes Gefäß geführt und die Druckabnahme nach Absorption an einem Manometer mit verschiebbarer Skala gemessen wird, dessen einer Schenkel mit dem Absorptionsgefäß und dessen anderer mit der Außenluft in Verbindung steht. Die Druckabnahme zeigt dann gleich den Gehalt des zu untersuchenden Gases an CO_2 in Prozenten an. Die Analyse dauert 10 bis 20 Sekunden. Theoretisch läßt sich der Vorgang wie folgt ausdrücken: Bezeichnet

- V = das Volumen des Absorptionsgefäßes,
- v = das Volumen des zu untersuchenden Gases in der Pumpe,
- a = den Prozentgehalt des Gases an CO_2 ,
- b = den Barometerstand,
- p = den Druck nach Absorption des CO_2 im Apparat,

also $b - p$ = die vom Manometer angezeigte Druckdifferenz, so ergibt sich daraus die Beziehung

$$p(V + v) = b \left(V + v - \frac{va}{100} \right).$$

Daraus errechnet sich die am Manometer angezeigte Druckdifferenz:

$$b - p = \frac{v}{b \cdot V + v} \cdot \frac{a}{100}.$$

Die Anzeige ist also abhängig vom Barometerstand, und zwar proportional demselben. Sie wird daher bei niedrigerem Barometerstand kleiner, bei höherem größer ausfallen.

Durch Anordnung einer Stellschraube, mit welcher das Volumen der Pumpe geändert werden kann, ist es möglich, die Einstellung dem jeweiligen mittleren Barometerstand des Verwendungsortes anzupassen. Da die Schwankungen um den mittleren Barometerstand zumeist nur $\pm 15 \div 20\%$ betragen, ist der eintretende Fehler in der Anzeige des CO_2 -Gehaltes im Maximum $+0,5\%$, eine Genauigkeit, die in der Praxis für technische Gasanalysen noch zulässig erscheint.

Auch die Temperatur des zu untersuchenden Gases übt auf die Genauigkeit der Anzeige keinen wesentlichen Einfluß aus, da das kleine Volumen der Metallpumpe (etwa 4 ccm) die Raumtemperatur sogleich annimmt.

Die Füllung des Absorptionsgefäßes beträgt 50 g gelöschten Kalk von Hirsekorngröße und reicht für etwa 2000 ÷ 3000 Untersuchungen aus. Ist sie verbraucht, so kann die neue Füllung ohne Schwierigkeiten vorgenommen werden.

Durch Drehung des mit der Pumpe *a* verbundenen Mehrfachweghahnes werden folgende durch einen Zeiger *g* bezeichnete Arbeitsweisen ermöglicht:

a) Probenahme — das Durchströmen des zu untersuchenden Gases durch die Pumpe;

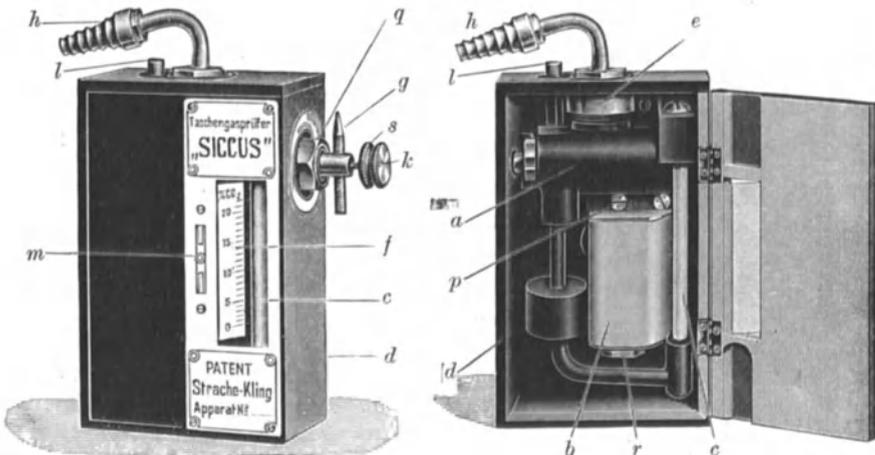


Abb. 47.

Abb. 48.

b) Nullpunkt — der Druckausgleich des Manometers durch Verbindung der beiden Schenkel mit der Außenluft;

c) Analyse — zur Vornahme der Untersuchung, die Verbindung der Pumpe mit dem Absorptionsgefäß und dem einen Schenkel des Manometers;

d) Ruhestellung — vollständiger Abschluß des Apparates nach außen, so daß er in dieser Stellung ungehindert bewegt und transportiert werden kann.

Der Vorgang bei Untersuchung eines Gases auf den CO_2 -Gehalt ist kurz folgender: Der Apparat wird mit seinem Zeiger *g* auf „Probenahme“ gestellt, und man läßt bei dem Gaseingang-Schlauchansatz *h* entweder Gas einströmen, oder man drückt durch eine Gummisaugpumpe Gas durch den Apparat, oder es wird die Pumpe beim „Gasausgang“ angeschlossen und Gas durch den Apparat gesaugt. Hierauf wird die Gaszuleitung gesperrt, damit der Apparat während der nachfolgenden Untersuchung nicht unter Druck oder Zug steht, dann wird der Zeiger *g*

auf „Nullpunkt“ gedreht, die Skala f mit ihrem Nullstrich auf den Flüssigkeitsspiegel des Manometers eingestellt. Zur nachfolgenden Untersuchung wird der Zeiger g auf Analyse gedreht und der Pumpenkolben mittels des Griffes k langsam herausgezogen und nach einigen Sekunden wieder hineingedrückt. Der Stand des Manometers zeigt dann den CO_2 -Gehalt in Proz. an. Nach der Untersuchung wird der Zeiger je nach Bedarf entweder auf „Probenahme“ oder auf „Ruhestellung“ gedreht.

Selbsttätige und schreibende Apparate.

Die bisher aufgeführten Apparate gestatten nur die Vornahme von Stichproben, nicht aber die laufende Überwachung des Feuerungsbetriebes. Letztere ist aber in jedem größeren Betrieb dringend erforderlich, um die Kesselverluste und damit die Selbstkosten möglichst zu vermindern. Die seit über 25 Jahren gebräuchlichen, selbsttätig fortlaufend anzeigenden und schreibenden Apparate zur Bestimmung von CO_2 und anderen Bestandteilen von Rauchgasen haben, seitdem man der Wärmewirtschaft eine erhöhte Aufmerksamkeit zuwendet, bedeutende Verbesserungen erfahren und sind zu gut brauchbaren Betriebswerkzeugen geworden. Das Wort „gut“ gilt aber nur so lange, als die Apparate auch wirklich sorgfältig gewartet werden und die Heizer angewiesen werden, die Feuerungsbedienung nach den Anzeigen der Apparate durchzuführen. Einige dieser Apparate seien im folgenden beschrieben:

Der Ados-Apparat. Das Schema dieses Apparates ist in Abb. 49, eine maßstäbliche Zeichnung in Abb. 50 und die Außenansicht in Abb. 51 dargestellt. Der Gang einer Analyse ist mit Beziehung auf Abb. 49 und 50 folgender:

In den Wassereinlaufkasten 10 läuft durch eine oben angeschlossene Leitung Wasser. Ein Teil davon fließt durch kleine Öffnungen in die Saugdüse 11 und erzeugt dadurch, daß es im Rohr 12 herabfällt, ein Vakuum im Meßgefäß 1 und in seinen Anschlußrohren 1 , von denen das linke mit der Gasansaugleitung, das rechte mit der Saugdüse verbunden ist, so daß ein dauernder Gasstrom durch das Meßgefäß gesaugt wird. Ein weiterer Teil des Wassers fällt durch einen Regulierhahn am Boden des Wassereinlaufkastens 10 durch das Fallrohr 8 in das Kraftwerksgefäß 8 , in welches der Heber 9 mündet, an den oben ein ebenfalls senkrecht ablaufrohr angeschlossen ist. Der Rest des Wassers läuft durch das Rohr 13 ab. Das in das Kraftwerksgefäß 8 einlaufende Wasser steigt darin an und schließt zunächst den Heber 9 und dann das Einlaufrohr 8 von der Atmosphäre ab. Bei weiterem Ansteigen des Wasserspiegels wird die in 8 befindliche Luft durch das Verbindungsrohr 14 in den Sperrflüssigkeitsbehälter 2 gedrückt. Das in 2 befindliche destillierte Wasser steigt durch das Tauchrohr unterhalb 1 in das Meßgefäß und schließt endlich den Ein- und Austritt der durch das Meßgefäß ziehenden Gase ab; in dem Meßgefäß ist

jetzt eine bestimmte Gasmenge unter einem beliebigen Unterdruck eingeschlossen. Die Strahlpumpe 11 saugt jedoch weiter Gas an, das aber jetzt nicht mehr durch das Meßgefäß 1 gelangen kann, sondern unter Überwindung einer kleinen Glycerinhöhe durch das Sperrgefäß 6 gesaugt wird. Es zieht also auch während der jetzt folgenden Absorption dauernd ein Gasstrom von der Entnahmestelle am Kessel bis zum Apparat. Bei weiterem Steigen des Wassers wird das Gas auf atmosphärischen Druck gebracht, und es tritt ein

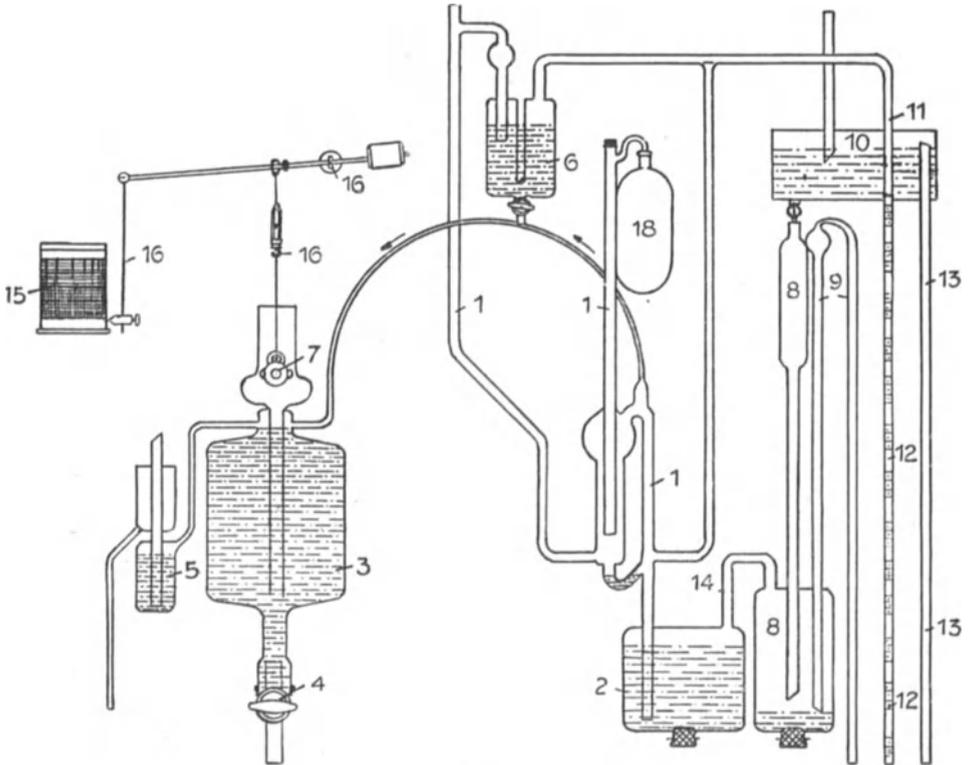


Abb. 49.

Teil des Gases durch das Mittelrohr des Meßgefäßes in den Gummibeutel 18 über. Erreicht das Sperrwasser den unteren Rand des Mittelrohres, dann wird die Verbindung mit dem Gummibeutel unterbrochen, und es sind vom Nullpunkt der Skala bis zur Marke an dem bei 1 oben anschließenden Kapillarrohr 100 ccm Gas unter Atmosphärendruck eingeschlossen. Bei weiterem Steigen des Sperrwassers bis zur Marke am Kapillarrohr werden diese 100 ccm Gas durch den Kapillarschlauch auf das Absorptionsmittel (Kalilauge für CO_2 -Bestimmung) im Absorptionsgefäß 3 gedrückt. Das Absorptionsmittel steigt durch das Mittelrohr in den darüber befindlichen Glaszylinder und hebt die in diesem Glaszylinder gleitende Glaskugel 7 samt dem

Schreibzeughaken, der ein genau ausgeglichenes Gegengewicht trägt. Die Schreibfeder wird durch Verstellen der oberhalb der Glaskugel 7 befindlichen Schraube so eingestellt, daß sie im Ruhezustand des Apparates auf der untersten Diagrammlinie einspielt, die mit 20% bezeichnet ist. Das Diagrammblatt ist auf einer mit Uhrwerk bewegten Trommel 15 befestigt.

Werden nun z. B. 100 ccm Luft auf Kalilauge als Absorptionsmittel gedrückt, so findet keine Absorption statt, und der Schreibstift

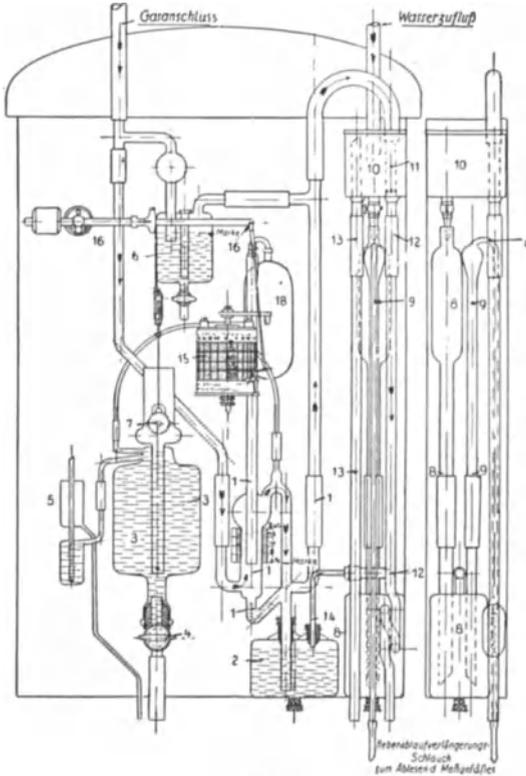


Abb. 50.

erreicht seine höchste Lage, wenn das Sperrwasser aus Gefäß 2 an der Marke der Kapillare angekommen ist; in diesem Augenblick muß die Schreibfeder auf dem obersten (Null-)Strich des Diagrammblattes stehen. Jeder Zwischenteilstrich stellt 1 ccm = 1% dar. Arbeitet der Apparat mit Gas und sind in den abgefangenen 100 ccm Gas 12 ccm = 12% absorptionsfähige Bestandteile enthalten, so werden letztere von dem Absorptionsmittel aufgenommen, und die Feder wird sich statt um 20 Teilstriche nur um $20 - 12 = 8$ Teilstriche heben. Der 8. Teilstrich von unten trägt die Bezeichnung 12 und entspricht z. B. bei Absorption durch Kalilauge 12% Kohlensäure.

Hat das Sperrwasser aus Gefäß 2 seine höchste Stellung erreicht (Marke an der Kapillare), dann ist das in

das Kraftwerkgefäß 8 einfallende Wasser gleichzeitig am Scheitel des Hebbers 9 angekommen, wodurch sich das Gefäß 8 schnell aushebert. Sperrwasser und Absorptionsflüssigkeit nehmen ihren ursprünglichen Stand ein, und eine neue Analyse beginnt. Die Zahl der Analysen wird durch das Hähnchen oberhalb 8 eingestellt. Beim Rücktritt der nicht-absorbierten Gase aus dem Absorptionsgefäß 3 in das Meßgefäß 1 kann man an der Skala des letzteren nochmals den Prozentsatz des absorbierten Gases ablesen und die Aufzeichnung auf dem Diagrammstreifen nachprüfen, indem man den Augenblick beobachtet, in dem die Wasserspiegel im Meßgefäß und in seinem Mittelrohr in eine Ebene kommen,

und jetzt die zugehörige Zahl an der Skala abliest. Bei diesem Versuch muß der Gummischlauch am unteren Ende des Heberrohres *9* etwas zgedrückt werden, damit das Aushebern verlangsamt wird.

Zur Absorption von Sauerstoff wird ein ebenso gebauter Apparat

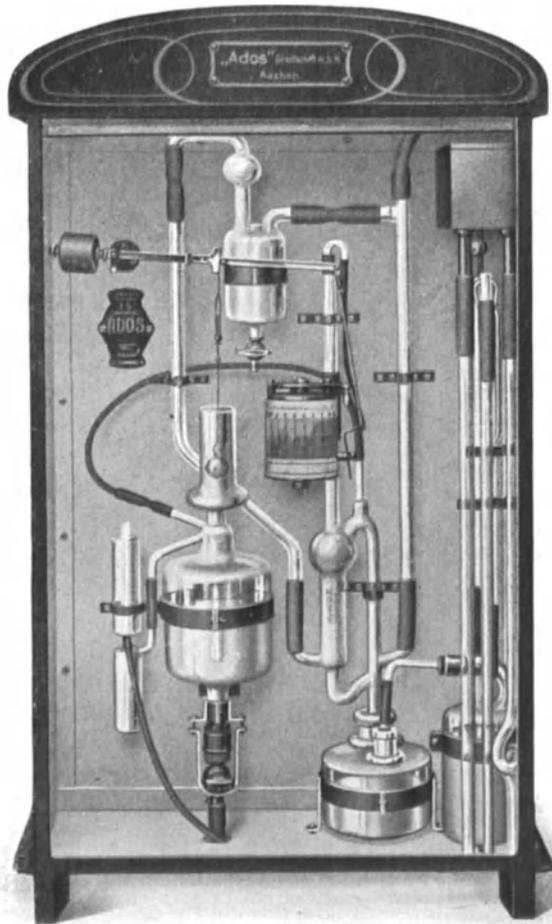


Abb. 51.

verwendet; das Absorptionsgefäß erhält Wasserfüllung mit Phosphorstäbchen.

Der Eckardt'sche Rauchgasprüfer. Durch einen an die Wasserleitung angeschlossenen Injektor *J* (Abb. 52) werden ununterbrochen Rauchgase angesaugt, die mit dem Injektorwasser zusammen in einen Einlaufbecher *E* und von diesem ins Freie gelangen. Aus dem Einlaufbecher fließt ein Teil des Wassers nach dem Rohre *I* ab und steigt in

diesem hoch, bis es den Scheitel des Überlaufrohres 2 erreicht hat. Das oben geschlossene Rohr 3 ist über 2 gesteckt, so daß beide zusammen als Saugheber wirken, der das Rohr 1 rasch entleert, sobald das Wasser durch 2 abzufließen beginnt. Wenn der Wasserspiegel bis zur unteren Kante des Rohres 3 gefallen ist, reißt die Wassersäule im Heber ab, und es beginnt jetzt die neue Füllung des Rohres 1. Dieses Wechselspiel des Füllens und Entleerens von 3 kann durch einen Hahn H innerhalb gewisser Grenzen auf seine Häufigkeit eingestellt werden. Das Rohr 3 steht unten mit der Kammer 4 in Verbindung; es wird also ein Steigen des Wasserspiegels in 3 ein solches auch in 4

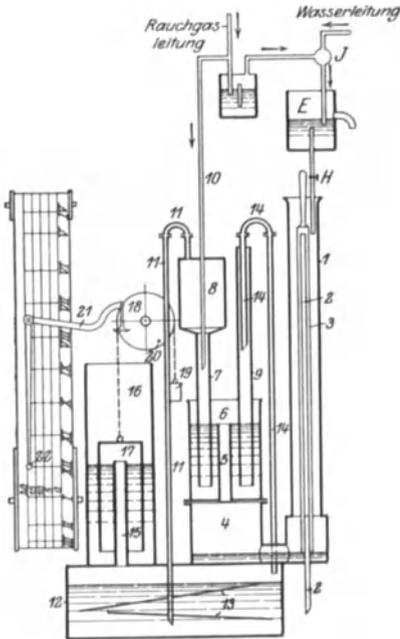


Abb. 52.

zur Folge haben. Dadurch wird die in 4 befindliche Luft durch das Rohr 5 in die Kammer 6 verdrängt. Letztere ist bis zum Scheitel des Rohres 5 mit einer indifferenten Flüssigkeit (Arbeitsflüssigkeit = A.-Fl.) gefüllt, als welche eine Glycerin-Wassermischung genommen wird. Die nach 6 übertretende Luft treibt einen Teil der A.-Fl. durch das Rohr 7 in das Meßgefäß 8 und einen anderen Teil in das Steigrohr 9.

Sobald der Wasserspiegel in 4 fällt, fließt die A.-Fl. aus 8 und 9 wieder nach 6 zurück. Infolge der Saugwirkung der aus 8 abfließenden A.-Fl. wird sich das Meßgefäß 8 durch das Rohr 10 mit Rauchgasen füllen. Wenn die A.-Fl. in 7 wieder hoch steigt, wird ein Teil der Rauchgase nach der Rauchgasleitung hin verdrängt, bis die untere Ausmündung des Rohres 10 von der A.-Fl. erreicht ist. Durch das weitere Steigen der A.-Fl. in 7 sind die in

8 eingeschlossenen Rauchgase gezwungen, durch das Rohr 11 nach dem mit Absorptionsflüssigkeit gefüllten Behälter 12 überzutreten. In Perlenform entweichen sie aus 11 und gleiten in der Absorptionsflüssigkeit an den schrägen Flächen 13 mehrfach entlang, um schließlich durch das Rohr 14 den Behälter 12 zu verlassen. Das obere Ende von 14 ist in das Steigrohr 9 eingeführt. Die austretenden Gase entweichen durch 14 zunächst ins Freie, bis die in 9 hochsteigende A.-Fl. die obere Ausmündung von 14 abschließt. Dies geschieht in dem Augenblicke, in welchem in 8 gerade 100 ccm Rauchgase enthalten sind, die nun in der beschriebenen Weise nach 12 übergeführt werden. Der aus der Absorptionsflüssigkeit entweichende Gasrest kann nunmehr nur durch das Rohr 15 unter die Glocke 17 treten, welche in die Glycerin-Wasserfüllung des Gefäßes 16 eintaucht. Die durch das Gegengewicht 19

nahezu ausgeglichene Glocke 17 wird sich um so höher heben, je größer der Gasrest, also je kleiner die Menge der absorbierten Gasbestandteile ist.

Die Rolle 18 dreht sich um einen dem Hube von 17 entsprechenden Winkel. Der Anschlag 20 überträgt diese Drehung auf den Winkelhebel 21, dessen unteres Ende den Schreibstift 22 trägt. Letzterer zeichnet auf dem durch ein Uhrwerk bewegten Diagrammstreifen nach jeder Absorption einen Strich auf, dessen Länge umgekehrt proportional der absorbierten Gasmenge ist.

Der Unterdruck der Rauchgase wird durch das Steigen der A.-Fl. im Meßgefäße 8 vor Beginn der eigentlichen Untersuchung in einen kleinen Überdruck umgewandelt, der von der Eintauchtiefe des Rohres 11 in die Absorptionsflüssigkeit abhängt. Dieser Überdruck bleibt konstant.

Die Glocke 17 muß, um selbsttätig niedergehen zu können, ein geringes Übergewicht haben. Letzteres ist durch entsprechende Ausgleichung so bemessen, daß der Druck in der Glocke 17 dem im Meßgefäße 8 während der Abmessung und Überführung der Gase herrschenden Drucke gleich ist.

Die Rauchgase stehen also vor und nach der Absorption unter der gleichen Spannung.

Bei dem Apparate sind Glasröhren, Gummischlauchverbindungen und Gummidichtungen vermieden. Nur die Hauptgefäße sind aus dickwandigen, in Metallfassungen eingekitteten Glaszylindern (Abb. 53) hergestellt, um den Arbeitsvorgang beobachten zu können. Die Rohrverbindungen sind geradlinig angeordnet, so daß die Rohre nach Lösung einiger mit Papier gedichteten Flanschen mit der Bürste gereinigt werden können.

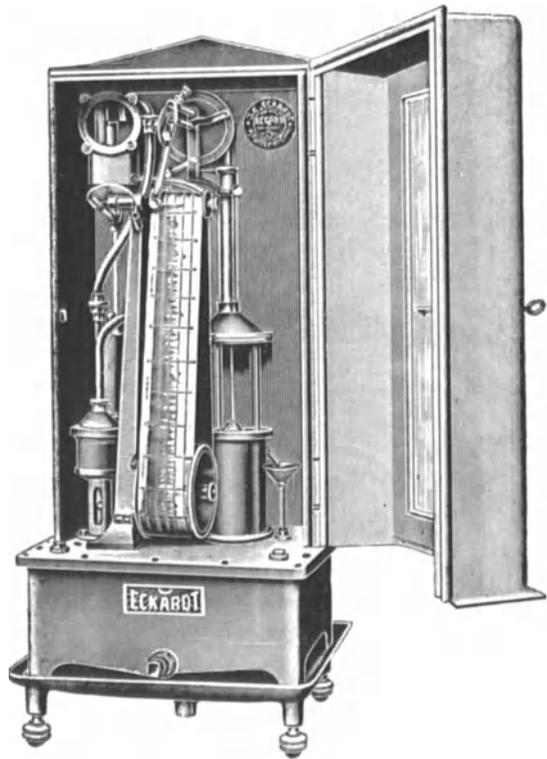


Abb. 53.

Der **Debro-Apparat** ist in Abb. 54 maßstäblich und in Abb. 55 in Ansicht dargestellt.

Das der Oberkammer des Saugkastens A zulaufende Wasser betätigt die ununterbrochene Ansaugung des zu analysierenden Rauchgases.

Dieses wird in einem Filter gereinigt und in einer in dem Saugkasten verlagerten Kondensschlange abgekühlt. Dann tritt es in stetigem Strome in der durch die Pfeile angedeuteten Weise durch das Meßgefäß *C*, dieses von oben nach unten durchspülend, und, in den Saugkasten zurückgelangt, durch ein Überlaufrohr mit dem abfließenden

Wasser ins Freie.

Ein Teil des Wassers ist inzwischen durch das unter dem Saugkasten *A* sichtbare

Hähnchen und durch ein Verbindungsrohr in den Kraftwerkskasten *B* geflossen. Es steigt in diesem hoch und bildet ein Luftkissen, welches durch ein Röhrchen auf den Meßflüssigkeitsbehälter *D* drückt.

Hierdurch wird die Meßflüssigkeit nach oben und in das Meßgefäß *C* getrieben. Wenn das Wasser die in der Zeichnung angedeutete Höhe erreicht hat, ist der Gasstrom unterbrochen, und 100 ccm Rauchgas sind in dem Meßgefäß abgefangen. Das weitere Steigen der Meßflüssigkeit bewirkt den Übertritt der Gasprobe in den Kalilaugebehälter *E*. Der Übertritt erfolgt so, daß ein Teil des Gases tief unter den Spiegel der Kalilauge, ein anderer Teil auf die Oberfläche der Kalilauge gedrückt wird. Infolge der Ober-

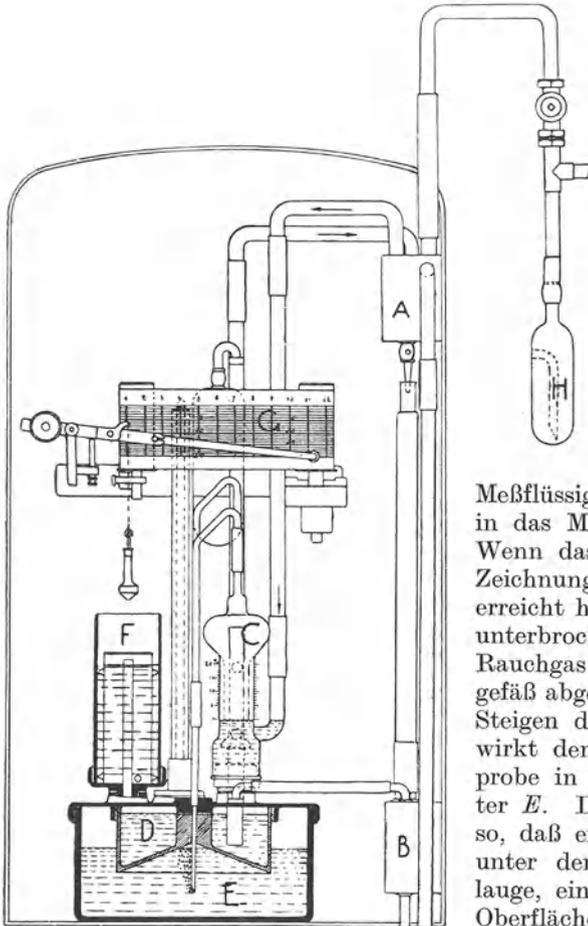


Abb. 54.

flächen- und Durchperlwirkung geht die Absorption der in dem Gase enthaltenen Kohlensäure sehr rasch vor sich, so daß sich in dem Innenraum des Kalilaugebehälters *E* nicht mehr 100 ccm, sondern eine um die absorbierte Kohlensäure verminderte Anzahl Kubikzentimeter befinden. Wenn man beispielsweise annimmt, das Gas habe 10% CO_2 , die Gasprobe infolgedessen 10 ccm enthalten, so sind 90 ccm in dem Raume *E* oberhalb der Kalilauge zurückgeblieben. Dieselbe Menge Kalilauge

ist in den äußeren kreisringförmigen Raum des Absorptionsgefäßes übergetreten. Dieser Raum steht mit der Tauchglocke *F* in Verbindung, es hat sich die Glocke daher um ein Maß gehoben, welches den 90 ccm entspricht.

Da bei Rauchgasen höchstens 20% CO_2 auftreten können, hat es keinen Wert, die ganze Bewegung der Tauchglocke aufzuzeichnen, sondern es kommt nur auf die 20 ccm an, innerhalb deren der CO_2 -Gehalt liegen kann. Die Bewegung der Glocke wirkt erst dann auf den Schreibhebel, wenn 80 ccm unter die Glocke getreten sind. In diesem Augenblick stößt der Glockendeckel unter eine Einstellschraube, und der weitere Weg der Glocke wird auf die Schreibfeder übertragen.

Die nicht beschriebene Fläche des Diagramms stellt dann den Prozentgehalt an Kohlensäure dar.

Nach Beendigung der Absorption fällt die Meßflüssigkeit im Meßgefäß *C*, und der im inneren Absorptionsraum angesammelte Gasrest tritt in das Meßgefäß zurück. Die Tauchglocke nimmt infolgedessen ihre Ruhelage wieder ein.

Das Ergebnis der Analyse kann an der eingeteilten Röhre des Meßgefäßes *C* abgelesen werden, so daß eine Prüfung des Apparates auf die Richtigkeit der Aufzeichnung möglich ist.

Mit weiterem Sinken der Meßflüssigkeit tritt das Meßgefäß wieder in den Gasstrom; mit diesem wird der Gasrest abgesaugt, und das Meßgefäß füllt sich wieder mit frischen Gasen. Während der Ausführung der Analyse ist die Ansaugung des Gases aus dem Rauchkanal keinen Augenblick unterbrochen; die abgesaugten Gase treten, da der Umlaufstrom gesperrt ist, aus dem Saugkasten unmittelbar ins Freie. Ein auf dem Kraftwerksskasten *B* befindlicher Heber bewirkt selbsttätig das Fallen der Meßflüssigkeit bei Erreichung einer Marke oberhalb des Meßgefäßes *C*, so daß ein Übertreten der Meßflüssigkeit in die Kalilauge ausgeschlossen ist. Das Wasserzulaufhähnchen unterhalb des Saugkastens regelt die Anzahl der Analysen in der Stunde.

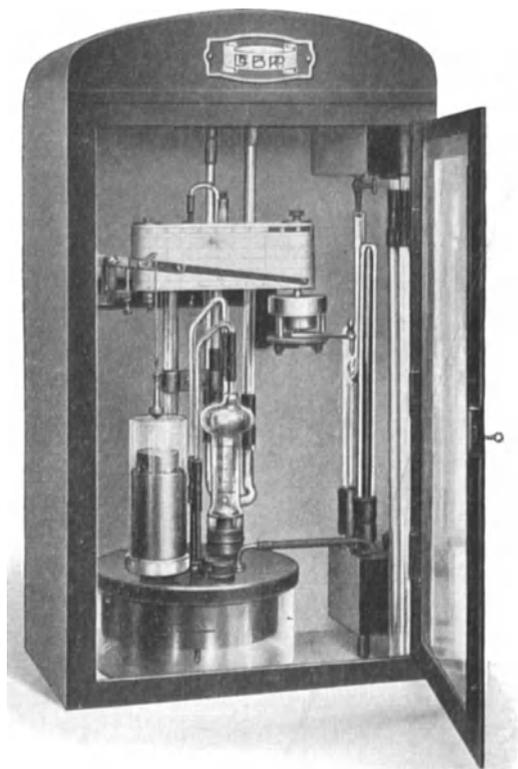


Abb. 55.

Das Gefäß *H* dient zur Aufnahme des Kondenswassers aus den Gasen. Außerdem macht es jede Störung in der Gasansaugung, der Leitung und

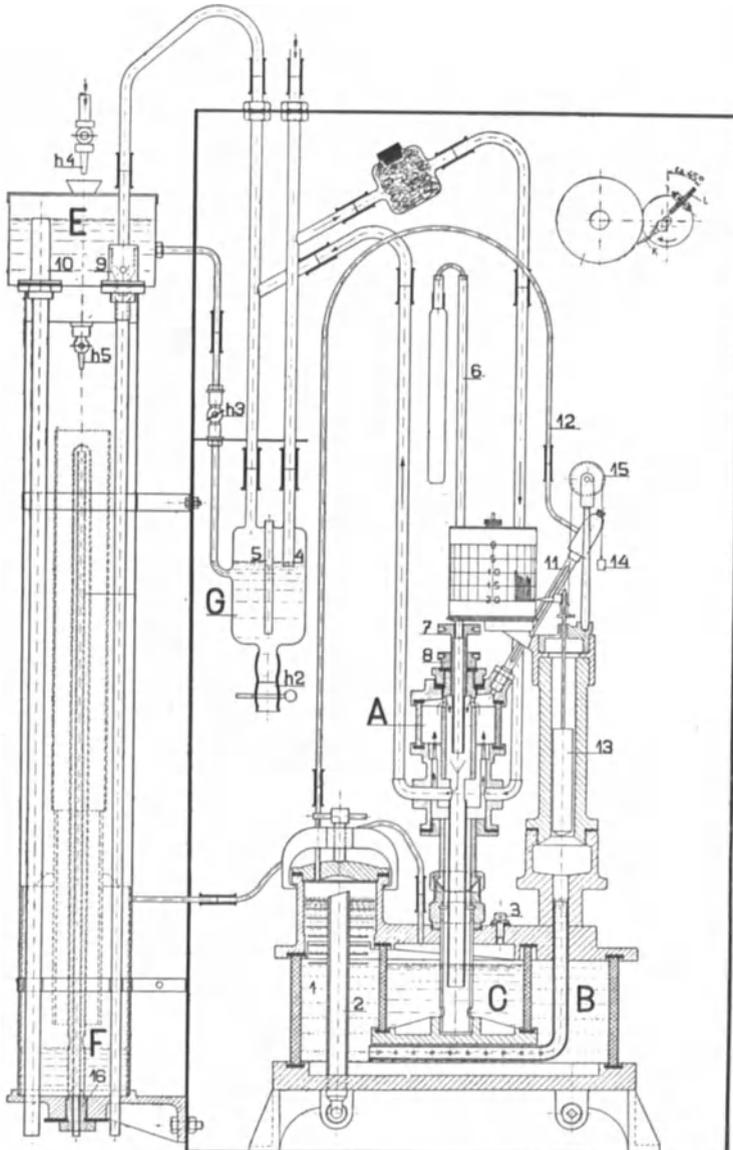


Abb. 56.

dem Filter sofort erkennbar. Ist nämlich der Unterdruck groß, so daß Luft durch das innere Röhren in das Gefäß *H* eingesaugt wird, so bedeutet das eine Verstopfung in Leitung, Filter oder Gasentnehmerrohr;

zeigt sich dagegen bei geschlossenem Gasentnahmehahn kein Unterdruck, so tritt durch eine Undichtigkeit in Filter oder Leitung Nebenluft ein.

Der Gefko-Apparat ist in Abb. 56 schematisch und in Abb. 57 in Ansicht dargestellt. Seine Wirkungsweise ist folgende:

Durch Wasserzufluß in den Wasserkasten der Gasfördervorrichtung *E* saugt die Wasserstrahlpumpe einen gleichmäßigen Strom frischen Gases aus der Feuerung bzw. aus dem Gaskanal durch das Gasgefäß *A*. Das Gas tritt durch das Gaseintrittsrohr ein, steigt in dem Glaszylinder hoch, zieht dann durch das Mittelrohr, das oben Öffnungen besitzt, abwärts und verläßt das Gasgefäß durch das Gasaustrittsrohr. (Der Weg ist durch die Pfeilrichtung angedeutet.)

Gleichzeitig läuft dauernd Wasser (Füllwasser) aus dem Wasserkasten durch einen Einstellhahn in das Standrohr der Druckvorrichtung und damit in den Druckkasten. Sobald der Wasserspiegel den unteren Rand des Standrohres erreicht hat, wird bei weiterem Steigen des Wassers die in dem Druckkasten eingeschlossene Luft zusammengepreßt. Der so erzeugte Überdruck wird durch das Verbindungsröhrchen auf die in dem Meßflüssigkeitsgefäß *C* befindliche Meßflüssigkeit übertragen, die dadurch verdrängt wird und durch die beiden Verbindungsrohre im Gasgefäß *A* gleichmäßig hochsteigt. Die steigende Meßflüssigkeit sperrt nun zunächst das Gaseintritts- und Gasaustrittsrohr und dann das mit dem Gummibeutel als Druckausgleich versehene Gaseinstellrohr *f* ab; dadurch wird stets die gleiche Menge Gas (100 ccm) immer unter gleichem Druck (Atmosphärendruck) abgeschlossen. Jetzt wird Gas nicht mehr durch das Gasgefäß gesaugt, sondern vorläufig nur durch das als Gasumführung dienende Umlaufgefäß *G*.

Weiteres Steigen des Füllwassers in dem Druckkasten *F* bewirkt nun, daß die im Gasgefäß *A* abgeschlossene CO_2 -haltige Gasprobe durch das Gasverdrängungsrohr *11* und *12* in das Laugengefäß *B* hinübergedrückt wird. Hier kommt das Gas in innigste Berührung mit der Kalilauge, welche die CO_2 sofort absorbiert. Die Kalilauge wird dabei aus dem Laugengefäß verdrängt — und zwar um so mehr, je weniger CO_2 in der Gasprobe vorhanden ist — und steigt in dem Steigrohr hoch. Hierdurch wird der Schreibschwimmer zum Steigen gebracht, und die Schreibfeder zeichnet auf dem Diagrammstreifen eine Senk-

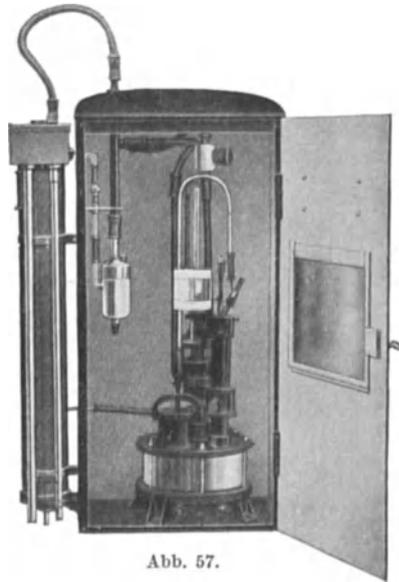


Abb. 57.

rechte, deren Länge dem Unterschied des CO_2 -Gehaltes gegenüber 20° entspricht. Da der Nullpunkt der Teilung oben ist, läßt sich der CO_2 -Gehalt unmittelbar ablesen.

Das während dieser Zeit in das Standrohr dauernd zugeflossene Füllwasser steigt bis zum Scheitelpunkte des Hebers hoch, in welchem Augenblicke die gesamte Gasprobe in das Laugengefäß *B* hinübergedrückt ist, und wird dann selbsttätig abgehebert; dadurch fällt der Wasserspiegel im Druckkasten *F* bis unten zurück. Auf diese Weise wird durch die Aufhebung des Überdruckes auch ein Fallen der im Gasgefäß bis zum Anfang des Gasverdrängungsrohres hochgestiegenen Meßflüssigkeit bewirkt, so daß nacheinander das Gaseinstellrohr, das Gaseintritts- und Gasaustrittsrohr wieder freigegeben werden. Infolge des Druckausgleiches sinkt auch die im Steigrohr hochgestiegene Kalilauge in ihre Ruhelage zurück; dabei findet stets eine gute Durchmischung der gesamten Kalilauge durch das mit Düsen versehene Laugenmischrohr statt. Der Gasrest tritt gleichzeitig aus dem Laugengefäß durch das Gasverdrängungsrohr in das Gasgefäß zurück und wird von der Wasserstrahlpumpe abgesaugt. Hierauf beginnt eine neue Analyse.

Die Anzahl der einzelnen Analysen richtet sich nach der Zeit, die von einem Abhebern des in das Steigrohr fließenden Füllwassers bis zum andern vergeht, d. h. nach der Wasserzuflußmenge, die durch das Hähnchen h_5 eingestellt werden kann. Für die Nachprüfung der richtigen Anzeige dient die Analyse mit Luft; steigt die Schreibfeder hierbei bis zur Null-Linie des Papierstreifens, so zeigt der Apparat bei der Gasanalyse den CO_2 -Gehalt richtig an.

Der Meßbereich des Gefko-Apparates kann beliebig gewählt werden und wird dem höchsten CO_2 -Gehalt, der aufgezeichnet werden soll, angepaßt: 0—20% CO_2 -Normalausführung z. B. für festen Brennstoff, 0—30% CO_2 -Ausführung z. B. für Hochofengasbeheizung, 0—40% CO_2 -Ausführung z. B. für Kalkbrennöfen.

Der Mono-Apparat ist in Abb. 58 schematisch dargestellt. Zu seinem Betrieb wird reines Wasser oder Druckluft von mindestens $\frac{1}{2}$ Atmosphäre Druck verwendet. Dieses gelangt durch das Regulierventil, durch die Löcher des Behälters *47* in die mit Quecksilber gefüllte Flasche *13* und drückt letzteres in die Rohre *24*, *25*, *44* und *43* hinauf. Das Rohr *24* ist oben zum Volumeter *11* erweitert. Das Rohr *44* steht mit der äußeren Luft in Verbindung, während das Rohr *43* in die birnenförmige Erweiterung des Rohres *25* mündet.

Der untere Teil des Rohres *43* steht nicht in unmittelbarer Verbindung mit dem Quecksilber in der Flasche *13*, sondern mündet etwas oberhalb des Bodens des eingesetzten Behälters *47*, in dem sich ebenfalls Quecksilber befindet.

Infolge dieser Anordnung steigt dieses im Rohr *43* höher als in den Rohren *24*, *25* und *44*. Das Quecksilber steigt in den Rohren so lange, bis das in dem eingesetzten Behälter *47* befindliche Quecksilber durch das Rohr *43* vollständig in den birnenförmigen Teil des Rohres *25* über-

getreten ist. In diesem Augenblick erhält das Wasser durch das Ablaufrohr 46 freie Verbindung mit der Außenluft, und der Überdruck in der Quecksilberflasche 13 verschwindet. Das Quecksilber in den Röhren 24, 25 und 44 kehrt in die Flasche 13 zurück und füllt diese; ein Teil davon fließt durch die Löcher in den Behälter 47. Hierdurch wird das Rohr 43 gesperrt, und die Verbindung des Druckwassers mit der Außenluft hört auf, der Druck in der Flasche 13 steigt aufs neue, und das Spiel wiederholt sich wie oben beschrieben.

Dieser Vorgang wird für das Ansaugen der zu untersuchenden Gase und ihre Weiterleitung im Apparat verwendet. Durch das Fallen des

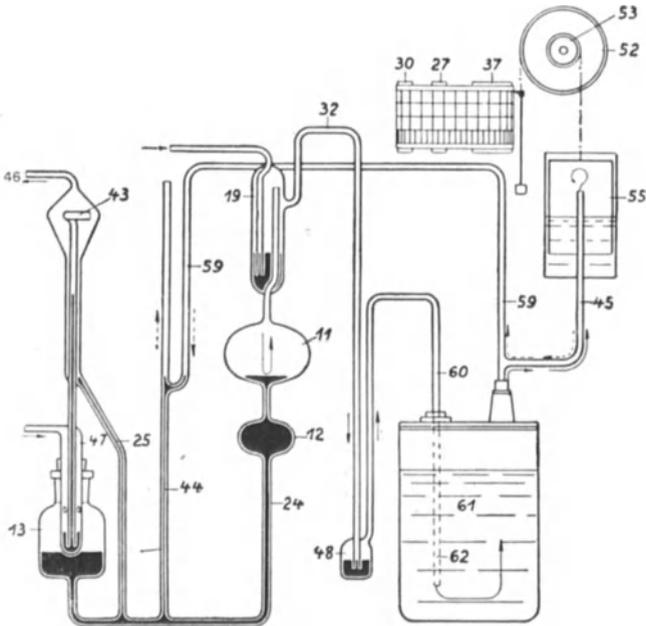


Abb. 58.

Quecksilbers im Volumeter 11 wird das zu untersuchende Gas durch den Gaseintritt 19 so lange angesaugt, bis die Quecksilberpumpe 13/47 wieder zu drücken beginnt. Sobald das Quecksilber steigt, wird das Gas aus dem Volumeter 11 durch das Rohr 32, die Quecksilbersperre 48 und das Rohr 60 in den Kalilaugebehälter 41 gedrückt, wo die Kohlensäure des Gases absorbiert wird. Der Gasrest entweicht teilweise durch die Rohre 59 und 44 in die freie Luft bis zu dem Zeitpunkt, in dem der Eintritt des Rohres 59 in das Rohr 44 durch das steigende Quecksilber abgesperrt wird.

Im gleichen Augenblick ist das Quecksilber im Volumeter 11 in das enge Rohr zwischen den beiden Erweiterungen 12 und 11 gestiegen, und es erfolgt unter gleichbleibendem Druck ein genaues Abmessen der für eine Analyse erforderlichen Gasmenge.

Bei weiterem Steigen des Quecksilbers wird der Gasrest in die Meßglocke 55 gedrückt, die durch eine Flüssigkeitssperre (Glyzerin) von der Außenluft getrennt ist. Die Meßglocke hebt sich und dreht das Rad 53, welches durch einen Mitnehmer das Rad 52 während des letzten Teiles der Bewegung mitnimmt. An letzterem hängt an einer Metallkette die Feder, die bei der Bewegung der Meßglocke einen Strich auf dem Diagrammpapier zeichnet. Der untere Endpunkt dieses Striches entspricht dem Kohlensäuregehalt des untersuchten Gases.

Beim Steigen im Rohr 24 tritt das Quecksilber schließlich in das enge Rohr oberhalb des Volumeters und drückt dadurch die abgefangene Gasmenge vollständig aus dem Volumeter nach dem Behälter 61 mit Kalilauge. Beim Fallen des Quecksilbers wird eine neue Gasmenge durch den Gaseintritt in das Volumeter gesaugt, und es erfolgt die nächste Analyse.

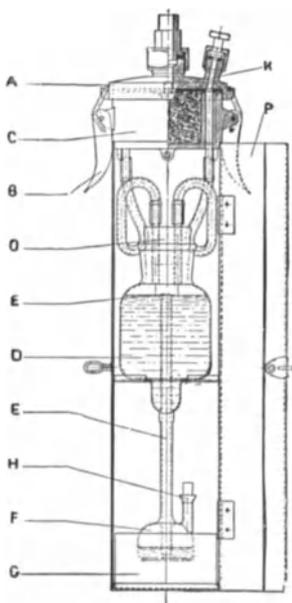


Abb. 59.

Um die Bildung von Wasser auf den Quecksilberspiegeln zu vermeiden, ist im Gasleitungsrohr ein Trockenfilter eingeschaltet, dessen Einrichtung aus Abb. 59 hervorgeht. Der obere Deckel A ist durch eine Verschraubung luftdicht mit der Gasentnahme verbunden. An diesem Deckel ist mittels zweier Spannvorrichtungen ein Behälter C befestigt, welcher Baumwollwerg enthält, um feste Verunreinigungen auszuschleiden. Unter diesem Behälter sitzt eine Trockenflasche D, welche konzentrierte Schwefelsäure (66° Bé) enthält. Die Schwefelsäure nimmt die Feuchtigkeit des Gases auf. Der untere Teil der Trockenflasche besteht aus einem Behälter F, welcher Quecksilber als Sperrflüssigkeit enthält. Das Gefäß G hat den Zweck, die Schwefelsäure aufzunehmen, welche infolge der Verdünnung der Säure durch Absorption in das Rohr herunterfließt

und durch das Quecksilber aus dem Trichter überläuft. Von dem Gas-trockenfilter geht das Gas vollständig rein und trocken durch die Gasleitung, die aus Kupferrohren von je 5 m Länge und 3,5 mm l. W. besteht.

Der Duplex-Mono-Apparat wird vorteilhaft bei Feuerungen verwendet, in denen zeitweise Kohlenoxyd CO oder andere noch brennbare Gase sich bilden können, oder in denen man zur Herbeiführung einer reduzierenden Flamme absichtlich die Luftzufuhr so beschränkt, daß CO entsteht. Seine Wirkungsweise beruht im wesentlichen darauf, daß mittels eines selbsttätigen Umschalters die Rauchgase abwechselnd auf CO₂ und auf CO₂ + CO + CH₄ + H₂ untersucht werden, wobei aus je zwei aufeinanderfolgenden Anzeigen der Gehalt an unverbrannten

Bestandteilen ersichtlich wird. Diese letzteren werden durch Überleiten über erhitztes Kupferoxyd bestimmt, der Wasserstoff wird dabei als Wasserdampf niedergeschlagen, und die Kalilauge absorbiert nunmehr neben der ursprünglichen Kohlensäure auch die aus dem Kohlenoxyd und dem Methan gebildete. Für die Richtigkeit der Anzeige ist dabei erforderlich, daß im Prüfgas neben Kohlensäure und unverbrannten Bestandteilen immer auch noch Sauerstoff vorhanden ist, so daß z. B. die Verbrennung von CO im elektrischen Ofen des Duplex-

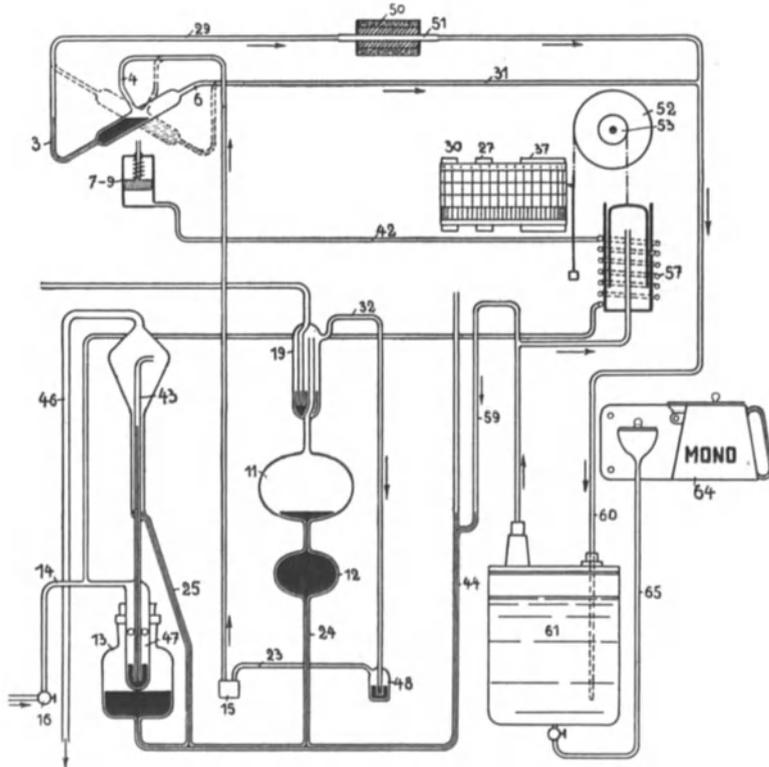


Abb. 60.

Monos nach der Gleichung $\text{CO} + \text{O} = \text{CO}_2$ erfolgt, wobei das Kupferoxyd im Verbrennungsofen nur als Katalysator (Sauerstoffüberträger) wirkt, ohne selbst zu Kupfer reduziert zu werden.

Der Apparat ist eine Erweiterung des normalen Mono-Apparates und in Abb. 60 schematisch dargestellt. Die Bestimmung brennbarer Gase erfolgt nach Ausführung einer CO_2 -Bestimmung in folgender Weise:

Das Druckwasser wird noch durch Leitung 14, Rohrschlange 57 und Leitung 42 zum Umschalter 7 bis 9 gepreßt. Dessen zylindrischer Kolben wird angehoben und bleibt in dieser Stellung, solange das Druckwasser durch das Quecksilber im Behälter 47 von der Außenluft abge-

sperrt ist. In dem Augenblick, in welchem diese Absperrung aufgehoben wird und das Druckwasser unmittelbar in die Ablaufleitung 46 fließt, verschwindet der Überdruck unter dem Kolben, und dieser wird durch eine Feder herabgedrückt. Seine Bewegung hängt also mit dem Steigen und Fallen des Quecksilbers zusammen. Bei seinem Heruntergehen wird die Quecksilbersperre des Umschalters bald nach der einen, bald nach der anderen Richtung gedreht, und die Leitung 4 einmal mit der Leitung 31, das andere Mal mit der Leitung 29 in Verbindung gesetzt.

Beim Steigen im Rohr 24 tritt das Quecksilber schließlich in das enge Rohr oberhalb des Volumeters und drückt dadurch die abgefangene Gasmenge vollständig aus dem Volumeter nach dem Behälter mit Kalilauge 61.

Beim Fallen des Quecksilbers wird eine neue Gasmenge durch den Gaseintritt in das Volumeter gesaugt. Der Kolben des Umschalters

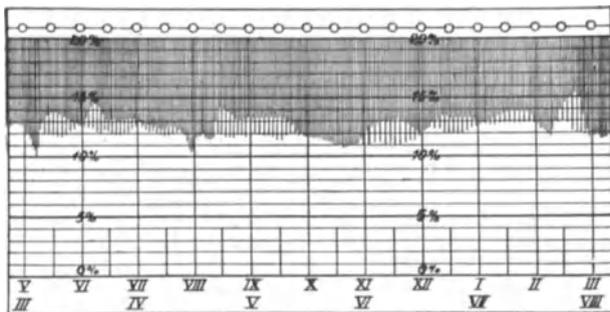


Abb. 61.

sinkt, und dessen Quecksilbersperre wird jetzt derart gedreht, daß das Rohr 4 mit dem Rohr 29 in Verbindung kommt (Stellung punktiert gezeichnet).

Gleichzeitig kommt aber auch der Raum unter der Meßglocke durch das Fallen des Quecksilbers im Rohr 44 mit der Außenluft in Verbindung, und sie sinkt in ihre ursprüngliche Lage zurück. Der Duplex-Mono-Apparat ist für die nächste Analyse bereit, und sobald das Quecksilber steigt, wird das angesaugte Gas auf Kohlensäure und brennbare Gase in folgender Weise analysiert:

Von dem steigenden Quecksilber wird das Gas, wie vorher aus dem Volumeter, durch das Rohr 32, die Quecksilbersperre 48, den Schlauch 23, den Wassersammler 15 sowie durch das Rohr 4 gepreßt, setzt aber jetzt seinen Weg durch die Rohre 3 und 29 zum Ofen 50 fort und geht durch das vom elektrischen Strom erhitzte Porzellanrohr 51 (mit Kupferoxydfüllung). Hier verbrennen die vorhandenen brennbaren Gase zu Kohlensäure und Wasserdampf, das Gas gelangt dann durch die Leitung 60 in den Laugenbehälter 61, wo der Wasserdampf sich niederschlägt und die ursprünglich vorhanden gewesene und im Ofen 50 entstandene Kohlensäure von der Kalilauge absorbiert wird. Die Volumenverminderung des Gasrestes gegenüber der im Volumeter 11 abgefangenen

Gasmenge wird durch eine entsprechende Bewegung der Meßglocke mittels der Feder auf dem Diagramm in oben beschriebener Weise aufgezeichnet und gibt den Gehalt der Gasprobe an Kohlensäure und brennbaren Gasen an. Nachdem der ursprüngliche Kohlensäuregehalt durch die erste Analyse bestimmt war, erhält man nunmehr durch einen Vergleich mit der zweiten Analyse ein Maß für den Gehalt der Gasprobe an brennbaren Gasen.

Damit das Ergebnis genau wird, wird das Gas im Volumeter und in der Meßglocke bei stets gleicher Temperatur und mit gleichem Feuchtigkeitsgehalt gemessen. Ein Diagramm zeigt Abb. 61.

Zur Aufrechterhaltung einer gleichbleibenden Temperatur ist rings um den Flüssigkeitsbehälter (Glyzerinbehälter), in welchem sich die Meßglocke bewegt, das Kühlrohr 57 gewickelt, welches vom Treibwasser durchströmt wird. Zur Aufrechterhaltung des Sättigungszustandes befindet sich oberhalb des Quecksilbers im Gefäß 19 eine 5 mm hohe Wasserschicht.

Die Siemens-CO₂- und -CO-Apparate. Die Wirkung des CO₂-Messers beruht darauf, daß die Wärmeleitfähigkeit der Kohlensäure geringer ist als die von Luft. Je mehr CO₂ also ein Rauchgas enthält, um so geringer ist seine Wärmeleitfähigkeit. Die folgende Zahlentafel gibt die auf Luft = 100 bezogenen Werte der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Gase:

Wasserstoff	700	Kohlensäure	59	Azetylen	78
Stickstoff	100	Kohlenoxyd	96	Leuchtgas	260
Sauerstoff	101	Methan	126	Wasserdampf	130

Wenn man einen dünnen Draht in der zylindrischen Bohrung eines Metallklotzes ausspannt und ihn durch einen hindurchgeleiteten Gleich-

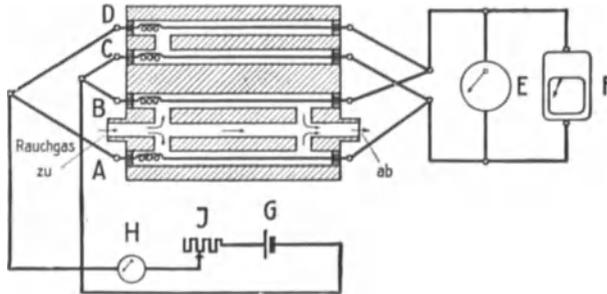


Abb. 62.

strom erhitzt, dann wird seine Temperatur um so höher, je geringer das Wärmeleitvermögen der Umgebung des Drahtes ist; desto höher wird gleichzeitig sein elektrischer Widerstand und desto geringer bei gleichbleibender Spannung die Stärke des durch ihn fließenden Stromes. Mit Benutzung dieser Erscheinungen arbeitet der in Abb. 62 schematisch dargestellte Apparat wie folgt: In einem Metallklotz befinden sich 4 zylindrische Bohrungen A, B, C, D, in deren Achsen je ein dünner

Platindraht befestigt ist. An das eine Ende jedes Drahtes ist eine kleine Platin-Iridiumfeder gelötet, die den Draht unabhängig von seiner Erwärmung stets in der Mittelpunktslage hält. Das andere Ende des Drahtes und das freie Ende der Feder ist an je einen Nickelstift gelötet,

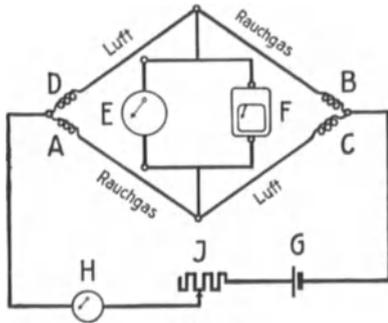


Abb. 63.

der in einer isolierenden Büchse sitzt und die Stromzuführung übernimmt. Durch *A* und *B* streichen die durch eine Wasserstrahlpumpe angesaugten Rauchgase mit ganz geringer Geschwindigkeit, die Kammern *C* und *D* sind die mit Luft gefüllten Vergleichskammern. *G* ist die Stromquelle, durch die die Drähte erhitzt werden, *J* ein kleiner Gleitwiderstand zum Einstellen einer gleichbleibenden Stromstärke, die am Strommesser *H* abgelesen

werden kann. *E* ist das gleich nach Prozenten eingeteilte Anzeigegalvanometer, das zweckmäßig an der Stirnwand des Kesselmauerwerks befestigt wird, *F* ist ein selbstaufzeichnendes, jedoch nicht unbedingt notwendiges Schreibgerät, das an beliebiger Stelle aufgestellt werden kann. Die Schaltung von *E* und *F* ist in Abb. 63 besonders

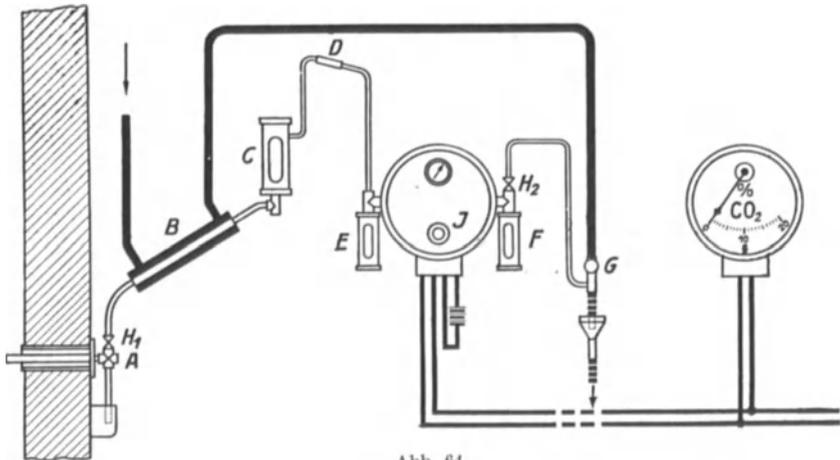


Abb. 64.

herausgezeichnet. Hieraus geht hervor, daß, wenn an Stelle von Rauchgas durch die Meßkammer *A* und *B* Luft angesaugt wird, die Stromstärke in allen 4 Drähten dieselbe sein muß; durch *E* und *F* fließt dann kein Strom, und das Anzeige-Instrument *E* steht dann auf 0%. Je mehr CO_2 die durch *A* und *B* fließenden Rauchgase enthalten, desto größer werden die Widerstände der Drähte in *A* und *B* und desto höher die Spannung des durch den Brückendraht sowie *E* und *F* fließenden Stromes.

Abb. 64 gibt den Einbau des Apparates wieder, jedoch ohne Schreibvorrichtung. Abb. 65 zeigt die Außenansicht des Gebers, Abb. 66 die des Anzeige-Instrumentes.

Als Stromquelle kann man verwenden:

- a) eine Akkumulatorenbatterie von 6 Volt,
- b) ein Gleichstromnetz von 110 oder 220 Volt mit entsprechend bemessenen Vorwiderständen,
- c) einen Glühkathoden-Gleichrichter.

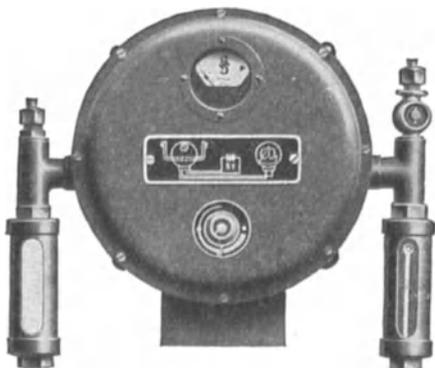


Abb. 65.

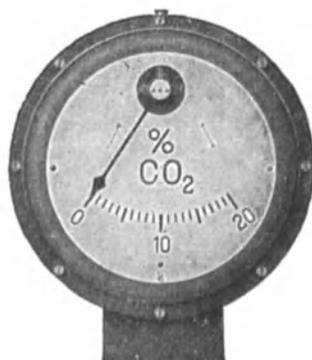


Abb. 66.

Der CO-Messer arbeitet nach folgendem Grundsatz: Leitet man ein brennbares, mit Sauerstoff gemischtes Gas an einem auf 400 bis 450° erhitzten Platindraht vorbei, so findet eine katalytische Verbrennung statt, die die Temperatur des Drahtes und damit seinen elektrischen Widerstand um so mehr erhöht, je mehr Brennbare das Gas enthält. Die schematische Anordnung ist in Abb. 67 enthalten. *A* ist der katalytisch wirkende Platindraht, *B* der von Luft umgebene Vergleichsdraht, *C* und *D* sind Vergleichswiderstände, *H* das Anzeige-Instrument, *F* ein selbsttätiges Schreibgerät. Der Sauerstoffgehalt der Rauchgase genügt gewöhnlich für die Verbrennung.

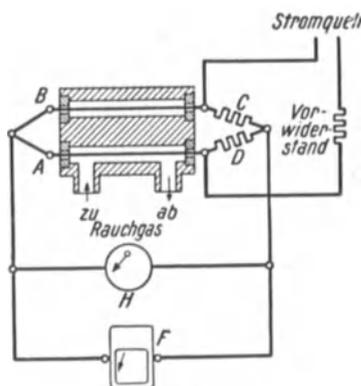


Abb. 67.

Der Ranarex-Apparat benutzt die Eigenschaft der Rauchgase, ein größeres spezifisches Gewicht als Luft zu haben, indem er den Unterschied zwischen den spezifischen Gewichten des Rauchgases und der Kesselhausluft fortlaufend anzeigt.

In Abb. 68 ist die Ranarex-Meßkammer in einem schematischen Schnitt dargestellt. Die gasdichte Kammer *8*, in die das Gas bei *4* ein- und bei *5* austritt, enthält eine Scheibe, deren Welle *3* durch einen

Motor angetrieben wird. Die Scheibe besitzt auf der einen Seite die als Saugventilator wirkenden Flügel 1, von denen das Gas in die Kammer gesaugt wird. Die

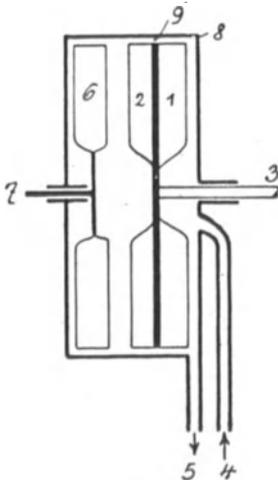


Abb. 68.

Scheibe besitzt auf der andern Seite radiale Treiberflügel 2, von denen das Gas, nachdem es durch den ringförmigen Schlitz 9 in das Meßabteil der Kammer geströmt ist, in Drehbewegung versetzt wird. Die Ventilatorflügel bewirken also ein andauerndes Zustrom von frischem Gas, welches in dem Meßabteil der Kammer in die Flügel 6 eines gegenüber dem Treiber angeordneten Meßrades fällt und so dessen

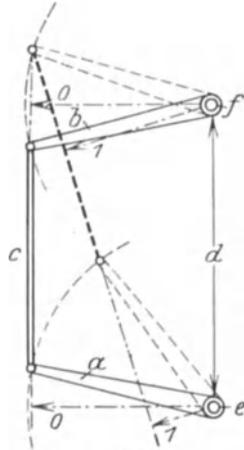


Abb. 69.

Achse 7 ein Drehmoment erteilt. Das Antriebsmoment der Welle 3 wird demnach durch aerodynamische Kupplung auf die nicht umlaufende Meßradachse 7 übertragen.

Zur Feststellung des Unterschiedes der spezifischen Gewichte von Rauchgas und Luft besitzt der Apparat eine zweite Meßkammer gleicher Art, in welcher atmosphärische Luft der gleichen, jedoch in entgegengesetztem Drehsinn kreisenden Bewegung unterworfen wird. Infolgedessen ist das Verhältnis der von den Treibrädern auf die Meßräder übertragenen Drehmomente gleich dem Verhältnis der Dichte des Rauchgases zur Dichte der Luft.

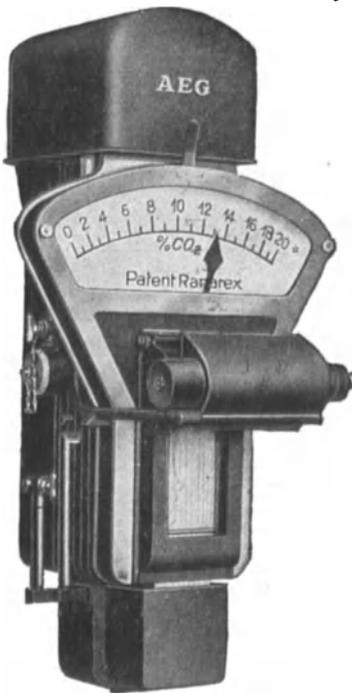


Abb. 70.

Die Messung dieses Verhältnisses und die Anzeige seiner Größe auf einer Skala erfolgt durch die in Abb. 69 schematisch dargestellte Ranarex-Kupplung. Die beiden Meßradachsen e und f tragen gleich lange einarmige Hebel, deren freie Enden durch die etwas kürzer als der Achsabstand d ausgeführte Zugstange c gelenkig gekuppelt sind. Je nach der Lage, welche die beiden Meßräder zueinander einnehmen, sind daher die wirksamen Hebellängen, das

sind die senkrechten Abstände der Meßradachsen von der Kuppelstange bzw. deren Verlängerung, verschieden. Bei der ausgezogenen Stellung der Hebel sind die wirksamen Hebellängen eO und fO einander gleich. Bei der gestrichelten Stellung ist die Hebellänge e_1 für das Luftrad bedeutend kleiner als die Hebellänge f_1 für das Gasrad. Das Meßrädchen im dichteren Gas verstellt demnach das andere Meßrädchen so lange, bis die Drehmomente von e und f sich das Gleichgewicht halten. Da diese Lage vom CO_2 -Gehalt der Rauchgase abhängt, ist die Skala, auf der der Zeiger der Achse e spielt, in Prozenten CO_2 eingeteilt.

Abb. 70 zeigt eine Außenansicht des Apparates mit Anzeige- und Schreibvorrichtung.

B. Aspiratoren zur Entnahme größerer Gasmengen.

Die idealste Feuerungskontrolle ist die fortlaufende. Will man der hohen Kosten wegen, die aber nur in kleinen Anlagen ins Gewicht fallen, diese nicht ausführen und sich doch über den Durchschnittswert des CO_2 -Gehaltes einer Feuerung während eines größeren Zeitabschnittes, z. B. 1–10 Stunden unterrichten, so wendet man Rauchgassammelgefäße an, die entweder mit einer Saugvorrichtung in Verbindung stehen oder selbst zu Aspiratoren ausgebildet sind.

Der Rauchgas-Sammelapparat von Schumacher. Das zylindrische Gefäß a (Abb. 71) ist mit Wasser gefüllt, auf welchem eine Schicht Öl schwimmt. Letzteres soll verhindern, daß das Wasser Kohlensäure aus den abzufangenden Gasen absorbiert. Die Tauchglocke b hebt und senkt sich in dem Gefäße a , indem sie an einer Schnur aufgehängt ist, die über die Rolle d läuft. Hinter dieser Rolle, auf derselben Achse, sitzt die Scheibe e , von welcher nach der entgegengesetzten Seite eine Schnur mit dem Gegengewichte f abläuft. Letzteres gleicht das Gewicht der Glocke b aus.

Durch Auflegen des Gewichtes g auf f wird die Glocke b gehoben, wobei sie durch den Schlauch h Gase ansaugt. Die Gase treten bei w ein, gehen zuerst durch ein Wattefilter i und dann einen Chlorkalziumzylinder k ; unter beiden befindet sich ein gemeinschaftlicher, als Wasserabscheider wirkender Syphon l , der stets mit Wasser gefüllt zu halten

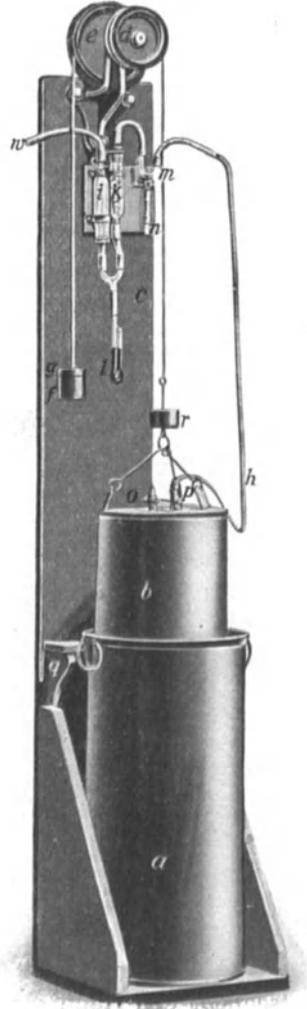


Abb. 71.

ist. Hinter dem Trockenzylinder *k* ist noch ein U-förmiges Schauglas *m* in die Leitung eingeschaltet, welches so weit mit Glycerin zu füllen ist, daß die Gase als Blasen darin zu sehen sind. Der Glycerinspiegel läßt sich durch Verschieben des Glasstabes *n* heben oder senken.

Soll der Apparat in Betrieb gesetzt werden, so öffnet man zunächst das Hähnenchen *o* im Deckel der Glocke, drückt diese bis unter

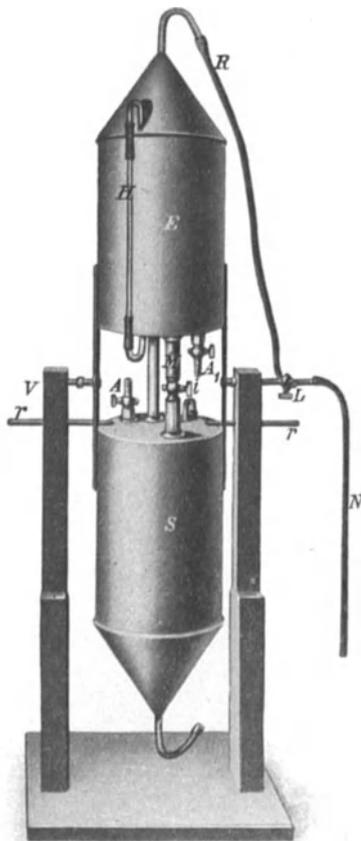


Abb. 72.

den Spiegel der in *a* befindlichen Ölschicht, wodurch die Luft aus *b* ausgetrieben wird, dann schließt man *o*, öffnet das Hähnenchen *p* und legt das Gewicht *g* auf *f*. Die Glocke geht hoch und saugt Gas an, welche aber noch mit der in der Leitung und den Filtern enthaltenen Luft vermischt ist. Man schließt nochmals *p*, öffnet *o* und drückt die Glocke *b* zum zweiten Male bis unter die Ölschicht, wodurch sämtliche Luft aus der Glocke entweicht. Die Hähne *p* und *o* stellt man wieder um, und nun kann der Apparat in Tätigkeit treten. Der Hahn *p* ist so einzustellen, daß sich die Glocke *b* nach einer gewissen Zeit, z. B. 6, 8 oder 10 Stunden, vollständig gehoben hat. Ist z. B. das Hähnenchen *p* so weit geöffnet, daß in der Minute etwa 30 ÷ 40 Gasblasen durch das Glycerin im Schauglase *m* gehen, so entspricht dies einer etwa zehnstündigen Sammelperiode.

Um ein Heraustreten der Glocke *b* aus *a* zu verhindern, ist das Konsolchen *q* in solcher Höhe am Stativbrett *c* angebracht, daß das Gewicht *f* rechtzeitig zum Aufsitzen kommt, wodurch der Apparat außer Betrieb gesetzt ist.

Verbindet man den Hahn *o* mit dem Gasuntersuchungsapparate (Orsat usw.), setzt ferner das Gewicht *g* auf *r*, schließt den Hahn *p* und öffnet *o*, so geht die Glocke langsam nieder, und die Gase nehmen ihren Weg nach der Untersuchungsstelle. Das Filter *i* ist mit Holzwolle oder Watte gefüllt, die rechtzeitig erneuert werden muß.

Der Doppelaspirator. Derselbe ist in Abb. 72 dargestellt.

Zwei ganz gleichartige Blechgefäße *E* und *S* sind durch ein Rohrstück *M* mit Hahn *i* miteinander verbunden und in dem Holzgestelle *V* kippbar angeordnet. An jedem Gefäße ist ein Wasserstandsglas *H*

angebracht. Die beiden Stäbe r, r verhindern ein unbeabsichtigtes Schwenken der Gefäße. Das obere Gefäß E ist vollständig mit Wasser gefüllt; der Hahn i ist vorläufig geschlossen; den Schlauch R , der in der Abbildung mit dem Dreiweghahn L verbunden dargestellt ist, wird an die vom Heizkanale des Kessels kommende Gasleitung angeschlossen. Der Lufthahn A_1 am Boden des Gefäßes E ist geschlossen.

Man öffnet nun den Hahn i und auch den Lufthahn A des unteren leeren Gefäßes S . Infolgedessen wird das Wasser aus E durch M nach S abfließen, wodurch gleichzeitig Rauchgase angesaugt und in E angesammelt werden. Um das Ausfließen von Wasser aus S zu verhindern, ist der am tiefsten Punkte von S sitzende Rohrkrümmer durch ein Stück Gummischlauch mit Quetschhahn abgeschlossen. Je nachdem i weit oder weniger weit geöffnet ist, wird das Ansaugen von Rauchgasen rascher oder langsamer erfolgen. Man hat es in der Hand, den Wasserabfluß so einzustellen, daß während einer bestimmten Betriebszeit (so z. B. in 3, 6 oder 10 Stunden) sich der Behälter E mit Gasen füllt. Will man dann die angesammelten Rauchgase analysieren, so schließt man i , kuppelt den Schlauch R von der Gasleitung ab und schließt ihn an den Rauchgasanalysen-Apparat an; oder man verbindet ihn zunächst mit dem Dreiweghahn L und schließt den Schlauch N an den Apparat an. Natürlich läßt sich dies auch ausführen, bevor E leergelaufen ist, so daß man jederzeit in der Lage ist, Analysen vorzunehmen.

Um ein erneutes Ansaugen von Rauchgasen zu bewirken, schwenkt man nach Herausnahme der Stäbe r, r die Gefäße E und S so, daß das wassergefüllte Gefäß S nunmehr nach oben kommt und verfährt genau so wie vorher beschrieben.

C. Berechnung des Luftüberschusses aus der Rauchgasanalyse.

Wie schon auf S. 85 gezeigt wurde, ist eine der Bedingungen für eine vollkommene Verbrennung die, daß dem Brennstoff eine genügende Luftmenge zugeführt wird. Mit der Bemessung der Menge der in eine Feuerung einzuführenden Verbrennungsluft muß man jedoch sehr vorsichtig verfahren, da man bei zu großem Luftüberschusse das Gegenteil von dem erreicht, was man bezwecken wollte.

Viele industrielle Feuerungen ergeben nur deshalb einen schlechten Wirkungsgrad, weil sie mit viel zu großem Luftüberschusse betrieben werden. Es ist daher sehr wichtig, Mittel und Wege kennenzulernen, die die Berechnung des Luftüberschusses ermöglichen.

Die Rauchgasanalyse ist, vorausgesetzt, daß kein Kohlenoxydgas nachgewiesen wurde, das einfachste Mittel zur Erreichung des angestrebten Zieles.

Es bezeichne:

L = Luftmenge, die in die Feuerung eingeführt wurde,

L' = Luftmenge, die theoretisch notwendig ist,

l = Luftmenge, die nicht verbraucht wurde,

dann ist, wenn die atmosphärische Luft nur als aus Sauerstoff (O) und Stickstoff (N) bestehend betrachtet wird:

$$\begin{aligned} L &= N + O, \\ \text{analog: } L' &= N' + O', \\ l &= n + o. \end{aligned}$$

Da die atmosphärische Luft aus 79,04 Vol.-Tln. N und 20,96 Vol.-Tln. O besteht, so gilt ferner:

$$N = \frac{79,04}{20,96} O; \quad N' = \frac{79,04}{20,96} O'; \quad n = \frac{79,04}{20,96} o.$$

Der gesuchte Luftüberschuß wird nun gewöhnlich als Vielfaches der theoretischen Luftmenge ausgedrückt, ist also gleich:

$$\frac{L}{L'} = \frac{O + N}{O' + N'} = \frac{O + \frac{79,04}{20,96} O}{O' + \frac{79,04}{20,96} O'} = \frac{O}{O'} \text{ } ^1).$$

Da aber offenbar: $O' = O - o$,

so gilt weiter:

$$\frac{L}{L'} = \frac{O}{O - o}.$$

Bedenkt man, daß das nach dem Schornsteine abziehende Rauchgasvolumen ebenso groß ist wie das Volumen der in die Feuerung eintretenden Luftmenge (vgl. S. 92), und bezieht man alles auf diejenige Rauchgasmenge, welche man gewöhnlich zur Analyse verwendet (100 ccm), so findet sich für den gesuchten Luftüberschuß die Formel:

$$\frac{L}{L'} = \frac{20,96}{20,96 - o}, \quad (\text{I})$$

worin also o den durch die Rauchgasanalyse festgestellten freien Sauerstoff in Volumenprozenten bedeutet.

Vielfach findet man für $\frac{L}{L'}$ noch eine andere Formel angegeben, die ebenfalls abgeleitet werden soll.

Es war:

$$\frac{L}{L'} = \frac{O}{O - o}$$

oder:

$$\frac{L}{L'} = \frac{1}{1 - \frac{o}{O}} = \frac{1}{1 - \frac{o}{\frac{79,04}{20,96} N}} = \frac{1}{1 - \frac{79,04 \cdot o}{20,96 N}}$$

¹⁾ Das Verhältnis $\frac{\text{theoret. notw. Luftmenge}}{\text{prakt. aufgew. Luftmenge}} = \frac{L'}{L}$ wird als Luftfaktor bezeichnet.

also:

$$\frac{L}{L'} = \frac{20,96}{20,96 - 79,04 \frac{o}{N}}. \quad (\text{II})$$

o ist wieder der in 100 ccm Rauchgas enthaltene, also durch die Analyse nachgewiesene freie Sauerstoff; N bedeutet den in der gesamten Verbrennungsluft enthaltenen Stickstoff.

Es ist nun

$$N = 100 - (O' + o).$$

An Stelle des verbrauchten Sauerstoffvolumens kann nun gemäß des auf S. 92 Gesagten das Volumen der in den Rauchgasen nachgewiesenen Kohlensäure (CO_2) gesetzt werden, also

$$N = 100 - (\text{CO}_2 + o).$$

Folglich erhält die Formel (II) die Form:

$$\frac{L}{L'} = \frac{20,96}{20,96 - 79,04 \cdot \frac{o}{100 - (\text{CO}_2 + o)}}.$$

Nachstehende Zahlentafel gibt Aufschluß über den Zusammenhang zwischen dem freien, in den Rauchgasen nachgewiesenen Sauerstoffe und dem Luftüberschusse, wie er durch die Formel (I) dargestellt ist.

Vol.-% freier Sauerstoff in den Rauchgasen	Vielfaches der theoretischen Luftmenge	Vol.-% freier Sauerstoff in den Rauchgasen	Vielfaches der theoretischen Luftmenge
0,0	1,000	7,5	1,555
0,5	1,024	8,0	1,615
1,0	1,050	8,5	1,680
1,5	1,077	9,0	1,750
2,0	1,105	9,5	1,826
2,5	1,135	10,0	1,909
3,0	1,167	10,5	2,000
3,5	1,200	11,0	2,100
4,0	1,235	11,5	2,210
4,5	1,272	12,0	2,333
5,0	1,312	12,5	2,470
5,5	1,355	13,0	2,625
6,0	1,400	13,5	2,800
6,5	1,448	14,0	3,000
7,0	1,500		

Eine übersichtlichere Art der Berechnung des Luftüberschusses folgt später bei der Behandlung der Abgasschaubilder.

D. Bestimmung des durch die Abgase verursachten Wärmeverlustes.

1. Methode. Angenommen, aller im Brennstoffe enthaltener Kohlenstoff gelange zur vollkommenen Verbrennung, so daß also weder in den Herdrückständen unverbrannter Kohlenstoff, noch in den Ver-

brennungsgasen Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffe oder Ruß enthalten sind; läßt man ferner den Schwefelgehalt des Brennstoffes und den Feuchtigkeitsgehalt der Verbrennungsluft unberücksichtigt, so findet man den durch die Abgasmenge, die aus 1 kg Brennstoff entstanden ist, verursachten Verlust V als das Produkt:

$$\text{Volumen der trockenen Abgase} \times \text{spez. Wärme} \times \text{Temperaturüberschuß} \\ R \cdot c \cdot (T - t).$$

Hierzu addiert sich noch der Wärmeverlust, der durch die in den Abgasen enthaltenen Wasserdämpfe verursacht wird. Dieser ist:

$$W \cdot c_0 \cdot (T - t),$$

worin c_0 die spez. Wärme des Wasserdampfes, T die Temperatur der Abgase vor dem Schieber und t die Temperatur der zugeführten Verbrennungsluft bedeutet.

Also Gesamtverlust:

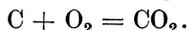
$$V = (R \cdot c + W \cdot c_0)(T - t).$$

Es handelt sich also zunächst um die Bestimmung des entstehenden Rauchgasvolumens.

1 Gew.-Tl. Brennstoff enthalte:

$$\begin{array}{ll} C \text{ Gew.-Tle. Kohlenstoff,} \\ H \quad \text{,, Wasserstoff,} \\ w \quad \text{,, Wasser (Feuchtigkeit).} \end{array}$$

Die Verbrennung des Kohlenstoffes erfolgt nach der Gleichung:



Gewichtlich gedeutet: $12 + 2 \cdot 16 = (12 + 32)$

oder: $1 + \frac{32}{12} = (\frac{44}{12}) = 3,667;$

d. h. wenn 1 Gew.-Tl. Kohlenstoff ohne allen Luftüberschuß vollkommen verbrennt, so entstehen 3,667 Gew.-Tle. Kohlensäure (CO_2).

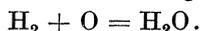
Nimmt man das spez. Gew. der Kohlensäure vorläufig zu 1,965 an, so entstehen dem Volumen nach:

$$\frac{3,667}{1,965} \text{ Teile Kohlensäure} \\ = 1,866 \text{ Raum-Tle. Kohlensäure.}$$

Verbrennen allgemein C Gew.-Tle. Kohlenstoff unter obigen Verhältnissen, so entstehen

$$1,866 \cdot C \text{ Raumteile Kohlensäure.}$$

Die Oxydation des Wasserstoffes erfolgt nach der Gleichung:



Gewichtlich gedeutet: $2,016 + 16 = (18,016)$

oder: $1 + 7,93 = (8,93),$

d. h. wenn 1 Gew.-Tl. Wasserstoff ohne allen Luftüberschuß vollkommen verbrennt, so entstehen 8,93 = rund 9 Gew.-Tle. Wasser (in Dampfform).

Verbrennen allgemein H Gew.-Tle. Wasserstoff, so entstehen

$$9 \cdot H \text{ Gew.-Tle. Wasserdampf.}$$

Da angenommenerweise w Gew.-Tle. Wasser im Brennstoffe bereits vorhanden sind, so entstehen insgesamt:

$$9H + w \text{ Gew.-Tle. Wasserdampf.}$$

Es bezeichne:

$$\varphi = \frac{\text{Volumen der CO}_2}{\text{Volumen der trockenen Abgase}},$$

so ist
$$\varphi = \frac{1,866 C}{R},$$

also
$$R = \frac{1,866}{\varphi}.$$

Folglich wird der Gesamtverlust

$$V = \left(\frac{1,866 \cdot C}{\varphi} \cdot c + (9H + w) \cdot c_0 \right) (T - t). \quad (\text{I})$$

Beispiel: Es kommt Steinkohle von 7400 WE Heizwert mit 79% C, 4% H und 2% Feuchtigkeit zur Verbrennung, wobei $T - t = 260^\circ$ sei.

Die Rauchgasanalyse ergab 10% CO₂ (also $\varphi = 0,10$): dann wird, wenn die spez. Wärme c der Rauchgase zu 0,32 WE/cbm und diejenige des Wasserdampfes c_0 zu 0,48 WE/kg angenommen ist:

$$\begin{aligned} V &= \left(\frac{1,866 \cdot 0,79}{0,10} \cdot 0,32 + (9 \cdot 0,04 + 0,02) \cdot 0,48 \right) \cdot 260 \text{ WE.} \\ &= 1275 \text{ WE} = 17,3\%. \end{aligned}$$

2. Methode. Wie zahlreiche Untersuchungen gezeigt haben, ist der Verlust durch die Abgase, ebenso wie der Kohlensäuregehalt der letzteren nur in ganz untergeordneter Weise von der Zusammensetzung und dem Heizwerte der Brennstoffe abhängig.

Man kann daher die Verluste durch die Abgase als proportional dem Temperaturüberschusse ($T - t$) derselben und als umgekehrt proportional dem Vielfachen der theoretischen Luftmenge betrachten. Letzteres ist wieder eine Funktion des Kohlensäuregehaltes (CO₂) der Rauchgase, so daß sich für den Wärmeverlust V ergibt:

$$V = \frac{T - t}{\text{CO}_2} \cdot \eta.$$

Den Koeffizienten η hat Dosch durch eine Reihe von Versuchen zu 0,66¹⁾ im Mittel bestimmt, so daß also:

$$V = \frac{T - t}{\text{CO}_2} \cdot 0,66 \quad \text{wird.} \quad (\text{II})$$

¹⁾ Eigentlich nur für $T - t = 250^\circ$ gültig.

Für obiges Beispiel wird nach dieser Formel, die den Wärmeverlust in Prozenten angibt:

$$V = \frac{2,60}{10} \cdot 0,66 = 17,2\%.$$

Siegert gibt für η den Wert 0,65 an, so daß die Formel für die Wärmeverluste lautet:

$$V = \frac{T - t}{\text{CO}_2} \cdot 0,65.$$

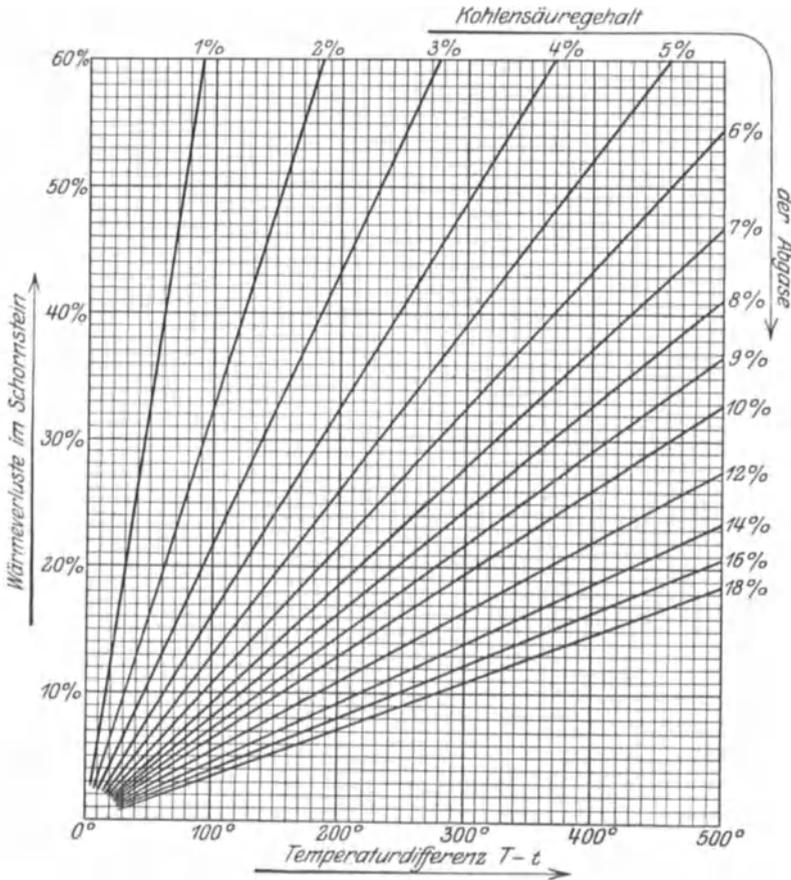


Abb. 73.

Das Diagramm der Wärmeverluste im Schornsteine (Abb. 73) läßt ohne besondere Rechnung die aus obiger Formel sich ergebenden Werte von V auffinden. Man verfolgt den von O ausgehenden schrägen Strahl, welcher dem CO_2 -Gehalte zugeordnet ist, bis zum Schnittpunkte mit derjenigen Senkrechten, welche der auf die Abszissenachse aufgetragenen Temperaturdifferenz ($T-t$) entspricht.

Eine Wagerechte, von diesem Schnittpunkte nach links zur Verlustskala gezogen, gibt den Wärmeverlust in Prozenten an.

3. Methode mit Hilfe der Abgasschaubilder. Die Formel (I) auf S. 141 hat die spez. Wärme c der Heizgase konstant ($= 0,32$) angenommen, während in Wirklichkeit der Wert von c mit der Zusammensetzung der Rauchgase wechselt. Die 3. Methode zur Bestimmung der Wärmeverluste durch die Abgase berücksichtigt diesen Umstand und wird daher die genaueren Ergebnisse liefern.

Vorausgeschickt sei die Entwicklung des für die folgenden Ausführungen zweckmäßigen „Mol“-Begriffes. Nach dem Gesetz von Avogadro enthalten gleiche Raumteile aller Gase bei gleichem Druck und gleicher Temperatur gleich viele Moleküle. Also verhalten sich die spez. Gewichte γ_1 und γ_2 zweier Gase wie ihre Molekulargewichte μ_1 und μ_2 . Demnach ist für zwei beliebige Gase

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2};$$

da aber
$$\gamma_1 = \frac{1}{v_1} \quad \text{und} \quad \gamma_2 = \frac{1}{v_2}$$

ist, so ist auch
$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{v_2}{v_1};$$

also allgemein
$$\mu_1 v_1 = \mu_2 v_2 = \mu_3 v_3 = \dots$$

$\mu_1 v_1, \mu_2 v_2 \dots$ sind aber die Volumina von μ_1, μ_2, \dots kg; d. h. die Volumina von μ kg aller Gase sind bei gleichem Druck und gleicher Temperatur einander gleich.

Den Wert μv oder auch $\frac{\mu}{\gamma}$ bezeichnet man als Mol. Es ist demnach gleichgültig, für welches Gas man den Zahlenwert von 1 Mol berechnet. Die Berechnung sei hier für Wasserstoff durchgeführt; hier ist

$$\mu = 2,016 \quad \text{und} \quad \gamma = 0,0900 \quad \text{bei } 0^\circ \quad \text{und} \quad 760 \text{ mm}; \quad \text{also}$$

$$1 \text{ Mol bei } 0^\circ \text{ und } 760 \text{ mm} = \frac{\mu}{\gamma} = \frac{2,016}{0,0900} = 22,4 \text{ cbm} \quad \text{oder}$$

$$1 \text{ Mol bei } 15^\circ \text{ und } 1 \text{ at abs.} = 22,4 \frac{273}{273+15} \cdot \frac{760}{760} = 24,4 \text{ cbm.}$$

Mit dieser Beziehung läßt sich das Volumen von 1 kg jedes Gases oder gasförmig gedachten festen oder flüssigen Stoffes berechnen, sobald sein Molekulargewicht μ bekannt ist, nach der Gleichung:

$$v_0 = \frac{22,4}{\mu} \text{ cbm/kg bei } 0^\circ \text{ und } 760 \text{ mm}$$

und
$$v_{15} = \frac{24,4}{\mu} \text{ cbm/kg bei } 15^\circ \text{ und } 1 \text{ at abs.}$$

Für die folgende Berechnung ist v_0 erforderlich für: Wasserstoff:

$$\mu = 2,016 \quad \text{und} \quad v_0 = \frac{22,4}{2,016} = 11,1 \text{ cbm/kg,}$$

gasförmig gedachten Kohlenstoff:

$$\mu = 24,00 \quad \text{und} \quad v_0 = \frac{22,4}{24,00} = 0,933 \text{ cbm/kg.}$$

Für die Berechnung der Abgasschaubilder gilt folgender Satz:
Wenn von den vier für die Abgasanalyse in Betracht kommenden Größen:

Kohlensäuregehalt CO_2 ,

Sauerstoffgehalt O_2 ,

Kohlenoxydgehalt CO ,

Luftfaktor η = Verhältnis der theoretischen Luftmenge zur wirklichen, nur zwei, z. B. CO_2 und O_2 , festgestellt sind und die chemische Zusammen-

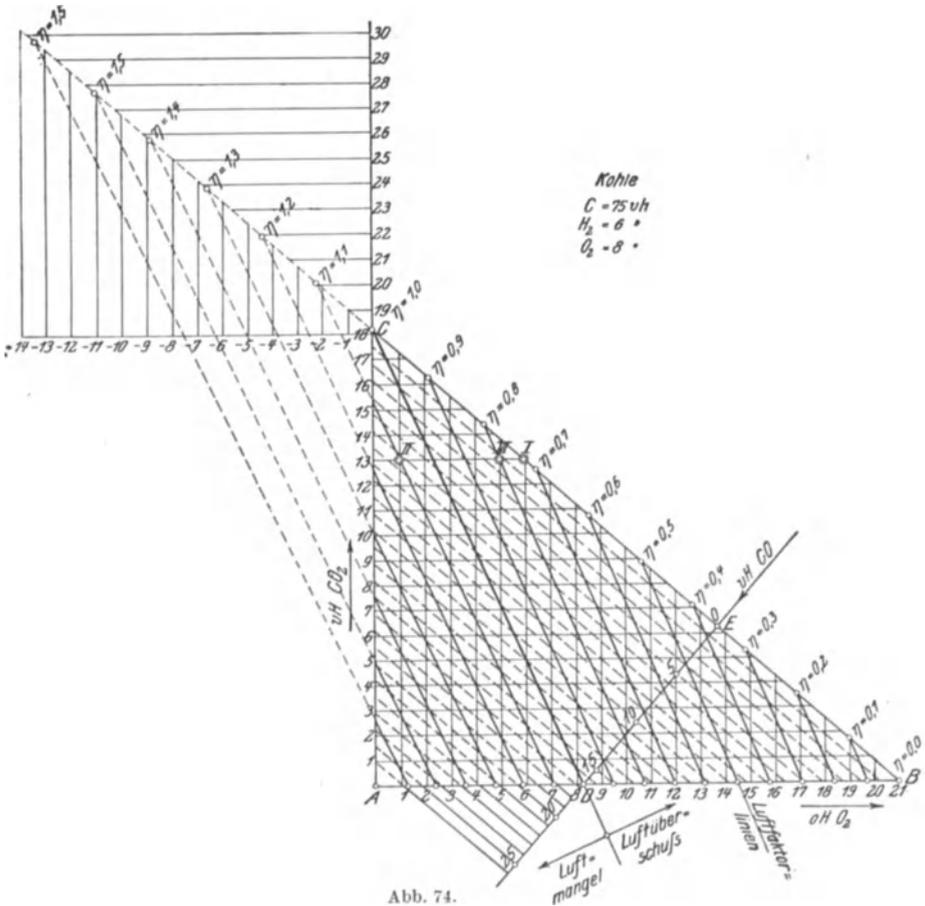


Abb. 74.

setzung des Brennstoffes bekannt ist, dann sind die beiden andern Größen eindeutig bestimmt. Trägt man nach Abb. 74 in einem rechtwinkligen Koordinatensystem O_2 als Abszisse und CO_2 als Ordinate auf,

dann läßt sich nach dem Vorgang von Wa. Ostwald ein schiefes Koordinatensystem mit CO und η darüberlegen, aus dem die beiden letztgenannten Größen für je zwei zusammengehörige Werte von CO₂ und O₂ abgelesen werden können¹⁾.

Im folgenden werden die Grundlagen dieses Verfahrens für feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe in Form von Gleichungen entwickelt, die gestatten, für jede Brennstoffzusammensetzung

1. diese Schaubilder aufzuzeichnen,
2. die wirkliche Luftmenge und
3. die Abgasmenge genau zu berechnen,
4. bei etwa unvollständiger Verbrennung den CO-Gehalt der Abgase abzulesen.

a) Feste und flüssige Brennstoffe.

1 kg Brennstoff enthalte

c_1 kg Kohlenstoff,

h_1 „ Wasserstoff,

q_1 „ Sauerstoff,

also $h_1 = \left(h'_1 - \frac{q_1}{8} \right)$ kg verfügbaren Wasserstoff.

Der Gehalt an Schwefel und Stickstoff sei als unerheblich vernachlässigt. Mit Hilfe des Molbegriffes (S. 143) berechnet sich das Volumen von 1 kg gasförmig zu denkenden

Kohlenstoffes zu $\frac{22,4}{2 \cdot 12} = 0,933$ cbm/kg bei 0° und 760 mm; für

Wasserstoff „ $\frac{22,4}{2 \cdot 1,008} = 11,1$ cbm/kg bei 0° und 760 mm.

α) Für die vollständige Verbrennung, also wenn der verfügbare Wasserstoff vollkommen und der gesamte Kohlenstoff ohne CO-Bildung zu CO₂ verbrennt, ergeben sich aus den folgenden Reaktionsgleichungen der theoretische O₂-Bedarf und die erzeugte CO₂- und H₂O-Menge:

1. $C_2 + 2 O_2 = 2 CO_2$; d. h.

1 cbm C ₂ erfordert	2 cbm O ₂ und erzeugt	2 cbm CO ₂
1 kg C ₂ „	$2 \cdot 0,933 = 1,866$ „ O ₂ „	1,866 „ CO ₂
c_1 „ C ₂ erfordern	$1,866 c_1$ „ O ₂ „ erzeugen	$1,866 c_1$ „ CO ₂ .

2. $2 H_2 + O_2 = 2 H_2O$; d. h.

2 cbm H ₂ erfordern	1 cbm O ₂ und erzeugen	2 cbm H ₂ O ²⁾
1 „ H ₂ erfordert	0,5 „ O ₂ „ erzeugt	1 „ H ₂ O
1 kg H ₂ „	$0,5 \cdot 11,1 = 5,55$ „ O ₂ „	11,1 „ H ₂ O
h_1 „ H ₂ erfordern	$5,55 h_1$ „ O ₂ „ erzeugen	$11,1 h_1$ „ H ₂ O.

Da in 1 kg Brennstoff c_1 kg C₂ und h_1 kg verfügbarer H₂ enthalten sein soll, so folgt:

Theoretische O₂-Menge für 1 kg Brennstoff $O_{\min} = 1,866 c_1 + 5,55 h_1$

Wirkliche O₂-Menge für 1 kg Brennstoff $O_w = \frac{1}{\eta} O_{\min}$,

¹⁾ Siehe auch des Verfassers Aufsatz in der Z. d. V. d. I. 1920, S. 505.

²⁾ In dampfförmigem Zustand bei 0° und 760 mm gedacht.

wenn der Luftfaktor η die oben angegebene Bedeutung hat. Jeder Raumteil O_2 bringt $\frac{79}{21}$ Raumteile N_2 mit; also setzt sich die trockene Abgasmenge wie folgt zusammen:

$$\begin{aligned} G_t = CO_2 & \left| = 1,866 c_1 \text{ cbm} = k\% \text{ des trockenen Abgasvolumens,} \\ + N_2 & \left| = \frac{79}{21} \cdot \frac{1}{\eta} O_{\min} \text{ cbm,} \\ + \text{freier } O_2 & \left| = \frac{1}{\eta} O_{\min} - O_{\min} \text{ cbm} = 9\% \text{ des trockenen Abgasvolumens.} \end{aligned}$$

Dazu kommt noch der durch Verbrennung des H_2 entstehende und aus dem H_2O -Gehalt des Brennstoffes herrührende Wasserdampf, nämlich

$$\begin{aligned} H_2O_I &= 11,1 \cdot h'_1 \text{ cbm (durch Verbrennung des } H_2), \text{ und} \\ H_2O_{II} &= \frac{0,806}{w_1} \text{ cbm (aus dem } H_2O\text{-Gehalt des Brennstoffes);} \end{aligned}$$

hierin bedeutet w_1 den H_2O -Gehalt in kg und 0,806 kg/cbm das spezifische Gewicht des Wasserdampfes bei 0° und 760 mm. Die Prozentsätze k und q sind auf das trockene Abgasvolumen zu beziehen, weil bei der Gasanalyse stets der im absorbierten CO_2 - und O_2 -Volumen enthaltene Wasserdampf verschwindet, d. h. vom Sperrwasser aufgenommen wird.

Das Volumen der trockenen Verbrennungsgase beträgt also für 1 kg Brennstoff

$$\left. \begin{aligned} G_t &= 1,866 c_1 + \frac{79}{21} \cdot \frac{1}{\eta} O_{\min} + \frac{1}{\eta} O_{\min} - O_{\min} \\ &= 1,866 c_1 + O_{\min} \left(\frac{4,76}{\eta} - 1 \right) \text{ cbm bei } 0^\circ \text{ und } 760 \text{ mm.} \end{aligned} \right\} (1)$$

Das Gesamtvolumen der Verbrennungsgase von 1 kg Brennstoff ist

$$G_g = 1,866 c_1 + O_{\min} \left(\frac{4,76}{\eta} - 1 \right) + 11,1 h' + \frac{w_1}{0,806} \text{ cbm bei } 0^\circ \text{ und } 760 \text{ mm.}$$

Zur zahlenmäßigen Berechnung dieses Volumens fehlt noch die Größe η , die, wie folgt, aus dem Schaubild bestimmt werden kann:

Da das CO_2 -Volumen zu $k\%$ des trockenen Abgasvolumens gesetzt wurde, ist in Verbindung mit Gleichung (1)

$$CO_2 = 1,866 c_1 = \frac{k}{100} G_t;$$

hieraus Kohlensäuregehalt der Verbrennungsgase

$$k\% = \frac{100 \cdot 1,866 c_1}{G_t} = \frac{100 \cdot 1,866 c_1}{1,866 c_1 + O_{\min} \left(\frac{4,76}{\eta} - 1 \right)}. \quad (2)$$

Ähnlich ergibt sich der

Sauerstoffgehalt der Verbrennungsgase zu

$$q\% = \frac{100 O_{\min} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)}{G_t} = \frac{100 O_{\min} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)}{1,866 c_1 + O_{\min} \left(\frac{4,76}{\eta} - 1 \right)}. \quad (3)$$

Setzt man $\eta = 1,0$ (vollkommene Verbrennung mit theoretischer Luftmenge), dann erhält man aus Gleichung (2) den höchsten, überhaupt möglichen CO_2 -Gehalt

$$k_{\max} = \frac{100 \cdot 1,866 c_1}{1,866 c_1 + 3,76 O_{\min}};$$

in Gleichung (3) muß dann $q = 0$ werden. Der durch k_{\max} und $q = 0$ bestimmte Punkt ist die Spitze C des Dreiecks (Abb. 74). Den größten, überhaupt möglichen O_2 -Gehalt der Verbrennungsgase, nämlich $q = 21\%$,

erhält man für unendlich großen Luftüberschuß, also für $\eta = \frac{1}{\infty} = 0$ (Punkt B in Abb. 74). Dann setzt man in den Gleichungen (2) und (3) der Reihe nach den Luftfaktor $\eta = 0,9, 0,8, 0,7 \dots$, berechnet die zugehörigen Werte für k und q und trägt immer je zwei zusammengehörige Werte von k und q in das rechtwinklige Koordinatensystem ein. Diese Punkte müssen auf der Geraden BC liegen¹⁾; darin liegt eine Prüfung für die Richtigkeit der Zahlenrechnung.

Die Punkte der Abszissenachse AB ergeben sich bei Annahme einer β) unvollkommenen Verbrennung. Es sei hier die Voraussetzung gemacht, daß zwar aller Kohlenstoff nur zu CO (also ohne CO_2 -Bildung) verbrennt, dagegen der Wasserstoff, wie unter α), vollständig zu H_2O verbrennt. Diese Voraussetzung stimmt mit den Erfahrungen der Praxis überein, nach denen freier Wasserstoff oder Kohlenwasserstoffe sich nur in Ausnahmefällen in Verbrennungsgasen vorfinden. Aus den zugehörigen Reaktionsgleichungen ergibt sich:

1. $\text{C}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{CO}$; d. h.

1 cbm C_2 erfordert	1 cbm O_2 und erzeugt	2 cbm CO
1 kg C_2 „	0,933 „ O_2 „ „	2 · 0,933 = 1,866 „ CO
c_1 „ C_2 erfordern	$0,933 c_1$ „ O_2 „ erzeugen	1,866 c_1 „ CO

2. $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{H}_2\text{O}$; d. h.

h_1 kg H_2 erfordern $5,55 h_1$ cbm O_2 (wie unter α).

Hieraus:

Theoretische O_2 -Menge für 1 kg Brennstoff $O_{\min} = 0,933 c_1 + 5,55 h_1$,
 wirkliche O_2 -Menge „ 1 „ „ mit der gleichen Luftmenge wie bei α)

$$O_w = \frac{1}{\eta} O_{\min}.$$

¹⁾ Beweis: Eliminiert man η aus Gleichung (2) und (3), dann muß sich die Gleichung derjenigen Kurve ergeben, auf der die für gleiche Werte von η berechneten Wertepaare k und q liegen. Diese Gleichung wird linear.

Also beträgt das Volumen der trockenen Verbrennungsgase von 1 kg Brennstoff:

$$\begin{aligned}
 G'_i = \text{CO} & \left| = 1,866 c_1 = p\% \text{ des trockenen Abgasvolumens,} \\
 + \text{N}_2 & \left| = \frac{79}{21} \cdot \frac{1}{\eta} O_{\min} \text{ cbm} \\
 + \text{O}_2 & \left| = \frac{1}{\eta} O_{\min} - \Omega_{\min} \text{ cbm} = q\% \text{ des trockenen Abgasvolumens} \\
 & = 1,866 c_1 + \frac{4,76}{\eta} O_{\min} - \Omega_{\min}. \quad (4)
 \end{aligned}$$

Hieraus ergibt sich:

CO-Gehalt der Verbrennungsgase:

$$p\% = \frac{100 \cdot 1,866 c_1}{1,866 c_1 + \frac{4,76}{\eta} O_{\min} - \Omega_{\min}}, \quad (5)$$

O₂-Gehalt der Verbrennungsgase:

$$q\% = \frac{100 \left(\frac{1}{\eta} O_{\min} - \Omega_{\min} \right)}{1,866 c_1 + \frac{4,76}{\eta} O_{\min} - \Omega_{\min}}. \quad (6)$$

Setzt man in Gleichung (6) $\eta = 1,0$ (unvollkommene Verbrennung mit derjenigen Luftmenge, die theoretisch zur vollkommenen Verbrennung ausreichen würde), so erhält man einen bestimmten Wert für den freien O₂-Gehalt, dem in Abb. 74 der Punkt *D* entspricht. Die Verbindungslinie *CD* trennt somit das Dreieck in das Gebiet des Luftmangels (links von *CD*) und das Gebiet des Luftüberschusses (rechts von *CD*).

Setzt man in Gleichung (6) der Reihe nach $\eta = 0,9, 0,8, 0,7 \dots$, dann erhält man die diesen Luftfaktoren entsprechenden Punkte der Abszissenachse. Die auf der Linie der vollkommenen Verbrennung (*BC*) aus Gleichung (2) und (3) berechneten Punkte werden mit den den gleichen Luftfaktoren entsprechenden, aus Gleichung (6) berechneten Punkten verbunden, wodurch man die Linien gleichen Luftfaktors erhält.

Um die Luftfaktorlinien auch für das Gebiet des Luftmangels zu ermitteln, setzt man in Gleichung 2 und 3 der Reihe nach $\eta = 1,1, 1,2, 1,3 \dots$, und berechnet die zugehörigen Werte von *k* und *q*; diese müssen auf der rückwärtigen Verlängerung von *BC* liegen. Hierbei werden die Werte von *q* negativ und die Werte von *k* größer als k_{\max} ; diese Werte ergeben sich rein mathematisch, kommen sachlich nicht in Betracht und dienen nur zum Ziehen der Luftfaktorlinien. Ebenso setzt man $\eta = 1,1, 1,2, 1,3 \dots$ in Gleichung (6) und erhält die Abszissenpunkte links von *D*. Die gleichen Werte von η entsprechenden Punkte für vollkommene und für unvollkommene Verbrennung werden verbunden.

Zum Zeichnen der CO-Teilung fällt man von einem beliebigen Punkt der Abszissenachse, zweckmäßig von D aus ein Lot auf BC , also $DE \perp BC$. Die Strecke DE wird in so viele gleiche Teile geteilt, wie man für Punkt D [mit $\eta = 1,0$ aus Gleichung (5)] Prozente CO berechnet hat; die Teilung kann nach links (ins Gebiet des Luftmangels) fortgesetzt werden. Durch die einzelnen Teilpunkte werden Parallele zu BC gezogen. Eine Prüfung für die Richtigkeit der Rechnung und die Genauigkeit der Zeichnung liegt darin, daß die Werte des CO-Gehaltes, die man für die Punkte der Luftfaktoren η auf der Abszissenachse nach Gleichung (5) rechnerisch findet, mit den durch die gleichmäßige CO-Teilung zeichnerisch sich ergebenden Werte übereinstimmen müssen.

Anwendung der Schaubilder: Wenn für einen bestimmten Fall der CO_2 - und der O_2 -Gehalt der Abgase ermittelt ist, dann sucht man den diesen beiden Werten entsprechenden Punkt im Schaubild und findet damit gleichzeitig die zugehörigen Werte von η und CO. Hierbei sind vier Fälle mit Bezug auf Abb. 74 möglich:

1. Der Analysenpunkt liegt außerhalb des Dreiecks: Die Analyse ist falsch.

2. Der Analysenpunkt liegt auf BC (Punkt I): Wenn CO_2 und O_2 richtig bestimmt sind, dann ist die Verbrennung vollkommen; Luftfaktor $\eta = 0,73$; also Luftmenge = 1,37fache theoretische.

3. Der Analysenpunkt liegt zwischen BC und CD (Punkt III): Die Verbrennung ist unvollkommen, und zwar nicht wegen Luftmangel, sondern wegen zu niedriger Temperatur im Feuerraum, ungenügender Mischung von Brenngasen mit Luft oder ungleichmäßiger Verteilung der Kohle auf dem Rost; es wird $\eta = 0,8$, d. h. 1,2fache theoretische Luftmenge $\text{CO} = 1,3\%$.

4. Der Analysenpunkt liegt zwischen CD und AC (Punkt II): Die Verbrennung ist unvollkommen wegen Luftmangel. Es wird $\eta = 1,1$, also 0,9fache theoretische Luftmenge, $\text{CO} = 6,5\%$.

In vielen Fällen ist es nicht notwendig, das vollständige Schaubild zu berechnen und es genügt, das Dreieck ABC mit $AC = k_{\max} = 19\%$ zu zeichnen, um durch Eintragen der Analysenpunkte zu entscheiden, ob die Verbrennung vollkommen oder unvollkommen ist.

Die wirkliche Luftmenge und damit auch die wirkliche Abgasmenge lassen sich auch ohne Aufzeichnung des Schaubildes aus den zu seiner Berechnung aufgestellten Formeln ermitteln:

Da in 1 cbm Luft 0,21 cbm O_2 enthalten sind, so beträgt die theoretische Luftmenge

$$L_{\text{th}} = \frac{O_{\min}}{0,21} = 4,76 O_{\min} \text{ cbm für 1 kg Brennstoff;}$$

also die wirkliche Luftmenge

$$L = \frac{4,76}{\eta} O_{\min} \text{ cbm,} \quad (7)$$

worin η vorläufig unbekannt ist.

Aus Gleichung (2) ergibt sich

$$\frac{4,76}{\eta} - 1 = \frac{1,866 c_1 (100 - k)}{k O_{\min}} \quad (8)$$

und

$$\frac{4,76}{\eta} = \frac{1,866 c_1 (100 - k)}{k O_{\min}} + 1. \quad (9)$$

Gleichung (9) in Gleichung (7) eingesetzt, gibt die wirkliche Luftmenge

$$L = 1,866 \frac{c_1}{k} (100 - k) + O_{\min} \text{ cbm.}$$

Gleichung (8) in Gleichung (1) eingesetzt, gibt das Volumen der trockenen Verbrennungsgase von 1 kg Brennstoff

$$G_t = 1,866 c_1 + 1,866 \frac{c_1}{k} (100 - k) = 186,6 \frac{c_1}{k} \text{ cbm;} \quad (10)$$

dazu kommen noch, S. 146, an Wasserdampf:

$$\text{H}_2\text{O} = 11,1 h'_1 + \frac{w_1}{0,806} \text{ cbm}$$

oder mit dem spez. Gew. 0,806 des Wasserdampfes von 0° und 760 mm

$$\text{H}_2\text{O} = 8,95 h'_1 + w_1 \text{ kg.} \quad (11)$$

Damit sind alle Größen, die zur Berechnung des Abgasverlustes erforderlich sind, rechnerisch gefunden. Bezeichnet man mit

c die mittlere spezifische Wärme der trockenen Verbrennungsgase in WE/cbm,

c_0 die mittlere spezifische Wärme des Wasserdampfes in WE/kg,

T die Abgastemperatur,

t die Temperatur der unter den Rost ziehenden Luft,

dann ist der Abgasverlust von 1 kg Brennstoff:

$$V = \left[186,6 \frac{c_1}{k} c + (8,95 h'_1 + w_1) c_0 \right] (T - t) \text{ WE.} \quad (12)$$

Der Vergleich mit der S. 141 angegebenen Formel zeigt, daß beide Formeln identisch sind. Im allgemeinen genügt es, die spezifische Wärme zu setzen:

$$c = 0,32 \text{ WE/cbm,}$$

$$c_0 = 0,48 \text{ WE/kg.}$$

Nur für höhere Temperaturen empfiehlt es sich, die Neumannschen Werte¹⁾ zu verwenden. Die spezifische Wärme c kann dann nach den in den Rauchgasen enthaltenen Prozentsätzen von CO_2 , N_2 und O_2 besonders berechnet werden.

¹⁾ Zeitschrift: Stahl und Eisen 1919, S. 746.

b) Gasförmige Brennstoffe.

1 cbm Frischgas enthalte	h_1 cbm H_2 ;	1 cbm Abgas enthalte	$k\%$ CO_2
	p_1 „ CO		$p\%$ CO
	n_1 „ N_2		$q\%$ O_2
	v_1 „ CH_4		
	k_1 „ CO_2		
	q_1 „ O_2		
	r_1 „ C_2H_4		
	s_1 „ C_2H_2		

Aus den Verbrennungsgleichungen ergibt sich der theoretische O_2 -Bedarf und die erzeugte Abgasmenge wie folgt:

α) bei vollständiger Verbrennung ist

1. $2H_2 + O_2 = 2H_2O$; d. h.
 1 cbm H_2 erfordert 0,5 cbm O_2 und erzeugt 1 cbm H_2O ¹⁾
 h_1 cbm H_2 erfordern $0,5h_1$ cbm O_2 und erzeugen h_1 „ H_2O
2. $2CO + O_2 = 2CO_2$; d. h.
 p_1 cbm CO erfordern $0,5p_1$ cbm O_2 und erzeugen p_1 cbm CO_2
3. $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$; d. h.
 v_1 cbm CH_4 erfordern $2v_1$ cbm O_2 und erzeugen v_1 cbm CO_2 und
 $2v_1$ „ H_2O
4. CO_2 bleibt unverändert; d. h.
 k_1 cbm CO_2 erzeugen k_1 cbm CO_2
5. $C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O$; d. h.
 r_1 cbm C_2H_4 erfordern $3r_1$ cbm O_2 und erzeugen $2r_1$ cbm CO_2 und
 $2r_1$ „ H_2O
6. $2C_2H_2 + 5O_2 = 4CO_2 + 2H_2O$; d. h.
 s_1 cbm C_2H_2 erfordern $2,5s_1$ cbm O_2 und erzeugen $2s_1$ cbm CO_2 und
 s_1 „ H_2O
7. O_2 vermindert den theoretischen O_2 -Bedarf; also q_1 cbm vermindern ihn um q_1 cbm.

Hieraus:

Theoretische O_2 -Menge für 1 cbm Frischgas:

$$O_{\min} = 0,5h_1 + 0,5p_1 + 2v_1 + 3r_1 + 2,5s_1 - q_1;$$

wirkliche O_2 -Menge für 1 cbm Frischgas:

$$O_w = \frac{1}{\eta} O_{\min}.$$

Die trockene Abgasmenge von 1 cbm Frischgas setzt sich demnach wie folgt zusammen:

$$G_t = \left. \begin{array}{l} CO_2 \\ + N_2 \\ + O_2 \end{array} \right| = \left. \begin{array}{l} p_1 + v_1 + k_1 + 2r_1 + 2s_1 = A \text{ gesetzt} = k\% \text{ der Abgasmenge,} \\ n_1 + \frac{79}{21} \cdot \frac{1}{\eta} O_{\min}, \\ \frac{1}{\eta} O_{\min} - O_{\min} = 9\% \text{ der Abgasmenge; also} \end{array} \right.$$

¹⁾ Wasserdampf bei 0° und 760 mm Q.-S.

$$G_t = A + n_1 + \frac{79}{21} \cdot \frac{1}{\eta} O_{\min} + \frac{1}{\eta} O_{\min} - O_{\min}$$

$$= A + n_1 + O_{\min} \left(\frac{4,76}{\eta} - 1 \right).$$

Dazu kommt noch das Volumen des durch die Verbrennung des freien und des an C gebundenen Wasserstoffs erzeugten Wasserdampfes:

$$\text{H}_2\text{O} = h_1 + 2v_1 + 2r_1 + s_1.$$

Es ist wie früher

$$\text{CO}_2 = \frac{k}{100} \cdot G_t;$$

hieraus

$$k\% = \frac{100 A}{A + n_1 + O_{\min} \left(\frac{4,76}{\eta} - 1 \right)} \quad (1)$$

und

$$q\% = \frac{100 \cdot O_{\min} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)}{A + n_1 + O_{\min} \left(\frac{4,76}{\eta} - 1 \right)}. \quad (2)$$

Setzt man wieder $\eta = 1,0$, dann erhält man aus Gleichung (1) den höchsten überhaupt möglichen CO_2 -Gehalt

$$k_{\max} = \frac{100 A}{A + n_1 + 3,76 O_{\min}}.$$

Setzt man in Gleichung (1) und (2) der Reihe nach $\eta = 0,9, 0,8, 0,7 \dots$, berechnet die zugehörigen Werte von k und q , dann ergibt sich in Abb. 75 die Hypotenuse AB wie bei festen und flüssigen Brennstoffen.

β) Die Punkte für die unvollkommene Verbrennung liegen nicht, wie bei festen und flüssigen Brennstoffen, auf der Abszissenachse, sondern wegen des CO_2 -Gehaltes des Frischgases auf einer Geraden CD und werden nach den Verbrennungsgleichungen wieder unter der Annahme berechnet, daß der gesamte brennbare Kohlenstoff nur zu CO , der Wasserstoff dagegen vollständig zu H_2O verbrennt:

1. $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$; d. h.
 h_1 cbm H_2 erfordern $0,5 h_1$ cbm O_2
2. CO bleibt unverändert; d. h.
 p_1 cbm CO erzeugen p_1 cbm CO
3. $2\text{CH}_4 + 3\text{O}_2 = 2\text{CO} + 4\text{H}_2\text{O}$; d. h.
 v_1 cbm CH_4 erfordern $1,5 v_1$ cbm O_2 und erzeugen v_1 cbm CO
4. CO_2 bleibt unverändert; d. h.
 k_1 cbm CO_2 erzeugen k_1 cbm CO_2
5. $\text{C}_2\text{H}_4 + 2\text{O}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2\text{O}$; d. h.
 r_1 cbm C_2H_4 erfordern $2 r_1$ cbm O_2 und erzeugen $2 r_1$ cbm CO

Also

$$G'_t = k_1 + B + n_1 + \frac{79}{21} \cdot \frac{1}{\eta} O_{\min} + \frac{1}{\eta} O_{\min} - \Omega_{\min}$$

$$= k_1 + B + n_1 + \frac{4,76}{\eta} O_{\min} - \Omega_{\min}.$$

Hieraus ergibt sich

$$k^0/0 = \frac{100 k_1}{k_1 + B + n_1 + \frac{4,76}{\eta} O_{\min} - \Omega_{\min}}, \quad (3)$$

$$p^0/0 = \frac{100 B}{k_1 + B + n_1 + \frac{4,76}{\eta} O_{\min} - \Omega_{\min}}, \quad (4)$$

$$q\% = \frac{100 \left(\frac{1}{\eta} O_{\min} - \Omega_{\min} \right)}{k_1 + B + n_1 + \frac{4,76}{\eta} O_{\min} - \Omega_{\min}}. \quad (5)$$

Aus den Gleichungen (3) und 5 ergeben sich für die gleichen Werte von η die Punkte der Geraden BD und in ähnlicher Weise wie bei α) die Luftfaktorlinien. Die CO-Teilung wird wieder zweckmäßig auf dem von E (mit $\eta = 1,0$) nach BC gefällten Lot EF vorgenommen, indem man in Gleichung (4) $\eta = 1,0$ setzt; dann wird EF in soviel gleiche Teile geteilt, wie sich bei dieser Rechnung Prozente CO ergeben. Die Anwendung des Schaubildes ist ebenso wie früher. Ohne Aufzeichnung des Schaubildes lassen sich wirkliche Luft- und Abgasmengen wie folgt berechnen:

Die wirkliche Luftmenge für 1 cbm Frischgas ist wie früher

$$L = \frac{4,76}{\eta} O_{\min} \text{ cbm}, \quad (6)$$

worin η vorläufig unbekannt ist.

Aus Gleichung (1), S. 152, ergibt sich

$$\frac{4,76}{\eta} - 1 = \frac{100 A - k(A + n_1)}{k O_{\min}} \quad (7)$$

und

$$\frac{4,76}{\eta} = \frac{100 A - k(A + n_1)}{k O_{\min}} + 1. \quad (8)$$

Gleichung (8) in Gleichung (6) eingesetzt, ergibt die wirkliche Luftmenge für 1 cbm Frischgas

$$L = 100 \frac{A}{k} - (A + n_1) + O_{\min} \text{ cbm bei } 0^\circ \text{ und } 760 \text{ mm Q.-S.}$$

Nach S. 150 ist die gesamte Verbrennungsgasmenge von 1 cbm Frischgas:

$$G_g = G + \text{H}_2\text{O} = A + n_1 + O_{\min} \left(\frac{4,76}{\eta} - 1 \right) + (h_1 + 2v_1 + 2r_1 + s_1), \quad (9)$$

Gleichung (7) in Gleichung (9) eingesetzt, ergibt

$$G_g = 100 \frac{A}{k} + (h_1 + 2v_1 + 2r_1 + s_1) \text{ cbm.}$$

Bezeichnet man, wie früher, mit

c die mittlere spez. Wärme der trockenen Verbrennungsgase in WE/cbm

c_0 die mittlere spez. Wärme des Wasserdampfes in WE/cbm

T die Abgastemperatur,

t die Temperatur der zugeführten Luft,

dann beträgt der Abgasverlust von 1 cbm Frischgas:

$$V = \left[100 \frac{A}{k} c + (h_1 + 2v_1 + 2r_1 + s_1) c_0 \right] (T - t) \text{ WE.}$$

Hierin kann für gewöhnliche Feuerungen gesetzt werden:

$$c = 0,32 \text{ WE/cbm,}$$

$$c_0 = 0,38 \text{ WE/cbm.}$$

Für höhere Temperaturen ist ebenfalls die Anwendung der Neumannschen Werte (S. 150) zu empfehlen. Die spez. Wärme c kann dann gleichfalls nach der Zusammensetzung der Rauchgase berechnet werden.

Beispiel: Für Steinkohle sei gegeben:

$$C = 75,0\%; \quad \text{also} \quad c_1 = 0,75 \text{ kg,}$$

$$H = 6,0\%; \quad \text{,,} \quad h'_1 = 0,06 \text{ kg,}$$

$$C = 8,0\%; \quad \text{,,} \quad q_1 = 0,08 \text{ kg,}$$

$$\text{demnach} \quad h_1 = 0,06 - \frac{0,08}{8} = 0,05 \text{ kg,}$$

$$H_2O = 4,0\%; \quad \text{also} \quad w_1 = 0,04 \text{ kg.}$$

Die Untersuchung der Abgase habe ergeben:

$$CO_2 = k = 13,0\%,$$

$$O_2 = q = 6,0\%,$$

$$T = 310^\circ; \quad t = 20^\circ.$$

Es ist für 1 kg Kohle zu berechnen:

- Die theoretische Sauerstoffmenge O_{\min} bei vollkommener Verbrennung;
- die wirkliche Luftmenge L ;
- der Luftfaktor η ;
- die trockene (G_t) und die gesamte (G_g) Abgasmenge;
- der Abgasverlust V .

Lösung:

$$\begin{aligned} \text{a) } O_{\min} &= 1,866 c_1 + 5,55 h_1 \text{ nach S. 145} \\ &= 1,866 \cdot 0,75 + 5,55 \cdot 0,05 = \mathbf{1,667 \text{ cbm};} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } L &= 1,866 \frac{c_1}{k} (100 - k) + O_{\min} \text{ nach S. 150} \\ &= 1,866 \cdot \frac{0,75}{13,0} (100 - 13,0) + 1,677 = \mathbf{11,03 \text{ cbm.}} \end{aligned}$$

c) die Aufzeichnung des Schaubildes ist in Abb. 75 maßstäblich erfolgt mit

$$k_{\max} = \frac{100 \cdot 1,866 \cdot 0,75}{1,866 \cdot 0,75 + 3,76 \cdot 1,677} = 18,2\%.$$

Der Analysenpunkt mit $k = 13,0\%$ und $q = 6,0\%$ fällt mit I zusammen; die Verbrennung ist also vollkommen. Aus dem Schaubild ergibt sich für diesen Punkt der

$$\text{Luftfaktor } \eta = 0,725;$$

es wurde also die $\frac{1}{0,725} = 1,38$ fache theoretische Luftmenge zugeführt.

Diese Zahl kann rechnerisch wie folgt nachgeprüft werden: Nach a) ist die theoretische Luftmenge für 1 kg Kohle

$$L_{\text{th}} = \frac{O_{\min}}{0,21} = \frac{1,677}{0,21} 7,99 \text{ cbm}; \text{ also Vielfaches der theoretischen}$$

$$\text{Luftmenge} = \frac{11,03}{7,99} = 1,38.$$

$$\begin{aligned} d) G_t &= 1,866 c_1 + O_{\min} \left(\frac{4,76}{\eta} - 1 \right) \text{ nach S. 146} \\ &= 1,866 \cdot 0,75 + 1,677 \left(\frac{4,76}{0,728} - 1 \right) = 10,75 \text{ cbm}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_g &= G_t + 11,1 h' + \frac{701}{0,806} \text{ nach S. 146} \\ &= 10,75 + 11,1 \cdot 0,06 + \frac{0,04}{0,806} = 11,47 \text{ cbm}. \end{aligned}$$

Ohne Benutzung von η wird nach Seite 150

$$G_t = 186,6 \frac{c_1}{k} = 186,6 \frac{0,75}{13,0} = 10,8 \text{ cbm},$$

$$\text{H}_2\text{O} = 8,95 h'_1 + w_1 = 8,95 \cdot 0,06 + 0,04 = 0,577 \text{ kg}.$$

e) Nach S. 150 wird mit $c = 0,32$ und $c_0 = 0,48$

$$\begin{aligned} V &= \left[186,6 \frac{c_1}{k} c + (8,95 h'_1 + w_1) c_0 \right] (T - t) \\ &= \left[10,8 \cdot 0,32 + 0,577 \cdot 0,48 \right] (310 - 20) = 1085 \text{ WE/kg}. \end{aligned}$$

Mit Berücksichtigung der verschiedenen spezifischen Wärme bei 310° ergibt sich folgendes:

Die Abgase enthalten: $\text{CO}_2 = k = 13,0\%$ Dazu $\text{H}_2\text{O} = 0,577 \text{ kg}$.

$$\begin{array}{r} \text{O}_2 = p = 6,0\% \\ \text{N}_2 = 81,0\% \\ \hline 100,0\% \end{array}$$

Die spez. Wärmen sind bei 310° nach Neumann:

- für CO_2 : 0,442 WE/cbm¹⁾,
 „ O_2 : 0,317 WE/cbm,
 „ N_2 : 0,318 WE/cbm,
 „ H_2O : 0,468 WE/kg.

Die in Rechnung zu setzende spez. Wärme des trockenen Rauchgases beträgt also

$$c = 0,442 \cdot 0,130 + 0,317 \cdot 0,060 + 0,318 \cdot 0,810 = 0,334 \text{ WE/cbm,}$$

also $V = [10,8 \cdot 0,334 + 0,577 \cdot 0,468](310 - 20) = 1123 \text{ WE/kg.}$

Wenn der Heizwert der Kohle bekannt ist, läßt sich V in Prozenten desselben berechnen. Nach der Vereinsformel (Seite 46) ist

$$H_u = 80 \cdot 75,0 + 290 \left(6,0 - \frac{8,0}{8} \right) - 6 \cdot 4 = 7426 \text{ WE/kg,}$$

demnach wird der Abgasverlust

1. nach der ersten Berechnungsweise $V\% = \frac{1085 \cdot 100}{7426} = 14,6\%$
2. nach der zweiten Berechnungsweise $V\% = \frac{1123 \cdot 100}{7426} = 15,1\%$
3. nach der Siegertschen Formel (S. 142) $V\% = 0,65 \frac{290}{13,0} = 14,5\%.$

E. Temperaturmessungen.

Alle Temperaturen werden in Celsiusgraden angegeben.

Zur Messung der Temperaturen bis etwa 350° können gewöhnliche Quecksilberthermometer benutzt werden. Temperaturen von $350 \div 550^\circ$, ja sogar bis 700° lassen sich unter der Voraussetzung, daß der Siedepunkt des Quecksilbers heraufgedrückt ist, ebenfalls mit Quecksilberthermometern bestimmen. Sie zählen dann zu den Pyrometern.

Die Instrumente zur Messung hoher Temperaturen, die Pyrometer, lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

- Berührungsthermometer,
- Strahlungsthermometer.

Die ersteren befinden sich entweder vollständig oder mindestens mit ihrem wesentlichen Teile in dem Raume oder in dem Medium, dessen Temperatur bestimmt werden soll.

Die zweite Gruppe von Pyrometern, die Strahlungsthermometer, messen die Intensität der Strahlung des in Betracht kommenden Raumes oder Gegenstandes. Sie befinden sich also außerhalb desselben, und die Temperatur ihrer nächsten Umgebung ist gar nicht oder nicht viel verschieden von Zimmertemperatur.

¹⁾ Kubikmeter gemessen bei 0° und 760 mm Q.-S.

Die Verwendungsmöglichkeit der Berührungsthermometer erreicht ihre Grenze bei denjenigen Temperaturen, bei welchen die thermometrische Substanz Veränderungen erleidet, welche die Temperaturangaben zweifelhaft erscheinen lassen. Aus diesem Grunde sind für sehr hohe Temperaturen nur Strahlungsthermometer zu gebrauchen.

Bei den Berührungsthermometern für hohe Temperaturen unterscheidet man:

Flüssigkeitsthermometer,
thermoelektrische Pyrometer und
elektrische Widerstandspyrometer.

Die Flüssigkeitsthermometer. Die Flüssigkeitsthermometer beruhen auf der Tatsache, daß die kubischen Ausdehnungen der Flüssigkeiten wesentlich größer sind als diejenigen der festen Körper, so daß die mit ihnen vorzunehmenden Temperaturmessungen darauf hinausgehen, die scheinbaren Ausdehnungen der thermometrischen Substanz — in den weitaus meisten Fällen Quecksilber — in dem sie umgebenden Körper (Glas) zu beobachten. Zu diesem Zwecke ist an das Thermometergefäß ein enges Meßrohr angeschlossen, in welches die thermometrische Substanz bei Erwärmung eintritt, und an welchem die den Volumenvergrößerungen entsprechenden Temperaturen abgelesen werden können.

Die Flüssigkeitsthermometer für hohe Temperaturen haben stets Quecksilber als thermometrische Substanz. Der Siedepunkt des Quecksilbers liegt bei 357° ; deshalb muß zum Zwecke der Verzögerung des Siedepunktes das Meßrohr oberhalb des Quecksilbers unter Druck mit Stickstoff oder wasserfreier Kohlensäure gefüllt sein.

Schon bei etwa 300° ist die Ausdehnung gewöhnlicher Glassorten so bedeutend und unregelmäßig, daß die Angaben der Thermometer ungenau werden. Auch fangen derartige Glassorten schon verhältnismäßig früh an, weich zu werden. Jenaer Borosilikatglas 59 III besitzt diese Fehler in viel geringerem Maße und ist daher bis 525° , Jenaer Verbrennungsröhrenglas bis 600° und Quarzglas bis 700° verwendbar.

Die Flüssigkeitsthermometer haben zwei Festpunkte, den Eispunkt und den Siedepunkt, deren gegenseitiger Abstand nach Celsius in 100 gleiche Teile geteilt ist. Eine einfache, aber bei weitem nicht erschöpfende Prüfung der Richtigkeit eines Flüssigkeitsthermometers kann durch erneute Bestimmung der Festpunkte ausgeführt werden.

Die Eispunktsbestimmung erfolgt in der Weise, daß man das Thermometer in reines, feingeschabtes und mit destilliertem Wasser getränktes Eis oder in Schnee bringt. Kunsteis ist für diesen Zweck nicht zu gebrauchen, da es häufig Salz enthält und dieses schon in kleinen Mengen den Schmelzpunkt des Eises erheblich erniedrigt.

Die Siedepunktsbestimmung erfolgt durch Einführen des Thermometers in gesättigten Wasserdampf von atmosphärischer Spannung (760 mm Quecksilbersäule).

Dabei ist zu berücksichtigen, daß nach lang andauernden Erwärmungen die Festpunkte geringe Erhebungen, nach Erwärmungen und darauffolgenden raschen Abkühlungen eine Erniedrigung erfahren. Diese Erscheinungen werden als thermische Nachwirkungen bezeichnet.

Pyrometer zur Bestimmung der Rauchgas-temperaturen müssen mit ihrem Quecksilbergefäße bis mindestens in die Mitte des Rauchkanales reichen, während die Skala von außen noch bequem ablesbar sein soll. Die Glaskapillare erhält daher stets eine bedeutende Länge und muß durch ein übergeschobenes Eisenrohr, welches unten durchlöchert ist, geschützt werden. Gewöhnlich besitzen diese Pyrometer einen auf diesem Eisenrohre verstellbaren Flansch, der die bequemere Einstellung verschiedener Eintauchlängen ermöglicht (siehe Abb. 76).

Um die Temperaturen von überhitztem Dampfe in Rohrleitungen zu messen, werden diese an den in Betracht kommenden Stellen (vor dem Überhitzer, hinter demselben, vor der Dampfmaschine) angebohrt und in der Bohrung mit Gewinde versehen. Mit entsprechendem Gewinde wird ein schmiedeeisernes, unten kugelförmig geschlossenes Rohrstück *T* (Abb. 77), welches bis über die Mitte des Rohrquerschnittes hinausreichen muß, eingeschraubt. In dieses Rohrstück wird hochsiedendes Öl gegossen und alsdann das Thermometer (Pyrometer) eingesetzt. Bei Neuanlagen finden sich gewöhnlich derartige Einrichtungen zur Messung der Dampftemperaturen vor. Um ganz sicher zu sein, daß die Wärmeübertragung einwandfrei erfolgt, ist zu empfehlen, an Stelle von Öl, das ja kein einheitlicher Stoff ist und daher auch keinen festliegenden Siedepunkt besitzt, in das Eintauchrohr *T* eine leicht schmelzende Metallegierung einzufüllen, z. B. Rosensmetall (2 Tle. Wismut, 1 Tl. Blei, 1 Tl. Zinn, Schmelzp. 93,75°) oder Woods-Metall (15 Tle. Wismut, 8 Tle. Blei, 4 Tle. Zinn, 3 Tle. Kadmium, Schmelzp. 70°). Die Schwächung, welche das Rohr an der Anbohrstelle erleidet, ist durch eine Verstärkung *a* (Abb. 77) der Wandung aufgehoben. Damit ist gleich-

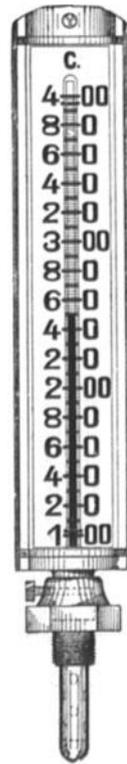


Abb. 78.

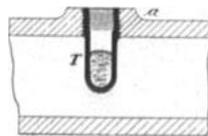


Abb. 77.

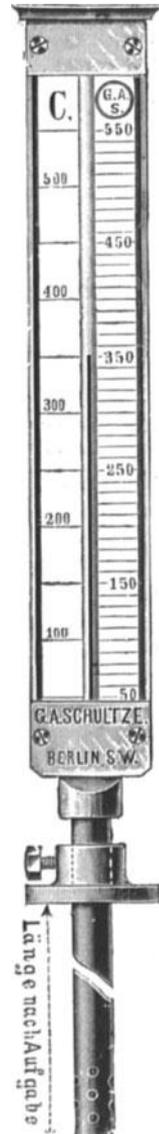


Abb. 76.

zeitig die Möglichkeit der Anbringung eines genügend langen Gewindes geschaffen.

Das Institut für physikalische und technische Instrumente G. A. Schultze, Neukölln, fertigt für vorliegenden Zweck auch Pyrometer an (Abb. 78), bei welchen das Quecksilbergefaß in einer vollständig geschlossenen Stahlrohrhülse liegt, welche durch eine übergelötete Messinghülse gegen Rosten geschützt ist. Im Innern der Stahlrohrhülse befindet sich bei Beanspruchungen bis zu 300° Quecksilber, bei höheren Temperaturen ein metallisches Pulver. Beide Füllungen übertragen die Temperatur des Dampfes mit genügender Schnelligkeit auf das Pyrometer. Die Stahlrohrhülse trägt oben ein Gewinde, mit welchem es in die Dampfleitung eingeschraubt werden kann.

Berichtigung des herausragenden Fadens.

Die Angaben der Quecksilberthermometer sind gemäß den üblichen Eichungsmethoden nur richtig, wenn nicht nur das Quecksilbergefaß, sondern auch die Kapillare, soweit sie mit Quecksilber gefüllt ist, der zu messenden Temperatur ausgesetzt ist. Dies ist aber bei technischen Temperaturmessungen fast nie der Fall, weshalb zu den abgelesenen Temperaturen ein Zuschlag zu machen ist, der um so größer ist, je länger das Thermometer und je kürzer dessen Eintauchlänge in jedem einzelnen Falle ist.

Bezeichnet t die abgelesene Temperatur, T die zu bestimmende Temperatur, α den scheinbaren Ausdehnungskoeffizienten von Quecksilber in Glas, n die Anzahl von Graden, die herausragen, t' die mittlere Temperatur des herausragenden Quecksilberfadens, so ist die wirkliche Temperatur:

$$T = t + n \cdot \alpha (T - t').$$

Für α kann mit genügender Genauigkeit 0,000 155 gesetzt werden.

Die thermoelektrischen Pyrometer. Die thermoelektrischen Pyrometer haben als wesentliche Bestandteile ein Thermoelement und einen Stromanzeiger (Anzeigeelement).

Schweißt man zwei Drähte aus verschiedenen Metallen oder verschiedenen Metallegierungen mit ihren Enden zusammen, und bringt man die Schweißstellen in verschieden hohe Temperaturen, so fließt in den Drähten ein elektrischer Strom, und das Ganze wird als Thermoelement bezeichnet (Abb. 79).

Die elektromotorische Kraft (EMK) dieses Stromes hängt ab:

1. von der Art, der Reinheit und der Homogenität der Metalle bzw. Metallegierungen;
2. von den Temperaturen, in welchen sich die Schweißstellen befinden, in der Weise, daß die EMK nahezu proportional der Differenz dieser Temperaturen ist.

Die Temperaturmessung wird also darin bestehen, daß man die Größe der im Stromkreise vorhandenen EMK feststellt.

Schweißt man die Drähte nur an einem Ende zusammen, und schließt man die anderen Enden an ein Millivoltmeter (Anzeigeelement) an,

so kann an letzterem die im Stromkreise entstehende EMK abgelesen werden.

Die EMK ist bei Elementen aus unedlen Metallen größer als bei solchen aus edlen Metallen; sie hat für den Fall, daß sich die eine Lötstelle in der Temperatur 0° befindet, bei zwei der gebräuchlichsten Thermoelementen Werte (in Millivolt), wie sie die folgende Zahlen-
 tafel angibt¹⁾.

	Eisen			Eisen	
	Konstantan	Platin Platin-Rhodium		Konstantan	Platin Platin-Rhodium
100°	5,4	—	800°	45,2	7,37
200°	10,8	—	900°	51,3	8,48
300°	16,3	2,32	1000°	—	9,61
400°	21,9	3,26	1200°	—	11,93
500°	27,5	4,23	1400°	—	14,29
600°	33,2	5,24	1600°	—	16,67
700°	39,1	6,29			

Bestehen die Elementendrähte aus edlen Metallen oder teureren Metallegierungen, so werden sie möglichst kurz ausgeführt. An die

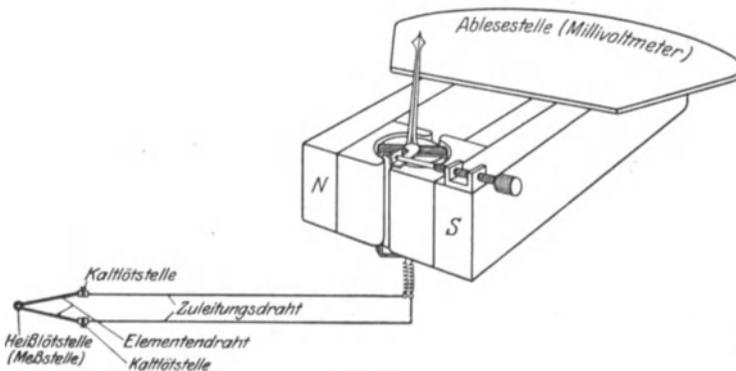


Abb. 79.

nicht verschweißten Drahtenden lötet man dann längere Leitungsdrähte aus billigen Metallen an, die zum Millivoltmeter geführt werden.

Die verbleibende Schweißstelle der Elementendrähte, die an den Ort der zu messenden Temperatur gebracht wird, ist als Heißlötstelle bezeichnet, während die Anschlußpunkte an die Zuleitungsdrähte zum Millivoltmeter Kaltlötstellen genannt werden. Die Länge der Zuleitungsdrähte kann unter gewissen Bedingungen beliebig groß genommen werden, so daß die Entfernung der Ablesestelle (Millivoltmeter) von der Meßstelle (Heißlötstelle) keine Rolle spielt.

Um die Genauigkeit der Messung nicht zu beeinträchtigen, ist vor allem darauf zu achten, da die beiden Anschlüsse der Elementendrähte an die Zuleitungsdrähte in der gleichen Temperatur sich befinden,

¹⁾ Nach Dr. Mahlke: Stahl u. Eisen 1918.

denn nur dann heben sich die sekundären Thermostrome, die in den Thermoelementen $\frac{\text{Elementendraht}}{\text{Zuleitungsdraht}}$ entstehen, auf.

Der Widerstand der Zuleitungsdrähte muß, wenn er nicht vernachlässigt werden darf, bei der Eichung des Millivoltmeters berücksichtigt werden.

Da das Thermoelement den Temperaturunterschied zwischen der Heiß- und der Kaltlötstelle bestimmt, so sind die Angaben des Millivoltmeters nur dann der Temperatur der Heißlötstelle gleich, wenn die Kaltlötstelle in der Temperatur 0° sich befindet.

Bei wissenschaftlichen Versuchen stellt man diese Temperatur auch her, indem man die Kaltlötstellen in schmelzendes Eis bringt. Bei technischen Messungen wird die Temperatur der Kaltlötstellen durch ein Quecksilberthermometer bestimmt und dann der Zeiger des Millivoltmeters durch eine besondere Vorrichtung vor der eigentlichen Messung auf diesen Temperaturgrad eingestellt.

Um sicher zu sein, daß die beiden Kaltlötstellen die gleiche, und zwar eine möglichst niedrige Temperatur haben, umgibt man sie mit einem Kühlgefäße, durch welches dauernd kaltes Wasser fließt.

Dieses unbequeme Hilfsmittel wird durch Anwendung von Kompensationsleitungen entbehrlich.

Diese Leitungen werden entweder unmittelbar bis zum Millivoltmeter geführt, dann liegen die Kaltlötstellen an diesem, oder man führt sie wenigstens so weit weg, daß die Kaltlötstellen in die gewünschte Temperatur von ca. 20° zu liegen kommen. Bei Edelmetallelementen bestehen die Kompensationsleitungen aus Kupfer oder Kupferlegierungen und sind derartig ausgewählt, daß ihre thermoelektrische Kraft möglichst gleich derjenigen der Elementendrähte ist. Bei unedlen Elementendrähten nimmt man die Kompensationsleitungen aus den gleichen Metallen wie die Elemente. Die Kaltlötstellen können also auf jeden Fall so weit von der Meßstelle abgerückt werden, daß ihre Temperatur niedrig, unbeeinflußt von derjenigen der Heißlötstelle, ziemlich konstant und daher leicht bestimmbar ist.

Die Elementendrähte müssen gegen die schädlichen Einwirkungen der heißen Gase oder Stoffe, deren Temperatur bestimmt werden soll, geschützt sein. Diese Einwirkungen werden besonders dann störend, wenn das Material der Elementendrähte mit den umgebenden Gasen, Dämpfen usw. Verbindungen eingeht, die selbst wieder thermoelektrisch wirksam sind. Diese Zusatzthermokräfte können die ursprüngliche EMK vergrößern oder verkleinern.

Man schließt daher den einen Elementendraht in ein Röhrchen aus Quarz oder Marquardscher Masse ein und umgibt dann das ganze Element mit einem zweiten, an einem Ende geschlossenen Rohre von der gleichen Masse. Dadurch ist gleichzeitig eine Isolierung des einen Elementendrahtes gegen den anderen erreicht.

Quarzrohre haben den Vorzug, gegen schroffen Temperaturwechsel unempfindlich zu sein. Die Rohre aus Marquardscher Masse stehen in dieser Beziehung nicht so günstig da, haben aber den Vorteil, lange

Zeit Temperaturen bis 1100° ertragen zu können, ohne Schaden zu nehmen.

Zum Schutze gegen Beschädigungen mechanischer Art oder durch Stichflammen werden die isolierten Thermoelemente noch in ein Schutzrohr aus Stahl, Schamotte, Graphit oder Silit, je nach dem Verwendungszweck, eingekleidet.

Die Eichung erfolgt, wie bei allen Berührungsthermometern, durch Eintauchen in die Schmelzung von Schwefel und von Metallen, deren Schmelzpunkte genau bekannt sind, also durch Bestimmung einiger Festpunkte und durch Interpolation der dazwischenliegenden Skalenteilung. Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt gibt u. a. hierfür folgende, durch das Luftthermometer bestimmte Temperaturen an:

Siedetemperatur t von Schwefel bei einem Barometerstand von p mm Quecksilbersäule:

$$t = 444,55^{\circ} + 0,0908 \cdot (p - 760) - 0,000\,047 (p - 760)^2$$

Schmelzpunkte:

Zink = $419,4^{\circ}$,	Kupfer = 1083° ,
Antimon = 630° ,	Palladium = 1557° .

Nachstehend sind die in der Praxis gebräuchlichen thermoelektrischen Pyrometer, für deren Lieferung die Firmen Siemens & Halske, Keiser & Schmidt, W. C. Heraeus, Paul Braun & Co., Hartmann & Braun in Betracht kommen, kurz gekennzeichnet.

Das Thermoelement von Le Chatelier. Die Elementendrähte bestehen aus Platin einerseits und einer Legierung von 10 Teilen Rhodium mit 90 Teilen Platin andererseits. Es ist bis 1600° benutzbar und hat den Vorzug, daß seine Drähte vom Sauerstoff der Luft nicht angegriffen werden. Nur Metaldämpfen und Kohlenstoff-Sauerstoffverbindungen gegenüber ist es in heißem Zustände empfindlich und muß daher sorgfältig vor Berührung mit diesen geschützt werden.

Das Eisen-Konstantanelement. Der eine Elementendraht besteht aus Eisen, der andere aus Konstantan, d. i. eine Legierung von 40 Teilen Nickel und 60 Teilen Kupfer. Die EMK für 1° Temperaturunterschied zwischen Heiß- und Kaltlötstellen ist größer als bei den anderen üblichen Drahtzusammenstellungen. Die Anzeiginstrumente brauchen daher weniger empfindlich zu sein und können eine in der Praxis erwünschte derbe Ausführung erhalten. Das Element ist anwendbar bis 800° , und wenn für kräftige Ausführung der Elementenschenkel und besonders widerstandsfähige Umhüllung derselben Sorge getragen ist, bis 900° .

Das Kupfer-Konstantanelement. Der eine Elementenschenkel besteht in einem unten geschlossenen Kupferrohre, an dessen Verschluss ein mit Asbest isolierter Konstantandraht — der andere Elementenschenkel — angelötet ist. Verwendung bis 500° .

Das Nickel-Nickelchromelement ist bis 1100° verwendbar.

Das Nickel-Kohleelement. Der Kohleschenkel wird durch ein Kohlerohr gebildet. Verwendung bis 1200° .

Die elektrischen Widerstandspyrometer. Der elektrische Widerstand reiner Metalle ändert sich innerhalb eines weiten Temperaturbereiches nach bestimmten Gesetzen mit der Temperatur. Die Gesetzmäßigkeit dieser Widerstandsänderung ist besonders bei Platin zwischen 0° und 500° eine ausgezeichnete; erst oberhalb 900° treten infolge mechanischer und chemischer Einflüsse (Verunreinigungen) Störungen ein.

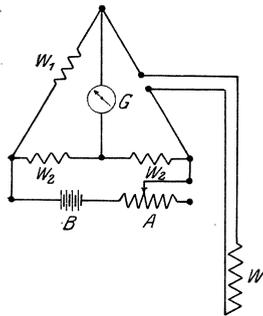


Abb. 80.

Bringt man einen als Spirale ausgebildeten Widerstand aus Platindraht an die Stelle, deren Temperatur gemessen werden soll, und verbindet man ihn mit einem bekannten Widerstand (Vergleichswiderstand), der in Form einer Wheatstoneschen Brücke verwendet wird, so kann der unbekannte Widerstand und somit die Temperatur der Meßstelle bestimmt werden.

Damit die genannten Widerstände in die Erscheinung treten können, ist an das Ganze noch ein elektrischer Strom anzulegen, der entweder einem Akkumulator oder auch einer Trockenbatterie entnommen werden kann. Damit ergibt sich das in Abb. 80 dargestellte Schaltungsschema. In demselben bedeutet:

W = Widerstandspyrometer (Platinspirale in Quarzglas eingeschmolzen),

W_1, W_2, W_3 = konstante Widerstände,

G = Galvanometer,

B = Batterie,

A = Ausgleichswiderstand.

Die Widerstände W_1, W_2 und W_3 sind so bemessen, daß sie bei 0° dem Widerstande W das Gleichgewicht halten; das Galvanometer zeigt alsdann auf 0° . Wird W erhitzt, so ändert sich sein Widerstand, und das Galvanometer gibt einen Ausschlag, welcher der Temperatur von W entspricht.

Die Angaben des Galvanometers sind nur so lange richtig, als die Batteriespannung konstant bleibt. Zur Prüfung und Regelung der letzteren werden noch ein Prüf- und ein Ausgleichswiderstand notwendig.

Der Prüfwiderstand ist bei einer bestimmten Temperatur gleich demjenigen des Pyrometers W . Diese Temperatur ist auf dem Galvanometer durch einen farbigen Strich kenntlich gemacht. Schaltet man an Stelle von W den Prüfwiderstand ein, so muß der Zeiger des Galvanometers auf die Strichmarke einspielen. Ist dies nicht der Fall, so ist der Schleifkontakt am Ausgleichswiderstand A so weit zu verschieben, bis der Zeiger sich auf die Strichmarke einstellt.

Das Widerstandspyrometer ist für Temperaturen bis 500° sehr genau (bis $\frac{1}{100}^{\circ}$ Genauigkeit) und kann für technische Messungen auch noch bis 700° als ausreichend genau angesehen werden. Es hat gegenüber den thermoelektrischen Pyrometern den Vorzug, daß die Temperatur der Anschlußstellen (Kaltlötstellen) keine Rolle spielt, also auch nicht beobachtet zu werden braucht.

Die Eichung des Instrumentes geschieht durch Bestimmung von drei Festpunkten: Schmelzpunkt des Eises, Siedepunkt des Wassers, Siedepunkt des Schwefels.

Sowohl die thermoelektrischen als auch die Widerstandsinstrumente werden in Verbindung mit schreibenden Apparaten hergestellt. Die Temperaturkurven entstehen durch Punktkontakte mit Hilfe eines oder mehrerer Farbbänder (Ein- und Mehrfarbensreiber). Ein Apparat kann bis 12 verschiedene Temperaturkurven schreiben.

Die Lichtstrahlungspyrometer. Diese Instrumente messen die Helligkeit hochohitzer Körper oder Räume innerhalb eines bestimmten Gebietes des Spektrums. Sie sind äußerst empfindlich, weil die Helligkeit sehr rasch mit der Temperatur steigt.

Die bekanntesten Pyrometer dieser Art sind diejenigen von Holborn & Kurlbaum, von Le Chatelier und von Wanner. Es soll hier das letztere eingehend besprochen werden.

Die optischen Pyrometer von Wanner.

Theoretisches Prinzip der optischen Pyrometrie.

Den optischen Pyrometern liegt der Gedanke zugrunde, die Temperatur eines Körpers durch die Intensität des von ihm ausgestrahlten Lichtes zu messen. Zerlegt man dieses nämlich durch ein Prisma in sein Spektrum und beobachtet die Helligkeit einer bestimmten Farbe, z. B. Rot der Wasserstofflinie C , so findet man eine beträchtliche Zunahme der Intensität mit steigender Temperatur des strahlenden Körpers. Setzt man etwa die Strahlung bei $1000^{\circ} = 1$, so steigt sie für 1500° auf den Wert 134 und erreicht bei 2000° das 2130fache.

Von Wanner und anderen experimentell nachgewiesen, wurde dieses Gesetz von Wien und Planck mathematisch formuliert, und zwar gilt für das sichtbare Gebiet merklich genau die Beziehung:

$$J = c_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot e^{-\frac{c_2}{\lambda \cdot T}} \quad (\text{Wien-Plancksches Gesetz}).$$

Hierin bedeuten:

J = die optisch beobachtete Intensität,

T = die absolute Temperatur,

λ = die Wellenlänge (Farbe) der beobachteten Strahlen,

c_1 und c_2 = zwei Konstanten,

e = die Basis der natürlichen Logarithmen.

Da alle Größen bis auf J und T bekannt sind, bietet dieses Gesetz die Möglichkeit, durch Bestimmung von J die unbekannte Temperatur $t = T - 273$ zu ermitteln.

Ein dem Obigen analoger Ausdruck folgt für eine Temperatur T_1 , so daß sich das Verhältnis der Intensitäten bei zwei Temperaturen T und T_1 ergibt zu:

$$\frac{J}{J_1} = e^{\frac{c_2}{\lambda} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T} \right)} = \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{\operatorname{tg}^2 \alpha_1},$$

wenn man die Intensität mittels Polarisationsvorrichtung mißt und α und α_1 die zugehörigen Verdrehungswinkel am Polarisationsapparat bezeichnen. In anderer Form geschrieben lautet die Gleichung noch:

$$\log \frac{J}{J_1} = \log \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{\operatorname{tg}^2 \alpha_1} = \frac{c_2}{\lambda} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T} \right) \cdot \log e.$$

Es läßt sich also, falls die zu einer einzigen Temperatur und Wellenlänge gehörige Strahlungsintensität J bekannt ist, jede andere Temperatur auf optischem Wege bestimmen, vorausgesetzt natürlich, daß der zu betrachtende Körper bereits sichtbare Strahlen aussendet. Dieses ist von etwa 625° aufwärts der Fall. Hierbei muß noch auf eine Einschränkung bei Anwendung der Strahlungsgesetze hingewiesen werden. Diese haben nämlich nur volle Gültigkeit für einen absolut schwarzen Körper, d. h. einen solchen, der alle auftreffenden Strahlen absorbiert, infolgedessen auch Licht jeder Wellenlänge aussendet. Nach Kirchhoff läßt sich diese Bedingung am besten durch einen Hohlraum darstellen, dessen Wände konstant dieselbe Temperatur wie dieser selbst besitzen. Heizt man einen solchen z. B. auf elektrischem Wege, und läßt man die Strahlen durch eine kleine Öffnung in der Wand austreten, so hat man einen sog. schwarzen Strahler vor sich, auf den sich das obenerwähnte Gesetz anwenden läßt. Die gleichen Verhältnisse bieten aber fast sämtliche in der Industrie gebräuchlichen Öfen, und auch für alle anderen glühenden, festen und flüssigen Körper kann man ohne weiteres die Richtigkeit des Gesetzes annehmen, weil der Unterschied ihrer Strahlung gegen die des schwarzen Körpers bei hohen Temperaturen für die Fälle der Praxis überhaupt zu vernachlässigen ist.

Physikalisches Prinzip des Wanner - Pyrometers.

Das von Wanner auf Grund dieser Gesetzmäßigkeiten konstruierte optische Pyrometer besteht aus einem spektralanalytischen und einem photometrischen Teil. Ersterer dient dazu, das auf die beiden Spalte a und b auffallende Licht durch das Prisma G (Abb. 81) spektral zu zerlegen und durch die Linsen L_1 und L_2 das Spektrum in der Ebene des Spektralspaltes S_2 scharf abzubilden. S_2 ist so gestellt, daß nur Licht der roten Wasserstofflinie ($\lambda = 0,6563$) zur Beobachtung gelangen kann, alle anderen Farben aber abgeblendet werden. Der photometrische Teil des Apparates besteht aus dem Prisma K , dem Prisma P und dem Analysator N (Nikol). Durch K wird jedes der beiden Spektren in zwei aufeinander senkrecht polarisierte Komponenten zerlegt, so daß man in S_2 vier übereinanderliegende Spektren erhielte. Der brechende Winkel des Prismas P ist nun so berechnet, daß die beiden der optischen Achse zunächst liegenden Bilder im Okularspalt aufeinanderfallen und

deren Licht allein in das Auge des Beobachters gelangt. Da ihre Schwingungsrichtungen senkrecht zueinander stehen, kann durch Drehung des Analysators N gleichzeitig die Helligkeit des einen Bildes geschwächt, die des anderen erhöht werden. Beleuchtet man nun noch Spalt a durch eine konstante Vergleichslichtquelle, während b von dem zu beobachtenden glühenden Körper bestrahlt wird, so ist nur erforderlich, die beiden durch das Prisma P gebildeten Hälften des Gesichtsfeldes durch Drehen von N auf gleiche Helligkeit zu bringen, um das Verhältnis der Intensitäten beider für eine bestimmte Wellenlänge zu kennen. Nach dem eingangs Gesagten ist aber hiermit ein wissenschaftlich begründetes genaues Maß für die Temperatur des strahlenden Körpers gegeben.

Hinsichtlich der zu erreichenden Meßgenauigkeit möge kurz folgendes gesagt sein:

Man nehme an, der zu messende Körper sei ein schwarzer Strahler, so wird die Beobachtung nur noch von der Konstanz der Vergleichs-

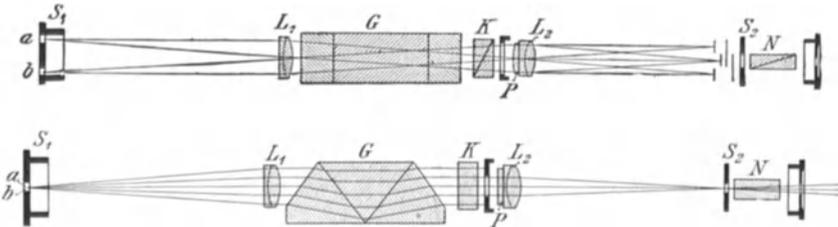


Abb. 81.

lichtquelle abhängen und von der Fähigkeit des Messenden, die beiden Gesichtsfeldhälften auf gleiche Helligkeit einzustellen. Letzteres ist aber für ein einigermaßen geübtes Auge auf etwa 1% möglich, was je nach dem Temperaturbereich im Mittel einen Fehler von 1% in der Temperaturbestimmung bedingt. Um eine genügende Konstanz der Vergleichsnormale zu gewähren, kommen nur sorgfältig geprüfte und gealterte Osramlampen zur Verwendung, deren Helligkeit durch eine beigegebene Amylzetatlampe zeitweise kontrolliert werden kann. Da der hieraus entstehende Fehler erfahrungsgemäß 1% nicht überschreitet, kann man sagen, daß der gesamte Meßfehler im Höchsthalle 2% betragen kann, im allgemeinen jedoch unter 1% bleibt.

Der Hauptwert des Instrumentes liegt darin, daß es auf Grund eines theoretisch abgeleiteten und praktisch bestätigten Gesetzes die Temperaturmessung ermöglicht, im Gegensatz zu anderen optischen Pyrometern, deren Angaben eine empirische Eichung zugrunde liegt.

Ausführungsformen des Wanner - Pyrometers.

Zu dem Wanner-Pyrometer (Abb. 82) gehören: 1. das Pyrometer mit Verbindungskabel, 2. der Batteriekasten, enthaltend eine 6-Volt-Batterie, 3. der mittels zweier Klemmschrauben befestigte Beikasten mit Amperemeter, Regulierwiderstand und Steckdosen, 4. die Justier-

vorrichtung mit Amyllampe und zweitem Okular, 5. der Schutzkasten, 6. Flasche mit Amylacetat.

Das Pyrometer wird von der Justiervorrichtung abgehoben und der Stecker der Verbindungsschnur je nach dem Meßbereich in zwei der auf der Oberseite des Beikastens befindlichen Steckerbuchsen eingesetzt. Beim Gebrauch hält man das Pyrometer mit der rechten Hand wie ein Fernrohr und visiert beim Hindurchblicken durch das Okular den zu messenden leuchtenden Körper an. Das in rotem Licht erscheinende kreisförmige Gesichtsfeld wird in der oberen Hälfte durch das Licht des zu messenden Körpers, in der unteren durch eine kleine Glühlampe erleuchtet, welche in dem vom Beobachter abgewandten Ende des Pyrometers, dem sog. Kopf, untergebracht ist und durch die Batterie mit bestimmter Stromstärke gespeist wird.

In bekannter Weise erfolgt die Messung dadurch, daß man durch Drehen an der Okulargriffscheibe *C* die beiden Gesichtsfeldhälften auf gleiche Helligkeit bringt. Die Ablesung der Zeigerstellung unter Berücksichtigung des zur Verwendung kommenden Meßbereichs ergibt dann die Temperatur des anvisierten Körpers.

Voraussetzung ist natürlich, daß die Vergleichslampe im Innern des Pyrometers mit einer bestimmten als Stromzahl bezeichneten Stromstärke brennt. Letztere ist nicht nur bei den einzelnen Instrumenten verschieden, sondern hängt auch noch von dem angewandten Meßbereich ab. Da sich die Stromzahl ferner noch im Laufe der Zeit allmählich ändert und auch damit zu rechnen ist, daß bei dauerndem Gebrauch gelegentlich die Glühlampe ausgewechselt werden muß, ist dem Wanner-Pyrometer als unveränderliche Vergleichsnormale eine mit Amylacetat zu füllende Hefner-Lampe beigegeben, mit Hilfe deren man jederzeit in der Lage ist, einerseits die Stromzahl zu prüfen, andererseits nach dem neuen Einsetzen einer Lampe das Pyrometer wieder selbst zu eichen. Die bei Messung vor der Amyllampe zu den einzelnen Meßbereichen gehörenden Zeigerstellungen heißen Normalzahlen. Sie sind im Gegensatz zu den Stromzahlen unveränderlich und für jedes einzelne Wanner-Pyrometer charakteristisch.

Das Wanner-Pyrometer wird normalerweise mit zwei, seltener mit einem, drei oder vier Meßbereichen ausgeführt. Jeder Meßbereich umfaßt auf der Skala $\frac{1}{4}$ Kreis, und man verfährt bei der Wahl desselben so, daß die zu messende Temperatur etwa in der Mitte des einzelnen Quadranten zu liegen kommt.

Die Einstellung des Pyrometers auf die einzelnen Meßbereiche erfolgt

1. durch Einschalten des Schnursteckers in die entsprechende Steckerbuchse am Beikasten,
2. durch Einstellung der richtigen Blendenöffnung im Kopfe des Pyrometers,
3. durch Aufsetzen des Okulars,
4. Einregulieren des Amperemeters auf die entsprechenden Stromzahlen mit Hilfe des im Beikasten befindlichen Regulierwiderstandes.

Es gehören zum Meßbereich $650 \div 1200^\circ$:

Steckerbuchse 650—1200, Blendenstellung 1, Okular 2 und die niedrigere Stromzahl.

Meßbereich $840 \div 2000^\circ$:

Steckerbuchse $840 \div 2000$, Schauöffnung 1, Okular 1 und die höhere Stromzahl.

Für alle höheren Meßbereiche bleibt Stromzahl, Okular und Steckerbuchse unverändert, und es ist für den Meßbereich

$1400 \div 4000^\circ$ Schauöffnung 4

$2500 \div 7000^\circ$ Schauöffnung 5

einzuschalten.

Da die Instrumente im betriebsfertigen Zustande, abgesehen von der Aufladung der Batterien, zur Ablieferung kommen, sind jedem

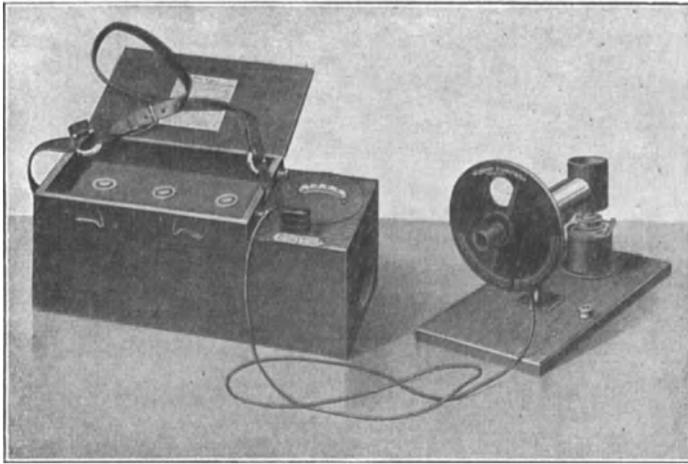


Abb. 82.

Wanner-Pyrometer in einer Eichtafel auf der Innenseite des Schutzkastendeckels nicht nur die Normalzahlen, sondern auch die Stromzahlen beigegeben. Man hat daher nach Laden des Akkumulators nur den Steckkontakt in die entsprechende Buchse am Beikasten einzuführen und den Regulierwiderstand durch Drehen so zu verstellen, daß der Zeiger des Strommessers auf die zu dem Meßbereich gehörende Stromzahl weist. Sind Blendenstellung und Okular ebenfalls richtig gewählt, so ist das Instrument meßbereit. Es empfiehlt sich besonders bei längeren Meßreihen, von Zeit zu Zeit die richtige Einstellung des Zeigers auf der Skala zu prüfen bzw. mit Hilfe des Regulierwiderstandes die nötige Korrektur zu erteilen. Das Auswechseln der Okulare erfolgt einfach durch Abschrauben von dem Okularrohr bzw. vom Brett der Justiervorrichtung.

Will man die Eichung des Instrumentes selbst nachprüfen bzw. sich von der Richtigkeit der beim Messen angewandten Stromzahlen überzeugen, so genügen einige Probeeinstellungen vor der Amyllampe,

wobei das Pyrometer auf dem Lager des Justierbrettes verbleibt. Hierbei ist darauf zu achten, daß das Instrument richtig in seine Eichlage zu liegen kommt, die dadurch gekennzeichnet ist, daß ein kleiner Stift in dem dem Okular zugewandten Lagerhalbring in ein entsprechendes Loch an der Unterseite des Pyrometerschutzrohres eingreift. Das Instrument darf dann in seinem Lager nicht mehr um seine Achse verdrehbar sein. Nachdem die Amyllampe gefüllt ist und sich einige Minuten eingebrannt hat, wird in einem möglichst verdunkelten Raum die Flammenhöhe mit Hilfe der Dochtschraube so eingestellt, daß, wie Abb. 83 zeigt, die Strichmarke in dem Rauchglasfenster der Okularscheibe mit der oberen Kante des Flammenvisiers und der Flammen-

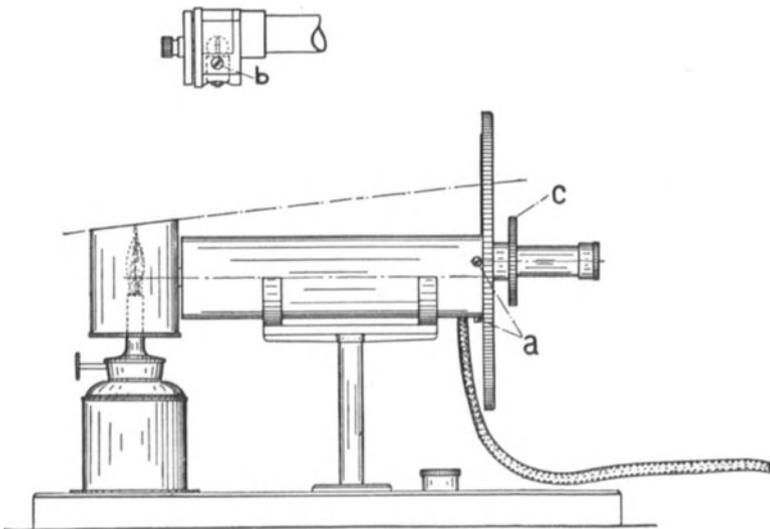


Abb. 83.

spitze eine gerade Linie bilden, die Spitze der Flamme also, vom Okularende aus gesehen, nur gelegentlich über dem oberen Rand des Flammenvisiers sichtbar ist.

Auch zum Arbeiten vor der Amyllampe gehören bestimmte Okular- bzw. Blendeinstellungen, und zwar gilt zur Einstellung der niederen Stromzahl: die niedere Normalzahl, Okular 2 und Blendenöffnung 2, zur Einstellung der höheren Stromzahl: die höhere Normalzahl, Okular 1 und Blendenöffnung 3.

Die Justierung erfolgt nun einfach derart, daß man den Zeiger auf die entsprechende Normalzahl einstellt, sich von der Richtigkeit des zugehörigen Okulars bzw. der Blendenöffnung überzeugt und nun beim Hindurchblicken durch das Okular die Helligkeit so reguliert, daß beide Gesichtsfeldhälften gleich hell erscheinen. Zur Sicherheit wiederholt man diese Einstellungen einige Male und nimmt daraus den Mittelwert, der die gewünschte Stromzahl ergibt. Man vergesse jedoch nicht, bei der nächsten Temperaturmessung das Okular bzw. Blenden-

stellung auszuwechseln. Sollte nach längerem Gebrauch die Glühlampe durchgebrannt sein, so macht das Einsetzen einer Ersatzlampe keine Schwierigkeiten. Zu diesem Zweck löse man die drei kleinen Schrauben a auf der Rückseite der Teilkreisscheibe und entferne durch sanftes Abziehen den übergeschobenen Pyrometermantel. Nach Lockerung der Feststellschraube b an der Seitenwand des massiven Pyrometerkopfes gelingt es nun leicht, die Glühlampe samt Fassung herauszuziehen und die Auswechslung vorzunehmen.

Nach Einsetzen einer neuen Glühlampe erfolgt Einstellung derselben auf vollkommen gleichmäßige Beleuchtung der im Apparat sichtbaren beiden Gesichtsfeldhälften dadurch, daß man eine möglichst homogen beleuchtete Fläche, z. B. Mattscheibe vor einer Glühlampe oder Gasglühlicht, anvisiert und durch Heben und Senken bzw. Drehen um die Vertikale die Lampe nebst Fassung so lange in der Bohrung des Kopfes verschiebt, bis auch die oben vor der Lampe beleuchtete Gesichtsfeldhälfte in gleichmäßiger Helligkeit erscheint. Hierauf wird die erwähnte Schraube b angezogen und das vernickelte Schutzrohr übergeschoben.

Um ein Verstauben oder Beschädigen der Innenteile zu vermeiden, darf das Schutzrohr nur bei Lampenwechsel und dann auch nur so lange wie nötig entfernt werden. Besondere Vorsicht ist hierbei den kleinen Schraubenköpfen an dem Innenrohr zuzuwenden, da ein Verschieben oder Lösen derselben eine Verstellung der Optik bedingt und eine völlige Neujustierung des Instrumentes erforderlich machen kann.

Selbstverständlich ist nach dem Einsetzen einer Ersatzlampe eine neue Bestimmung der Stromzahl vor der Amylacetatlampe auf Grund der immer gleichbleibenden Normalzahl notwendig.

Zum Laden des Akkumulators trennt man den Beikasten vom Batteriekasten durch Lösen der beiden Kordelmutter. Letztere dienen gleichzeitig als Stromanschlußklemmen. Nachdem der Akkumulator — Zelle für Zelle — mit durchaus metallfreier Akkumulatorensäure vom spez. Gewicht 1,21 gefüllt wurde, ist er mit einer Gleichstromquelle von mindestens 8 Volt zu verbinden, daß der Pluspol der Ladungsbatterie an den Pluspol des zu ladenden Akkumulators bei L_1 angeschlossen ist. Der Minuspol wird mit einem Regulierwiderstand verbunden, dieser mit dem Amperemeter und dieser schließlich mit dem Minuspol L_2 an dem zu ladenden Akkumulator.

Die erste Ladung, das sogenannte „Formieren“, muß bei 2 Ampere 24 Stunden dauern. Die späteren Ladungen dauern bis zur lebhaften Gasentwicklung, die bei 2 Ampere in 5 Stunden eintritt. Alsdann ist der Akkumulator voll geladen; seine Spannung beträgt 6,2 Volt.

Ist keine Ladungsbatterie von 8 Volt Gleichstrom, kein Regulierwiderstand, auch kein Amperemeter vorhanden, so kann man auch mit einer Gleichstrom-Lichtleitung von 110 Volt in der Weise verfahren, daß man statt des Regulierwiderstandes und des Amperemeters 2 Stück 32kerzige Glühlampen parallel in den Stromkreis schaltet.

Eine besonders vereinfachte Form besitzt das von der gleichen Firma hergestellte Instrument: Wanner - Simplex, das besonders

für Messungen in Eisengießereien bestimmt ist. Alle zur Messung notwendigen Teile sind in einem einzigen, an einem Riemen tragbaren Kasten vereinigt. Die Akkumulatorenbatterie ist durch Taschenlampenbatterien ersetzt. Der Strom wird durch einen Druckknopf ein- und ausgeschaltet.

Das Wärmestrahlungs-pyrometer. Das bekannteste Instrument dieser Art ist dasjenige von Fery. Es besteht aus einem Spiegelfernrohr und einem Thermolement, welches in der optischen Achse des Fernrohres angebracht und an ein Galvanometer angeschlossen ist.

Man richtet das Fernrohr auf den heißen Körper, dessen Temperatur bestimmt werden soll. Die in das Rohr eintretenden Wärme- und Lichtstrahlen werden von dem Spiegel reflektiert und auf das Thermolement geworfen. Daher auch die bessere Bezeichnung: Gesamtstrahlungs-pyrometer. Das Galvanometer gibt die Temperatur

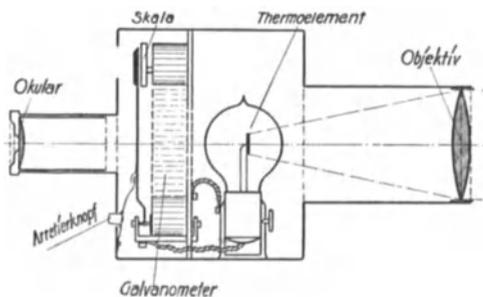


Abb. 84.

des heißen Körpers an. Die Strahlen müssen natürlich genau auf die Heißlötstelle des Elementes konzentriert werden.

Das Pyrometer hat den Nachteil, daß es möglichst nahe an den heißen Körper herangebracht werden muß, und daß durch Rauch und andere zwischen Körper und Instrument auftretenden Stoffe die Wir-

kung der in das Fernrohr fallenden Strahlen geschwächt und die Ablesung am Galvanometer dadurch fehlerhaft wird.

Das von der Firma Dr. Hase hergestellte Strahlungs-pyrometer „Pyro“ ist in Abb. 84 dargestellt.

Die von dem zu messenden Körper auf das Objektiv fallende Wärmestrahlung wirft dieses in seinem Brennpunkt auf ein höchst empfindliches Thermolement, das wie eine Glühlampe in eine Glaskugel eingeschmolzen und mit seiner scheibenförmigen Lötstelle in der optischen Achse des Fernrohres liegt. Das in der Ebene des Thermolementes entstehende Bild des die Strahlung aussendenden Körpers wird durch das in einem Rohrstutzen verschiebbar sitzende Okular betrachtet. Der optische Teil des Instrumentes stellt somit ein einfaches Fernrohr dar. Blickt man durch das Okular, so erscheint im Gesichtsfelde das Thermolement als kleine schwarze Kreisscheibe und wegen der großen Öffnung noch ein großer Teil der Umgebung desjenigen Körpers, den man anvisiert und dessen Temperatur gemessen werden soll. In bekannter Weise entsteht entsprechend dem Hitzegrad in dem Thermolement eine elektromotorische Kraft, welche ein Galvanometer in Bewegung setzt, dessen Zeiger über dem Okular auf einer Skala spielend sichtbar ist. Wie die Abb. 84 zeigt, ist das Galvanometer so angeordnet, daß

der Magnet die optische Achse des Fernrohres umschließt, wodurch es möglich war, alle Teile in einem Gehäuse auf engstem Raum zu vereinigen. Das Innere des Instrumentes ist staubdicht abgeschlossen; ein Öffnen desselben ist zu vermeiden.

Die nach außen hin völlig glatte Form ermöglicht eine dem Feldstecher an Einfachheit gleiche Handhabung. Als weiterer Vorteil des Instrumentes ist die Kleinheit des erforderlichen Strahlungswinkels zu erwähnen. Ist dieser Winkel mit Strahlen voll ausgefüllt, so wird die auf das Plättchen fallende Strahlenmenge und damit die Anzeige des Pyrometers unabhängig von der Entfernung, denn einerseits nimmt die Intensität der Strahlung mit dem Quadrate des Abstandes ab, während gleichzeitig die von dem Strahlungswinkel umfaßte Fläche, z. B. die Größe des Schauoches, mit dem Quadrat zunimmt. Die Verhältnisse sind nun so gewählt, daß bei einem Abstand von 1 m eine Größe des zu messenden Objektes bzw. der Schauöffnung von ca. 4 cm erforder-

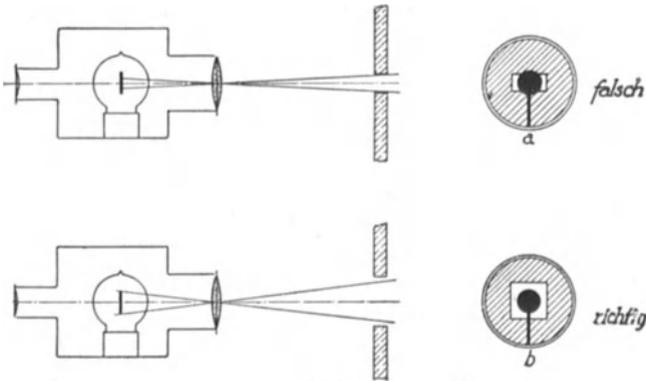


Abb. 85.

lich ist. Ist die Schauöffnung zu klein oder die Entfernung des Pyrometers zu groß, dann wird nur ein Teil des Plättchens von der Strahlung getroffen und die abgelesene Temperatur zu niedrig sein. Es ist notwendig, daß die Schauöffnung des Ofens oder der strahlende Körper stets als helleuchtender Saum in einer Breite, die etwa dem halben Durchmesser des Plättchens entspricht, um diesem herum sichtbar bleibt. Richtiges Anvisieren vorausgesetzt, ist die Lage des Pyrometers während der Messung gleichgültig. Sollen die Instrumente gleichzeitig in Verbindung mit einem Registrierapparat benutzt werden, welcher den Temperaturlauf selbsttätig aufzeichnet, so sind auf Wunsch unter den Okularstutzen noch zwei in der Zeichnung nicht dargestellte Klemmen zum Anschluß des ersten vorgesehen. Die Verbindung erfolgt durch isolierte Doppelleitung.

Als wesentlicher Vorteil befindet sich neben dem Okular ein Druckknopf, der es ermöglicht, den Zeiger auf dem Ausschlage der letzten Messung festzuhalten, so daß die Ablesung nach der Messung mit Sicherheit erfolgen kann. Nach Anvisieren zeigt Pyro augenblicklich das Meßergebnis.

Gebrauchsanweisung. Bei Ausführung der Messung faßt man das Instrument der ruhigen Haltung wegen am besten mit beiden Händen und richtet es so auf das Schauloch des Ofens, daß dieses beim Hindurchblicken durch das Okular im Gesichtsfelde erscheint. Hierbei ist darauf zu achten, daß die schwarze Scheibe des Thermoelements, wie Abb. 85 b zeigt, von dem Bilde des zu messenden Körpers überstrahlt wird. Solange diese Bedingung erfüllt ist, bleibt die Anzeige des Apparates unabhängig von dem Abstand zwischen Ofen und Pyrometer.

Die Segerkegel. Ein sehr einfaches, besonders in der Tonindustrie häufig angewendetes, in der übrigen Technik viel zu wenig bekanntes Verfahren zur Bestimmung hoher Temperaturen ist dasjenige mittels der Segerkegel.

Dies sind abgestumpfte, dreiseitige Pyramiden von 6 cm Höhe, die eine Reihe systematisch zusammengesetzter, an Schwerschmelzbarkeit zunehmender Silikatgemische darstellen. Sie sind in 59 verschiedenen Nummern von der Staatlichen Porzellanmanufaktur in Berlin oder vom chemischen Laboratorium für Tonindustrie, Berlin NW 21, zu beziehen.

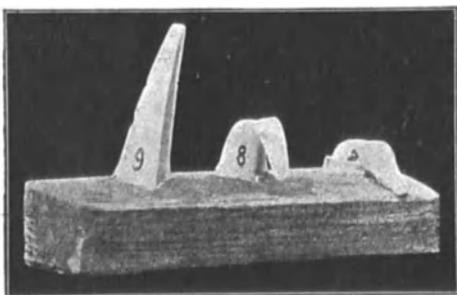


Abb. 86.

Um zu bestimmen, welche Temperatur an einer bestimmten Stelle einer Feuerung herrscht, ist es erforderlich, die ersten Male eine größere Reihe verschiedennummeriger Kegel, die man entsprechend der zu erwartenden Temperatur ausgewählt hat, so einzusetzen, daß sie von außen beobachtet werden können. Da die Kegel beim Schmelzen meist nach ein und derselben Seite hinneigen, so schützt man sie vor dem Umfallen, indem man sie mit etwas feuchtem Tone auf einer Schamotteplatte festklebt (siehe Abb. 86).

Die Kegel sollen vor Stichflammen geschützt werden; man umstellt sie mit feuerfesten Steinen oder setzt sie direkt mit sog. Haubenlerchen ein, das sind aus feuerfester Masse hergestellte gewölbte Schutzkappen.

Zeigen z. B. die in das hintere Ende eines Flammrohres eingesetzten drei Kegel nach Herausnahme das in Abb. 86 gegebene Bild, so kann mit Bestimmtheit angenommen werden, daß die Temperatur an der betreffenden Stelle dem Schmelzpunkt des Segerkegels 8 am meisten entsprach, weil der Kegel 9 noch völlig scharfkantig steht, während der Kegel 7 schon breitgeschmolzen ist.

Ein schwaches Biegen der Kegel ist nicht als Schmelzen anzusehen. Wäre keiner der eingesetzten drei Segerkegel geschmolzen, so müßten früher schmelzende Kegel, z. B. die Nummern 6 a, 7, 8 eingesetzt werden.

Das Verfahren mit den Segerkegeln gibt natürlich nur angenähert richtige Werte, aber keine absolut richtigen Temperaturen nach Celsiusgraden.

Folgende Tabelle gibt die Nummern der Segerkegel und die annähernden Mittelwerte ihrer Schmelzpunkte in Celsiusgraden, die bei neueren Messungen in Versuchsofen gefunden wurden.

Segerkegel Nr.	Gemessene Temperatur in °C	Segerkegel Nr.	Gemessene Temperatur in °C	Segerkegel Nr.	Gemessene Temperatur in °C
022	600	010 a	900	3 a	1140
021	650	09 a	920	4 a	1160
020	670	08 a	940	5 a	1180
019	690	07 a	960	6 a	1200
018	710	06 a	980	7	1230
017	730	05 a	1000	8	1250
016	750	04 a	1020	9	1280
015 a	790	03 a	1040	10	1300
014 a	815	02 a	1060	11	1320
013 a	835	01 a	1080	12	1350
012 a	855	1 a	1100	13	1380
011 a	880	2 a	1120	14	1410
15	1435	26	1580	35	1770
16	1460	27	1610	36	1790
17	1480	28	1630	37	1825
18	1500	29	1650	38	1850
19	1520	30	1670	39	1880
20	1530	31	1690	40	1920
		32	1710	41	1960
		33	1730	42	2000
		34	1750		

Die Nr. 21—25 werden nicht mehr hergestellt, weil ihre Schmelzpunkte zu nahe beieinander lagen.

Die Sentinelpyrometer. Eine den Segerkegeln ähnliche Einrichtung sind die von The Amalgams Co. Ltd., Sheffield nach Brearleys Angaben hergestellten Sentinelpyrometer (Abb. 87). Sie bestehen in 20 mm hohen Zylindern von 12 mm Durchmesser, hergestellt aus Metalloxydsalzen oder Mischungen von solchen.

Die Schmelzpunkte der Metalloxydsalze markieren sich sehr scharf; es genügen schon $1 \div 2^\circ$ Temperaturzuwachs, um den Übergang vom festen zum flüssigen Zustande zu veranlassen. Sinkt die Temperatur unter den Schmelzpunkt, so gehen die Metalloxydsalze sofort wieder in den teigigen bzw. festen Zustand über. Da die Oberfläche der niedergeschmolzenen Sentinelpyrometer, solange sie noch vollständig flüssig sind, spiegelglatt ist, während sich nach der Erstarrung kleine Kristalle ausscheiden, so geben diese Pyrometer auch Aufschluß über den Verlauf des Temperaturrückgangs.

Die Sentinelpyrometer, die für jeden beliebigen Schmelzpunkt hergestellt werden können, finden ihrer schätzenswerten Eigenschaften wegen für metallurgische Zwecke, insbesondere in der Härtetechnik gern Verwendung, sind aber natürlich auch in vielen anderen Fällen ein einfaches Mittel zur Bestimmung hoher Temperaturen.

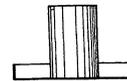


Abb. 87.

Die kalorimetrische Wärmemessung. Eine sehr einfache Methode zur Bestimmung hoher Temperaturen ist die kalorimetrische Wärmemessung.

Ein seinem Gewichte nach bestimmter Bolzen aus schwer schmelzbarem Metalle (Nickel, Platin) wird längere Zeit in die zu messende

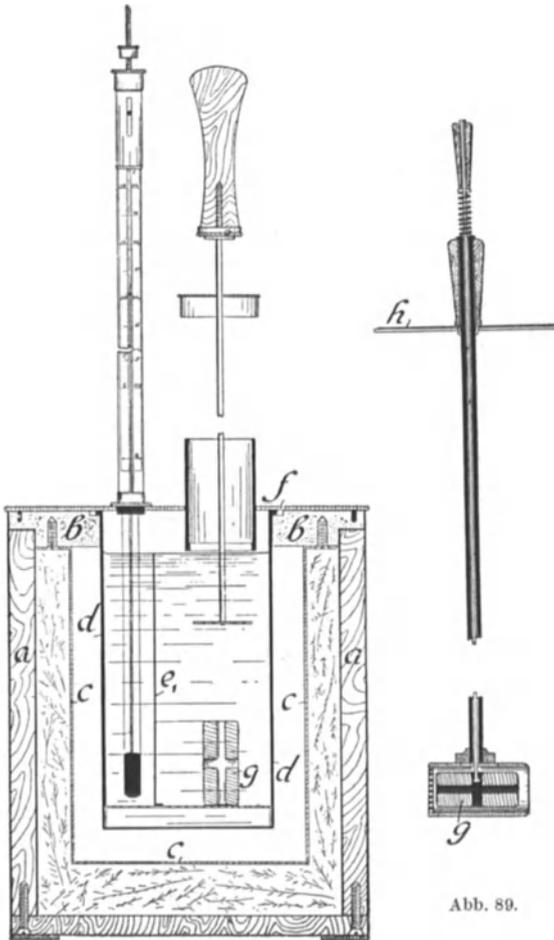


Abb. 88.

Abb. 89.

Wärmequelle gebracht und hierauf tunlichst rasch in eine genau abgewogene Menge Wasser geworfen. Aus der Temperaturerhöhung, die diese erfährt, läßt sich die Temperatur des Bolzens und damit die gesuchte Temperatur der Wärmequelle berechnen.

Da bei dieser an sich sehr einfachen Arbeitsmethode Fehler infolge des Einflusses der Umgebung auf die Temperatur des Wassers unvermeidlich sind, sollen derartige Wärme- resp. Temperaturmessungen nur mit eigens zu diesen Zwecken bestimmten Kalorimetern ausgeführt werden, weil nur dadurch diese Fehler sich auf ein erträgliches Maß vermindern lassen.

Ein sehr einfacher und bequem zu handhabender Apparat dieser Art ist das Kalorimeter von P. Fuchs, welches infolge beson-

derer Einrichtungen ein sehr rasches Arbeiten ermöglicht. Es ist in Abb. 88 abgebildet und hat folgende Einrichtung.

Das Kalorimeter besteht aus einem runden Gefäße *a*, welches durch einen Schieferdeckel *b* geschlossen ist. Unterhalb des Deckels ist der hochglanzpolierte, zylindrische Nickelmantel *c* befestigt. Der Raum zwischen *c* und *a* wird mit Asbest ausgefüllt. Das eigentliche, innen und außen hochglanzpolierte Kalorimetergefäß *d* hängt mit einer Ver-

stärkung in der ringförmigen Öffnung des Deckels. Ein gelochtes Schutzblech verhindert das Berühren des Gefäßbodens durch den erhitzten Metallbolzen g . Das Unterteil des Thermometers wird durch e_1 geschützt.

Der Apparat wird durch den polierten Deckel f verschlossen, welcher in der einen Öffnung das Thermometer, in der anderen einen Rührer enthält.

Zur Temperaturbestimmung füllt man zuerst das Gefäß d mit Wasser, dessen Menge durch einen dem Instrumente beigegebenen, mit Marke versehenen Meßkolben ein für allemal bestimmt ist. Die Temperatur des Wassers muß zwischen 16° und 17° liegen. Nachdem letzteres umgerührt ist, stellt man durch die Schraubvorrichtung des Thermometers den mit 0 bezeichneten Gradstrich der Skala genau auf den augenblicklichen Stand des Quecksilbers in der Thermometerkapillare ein. Sodann entfernt man den Rührer und bringt die Einführungsstange mit dem eingelegten Metallbolzen g , der durch den inneren federnden Halter vor dem Herausfallen bewahrt wird (Abb. 89), in die auf ihre Temperatur zu untersuchende Wärmequelle.

Für Temperaturen bis zu 1200° werden Nickelbolzen, für solche bis zu 1600° Platinbolzen angewendet.

Nach einigen Minuten wird der Metallbolzen die Temperatur seiner Umgebung angenommen haben, worauf man die Einführungsstange herausnimmt und durch entsprechendes Neigen des unteren Teiles, sowie Anziehen des hinteren, kleinen Griffes den Bolzen g in das Wasser des Gefäßes d gleiten läßt.

Durch Umrühren mischt man sodann das Wasser und beobachtet den höchsten Stand des Quecksilberfadens, welcher direkt die Temperatur des Metallbolzens, resp. des Raumes, in welchem derselbe erhitzt wurde, in Celsiusgraden angibt.

F. Messung von Druckunterschieden (Zugmessung).

Jede Feuerungsanlage bedarf einer Einrichtung, welche die zur Verbrennung nötige Luftmenge in den Verbrennungsraum fördert, und welche gleichzeitig die ausgenützten Verbrennungsgase in solcher Höhe in die Atmosphäre überführt, daß eine erhebliche Belästigung der Umgebung vermieden wird.

Man bedient sich hierzu entweder des natürlichen Zuges, der durch die Wirkung eines Schornsteins erzeugt wird, oder eines künstlichen Zuges, dessen Erzeugung durch die Saug- oder die Druckwirkung eines Ventilators geschieht. Sehr häufig, besonders bei Wanderrosten, kommt auch eine Verbindung beider Methoden: Schornsteinzug, unterstützt durch Ventilatorwirkung, vor. Allgemein bildet aber die Anwendung des natürlichen Schornsteinzuges die Regel.

Die saugende Wirkung eines Schornsteins beruht auf dem Auftriebe, den die heißen und daher spezifisch leichteren Abgase einer Feuerung in kälterer Umgebung der Atmosphäre erfahren. Der allgemeine Ausdruck „der Schornstein zieht“ ist bei genauer Betrachtung der Vorgänge unrichtig, denn die Verbrennungsluft wird nicht in den

Feuerraum gezogen, sondern vermöge des Überdruckes, den die atmosphärische Luft gegenüber dem Drucke der im Schornsteine befindlichen Gassäule hat, in den Feuerraum und durch die sich etwa daranschließenden Heizkanäle gedrückt.

Den Unterschied dieser beiden Drücke, den sog. Unterdruck, zu messen, ist Aufgabe derjenigen Instrumente, die man allgemein Zugmesser nennt.

Die einfachste Einrichtung zur Messung des Unterdruckes ist eine U-förmig gebogene Glasröhre, die zum Teil mit Wasser gefüllt ist (Abb. 90). Mit einem Millimetermaßstabe (50 bis 60 mm umfassend) ist dieses Glasrohr auf einem Brettchen derart befestigt, daß entweder der Maßstab oder das Glasrohr in vertikaler Richtung verschiebbar ist. Der eine Schenkel *A* des U-förmigen Glasrohres ist zu einer Schlauchtülle aufgekröpft und wird mittels eines dicht anschließenden Gummischlauches, der wieder in einem Stück Porzellanrohr (für niedrige Temperaturen genügt auch ein Glasrohr) endigt, mit demjenigen Raume verbunden, dessen Druckverhältnisse bestimmt werden sollen. Herrscht in diesem Raume ein geringerer Druck als der augenblicklich vorhandene atmosphärische, so wird die Wassersäule in *A* höher stehen als in *B*.

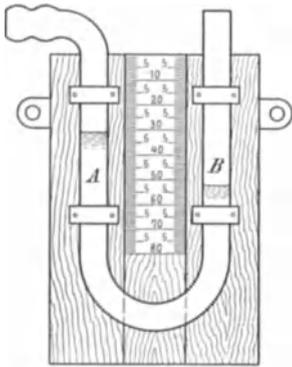


Abb. 90.

Der Höhenunterschied in Millimeter ist ein Maß für den Unterdruck. Die Einheit der Zugstärke, oder genauer gesagt, die Einheit des Unterdruckes ist 1 mm Wassersäule.

Die Messung des Unterdruckes unmittelbar vor dem Rauchschieber ist für die Beurteilung der in die Feuerung eintretenden Luftmenge völlig belanglos. Sie gibt nur Aufschluß über die Zustände im Schornsteine selbst, in der Weise, daß eine Verringerung des Unterdruckes bei vollständig geöffnetem Rauchschieber auf die Ansammlung großer Flugaschenmengen am Eingang zum Schornsteine, oder bedeutender Rußmengen im Schornsteine oder auf klaffende Risse im Schornsteinschafte schließen läßt.

Für die Menge der in eine Feuerung eintretenden Luft sind noch von Einfluß:

1. Die Widerstände, die Abgase zwischen Rauchschieber und Rost, also in den Heizkanälen, finden, insofern als diese Widerstände den vor dem Rauchschieber gemessenen Unterdruck verkleinern;

2. der Zustand der Wandungen der Heizkanäle. Befinden sich in diesen Wandungen Risse oder Löcher, die die Verbindung mit der Außenluft herstellen, so wird ein Teil des vor dem Rauchschieber gemessenen Unterdruckes dazu verwendet, durch diese Risse und Löcher Luft in die Heizkanäle zu drücken, die aber, weil hinter dem Feuerraume eingeführt, nicht mehr als Verbrennungsluft in Betracht kommen kann und mit Recht falsche Luft genannt wird;

3. ganz besonders die Widerstände, welche die Verbrennungsluft im Roste selbst findet. Ist z. B. der Rost sehr hoch mit frischem Brennmaterial beschickt, oder ist er stark verschlackt, so tritt infolge der hierdurch geschaffenen großen Widerstände keine oder doch nur wenig Verbrennungsluft durch den Rost ein.

Es ist also falsch, aus einem großen Unterdrucke, gemessen vor dem Rauchschieber, auf eine große Menge Verbrennungsluft zu schließen, da die im Roste und die zwischen Rost und Rauchschieber liegenden, den Zufluß der Verbrennungsluft stark beeinflussenden Reibungswiderstände außer acht gelassen sind. So wird z. B. in den beiden genannten Fällen der hohen Rostbeschickung und der starken Rostverschlackung der Zugmesser ein Maximum des Unterdruckes anzeigen, während in Wirklichkeit die Menge der in den Verbrennungsraum eintretenden Luft ein Minimum ist. Wird aber, um noch einen anderen Fall anzuführen, die Feuertür geöffnet, so wird die Angabe des Zugmessers zurückgehen, während nunmehr gerade ein Maximum der Luftmenge in den Feuerraum eintritt.

In Anbetracht dieser Umstände ist es viel richtiger, nicht vor dem Rauchschieber zu messen, sondern den im Feuerraume herrschenden Unterdruck zu bestimmen; doch ist auch hierbei zu beachten; daß ein kleiner Unterdruck (z. B. bei geöffneter Feuertür) eine große Luftmenge und umgekehrt, ein großer Unterdruck eine kleine Luftmenge anzeigt.

Bezeichnet man den Druck der Atmosphäre mit \mathfrak{A} und ferner den Druck der Rauchgase

am Rauchschieber mit p_1 ,
über dem Roste mit p_2 ,

so ist der Unterdruck

$$\begin{array}{l} \text{am Rauchschieber} = \mathfrak{A} - p_1 \\ \text{über dem Roste} = \mathfrak{A} - p_2 \\ \hline \text{Differenz} = \mathfrak{A} - p_1 - \mathfrak{A} + p_2 = p_2 - p_1. \end{array}$$

Ist der Rost z. B. mit Kohlengrus hoch beschickt oder stark verschlackt, so wird p_2 wenig von p_1 verschieden sein, die Differenz $p_2 - p_1$ wird sehr klein werden, ebenso wie ja auch die Menge der zuströmenden Verbrennungsluft ein Minimum ist. Wird dagegen die Feuertür geöffnet, oder ist der Rost nur zum Teil und mit wenig Brennstoff bedeckt, so ist p_2 sehr groß, die Differenz $p_2 - p_1$ auch groß, ebenso wie jetzt die Menge der zuströmenden Verbrennungsluft ein Maximum ist.

Daraus folgt aber, daß die Differenz der Unterdrucke am Rauchschieber und über dem Roste in demselben Sinne sich ändert wie die Menge der durch den Rost streichenden Verbrennungsluft.

Diese Differenz-Unterdruckmessung ist sehr einfach ausgeführt, indem man die beiden Enden der U-förmigen Glasröhre (Abb. 90) zu Schlauchtüllen aufkröpft und das eine Ende mit dem Feuerraume, das andere mit dem Fuchskanale verbindet. Sollten die

Schlauchleitungen zu lang werden, so ist zu empfehlen, an den Feuer-raum und an den Fuchskanal je einen Zugmesser anzuschließen, an beiden Instrumenten gleichzeitig abzulesen und die Angaben sinn-gemäß zu subtrahieren.

Der in Abb. 90 dargestellte Zugmesser hat trotz seiner großen Ein-fachheit doch auch nicht zu unterschätzende Nachteile.

Bei jeder Messung muß der Maßstab (oder das Glasrohr) so ver-schoben werden, daß der Wasserspiegel im Schenkel *B* auf den Null-punkt des Maßstabes einspielt; außerdem ist die Teilung der Skala (mm) sehr eng, was um so mehr ins Gewicht fällt, als die zu messenden Unter-drücke ohnehin nicht groß sind (für die gute Verbrennung von Stein-kohle genügt ein Differenzunterdruck von 6–12 mm). Außerdem ver-schmutzt der Apparat sehr leicht; die innere Verschmutzung läßt sich vermeiden, wenn man das freie Ende des Glas-rohres nach unten abbiegt.

In dem Bestreben, diese Mängel ganz oder teilweise zu beseitigen, sind eine Reihe von Zug-messern entstanden, die noch einfach zu nennen sind, und von denen einige wegen ihrer viel größeren Empfindlichkeit auch zur Messung von geringeren Unterdrücken Verwendung finden können, als wie sie in gewöhnlichen Feuerungs-anlagen vorkommen.



Abb. 91.

Der Ebertsche Zugmesser. Derselbe ist in Abb. 91 dargestellt. Ein etwa 60 mm im Lichten messender kurzer Glaszylinder mit kräftigem Fuße trägt oben einen dicht aufgesetzten Messingrand, gegen welchen mittels zweier Schrauben ein Messingdeckel gesetzt wird. Deckel und Messingrand liegen dicht aneinander, ausge-

nommen an 4 Stellen, an welchen im Rande ziemlich breite Furchen ausgespart sind, durch welche die atmosphärische Luft stets Zutritt zum Innern des Glaszylinders hat. Axial durch den Deckel hindurch ist mittels einer Stopfbüchse ein Messingrohr geführt, welches unten, also innerhalb des Glaszylinders, ein Glasröhrchen (ca. 4 mm lichte Weite) trägt, mit daran befestigter Millimeterskala, 50 mm fassend. Die Höhenlage dieser Skala kann durch Verschieben des Messing-röhrchens innerhalb des Glaszylinders beliebig verändert und durch Anziehen der Stopfbüchse in jeder Stellung festgelegt werden. Die Skala trägt hinter dem Glasröhrchen einen dicken schwarzen Strich, ein auch bei Wasserstandsgläsern für Dampfkessel angewandtes Mittel, den Wasserfaden recht deutlich sichtbar zu machen. Oben trägt die Messingröhre ein kurzes Stück Gummischlauch, welches, wie Abb. 91 zeigt, während des Betriebes mittels Quetschhahnes abgeschlossen ist.

Über ein seitlich abzweigendes kurzes Rohrstück wird der Gummi-schlauch gezogen, der den Zugmesser mit der nach dem zu unter-suchenden Raume führenden Leitung verbindet.

Um den Apparat in betriebsfertigen Zustand zu bringen, ist weiter nichts nötig, als nach Abnahme des Quetschhahnes ein beigegebenes Blechtrichterchen auf den kurzen Gummischlauch am oberen Ende der Messingröhre zu setzen und etwa 100 ccm destilliertes Wasser in den Glaszylinder einzufüllen. Um Luftblasen, die möglicherweise im Messingrohre oder im Glasröhrchen haften geblieben sind, zu beseitigen, bläst man nach Abnahme des Trichterchens durch die genannten Rohre. Nunmehr wird die Messingröhre so lange verschoben, bis der in der Glasröhre kapillar hochgezogene Wasserfaden auf den Nullstrich der Skala einspielt. Nach Aufsetzen des Quetschhahnes wird der Apparat sofort anzeigen, indem der Wasserspiegel in dem Glasröhrchen dem gesuchten Unterdrucke entsprechend steigt. Infolge des verhältnismäßig großen Durchmessers des Glaszylinders kann der Nullpunkt des Zugmessers längere Zeit hindurch als fest angesehen werden. Durch Öffnen des Quetschhahnes kann man jederzeit während des Betriebes die Richtigkeit der Nullpunktstellung kontrollieren und durch Verschieben des Messingrohres den Nullpunkt genau einstellen.

Der Seegersche Zugmesser. Der Seegersche Zugmesser besteht aus einer U-förmigen Röhre *A* (Abb. 92), welche oben zu den im Durchmesser gleichen Gefäßen *B* und *C* erweitert ist. Neben der Röhre *A* ist ein in Schlitten verschiebbarer und mit zwei Schrauben festzustellender Maßstab angebracht, an welchem die Druckdifferenz in Millimeter Wassersäule abgelesen wird.

Die enge Röhre *A* wird zuerst mit dunkelgefärbtem Phenol gefüllt, auf welches dann beiderseits eine klare, gesättigte Lösung von Phenol in Wasser, die sich mit der zuerst eingefüllten Flüssigkeit nicht mischt, gegossen wird. An der scharf abgegrenzten Berührungsstelle beider Flüssigkeiten erfolgt die Ablesung. Der Ausschlag dieser Berührungsfläche ist um so größer, je kleiner der Querschnitt von *A* im Verhältnisse zum Querschnitte von *B* und *C* ist.

Ist der zu messende Druck kleiner als der Atmosphärendruck, so verbindet man *C* mit demjenigen Raume, dessen Druck bestimmt werden soll; im entgegengesetzten Falle wird *B* mit diesem Raume verbunden.

Der Zugmesser nach Rabe. In eine U-förmig gebogene Röhre, deren Endquerschnitte sich oben gefäßartig erweitern (Abb. 93), werden zwei sich nicht mischende Flüssigkeiten von nahezu gleichem spezi-



Abb. 92.

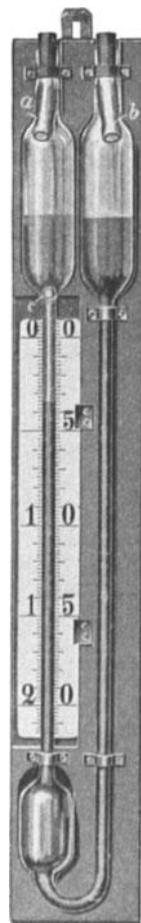


Abb. 93.

fischen Gewichte eingefüllt, derart, daß ihre Trennungsfläche sich im linken Schenkel unterhalb der Erweiterung einstellt. Diese Fläche bildet alsdann den Nullpunkt, der sich bei der geringsten Druckschwankung im Verhältnis des weiten zum engen Rohrquerschnitte verschiebt. Durch richtige Bemessung dieser Querschnitte ist es möglich, Pressungen von 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{5}$ und $\frac{1}{10}$ mm Wassersäule an der senkrechten Skala bequem abzulesen.

Um das Instrument gegen plötzlich auftretende Druckstöße oder gegen stärkere Druckschwankungen insofern unempfindlich zu machen, als es dadurch nicht in Unordnung geraten soll, hat der Rabesche Zugmesser noch eine besondere Einrichtung. Diese besteht zunächst darin, daß im unteren Teile des linken Rohrschenkels ein Sicherheitsgefäß angebracht ist, in das die leichtere Flüssigkeit eintreten kann, ohne in den rechten Schenkel zu gelangen. Außerdem befindet sich in dem oberen erweiterten Teile des linken Schenkels bei *c* eine kleine Kugel, welche sich bei plötzlich auftretendem Überdruck auf die Mündung der engen Röhre legt und diese so weit drosselt, daß die leichtere Flüssigkeit nicht schußartig durch die schwerere hindurchtreten kann und das Arbeiten mit dem Zugmesser stört. Diese Drosselung wirkt jedoch nur in der Richtung des eintretenden Überdruckes, so daß sich bei dessen Nachlassen sofort wieder normale Verhältnisse einstellen. Um das Eindringen von Staub in die oberen Gefäße zu verhindern und einen bequemen Anschluß der Meßleitungen zu ermöglichen, sind die beiden Anschlüsse *a* und *b* nach vorne und abwärts gerichtet.

Die Zug- und Druckmesser von Lux. Diese in 12 verschiedenen Modellen hergestellten sog. einschenkigen Zug- und Druckmesser haben grundsätzlich die in Abb. 94 dargestellte Einrichtung. Das oben geschlossene, unten verengte Gefäß *A* ist mit der Verengung *B* luftdicht in einen Metallfuß eingesetzt, der einen um 90° drehbaren Dreiweghahn und unterhalb desselben einen rechtwinklig abzweigenden Schlauchanschlußstutzen enthält (Abb. 95). Im Innern von *A*, mit dem engeren Teile *B* zusammengeschnitten, ist ein ganz enges, oben offenes Rohr *C* zu finden, welches bis nahe an die obere Begrenzung von *A* reicht. Unten mündet in *A* ein ebenfalls enges Standrohr *D* ein, welches oben trichterförmig erweitert ist, um das Eingießen der Absperrflüssigkeit zu erleichtern. An der Standröhre *D* ist der Maßstab *E* verschiebbar angebracht. Um den Apparat betriebsfertig zu machen, stellt man den Dreiweghahn so ein, daß sein Griff horizontal steht; dann hat der Innenraum von *A* nur Verbindung mit der Atmosphäre, und zwar durch *C* und *D*. Hierauf gießt man durch *D* Absperrflüssigkeit ein, die, ebenso wie der Maßstab *E*, je nach dem Meßbereiche, für welchen das Instrument bestimmt sein soll, verschieden ist. Es wird so viel Absperrflüssigkeit eingefüllt, daß der Spiegel derselben auf den Nullpunkt des Maßstabes *E* einspielt.

Öffnet man nunmehr den Dreiweghahn, so stellt sich in *A* sofort der zu messende Druck bzw. Zug ein, und der Flüssigkeitsspiegel in *D* wird sich dementsprechend verschieben.

Zur Feststellung der Theorie des Instrumentes zieht man am einfachsten die hydrostatischen Druckverhältnisse in der Fläche f (Einsmündung von D in A , Abb. 94) bei zwei verschiedenen Zuständen in Betracht, nämlich 1. unter der Voraussetzung, daß im Innern von A und bei D derselbe Druck p_1 herrscht; 2. unter der Annahme, daß der Druck in A auf p_2 angewachsen, bei D aber konstant (p_1) geblieben sei; dann ist mit den in Abb. 94 eingeschriebenen Bezeichnungen, und, wenn s das spezifische Gewicht der Absperrflüssigkeit bedeutet:

$$\begin{array}{l} \text{Fall 1} \quad f \cdot p_1 + f \cdot b_1 \cdot s = f \cdot p_1 + f \cdot a_1 \cdot s, \\ \text{Fall 2} \quad f \cdot p_2 + f \cdot b_2 \cdot s = f \cdot p_1 + f \cdot a_2 \cdot s. \end{array}$$

Gleichung (1) von Gleichung (2) subtrahiert:

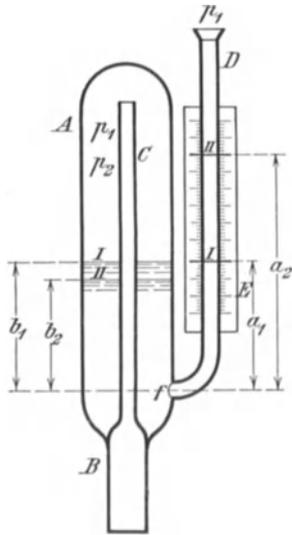


Abb. 94.

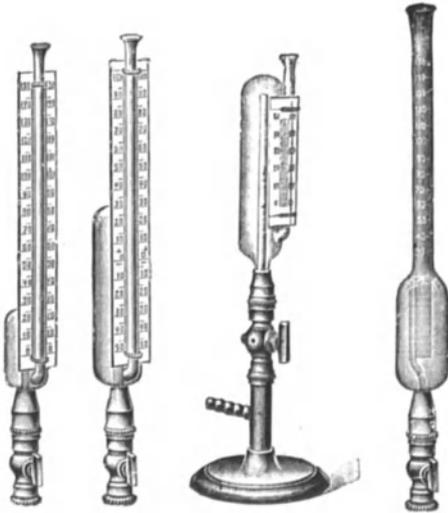


Abb. 95.

$$\begin{aligned} p_2 + b_2 \cdot s - b_1 \cdot s - p_1 &= a_2 \cdot s - a_1 \cdot s, \\ p_2 - p_1 &= s \cdot (a_2 - a_1 + b_1 - b_2), \\ p_2 - p_1 &= s(x + b_1 - b_2). \end{aligned}$$

Bezeichnet man den Querschnitt des Gefäßes A mit F , dann ist:

$$F \cdot (b_1 - b_2) = f x,$$

also:
$$b_1 - b_2 = x \cdot \frac{f}{F}.$$

Demnach:
$$p_2 - p_1 = s \cdot x \cdot \left(1 + \frac{f}{F}\right),$$

also:
$$x = \frac{p_2 - p_1}{s \cdot \left(1 + \frac{f}{F}\right)},$$

d. h. der Ausschlag x wird um so größer, je kleiner das spezifische Gewicht der Absperrflüssigkeit und je kleiner das Verhältnis $\frac{f}{F}$ ist.

Als Absperrflüssigkeit kommt Petroleum oder Tetrachlorkohlenstoff oder Bromoform zur Anwendung, wodurch sich für die einzelnen Modelle folgende Meßbereiche ergeben:

Modell	Petroleumfüllung Meßbereich: mm Wassersäule	Tetrachlorkohlenstoff Meßbereich: mm Wassersäule	Bromoform Meßbereich: mm Wassersäule
A I	+150	+300	+ 500
A II	+300	+600	+1000
A III	+450	+900	+1500
AB I	- 50 + 100	-100 + 200	-150 + 350
AB II	- 70 + 230	-140 + 460	-200 + 800
AB III	-100 + 350	-200 + 700	-300 + 1200
B I	-50 oder -25 + 25 oder + 50	-100 oder -50 + 50 oder + 100	-150 oder -75 + 75 oder + 150
B II	-100 oder -50 + 50 oder + 100	-200 oder -100 + 100 oder + 200	-300 oder -150 + 150 oder + 300
B III	-150	-300	- 500
B IV	-300	-600	-1000
C I	+150	+300	+ 500
C II	+300	+600	+1000

Das Differentialmanometer von König. Auf demselben Grundsatz wie der Zugmesser von Seger beruht auch das Differentialmanometer von A. König, welches in den Abb. 96¹⁾ und 97 dargestellt ist. Bei diesem ist das enge Ablesungsrohr in dem weiten Gefäße konzentrisch mit diesem angeordnet. Die Berührungsfläche zweier sich nicht mischender, verschiedenfarbiger (weiß und rot) Flüssigkeiten gibt durch die Abweichung von der Nullstellung die Größe des zu messenden Druckes gegenüber dem Drucke der Atmosphäre an. Die Ablesung erfolgt an einem verschiebbaren Maßstabe auf Milchglas in Millimeter Wassersäule.

Das Instrument, welches in drei verschiedenen Ausführungen für Drücke bis zu 10, 20 und 30 mm Wassersäule zu haben ist, ist sehr empfindlich und eignet sich daher auch zum Messen kleiner Pressungsunterschiede.

Die Zusammenstellung in den betriebsfertigen Zustand ist etwas umständlich und soll daher an der Hand der schematischen Darstellung des Instrumentes (Abb. 96) genauer beschrieben werden.

Die Füllung des Glaskörpers: Nach Entfernung des inneren Glasrohres wird die untere Erweiterung des äußeren Glasrohres mittels einer Pipette, deren obere Öffnung man zuerst, um das Eintreten der

¹⁾ Das innere Glasrohr R ist der Deutlichkeit halber etwas aus dem weiten Glasgefäß A herausgezogen.

spezifisch leichteren weißen, in der gemeinsamen Aufbewahrungsflasche daher oben stehenden Flüssigkeit zu verhindern, mit den Finger verschließt, mit der roten Flüssigkeit gefüllt, so weit, wie die Erweiterung parallelwandig ist (bis *a*), wozu ca. 10 ccm Flüssigkeit erforderlich sind. Es schadet nicht, wenn die Pipette zugleich etwas von der farblosen Flüssigkeit mit einführt, man vermeide aber möglichst, die Innenwände des Rohres mit Tropfen der roten Flüssigkeit zu benetzen.

Auf die rote Flüssigkeit schichtet man die farblose Flüssigkeit und füllt damit die obere große Erweiterung des Glasrohres fast bis zur Hälfte (bis *b*).

Um ein Aufrühren der roten Flüssigkeit zu vermeiden, ist die farblose Flüssigkeit, namentlich anfangs, recht vorsichtig einzugießen.

Das innere Glasrohr wird an seinem oberen Ende mit einem Gummischlauche versehen und dann mit dem unteren Ende in das mit den Flüssigkeiten bereits beschickte äußere Rohr eingeführt, und zwar etwa bis zum unteren Teile der oberen großen Erweiterung (bis *c*). Vermittels des Gummischlauches, dessen freies Ende in den Mund nimmt, saugt man helle Flüssigkeit auf, bis das innere Rohr in seiner oberen Erweiterung etwa bis zu drei Viertel damit gefüllt ist (etwa bis *d*). Der Gummischlauch wird dann mit der Zunge oder den Zähnen verschlossen, das innere Rohr vollständig in das äußere eingeschoben und, wenn der Glasstopfen aufsitzt, der Gummischlauch freigegeben.

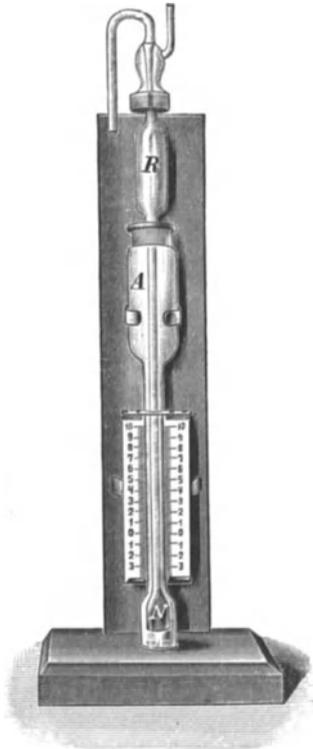


Abb. 96.

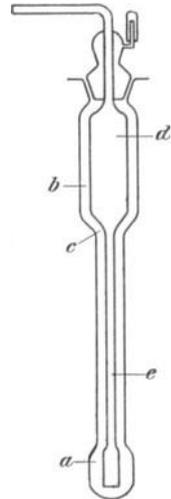


Abb. 97.

Einstellung der Marke: Man bläst vorsichtig in den Gummischlauch, bis ein paar Tropfen der farblosen Flüssigkeit unten aus dem inneren Rohre in die rote Flüssigkeit übertreten, und beobachtet, welche Stelle die Marke (Berührungsfläche der beiden Flüssigkeiten) im inneren Rohre nach Wiederherstellung des Gleichgewichtes einnimmt. Liegt diese Stelle, welche dem Nullpunkte der Skala entsprechen soll, noch zu tief, so drückt man abermals einige Tropfen der farblosen Flüssigkeit aus dem inneren Rohre nach außen über, beobachtet wieder und fährt so fort, bis die Berührungsfläche der beiden Flüssigkeiten die gewünschte Höhe erreicht hat (etwa bei *e*).

Sollte die Marke zu hoch gekommen sein, so muß das innere Rohr herausgezogen (wenigstens bis *c*) und durch Ansaugen wiederum bis

zu drei Viertel gefüllt werden und so fort wie bei Neufüllung. Der richtig gefüllte Glaskörper wird dann wieder in das Stativ, in welchem das ganze Instrument gelagert ist, eingesetzt und der Nullstrich der Skala auf die Marke eingestellt.

Es ist noch besonders zu bemerken, daß die Flüssigkeiten durch direktes Sonnenlicht verändert werden und deshalb im Dunkeln aufzubewahren sind. Auch muß der betriebsfertige Apparat so aufgestellt werden, daß er vor direkter Besonnung geschützt ist.

Nach längerem Gebrauche ist eine Reinigung des Instrumentes zu empfehlen. Zu diesem Zwecke gießt man zunächst die alten Flüssigkeiten aus, füllt hierauf den Glaskörper mit konzentrierter Schwefelsäure und läßt ihn einige Zeit damit stehen. Nach Entfernung der Schwefelsäure spült man so lange mit Wasser aus, bis alle Säure verschwunden ist. Vor der Neufüllung ist der Apparat sorgfältig zu trocknen, sei es durch Wärme oder durch einen Luftstrom oder durch Ausspülen mit Alkohol und Äther.

Da bei diesem und allen ähnlichen Instrumenten die Marke bei steigender Temperatur ebenfalls steigt und bei sinkender Temperatur fällt, so ist die Skala vor jeder Ablesung auf den Nullpunkt einzustellen.

Theorie des Zugmessers: Um festzustellen, in welchem Maßstabe das Instrument die Zugstärke angibt, stellt man die hydrostatischen Druckverhältnisse an der Fläche x (Abb. 98) unter zwei Bedingungen auf, nämlich erstens unter der Annahme, daß in A und B derselbe Gasdruck p_a herrscht, und zweitens unter der Voraussetzung, daß der Druck in A auf P_a angewachsen, während er in B konstant (p_a) geblieben ist. Die spezifischen Gewichte der beiden Flüssigkeiten seien s und S . Unter Zugrundelegung der

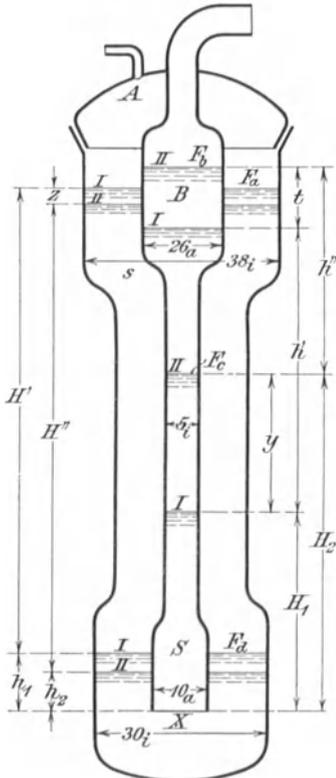


Abb. 98.

Abb. 98 gilt dann:

$$\text{Fall 1} \quad x \cdot p_a + x \cdot H' \cdot s + x \cdot h_1 \cdot S = x \cdot p_a + x \cdot H_1 \cdot S + x \cdot h' \cdot s,$$

$$\text{Fall 2} \quad x \cdot P_a + x \cdot H'' \cdot s + x \cdot h_2 \cdot S = x \cdot p_a + x \cdot H_2 \cdot S + x \cdot h'' \cdot s.$$

Gleichung (1) von Gleichung (2) subtrahiert:

$$P_a - p_a + s(H'' - H') + S(h_2 - h_1) = S \cdot (H_2 - H_1) + s(h'' - h').$$

Nun ist aber: $H' = H'' - (h_1 - h_2) + z,$

ferner ist: $z \cdot F_a = F_d \cdot (h_1 - h_2) = F_c \cdot y,$

$$z = \frac{F_d}{F_a} (h_1 - h_2)$$

oder $z = \frac{F_c}{F_a} \cdot y,$

also: $H' = H'' - (h_1 - h_2) + \frac{F_d}{F_a} \cdot (h_1 - h_2)$

oder: $H' = H'' - (h_1 - h_2) + \frac{F_c}{F_a} \cdot y,$

ferner ist: $F_d \cdot (h_1 - h_2) = y \cdot F_c$

oder $h_1 - h_2 = y \cdot \frac{F_c}{F_d},$

also: $h_2 - h_1 = -y \cdot \frac{F_c}{F_d}.$

Außerdem ist:

$$\left. \begin{aligned} h'' &= h' - y + t, \\ h' &= h'' + y + t, \\ h' &= h'' + y - y \cdot \frac{F_c}{F_b}, \end{aligned} \right| \begin{aligned} t \cdot F_b &= y \cdot F_c, \\ t &= \frac{F_c}{F_b} \cdot y, \end{aligned}$$

$$h' = h'' + y \cdot \left(1 - \frac{F_c}{F_b}\right).$$

Aus der durch Subtraktion entstandenen Gleichung wird nun:

$$P_a - p_a + s \cdot \left[(h_1 - h_2) - \frac{F_c}{F_a} \cdot y \right] + S \cdot \left(-y \cdot \frac{F_c}{F_d} \right) = S \cdot y + s \left[-y \cdot \left(1 - \frac{F_c}{F_b}\right) \right],$$

$$P_a - p_a + s \cdot \left(y \cdot \frac{F_c}{F_d} - y \cdot \frac{F_c}{F_a} \right) - S \cdot y \cdot \frac{F_c}{F_d} = S \cdot y - s \cdot y \cdot \left(1 - \frac{F_c}{F_b}\right),$$

$$P_a - p_a + s \cdot y \cdot \left(\frac{F_c}{F_d} - \frac{F_c}{F_a} \right) - S \cdot y \cdot \frac{F_c}{F_d} = S \cdot y - s \cdot y \cdot \left(1 - \frac{F_c}{F_b}\right),$$

$$P_a - p_a = y \cdot \left[S - s \cdot \left(1 - \frac{F_c}{F_b}\right) - s \cdot \left(\frac{F_c}{F_d} - \frac{F_c}{F_a} \right) + S \cdot \frac{F_c}{F_d} \right],$$

$$P_a - p_a = y \cdot \left[S \cdot \left(1 + \frac{F_c}{F_d}\right) - s \cdot \left(1 - \frac{F_c}{F_b} + \frac{F_c}{F_d} - \frac{F_c}{F_a}\right) \right].$$

Folglich:

$$y = \frac{P_a - p_a}{S \cdot \left(1 + \frac{F_c}{F_d}\right) - s \cdot \left(1 - \frac{F_c}{F_b} + \frac{F_c}{F_d} - \frac{F_c}{F_a}\right)}.$$

Es ist:

$$\left. \begin{aligned} S &= 0,827 \\ s &= 0,777 \\ \frac{F_c}{F_a} &= \frac{19,6 \text{ qmm}}{603,2 \text{ qmm}} = 0,032 \\ \frac{F_c}{F_b} &= \frac{19,6 \text{ qmm}}{452,4 \text{ qmm}} = 0,043 \\ \frac{F_c}{F_d} &= \frac{19,6 \text{ qmm}}{628,3 \text{ qmm}} = 0,031 \end{aligned} \right\} \text{dann wird} \quad y = \frac{P_a - p_a}{0,11},$$

also wird: $y = \infty 9 \cdot (P_a - p_a)$,

d. h. der Druckunterschied von Raum *A* und *B* wird in 9facher Vergrößerung angegeben.

(Die in Abb. 98 eingeschriebenen Maßzahlen sind die Durchmesser in Millimeter; die Indizes *a* und *i* bedeuten: außen bzw. innen gemessen.)

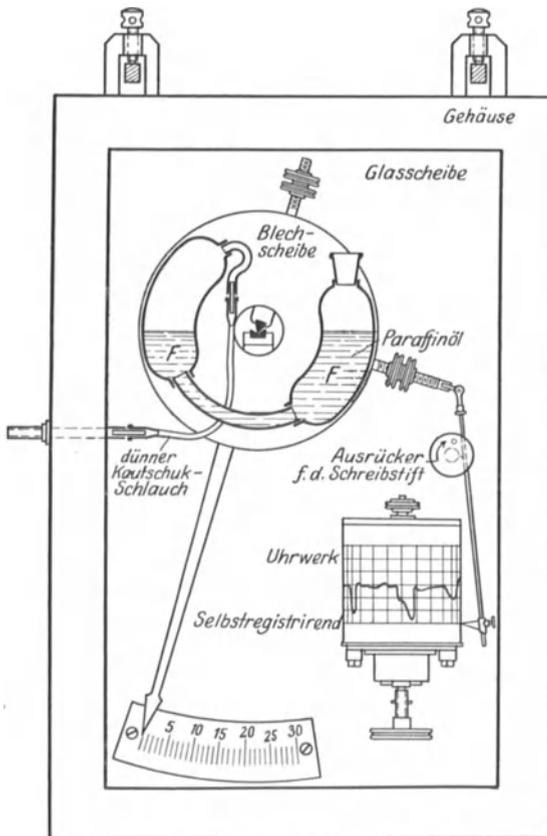


Abb. 99.

Der Arndtsche Zugmesser. Dieses Instrument beruht auf dem Gesetze der verbundenen Röhren, indem zwei gebogene Blechbehälter *F*, *F* (Abb. 99) unter sich durch ein Rohr in Verbindung stehen. Das linke Gefäß *F* ist durch einen engen und dünnen Gummischlauch an einen am Gehäuse des Apparates feststehenden Schlauchstutzen angeschlossen, welcher durch einen kurzen Schlauch und ein ca. 6 mm weites Eisenrohr mit dem Kanale verbunden ist, in welchem die Zugstärke gemessen werden soll. Das rechte Gefäß *F* ist oben offen, steht also mit der Atmosphäre in Verbindung. Beide Gefäße sind fest mit einer um eine Schneide schwingenden Blechscheibe verbunden, welche außer-

dem eine Justierschraube oben, eine ebensolche rechts seitlich und einen nach unten gehenden, ziemlich langen Zeiger trägt. Von der

seitlichen Justierschraube aus führt eine Gelenkstange nach einer Schreibfeder, die vor einem durch ein Uhrwerk angetriebenen Papierstreifen auf und ab schwingt.

Soll das Instrument in Gebrauch genommen werden, so hängt man es unter Benutzung einer Wasserwage mittels der mit Stellschrauben versehenen zwei Ösen des Gehäuses an Haken auf, gibt auf die Schreibfeder etwas hygroskopische Tinte, gießt dann in das rechte Gefäß F so lange Paraffinöl ein, bis der Zeiger auf den Nullstrich der Skala einspielt; dann erst stellt man die Verbindung des linken, am Gehäuse befindlichen Schlauchstutzens mit dem Rauchgaskanale her, bzw. man öffnet den in dieser Leitung sitzenden Dreiweghahn. Die Zugwirkung erstreckt sich sofort in den linken Behälter F und saugt den Flüssigkeitsspiegel daselbst hoch. Dadurch verschiebt sich der Schwerpunkt des Instrumentes, und der Zeiger macht einen der Zugstärke entsprechenden Ausschlag, der an der Skala in Millimeter Wassersäule abgelesen werden kann. Gleichzeitig wird auch die Schreibfeder auf dem Papierstreifen einen vertikalen Strich schreiben, dessen Länge ein Maß für die augenblickliche Zugstärke ist. Das Uhrwerk erteilt der Trommel und damit auch dem Papierstreifen in 24 Stunden eine volle Umdrehung. In dieser Zeit wird die Feder eine Kurve aufzeichnen, deren Ordinaten die Zugstärken und deren Abszissen die Zeit angeben. Nach Ablauf von 24 Stunden ist der Registrierstreifen durch einen neuen zu ersetzen. Zu diesem Zwecke wird mittels des Ausrückers die Feder vom alten Streifen abgehoben und die Uhrwerkstrommel abgenommen.

Das Instrument kann auch als Differenzzugmesser benutzt werden, wenn der rechte Behälter F ebenfalls durch eine Schlauchtülle und einen dünnen Schlauch mit einer zweiten Meßstelle verbunden wird.

Der Schumachersche Zugmesser. Die Firma Wwe. Schumacher in Köln stellt einen Zugmesser her, der in der Hauptsache aus einem weiten horizontalen Glasrohre und einem unter einem bestimmten Winkel daran anschließenden engen Glasrohre mit aufgekropftem Ende und einer Skala besteht. Er ist in Abb. 100 dargestellt.

Das horizontale Rohr wird so weit mit Wasser gefüllt, daß der Wasserspiegel im engen Rohre auf Null einspielt. Dann wird das aufgekropfte Ende des engen Rohres mit demjenigen Raume verbunden, dessen Unterdruck man messen will. Da der Wasserspiegel im horizontalen weiten Rohre bedeutend größer ist als derjenige im engen Rohre, so kann man den Stand des ersteren bei Inbetriebsetzung des Instrumentes als konstant ansehen, sein Nullpunkt ist also fest.

Die schräge Anordnung der engen Glasröhre (Ablesungsröhre) ist bei verschiedenen anderen, noch zu beschreibenden Zugmessern zu finden, weshalb ihre Begründung an dieser Stelle durchgeführt sei.



Abb. 100.

B (Abb. 101) ist ein Gefäß, an welches sich unter dem Winkel β gegen die Horizontale das Ablesungsrohr A anschließt. Herrscht in den Räumen I und II derselbe Druck P , so wird das Wasser in B und A gleich hoch stehen.

Greift man zur näheren Betrachtung die Fläche f , mit welcher A und B zusammentreffen, heraus, so wird für den angenommenen Gleichgewichtszustand: Druck in $I =$ Druck in $II = P$ der Wasserspiegel in A und B um h über dem Schwerpunkte von f stehen.

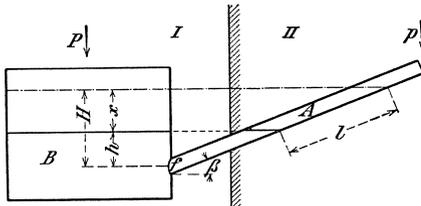


Abb. 101.

Wird der Druck in II auf p verringert, so geht der Wasserspiegel in A um die Strecke l voran und steht also jetzt um H über dem Schwerpunkte von f . Dieselbe Wirkung ließe sich erzielen, wenn man in B so viel Wasser zugefüllt hätte, daß der

Wasserspiegel in B um x gestiegen wäre. (Gleiche Drücke in I und II vorausgesetzt.) Es handelt sich nun darum, den Zusammenhang von $(P - p)$, x und l zu ermitteln.

Nach den Gesetzen der Hydromechanik ist für den Gleichgewichtszustand in bezug auf f

$$P \cdot f + f \cdot h = f \cdot H + f \cdot p$$

oder: $f \cdot (P + h) = f \cdot (H + p)$

oder: $P + h = p + H$

oder: $P + h = p + h + x,$

hieraus: $x = P - p$

oder: $l \cdot \sin \beta = P - p,$

folglich: $l = \frac{P - p}{\sin \beta}.$

Ist z. B. $\beta = 30^\circ$, also $\sin \beta = 0,5$, so wird $l = 2(P - p)$, d. h. für jede Erhöhung der Wassersäule in B um 1 mm rückt der Wasserspiegel in A um 2 mm vor.

Wäre die Neigung von A gegen die Horizontale gleich 3%, also $\sin \beta = \frac{3}{100}$, so wäre $l = \frac{100}{3} \cdot (P - p)$, d. h. ändert sich der Druck im Raume II nur um 1 mm Wassersäule, während er im Raume I konstant bleibt, so verschiebt sich der Wasserspiegel in der Ablesungsrohre A um $\frac{100}{3}$ mm = $33\frac{1}{3}$ mm.

Die Empfindlichkeit der Zugmesser mit schräger Ablesungsrohre ist also bedeutend größer als die der Instrumente mit U-förmig gebogener Röhre.

Der Zugmesser, Bauart Schäffer und Budenberg. Diese Apparate werden in vier Größen hergestellt:

Größe 1	mit	Einteilung	von	$0 \div 20$	mm	Wassersäule.
„ 2	„	„	„	$0 \div 30$	„	„
„ 3	„	„	„	$0 \div 40$	„	„
„ 4	„	„	„	$0 \div 50$	„	„

Der Apparat besteht aus einer eichenen Grundplatte mit dem Meßrohr, der Skala, der Wasserwage und zwei Aufhängeösen. An dem Apparat nach Abb. 102a befindet sich außerdem noch ein Stutzen mit eingeschraubten Absperrhähnen, welche mit Schlauchanschluß für drei Meßstellen versehen sind.



Abb. 102a.

Das Meßrohr ist aus Glas hergestellt und besitzt links einen Behälter zur Aufnahme der Meßflüssigkeit. Auf dem Behälter, der beim Gebrauch des Apparates durch einen Stopfen aus Gummi oder Kork verschlossen gehalten wird, befindet sich ein mit Schlauchanschluß versehener Abzweig. Der beim Apparat nach Abb. 102b ebenfalls mit Schlauchanschluß versehene rechte Schenkel des Meßrohres ist nach oben gebogen, beim Apparat nach Abb. 102a dagegen mit dem Anschlußstutzen verbunden.

Vor Gebrauch wird der Apparat an den Ösen aufgehängt und genau nach der Wasserwage ausgerichtet. Hierauf wird der Behälter und das Meßrohr bis zum Null-Teilstrich der Skala mit rot gefärbtem Wasser angefüllt. Sollte sich dabei ein Unterschied zwischen Wasserstand und Nullstrich ergeben, so löst man die Kopfschrauben der Skala und stellt diese durch Verschieben richtig ein. Für die Ver-



Abb. 102b.

wendung des Apparates nach Abb. 102b als einfachen Zugmesser ist die zu messende Stelle des Feuerzuges mit dem nach oben gebogenen rechten Schenkel des Meßrohres zu verbinden, für die Verwendung als Differenz-Zugmesser außerdem noch die zu messende zweite Stelle mit dem Schlauchstutzen am Behälter. Der Apparat nach Abb. 102a ist nur als einfacher Zugmesser zu benutzen; er gestattet die Messung der Zugstärken am Rost, am Kesselende und am Schornstein durch einfache Umschaltung der hierfür besonders gekennzeichneten Absperrhähne.

Das Ätheranemometer. Während die bisher betrachteten Instrumente zur Zugmessung nur die statischen Druckunterschiede zwischen zwei Räumen, wovon der eine gewöhnlich der atmosphärische Luft-

raum ist, zu messen gestatten, ist der Zweck der im folgenden noch beschriebenen zwei Instrumente der, den Unterschied zwischen dem statischen und dem dynamischen Drucke einer bewegten Luft- oder Gassäule zu bestimmen.

Aus dieser Differenz kann unmittelbar die Geschwindigkeit des Luft- oder Gasstromes berechnet werden.

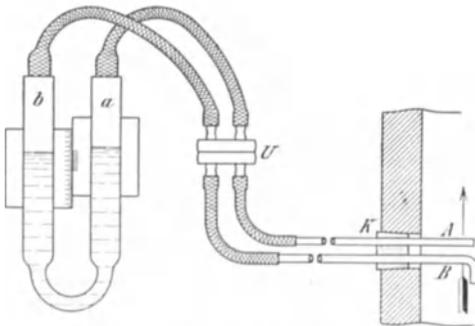


Abb. 103.

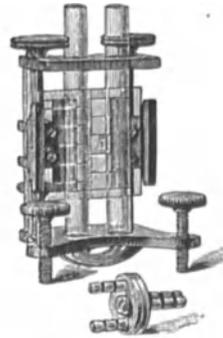


Abb. 104.

Bei der Messung des statischen Druckes ist es besonders wichtig, daß dasjenige Rohr, welches in den bewegten Gasstrom hineinreicht und mit dem Meßinstrumente durch eine Schlauchleitung in Verbindung steht, senkrecht zur Stromrichtung ausmündet, wie z. B. das Rohr *A* in Abb. 103.

Bei der Messung des dynamischen Druckes muß dieses Rohrende parallel zur Stromrichtung, dieser entgegenlaufend, umgebogen sein, wie z. B. das Rohr *B* in Abb. 103.

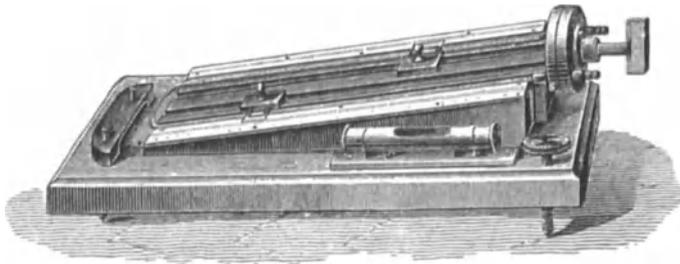


Abb. 105.

Die Messing- oder Glasrohre *A* und *B* (Abb. 103) sind mittels des Pfropfens *K* luftdicht in die Wandung des Kanals oder Schornsteins eingelassen, in welchem die Geschwindigkeit des Gasstromes gemessen werden soll. Die Enden dieser Rohre sollen bis rd. $\frac{1}{6}$ des Kanaldurchmessers in den Luft- oder Gasstrom hineinreichen. Durch Schläuche sind *A* und *B* mit dem Umschalter *U* verbunden. Dieser steht mit der halb mit Äther gefüllten U-förmigen Röhre des Anemometers in Verbindung.

Steckerbuchse 650—1200, Blendenstellung 1, Okular 2 und die niedrigere Stromzahl.

Meßbereich $840 \div 2000^\circ$:

Steckerbuchse $840 \div 2000$, Schauöffnung 1, Okular 1 und die höhere Stromzahl.

Für alle höheren Meßbereiche bleibt Stromzahl, Okular und Steckerbuchse unverändert, und es ist für den Meßbereich

$1400 \div 4000^\circ$ Schauöffnung 4

$2500 \div 7000^\circ$ Schauöffnung 5

einzuschalten.

Da die Instrumente im betriebsfertigen Zustande, abgesehen von der Aufladung der Batterien, zur Ablieferung kommen, sind jedem

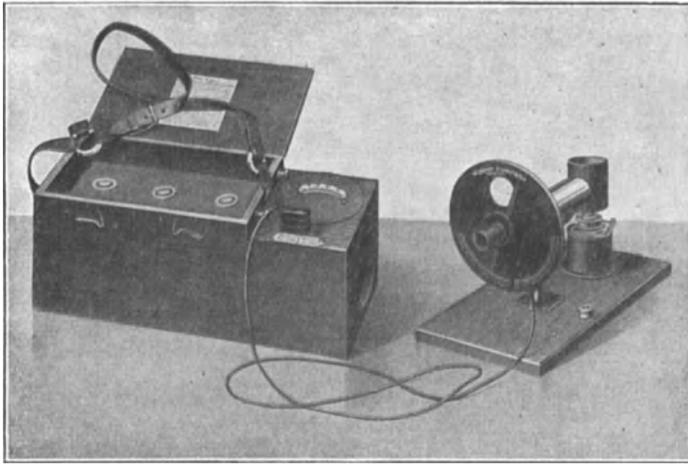


Abb. 82.

Wanner-Pyrometer in einer Eichtafel auf der Innenseite des Schutzkastendeckels nicht nur die Normalzahlen, sondern auch die Stromzahlen beigegeben. Man hat daher nach Laden des Akkumulators nur den Steckkontakt in die entsprechende Buchse am Beikasten einzuführen und den Regulierwiderstand durch Drehen so zu verstellen, daß der Zeiger des Strommessers auf die zu dem Meßbereich gehörende Stromzahl weist. Sind Blendenstellung und Okular ebenfalls richtig gewählt, so ist das Instrument meßbereit. Es empfiehlt sich besonders bei längeren Meßreihen, von Zeit zu Zeit die richtige Einstellung des Zeigers auf der Skala zu prüfen bzw. mit Hilfe des Regulierwiderstandes die nötige Korrektur zu erteilen. Das Auswechseln der Okulare erfolgt einfach durch Abschrauben von dem Okularrohr bzw. vom Brett der Justiervorrichtung.

Will man die Eichung des Instrumentes selbst nachprüfen bzw. sich von der Richtigkeit der beim Messen angewandten Stromzahlen überzeugen, so genügen einige Probeeinstellungen vor der Amyllampe,

Tafel II zur Berichtigung der bei verschiedenen Temperaturen gemachten Beobachtungen der Zuggeschwindigkeiten.

<i>a</i> t°C	<i>b</i>										
—10	1,046	18	0,995	42	0,956	66	0,922	140	0,835	260	0,735
— 5	1,036	20	0,991	44	0,953	68	0,919	150	0,825	270	0,728
0	1,027	22	0,988	46	0,950	70	0,916	160	0,815	280	0,721
2	1,023	24	0,985	48	0,947	75	0,912	170	0,806	290	0,715
4	1,020	26	0,981	50	0,944	80	0,903	180	0,797	300	0,709
6	1,016	28	0,978	52	0,941	85	0,899	190	0,788	320	0,697
8	1,012	30	0,975	54	0,938	90	0,890	200	0,780	340	0,685
10	1,009	32	0,972	56	0,935	95	0,884	210	0,772	360	0,676
12	1,005	34	0,968	58	0,933	100	0,878	220	0,764	400	0,654
14	1,003	36	0,965	60	0,930	110	0,867	230	0,756	450	0,631
15	1,000	38	0,962	62	0,927	120	0,856	240	0,749	500	0,603
16	0,998	40	0,959	64	0,924	130	0,845	250	0,742		

Das Mikromanometer von Krell. Ein Instrument, welches besonders bei der Messung ganz geringer Druckunterschiede ($\frac{1}{10}$ mm

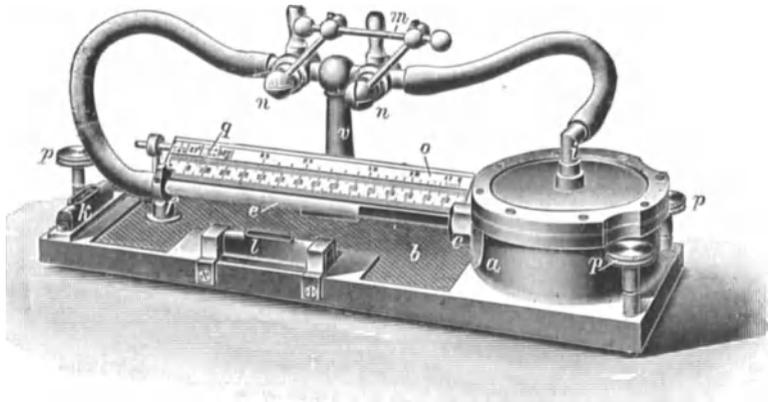


Abb. 106.

Wassersäule und darunter) vorzügliche Dienste leistet, ist das Mikromanometer von Krell, eine besonders den Bedürfnissen der Technik Rechnung tragende Verbesserung des Differentialmanometers von Professor Recknagel. Da dieses Mikromanometer, welches in der Technik noch viel zuwenig Anwendung findet, den wichtigsten Bestandteil verschiedener hydrostatischer Meßinstrumente bildet, so sei es hier näher beschrieben.

Wie aus Abb. 106 zu erkennen ist, besteht das Mikromanometer aus folgenden wichtigen Teilen:

Die eiserne Grundplatte *b* ist mit der Dose *a* aus einem Stücke gegossen. Letztere ist genau auf 100 mm Durchmesser ausgebohrt und durch einen aufschraubbaren Deckel vollkommen dicht verschließbar.

Mit Hilfe einer Metallschraube *c* ist unter einem gewissen Neigungswinkel gegen den Horizont die Glasröhre *e* mit der Dose *a* verbunden.

Im Innern der letzteren findet diese Glasröhre noch eine Fortsetzung durch ein hakenförmig gekrümmtes Metallröhrchen. Durch diese Dose einerseits und durch den Bügel f mit Stellschraube andererseits ist die Glasröhre e fest mit der Fundamentplatte b verbunden. Um diese unter Verwendung der drei Stellschrauben p genau in die Horizontale einstellen zu können, sind zwei senkrecht zueinander stehende Wasserwagen l und k vorhanden. Durch zwei Stellschräubchen kann die Wasserwage l in vertikaler Richtung verstellt werden, während die zweite Wasserwage k fest mit der Fundamentplatte b verbunden ist.

Die Dose a trägt oben eine Öffnung, durch welche hindurch das Einfüllen der Sperrflüssigkeit geschieht. Der in axialer Richtung durchbohrte Pfropfen i dient zum Verschlusse dieser Öffnung. Ein Stativ v trägt zwei Dreiweghähne n . Der Verlauf der Bohrungen der letzteren ist außen am Küken angezeichnet und auch aus der Abb. 106 zu ersehen. Der eine dieser beiden Dreiweghähne ist mit dem freien Ende der Glasröhre e , der andere mit dem Pfropfen i durch Schlauchleitung verbunden. Außerdem können die Dreiweghähne durch Schlauchleitungen mit denjenigen Räumen in Verbindung gebracht werden, deren Druckunterschied gemessen werden soll.

Damit für den Fall, daß der Druck in dem einen Raume den Druck im Aufstellungsraume des Instrumentes um mehr über- oder unterschreitet, als das Mikromanometer zu messen eingerichtet ist, die Sperrflüssigkeit nicht aus der Röhre e geschleudert wird, müssen die beiden Dreiweghähne n zu gleicher Zeit geöffnet werden. Zu diesem Zwecke sind die Küken beider Hähne durch die Querstange m miteinander verbunden.

Je nach dem Neigungswinkel der Röhre e zum Horizonte ist die zu messende Maximal-Druckdifferenz eine ganz bestimmte. Das Instrument wird jetzt mit neun verschiedenen Neigungsverhältnissen der Röhre e ausgeführt, und zwar hat das

Mikromanometer A	ein Neigungsverhältnis von	1 : 400,
„ B	„ „	„ 1 : 200,
„ C	„ „	„ 1 : 100,
„ D	„ „	„ 1 : 50,
„ E	„ „	„ 1 : 25,
„ F	„ „	„ 1 : 20,
„ G	„ „	„ 1 : 10,
„ H	„ „	„ 1 : 5,
„ J	„ „	„ 1 : 4.

Wie schon beim Schumacherschen Zugmesser gezeigt wurde, sind, da die Meßlänge der Röhre e stets 200 mm beträgt, die zu messenden Maximal-Druckdifferenzen beim

Mikromanometer A	=	0,5 mm	Wassersäule
„ B	=	1,0 „	„
„ C	=	2,0 „	„
„ D	=	4,0 „	„
„ E	=	8,0 „	„
„ F	=	10,0 „	„
„ G	=	20,0 „	„
„ H	=	40,0 „	„
„ J	=	50,0 „	„

Die Eichung des Mikromanometers.

Die Meßlänge, welche auf dem Rohre e (Abb. 106) eingätzt ist, beträgt, wie schon angegeben, bei jedem Mikromanometer 200 mm. Da es bis jetzt noch nicht gelungen ist, vollkommen gerade Glasrohre von überall gleichem Querschnitte herzustellen, so ist für genauere Messungen eine Eichung der Ablesungsröhre innerhalb der Meßlänge von 200 mm nötig.

Diese Eichung wird nach Krells Angaben folgendermaßen ausgeführt:

Auf Grund der Formel von Recknagel $m = \frac{10p}{n \cdot q}$ kann für jedes Mikromanometer das Volumen derjenigen Flüssigkeitsmenge (als Sperrflüssigkeit verwendet man am besten durch Fuchsin rot gefärbten Alkohol von spez. Gew. 0,8) bestimmt werden, welche in die Dose a nachzufüllen ist, damit der Meniskus der Sperrflüssigkeit vom Nullpunkte der Skala aus um 200 mm, also auf den Endpunkt der Skala vorrückt.

In obiger Formel bedeutet m das Übersetzungsverhältnis des Mikromanometers, $n = 200$ mm, q den Querschnitt der Dose a in Quadrat-

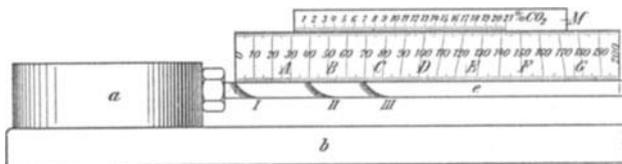


Abb. 107.

zentimetern, also $q = 78,5$ qcm; p ist das Gewicht der nachzufüllenden Alkoholmenge, also $\frac{p}{0,8} = v =$ deren Volumen.

Man füllt nun die Dose a (Abb. 107) so weit mit Sperrflüssigkeit, daß deren Meniskus sich auf den Nullpunkt der Skala einstellt. Neben der Ablesungsröhre e hat man einen Maßstab unverrückbar angebracht, auf welchem vorläufig nur die mit dem Nullpunkte und dem Punkte 200 mm zusammenfallenden Punkte gekennzeichnet sind.

Man eicht nun eine Pipette genau auf $\frac{v}{8}$ ccm, füllt sie bis zum Eichungsstriche mit Sperrflüssigkeit und gibt diese in die Dose. Die Stellung, welche der Meniskus nunmehr einnimmt, wird auf dem Maßstabe angegeben. (In Abb. 107 mit A .) Verfährt man genau in derselben Weise noch 7 mal, indem man immer die Pipette bis zur Marke $\frac{v}{8}$ ccm füllt und den Inhalt dann in die Dose a entleert, so hat man die Meßlänge 0—200 mm in 8 Teile geteilt, die unter sich zwar gleichwertig, in ihrer Länge aber wegen der Fehler in der Ablesungsröhre verschieden sind. Der Wert der so gefundenen Intervalle = $\frac{200}{8}$ mm = 25 mm.

Steckerbuchse 650—1200, Blendenstellung 1, Okular 2 und die niedrigere Stromzahl.

Meßbereich $840 \div 2000^\circ$:

Steckerbuchse $840 \div 2000$, Schauöffnung 1, Okular 1 und die höhere Stromzahl.

Für alle höheren Meßbereiche bleibt Stromzahl, Okular und Steckerbuchse unverändert, und es ist für den Meßbereich

$1400 \div 4000^\circ$ Schauöffnung 4

$2500 \div 7000^\circ$ Schauöffnung 5

einzuschalten.

Da die Instrumente im betriebsfertigen Zustande, abgesehen von der Aufladung der Batterien, zur Ablieferung kommen, sind jedem

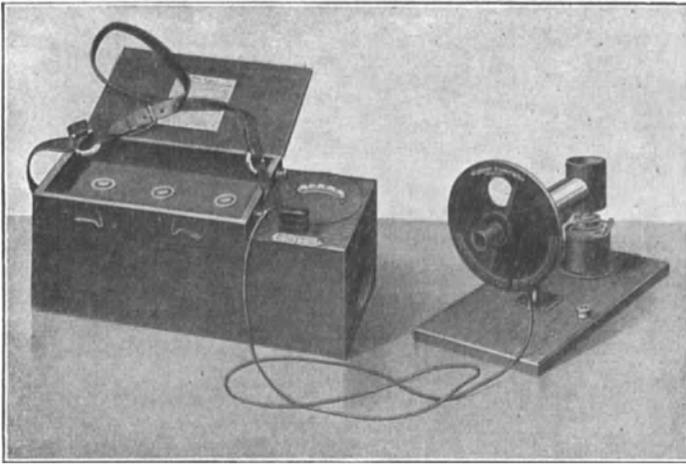


Abb. 82.

Wanner-Pyrometer in einer Eichtafel auf der Innenseite des Schutzkastendeckels nicht nur die Normalzahlen, sondern auch die Stromzahlen beigegeben. Man hat daher nach Laden des Akkumulators nur den Steckkontakt in die entsprechende Buchse am Beikasten einzuführen und den Regulierwiderstand durch Drehen so zu verstellen, daß der Zeiger des Strommessers auf die zu dem Meßbereich gehörende Stromzahl weist. Sind Blendenstellung und Okular ebenfalls richtig gewählt, so ist das Instrument meßbereit. Es empfiehlt sich besonders bei längeren Meßreihen, von Zeit zu Zeit die richtige Einstellung des Zeigers auf der Skala zu prüfen bzw. mit Hilfe des Regulierwiderstandes die nötige Korrektur zu erteilen. Das Auswechseln der Okulare erfolgt einfach durch Abschrauben von dem Okularrohr bzw. vom Brett der Justiervorrichtung.

Will man die Eichung des Instrumentes selbst nachprüfen bzw. sich von der Richtigkeit der beim Messen angewandten Stromzahlen überzeugen, so genügen einige Probeeinstellungen vor der Amyllampe,

man bei Unterdruckmessung den von der Meßstelle kommenden Schlauch bei *f* an und bringt die Libelle abermals auf Mitte. Der Stand der Flüssigkeitssäule an der oberen Skala abgelesen, ergibt sofort den herrschenden Zug in Millimeter Wassersäule. Bei Überdruckmessungen ist der Schlauch bei *b* anzuschließen.

Ist der zwischen zwei verschiedenen Stellen der Feuerzüge vorhandene Druckunterschied zu beobachten, so wird die Stelle des stärkeren Zuges mit *f*, die des geringeren Zuges mit *g* verbunden und die Libelle wieder auf Mitte eingestellt. Der Flüssigkeitsstand im

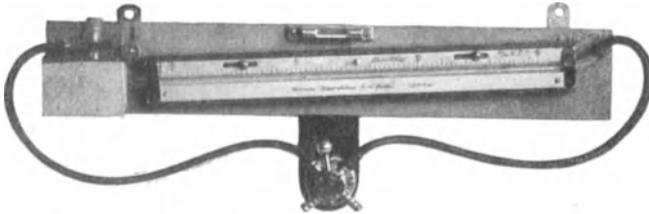


Abb. 108 a.

Meßrohre gibt den Unterschied der Unterdrücke an den beiden Beobachtungsstellen an. Die große Teilung der Skala läßt Ablesungen bis auf $\frac{1}{10}$ mm Wassersäule zu.

Die aus Abb. 108 erkenntliche untere Skala ermöglicht die Bestimmung der Geschwindigkeit strömender Luft oder Gase, doch soll hierauf nicht näher eingegangen werden. Das Instrument ist auch ohne diese Geschwindigkeitsskala zu beziehen. Zum bequemen Aus- und Einschalten kann der Apparat mit den in Abb. 108a dargestellten Vierweghahn versehen werden.

G. Bestimmung der Rauchstärke.

Bestimmung der Rauchstärke nach Fritzsche. Fritzsche bestimmt die Rauchstärke nach dem Rußgehalte der Rauchgase.

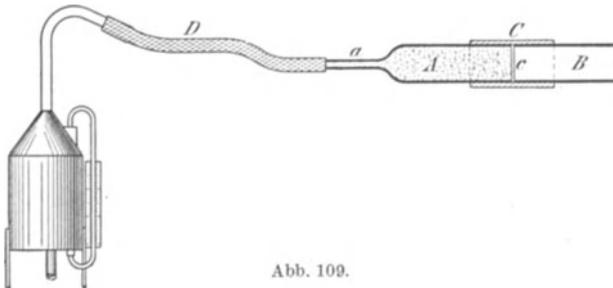


Abb. 109.

Ein 15 cm weites Glasrohr *B* (Abb. 109), welches in den Schornstein führt, ist mittels eines kurzen Gummischlauches *C* mit dem gleich weiten Glasrohre *A* verbunden, so daß die Glasrohrenden bei *c* dicht aneinanderliegen.

Bei *a* verengt sich das Glasrohr *A*. Ein Gummischlauch *D* verbindet den engeren Teil *a* von *A* mit einem Aspirator. Letzterer muß so beschaffen sein, daß er die Bestimmung des Volumens der abgesaugten Gase ermöglicht. Diese Aufgabe löst der auf S. 136 beschriebene Doppelaspirator sehr einfach, wenn die Blechgefäße *E* und *S* (Abb. 72) geeicht sind und die Eichungsskala hinter dem entsprechenden Wasserstandsglase angebracht wird.

Das Glasrohr *A* (Abb. 109) ist von *a* bis *c* mit weißer, flockiger, loser Zellulose gefüllt.

Sind 20 l Rauchgas durch den Aspirator aus dem Schornsteine abgesaugt, so wird sich eine bestimmte Rußmenge in der Zelluloseabgesetzt haben.

Man löst nun die Schlauchverbindung *C*, nimmt die obere geschwärzte Zellose-schicht bei *c* aus dem Rohr *A*, und gibt sie in eine weithalsige ca. 300 ccm fassende Stöpselflasche. Hierauf füllt man 200 ccm Wasser in diese Flasche. Die zurückgebliebene Zellulose benutzt man, um mit ihr sowohl das Rohr *A* als auch *B* gründlich auszu-

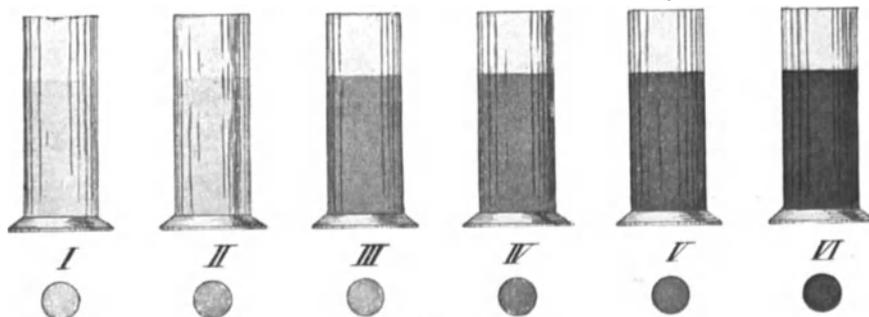


Abb. 110.

wischen und so allen Ruß auf ihr anzusammeln. Schließlich wird sie ebenfalls in die Stöpselflasche gegeben.

Nunmehr schüttelt man die Flasche tüchtig durch. Der Ruß löst sich im Wasser und färbt es braun.

Um die Farbe der so entstandenen Lösung als Maß für die Rauchstärke benutzen zu können, füllt man bei allen derartigen Versuchen von der in der Stöpselflasche enthaltenen Flüssigkeit einen Teil in ein zylindrisches Glasgefäß von 50 mm Weite und vergleicht die dabei zum Vorschein kommende Färbung mit einer Farbenskala, die man für alle vorkommenden Fälle in folgender Weise hergestellt hat:

Man gibt in 6 weithalsige Stöpselflaschen von 300 ccm Inhalt je 2 g weiße, flockige Zellulose und gießt in jeder Flasche 200 ccm reines Wasser darauf.

Vorher hat man folgende Rußmengen abgewogen:

5 mg, 10 mg, 15 mg, 20 mg, 25 mg, 30 mg

und füllt nun diese Rußmengen in die 6 Flaschen ein und schüttelt einige Minuten tüchtig durch.

In 6 bereitgestellte zylindrische Glasgefäße (Abb. 110) von 50 mm lichter Weite wird nun ein Teil des Inhaltes der Stöpselflaschen aus-

gegossen. Die Farbtöne in diesen Gefäßen werden verschieden sein. Man tuscht nun 6 kreisrunde, auf der Rückseite gummierte Papierscheiben von 25 mm Durchmesser so ab, daß ihre Farbtöne sich mit denjenigen der Flüssigkeiten in den 6 zylindrischen Gefäßen decken, klebt sie nebeneinander auf einem Papierstreifen auf und bezeichnet sie mit den Zahlen I bis VI wie folgt:

2 g Zellulose mit	5	10	15	20	25	30 mg	Ruß + 200 ccm Wasser
geben die Ruß- bzw. .Rauchstärke Nr.	I	II	III	IV	V	VI	

Bestimmung der Rauchstärke nach Ringelmann. Ringelmann vergleicht die Farbe des einem Schornsteine entströmenden Rauches unmittelbar mit einer nach bestimmten Vorschriften hergestellten Farbenskala, die, in einer gewissen Entfernung vom Auge des Beobachters aufgestellt, verschiedene Abstufungen von Grau erkennen läßt.

Für die Aufzeichnung dieser Farbenskala benutzt Ringelmann die Erscheinung, daß eine weiße Fläche, die sich kreuzende schwarze Linien von bestimmter Strichstärke und in gewissen Abständen voneinander trägt, aus der Entfernung betrachtet, in einem grauen Tone erscheint, und zwar um so dunkler, je dicker die Striche sind, und je näher sie zusammenstehen.

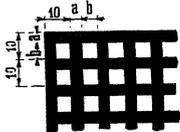


Abb. 111.

Man zeichnet in 5 Quadrate von je 100 mm Seitenlänge; das 2. ÷ 5. erhält rechtwinklig schneidende tief-schwarze Linien, so daß mit Bezugnahme auf Abb. 111 die Strichstärke a im

2. Quadrat = 1	mm	und die Seitenlänge b	der weißen Felder = 9	mm	ist
3. „ = 2,3	„	„	„	„	= 7,7 „
4. „ = 3,7	„	„	„	„	= 6,3 „
5. „ = 5,5	„	„	„	„	= 4,5 „
6. „ = alles	schwarz	„	„	„	= 0 „

In Abb. 112 ist die Skala in verkleinertem Maßstabe abgebildet. Sie wird in einer Entfernung von ungefähr 20 ÷ 25 m vom Beobachter so aufgehängt, daß es möglich ist, mit einem Blicke den Rauch und die Skala ins Auge zu fassen und so dasjenige Quadrat festzustellen, dessen Farbton der Rauchfarbe am nächsten liegt.

Es bezeichnet dann:

der Farbton des	1. Quadrates	die Rauchstärke	0
„	2.	„	I
„	3.	„	II
„	4.	„	III
„	5.	„	IV
„	6.	„	V

Streng objektiv, d. h. von Schätzungsfehlern unabhängig ist dieses Verfahren jedoch nicht, weil die Färbung des Rauches, abgesehen von der Art des Brennstoffes, auch davon abhängt, ob der Hintergrund durch blauen Himmel oder durch Wolken gebildet ist; zur genauen Beobachtung ist deshalb einige Übung erforderlich.

H. Bestimmung des Verbrennlichen in den Herdrückständen.

Es ist bei Rostfeuerungen unvermeidlich, daß kleine Brennstoffteile unverbrannt in den Aschenfall gelangen. Auch kann es vorkommen, daß unverbrannte Brennstoffstückchen von der Schlacke eingeschlossen und mit dieser aus der Feuerung entfernt werden.

Zur Bestimmung des Gehaltes an Verbrennlichem nimmt man von den innerhalb einer gewissen Zeit, z. B. während eines Verdampfungsversuches anfallenden Herdrückständen (Asche + Schlacke) nach dem im Abschnitte „Probeentnahme“ beschriebenen Verfahren eine Durchschnittsprobe. Von dieser werden dann rd. 5 g in der im Abschnitte „Bestimmung des Aschegehaltes“ angegebenen Weise geglüht. Der Gewichtsverlust, ausgedrückt in Prozenten der in den Glühtiegel eingewogenen Menge von Herdrückständen, gibt dann deren Gehalt an Verbrennlichem an.

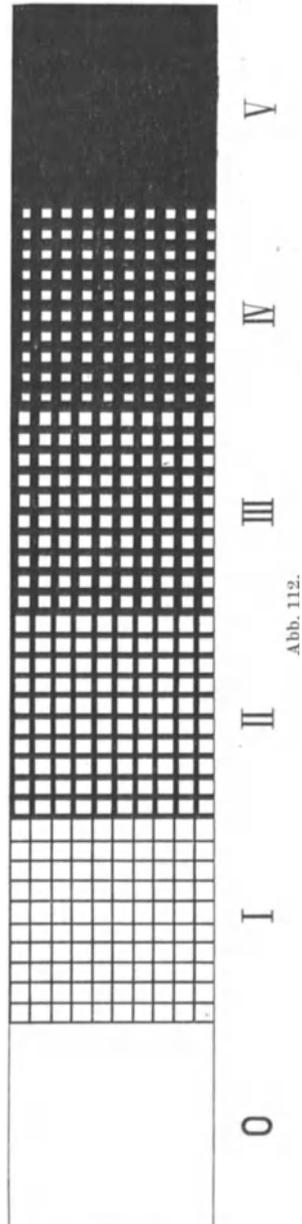
Soll, wie zuweilen verlangt wird, der Heizwert der Herdrückstände festgestellt werden, so kann dies in der Krökerschen Bombe, genau wie für feste Brennstoffe beschrieben, geschehen, nur muß man, um eine sichere Entzündung des Versuchsbrikettchens zu erzielen, die Herdrückstandprobe mit einer abgewogenen Menge eines leicht verbrennbaren Stoffes, dessen Heizwert bekannt ist, vermischen, z. B. mit reiner Salizylsäure [5269,2 WE¹] oder mit bekannter Kohle. Auch ist zu empfehlen, den Druck der Sauerstofffüllung der Bombe auf 30–35 at zu steigern.

J. Durchführung eines Verdampfungsversuches²⁾.

Gegenstand der Untersuchung einer Dampfkessel-Anlage ist die Ermittlung:

¹⁾ Oberer Heizwert.

²⁾ Siehe auch Seufert: Anleitung zur Durchführung von Versuchen an Dampfmaschinen, Dampfkesseln, Dampfturbinen und Verbrennungskraftmaschinen, 7. Aufl. Berlin: Julius Springer 1925.



1. der Brutto- oder rohen Verdampfungsziffer x und der auf Normaldampf bezogenen Verdampfungsziffer x_n ;
2. der stündlichen Dampfleistung auf 1 qm Heizfläche und der stündlichen Rostbeanspruchung auf 1 qm Rostfläche Brenngeschwindigkeit;
3. der Wärmeausnutzung und der Wärmeverluste;
4. des Dampf- und Wärmepreises.

1. Ermittlung der Verdampfungsziffern. Bezeichnet man die in einer bestimmten Zeit erzeugte Dampfmenge mit D , die in derselben Zeit verheizte Kohlenmenge mit K , so ist die

$$\text{Brutto-Verdampfungsziffer } x = \frac{D}{K};$$

diese gibt also an, wieviel Kilogramm Dampf durch Verbrennung von 1 kg Kohle erzeugt wurden; zu ihrer Feststellung wird sowohl das in

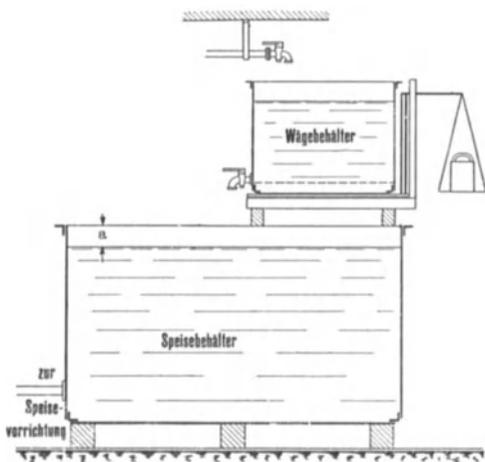


Abb. 113.

einer bestimmten Zeit verdampfte Speisewasser, als auch die zu seiner Verdampfung erforderliche Kohlenmenge gewogen. Die Speisewasserwägung wird wie folgt durchgeführt:

Man wägt mittels der in Abb. 113 dargestellten Einrichtung das in den Kessel gespeiste Wasser. Mindestens 10 Minuten vor Beginn und ebenso vor Schluß des Versuches darf der Kessel nicht mehr gespeist werden. Nach dem Stillsetzen der Speisevorrichtung vor Versuchsbeginn füllt man den Speisebehälter auf und mißt

den Abstand a des Wasserspiegels von einem Festpunkt. Die Wage mit dem Wägebehälter ist mit Roststäben u. dgl. (Gewichte sind zur Verhütung von Verwechslungen zu vermeiden) so ausgeglichen worden, daß sie einspielt, wenn der Wasserspiegel bis zur gestrichelten oder einer mittels Marke festgelegten höheren Linie gesunken ist. Hierauf setzt man ein der jedesmal zu wägenden Wassermenge entsprechendes Gewicht auf und füllt den Wägebehälter, bis die Wage wieder einspielt. Etwa 10 Minuten nach dem Stillsetzen der Speisevorrichtung kennzeichnet man den Wasserstand im Kessel durch einen um das Glas gebundenen Faden und mißt gleichzeitig den Abstand des Wasserstandes von einem Festpunkt, um eine etwaige Verschiebung des Fadens während des Versuches richtigstellen zu können. Die Zeit, zu welcher der Wasserstand im Kessel und die Markierung zusammenfallen, ist der Versuchsbeginn. Damit beginnt die Abnahme der Diagramme, welche aller

10 ÷ 15 Minuten erfolgen soll, die Tätigkeit der Speisevorrichtung, die regelmäßige Wägung des Speisewassers und die sonstigen Beobachtungen, wie Dampfdruck im Kessel, vor der Maschine, minutliche Drehzahl, Vakuum usw., die in den weiter unten folgenden Musterbeispielen enthalten sind. Den Wasserstand im Kessel hält man stets 10 ÷ 15 mm über dem anfangs festgestellten Stand. Etwa 10 Minuten vor dem beabsichtigten Versuchsschluß wird die Speisevorrichtung abgestellt, der Speisebehälter bis zum Maß a aufgefüllt und das beim Auffüllen im Wägebehälter zurückgebliebene Wasser zurückgewogen. Dann wartet man, bis der Wasserstand im Kessel bis zur Marke zurückgegangen ist. Dieser Zeitpunkt ist das Ende des Versuches. Damit kein Irrtum entsteht, schreibt man jede Wägung stets dann auf, wenn man den unteren Hahn des Wägebehälters öffnet, gleichzeitig notiert ein zweiter Beobachter jede Wägung durch einen Kreidestrich. Auch die letzte Wägung wird für voll aufgeschrieben; dann wird die nach dem Auffüllen des Speisebehälters zurückgewogene Wassermenge von der Summe sämtlicher Wägungen abgezogen. Als Behälter kann man jeden Bottich, Faß od. dgl. verwenden, nur müssen die Behälter dicht und nicht zu klein sein und genügend große Ablaufhähne haben. Bei großen Kesselanlagen macht häufig die Beschaffung einer geeigneten Wage Schwierigkeiten; in diesem Falle kann man sich dadurch helfen, daß man statt des Wägebehälters einen großen Behälter verwendet, dessen Fassungsraum man durch Wägung bis zu einer bestimmten Marke geeicht hat. Statt nun während des Versuches das Wasser zu wägen, füllt man jedesmal diesen Behälter bis zur Eichmarke. Hatte das zur Eichung verwendete Wasser eine andere Temperatur als das Speisewasser während des Versuches, so ist der Inhalt des Behälters nach dem Temperaturunterschied zu berichtigen.

Art der Speisevorrichtung. Eine von der Maschine, der Transmission oder einem Elektromotor angetriebene Pumpe ist ohne weiteres zulässig. Verwendet man eine Dampfpumpe, so muß sie ihren Dampf entweder aus einem anderen Kessel beziehen oder man muß den Abdampf in einer gekühlten Rohrschlange niederschlagen, auffangen, wägen und vom Speisewasser abziehen. Wird mit einem Injektor gespeist, so muß das Schlabberwasser desselben in den Speisebehälter zurückgebracht werden.

Damit nur gewogenes Wasser, und zwar alles in den Versuchskessel gelangt und nur als Dampf aus dem Kessel entweicht, sind alle für die Versuche nicht benutzten, an die Versuchs-Speiseeinrichtung und an den Kessel angeschlossenen Speise- und Dampfleitungen durch Blindflanschen abzuschließen; ferner ist auch die Abableitung des Kessels mit einem Blindflansch zu versehen. Eine Ausnahme von dieser Regel ist nur dann zulässig, wenn die Dichtheit eines Absperrorgans in anderer Weise, z. B. durch ein frei ausmündendes Rohr, genügend sicher erscheint.

Damit die gewogene Kohlenmenge wirklich der innerhalb der Versuchszeit erzeugten Dampfmenge entspricht, muß das Feuer zu Anfang des Versuches sich in demselben Zustand befinden wie am

Ende des Versuches; dies erreicht man folgendermaßen: Eine bestimmte Zeit, z. B. eine Stunde vor dem beabsichtigten Versuchsanfang, wird ausgeschlackt; kurz vor Versuchsanfang, also während der Einstellung des Wasserspiegels, läßt man das Feuer etwas niederbrennen, so daß man deutlich übersehen kann, wie der Rost bedeckt ist. Dann erst stellt man den Wasserstand fest und beginnt den Versuch durch Aufwerfen von Kohle aus einem abgewogenen Vorrat. Gleichzeitig wird der Aschenfall ausgeräumt. Das letzte Ausschlacken erfolgt um denselben Zeitraum vor dem beabsichtigten Versuchsschluß, wie das erste vor dem Versuchsbeginn. Vor dem Abstellen der Speisepumpe hält man den Wasserstand im Kessel um so viel über der Marke, als er nach dem Abstellen der Pumpe, während das Feuer niederbrennt, sinken wird. Dieses Maß kann man sich während des Versuches aus der Verdampfungsoberfläche des Kessels und der überschlägig ermittelten Dampfleistung ausrechnen. Ist der Wasserspiegel an der Marke angelangt, dann soll das Feuer ebensoweit niedergebrannt sein wie zu Anfang des Versuches. Damit ist der Versuch beendet. Ist das Feuer schon niedergebrannt, bevor der Wasserspiegel erreicht ist, so wird vorsichtig noch etwas Kohle aufgeworfen. Ist der Wasserspiegel schon erreicht, lange bevor das Feuer niedergebrannt ist, so muß nachgespeist werden. Dadurch verlängert sich jedoch die Versuchszeit unter Umständen ganz bedeutend, weil nach den Bestimmungen der „Normen“ mindestens 10 Minuten vor Schluß nicht mehr gespeist werden darf. Man muß also gegen Schluß des Versuches den Wasserstand und den Feuerzustand aufmerksam beobachten. Am Ende des Versuches wird der Aschenfall wieder ausgeräumt. Die während des Versuches angefallenen Rückstände: Schlacken und Asche sind zu wägen. Ferner ist darauf zu achten, daß der Dampfdruck zu Ende des Versuches derselbe ist wie zu Anfang. Als Versuchsdauer¹⁾ bestimmen die „Normen“ 10 Stunden, bei gleichmäßiger Beanspruchung der Kesselanlage mindestens 8 Stunden.

Zur späteren Feststellung des Heizwertes der Kohle ist während des Versuches eine Durchschnittsprobe zu nehmen. Über die Probenahme enthalten die Seiten 32 bis 37 das Erforderliche.

Wenn das Gewicht der Herdrückstände mehr als 5% des Kohlengewichtes beträgt, oder wenn die Rückstände augenscheinlich viel Verbrennliches enthalten, so empfiehlt es sich, auch den Herdrückständen eine Probe zu entnehmen und untersuchen zu lassen. Dabei ist zur Vermeidung von Fehlern folgendes zu beachten: Werden die Rückstände trocken gewogen, so kann die Probenahme zu jeder beliebigen Zeit erfolgen, und die Probe braucht nicht luftdicht verschlossen oder sonst vor Feuchtigkeit bewahrt zu werden, weil später doch nur der auf trockene Rückstände bezogene Kohlenstoffgehalt in Rechnung zu ziehen ist. Erfolgt dagegen die Wägung der Rückstände in abgelöschtem Zustand, so muß die Probe sofort nach der Beendigung des Versuches

¹⁾ Nach den neuen „Regeln“ sind die Zeiten verkürzt; es empfiehlt sich jedoch, von dieser Verkürzung keinen Gebrauch zu machen.

genommen und luftdicht verschlossen werden. Dann hat die Probe bei der chemischen Untersuchung denselben Wassergehalt wie bei der Wägung, und es entstehen bei der Umrechnung auf trockene Rückstände keine Fehler.

Besondere Sorgfalt ist bei Versuchen an Kesseln mit Wanderrosten auf die richtige Einstellung der Kohlschicht im Fülltrichter zu verwenden, weil bei der großen Oberfläche der Trichter beträchtliche Fehler entstehen können. Es empfiehlt sich, den Versuch mit tiefer Lage der Kohlenoberfläche anzufangen, die Kohlenoberfläche eben und wagerecht auszugleichen, ihren Abstand vom Trichterrand zu messen und ihre Lage durch einen ringsumlaufenden Kreidestrich zu bezeichnen. Dann sind alle Bedingungen gegeben, um beim Schluß des Versuches die Kohlschicht so einzustellen wie beim Beginn. Außerdem muß natürlich die Höhe der Brennschicht auf dem Rost und die Rostgeschwindigkeit bei Versuchsbeginn und Versuchsschluß die gleiche sein. Um alle genannten Fehlerquellen möglichst gering zu halten, soll die Versuchsdauer möglichst lang sein, also bei durchgehendem Betrieb 24 Stunden.

Um verschiedene Kohlsorten in bezug auf die Verdampfungsziffer vergleichen zu können, ist es notwendig, diese auf gleiche Verhältnisse, also auf gleichen Dampfdruck, Dampftemperatur und Speisewassertemperatur umzurechnen. Man bezieht dann die Verdampfungsziffern auf Normaldampf; darunter ist Sattedampf von 1 at abs. zu verstehen, der aus Speisewasser von 0° erzeugt ist.

Für gesättigten, aus Wasser von 0° erzeugten Dampf kann die entsprechende Erzeugungswärme λ_s der folgenden Zahlentafel¹⁾ (S. 206) entnommen werden. Weil aber 1 kg Speisewasser von τ° für je 1° seiner Eigentemperatur 1 WE enthält, welche im Kessel dem Wasser nicht mehr zugeführt zu werden braucht, sind von λ_s so viele WE zu subtrahieren, als zur Erwärmung des Speisewassers von 0° auf τ° erforderlich waren; die in Rechnung zu setzende Erzeugungswärme ist also

$$\lambda = \lambda_s - \tau.$$

Bemerkungen über die Speisewassertemperatur: Wird das Speisewasser im Speisebehälter vorgewärmt und mit einer Pumpe unmittelbar in den Kessel befördert, so ist die im Speisebehälter ermittelte Temperatur in Rechnung zu setzen. Dient ein Injektor als Speisevorrichtung, dann muß die Temperatur ebenfalls im Speisebehälter, also vor dem Injektor gemessen werden; denn die Temperaturerhöhung erfolgt durch Kondensation des Injektordampfes, der mit seinem Wärmeinhalt dadurch dem Kessel zum größten Teil wieder zugeführt wird und wieder verdampft, zum geringeren Teil mit dem Schlabbwasser in den Speisebehälter gelangt. Bei genauen Versuchen verbieten die „Normen“ die Speisung mit einem Injektor. Wird das Speisewasser erst durch einen Vorwärmer gedrückt, der mit Abdampf oder Frischdampf geheizt wird, so gilt als Speisewassertemperatur die Temperatur hinter dem Vorwärmer. Bei Lokomobilen ist meist

¹⁾ Nach Mollier.

Absoluter Druck kg/qcm	Temper- atur °	Flüssig- keits- wärme für 1 kg q	Verdampfungswärme für 1 kg		Gesamt- wärme für 1 kg λ	Spezifisches Gewicht kg/cbm	Spezifisches Volumen cbm/kg
			innere α	äußere A p u			
0,02	17,3	17,3	553,6	31,91	602,9	0,01468	68,126
0,04	28,8	28,8	546,3	33,15	608,3	0,02826	35,387
0,06	36,0	36,0	541,7	33,92	611,6	0,04142	24,140
0,08	41,3	41,4	538,2	34,49	614,1	0,05432	18,408
0,10	45,6	45,7	535,4	34,94	616,0	0,06703	14,920
0,12	49,2	49,3	533,1	35,32	617,7	0,07956	12,568
0,15	53,7	53,8	530,1	35,79	619,7	0,09814	10,190
0,20	59,9	59,9	526,1	36,42	622,4	0,12858	7,777
0,25	64,6	64,8	522,9	36,92	624,6	0,1586	6,307
0,30	68,7	68,9	520,2	37,34	626,4	0,1881	5,316
0,35	72,3	72,5	517,8	37,70	628,0	0,2174	4,600
0,40	75,5	75,7	515,6	38,02	629,4	0,2463	4,060
0,50	80,9	81,2	512,0	38,56	631,7	0,3036	3,2940
0,60	85,5	85,8	508,8	39,01	633,7	0,3601	2,7770
0,70	89,5	89,9	506,1	39,39	635,3	0,4160	2,4040
0,80	93,0	93,5	503,6	39,73	636,8	0,4713	2,1216
0,90	96,2	96,7	501,6	40,03	638,1	0,5262	1,9003
1,0	99,1	99,6	499,4	40,30	639,3	0,5807	1,7220
1,1	101,8	102,3	497,5	40,55	640,7	0,6349	1,5751
1,2	104,2	104,8	495,7	40,78	641,3	0,6887	1,4521
1,4	108,7	109,4	492,6	41,18	643,1	0,7955	1,2571
1,6	112,7	113,4	489,7	41,54	644,7	0,9013	1,1096
1,8	116,3	117,1	487,1	41,85	646,0	1,0062	0,9939
2,0	119,6	120,4	484,7	42,14	647,2	1,1104	0,9006
2,5	126,7	127,7	479,4	42,74	649,9	1,3680	0,7310
3,0	132,8	133,9	474,9	43,23	652,0	1,6224	0,6163
3,5	138,1	139,4	470,8	43,65	653,8	1,8743	0,5335
4,0	142,8	144,2	467,2	44,01	655,4	2,1239	0,4708
4,5	147,1	148,6	463,9	44,33	656,8	2,3716	0,4217
5,0	151,0	152,6	460,8	44,61	658,1	2,6177	0,3820
5,5	154,6	156,3	458,0	44,87	659,2	2,8624	0,3494
6,0	157,9	159,8	455,3	45,10	660,2	3,1058	0,3220
6,5	161,1	163,0	452,8	45,32	661,1	3,3481	0,2987
7,0	164,0	166,1	450,4	45,51	662,0	3,5891	0,2786
7,5	166,8	168,9	448,2	45,67	662,8	3,8294	0,2611
8,0	169,5	171,7	446,0	45,86	663,5	4,0693	0,2458
8,5	172,0	174,3	443,9	46,02	664,2	4,3072	0,2322
9,0	174,4	176,8	441,9	46,17	664,9	4,5448	0,2200
9,5	176,7	179,2	440,0	46,30	665,5	4,7819	0,2091
10,0	178,9	181,5	438,2	46,43	666,1	5,018	0,1993
11,0	183,1	185,8	434,6	46,67	667,1	5,489	0,1822
12,0	186,9	189,9	431,3	46,88	668,1	5,960	0,1678
13,0	190,6	193,7	428,2	47,08	668,9	6,425	0,15565
14,0	194,0	197,3	425,2	47,26	669,7	6,889	0,14515
15,0	197,2	200,7	422,4	47,43	670,5	7,352	0,13601
16,0	200,3	203,9	419,7	47,58	671,2	7,814	0,12797
18,0	206,1	210,0	414,6	47,85	672,4	8,734	0,11450
20,0	211,3	215,5	409,8	48,08	673,4	9,648	0,10365

ein derartiger Vorwärmer angebracht, und es wäre deshalb ein großer Fehler, wenn man die Wassertemperatur im Speisebehälter in Rechnung setzen wollte; man erhielte dann fälschlich eine zu große Wärmeausnutzung des Kessels. Geht das Speisewasser durch einen Ekonomiser (Rauchgasausnutzer), dann ist die Speisewassertemperatur vor dem Ekonomiser zu setzen [außer wenn man in der Wärmebilanz¹⁾ den Anteil des Ekonomisers an der nutzbar gemachten Wärme besonders zum Ausdruck bringen will].

Bei überhitztem Dampf ist zur Erzeugungswärme noch die Überhitzungswärme zu addieren. Letztere beträgt für 1 kg Dampf mit Bezugnahme auf die folgende Zahlentafel der spezifischen Wärme des Heißdampfes

$$\lambda_{\ddot{u}} = (t_d - t_s) c_p;$$

also die gesamte Erzeugungswärme

$$\lambda = \lambda_s + (t_d - t_s) c_p - \tau.$$

Mittlere spezifische Wärme c_p für die Überhitzung von t_s auf t_d° .

p = at abs.	0,5	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
t_s°	80,9	99,1	119,6	142,9	158,1	169,6	179,1	187,1	194,2	200,5	206,2	211,4
t_s	0,478	0,487	0,501	0,528	0,555	0,584	0,613	0,642	0,671	0,699	0,729	0,760
120	0,473	0,483	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0,471	0,480	0,496	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160	0,470	0,478	0,491	0,521	—	—	—	—	—	—	—	—
180	0,470	0,476	0,488	0,515	0,544	0,576	—	—	—	—	—	—
200	0,469	0,475	0,486	0,509	0,534	0,561	0,590	0,623	0,660	—	—	—
220	0,469	0,475	0,485	0,505	0,526	0,548	0,572	0,599	0,629	0,661	0,697	0,738
240	0,469	0,474	0,484	0,501	0,519	0,538	0,558	0,580	0,605	0,631	0,660	0,694
260	0,469	0,474	0,483	0,499	0,514	0,530	0,548	0,567	0,588	0,610	0,634	0,660
$t_d=280$	0,470	0,474	0,482	0,497	0,510	0,525	0,540	0,556	0,575	0,594	0,615	0,637
300	0,470	0,474	0,482	0,496	0,508	0,521	0,534	0,548	0,565	0,582	0,600	0,619
320	0,471	0,475	0,482	0,495	0,505	0,517	0,530	0,543	0,558	0,572	0,589	0,606
340	0,472	0,476	0,482	0,494	0,504	0,515	0,527	0,538	0,552	0,565	0,580	0,596
360	0,473	0,477	0,483	0,494	0,504	0,514	0,524	0,535	0,548	0,560	0,574	0,587
380	0,475	0,478	0,483	0,494	0,503	0,512	0,522	0,533	0,545	0,556	0,568	0,580
400	—	—	0,484	0,494	0,503	0,511	—	—	—	—	—	—
450	—	—	0,486	0,495	0,503	0,510	—	—	—	—	—	—
500	—	—	0,489	0,497	0,504	0,510	—	—	—	—	—	—
550	—	—	0,492	0,499	0,505	0,511	—	—	—	—	—	—

Die auf Normaldampf bezogene Verdampfungsziffer x_n berechnet sich nach dem Ansatz:

bei λ WE Erzeugungswärme ist die Verdampfungsziffer x ,
 „ 1 WE „ „ „ „ $x\lambda$,
 „ 639 WE „ „ „ „ $\frac{x \cdot \lambda}{639}$
 zu $x_n = \frac{x \cdot \lambda}{639}$.

Das Produkt $x \cdot \lambda$ ist zugleich die von 1 kg Kohle nutzbar gemachte Wärmemenge; denn für die Erzeugung von je 1 kg Dampf

¹⁾ S. 208.

müssen dem Kessel λ WE zugeführt werden. 1 kg Kohle erzeugt aber durch seine Verbrennung x kg Dampf, also werden durch die Verbrennung von 1 kg Kohle $x \cdot \lambda$ WE an den Kesselinhalt übertragen, d. h. nutzbar gemacht.

2. Ermittlung der stündlichen Dampfleistung auf 1 qm Heizfläche und der Brenngeschwindigkeit. Beträgt

die gesamte Dampfmenge D kg
 die gesamte Kohlenmenge K kg
 die Kesselheizfläche H qm
 die Rostfläche R qm
 die Versuchsdauer a Std.,

dann ist

die Dampfleistung $\frac{D}{a \cdot H}$ kg/qm/Std.

die Brenngeschwindigkeit $\frac{K}{a \cdot R}$ kg/qm/Std.

3. Ermittlung der Wärmeausnutzung und der Wärmeverluste. Mit Beziehung auf Seite 207 ist die

$$\text{Wärmeausnutzung } \eta = \frac{\lambda x}{H_u}.$$

Die Wärmeverluste sind folgende:

a) Durch Verbrenliches in den Herdrückständen. Betragen die trocken gewogenen Herdrückstände $p\%$ von der verheizten Kohlenmenge und enthalten die Herdrückstände in trockenem Zustande $q\%$ reinen Kohlenstoff, dessen Heizwert zu 8100 WE/kg angenommen wird, so ist der Verlust

$$V_h = \frac{p}{100} \cdot \frac{q}{100} \cdot 8100 \text{ WE/kg Kohle.}$$

b) Der Abgasverlust wird nach einer der Seite 141 enthaltenen Formeln berechnet.

c) Der Verlust durch Strahlung, Leitung, Ruß und unverbrannte Gase wird Restverlust genannt und als Unterschied:

Heizwert — (nutzbare Wärme + Herdverlust + Abgasverlust)
 berechnet.

Die Zusammenstellung der nutzbar gemachten Wärme und der Wärmeverluste nennt man Wärmebilanz; diese wird gewöhnlich auf 1 kg Kohle bezogen.

Hat man bei unvollkommener Verbrennung den mittleren CO-Gehalt der Abgase zu $p\%$ und den CO₂-Gehalt zu $k\%$ festgestellt, dann beträgt der Verlust durch die im CO enthaltene chemisch gebundene Wärme

$$V_u = \frac{p}{100} \cdot \frac{186,6 c_1}{k} \cdot 3000 \text{ WE/kg Kohle,}$$

worin die Zahl 3000 den Heizwert von 1 cbm CO bedeutet.

Der Verlust durch fühlbare Wärme der Abgase ist dann

$$V_s = \left[\frac{186,6 c_1}{k + p} 0,32 + (9h'_1 + w_1) 0,48 \right] (T - t).$$

4. Ermittlung des Dampf- und Wärmepreises. Unter dem Dampfpreis versteht man die zur Erzeugung von 1000 kg Dampf erforderlichen Kohlenkosten; betragen letztere einschließlich Fracht und Anfuhr a M/100 kg, dann ist bei x facher Verdampfung

$$\text{Dampfpreis} = \frac{a}{100 \cdot x} \cdot 1000 = \frac{10 a}{x} \text{ M/t.}$$

Zur genaueren Feststellung des wirtschaftlichen Wertes verschiedener Kohlensorten kann man aus dem Heizwert H_u und dem Kohlenpreis auch den Wärmepreis berechnen; darunter versteht man die Kosten für 100 000 WE der betr. Kohlensorte; also

$$\text{Wärmepreis} = \frac{a}{100 \cdot H_u} \cdot 100\,000 = \frac{1000 a}{H_u} \text{ M.}$$

5. Beispiel. In folgenden Zahlentafeln sind die bei einem Verdampfungsversuch erforderlichen Aufschreibungen und Rechnungsergebnisse zusammengestellt.

Kohle		Speise-Wasser		Rückstände kg	Zeit	Dampf		Speise-Wasser-temperatur ° C	Heizgase vor dem Schieber				Lufttemperatur ° C
Zeit	kg	Zeit	kg			at	° C		CO ₂	CO ₂ +O	T	Zug mm	
10 ⁴⁵	100	10 ⁴⁵	150		10 ⁴⁵	11,0	—	—	—	—	—	—	—
12 ²⁶	100	10 ⁵⁷	150		11 ⁰⁰	11,1	215	46	11,0	19,0	196	6	12
1 ³⁸	100	11 ⁰⁵	150		11 ¹⁵	10,9	238	43	11,8	—	210	10	—
2 ⁵²	100	11 ¹³	150		11 ³⁰	11,2	240	45	11,4	—	210	10	—
4 ²²	100	11 ²⁰	150		11 ⁴⁵	11,1	245	52	10,9	—	220	10	—
		11 ³⁵	150		12 ⁰⁰	11,0	239	52	11,5	19,5	210	10	13
		11 ⁴⁵	150		12 ¹⁵	11,0	224	50,5	11,0	—	200	10	—
zurück	500	12 ⁰⁶	150		12 ³⁰	11,0	240	50,5	11,5	—	210	10	—
ver-		12 ²¹	150		12 ⁴⁵	11,0	247	50,5	11,5	—	225	10	—
heizt	464,3	12 ³⁷	150		1 ⁰⁰	10,9	249	50,5	12,5	18,7	230	11	15
		12 ⁵⁷	150		1 ¹⁵	11,0	243	50	11,9	—	225	11	—
		1 ⁰⁵	150		1 ³⁰	10,8	244	51	11,8	—	220	11	—
		1 ²⁰	150		1 ⁴⁵	10,9	242	50	11,5	—	210	10	—
		1 ³²	150		2 ⁰⁰	10,9	235	50,5	11,7	19,0	205	10	15
		1 ⁴⁵	150		2 ¹⁵	10,9	227	50	10,5	—	200	10	—
		1 ⁵⁶	150		2 ³⁰	10,9	219	50	12,0	—	200	10	—
		2 ⁰⁹	150		2 ⁴⁵	10,9	223	51	11,0	—	205	10	—
		2 ²²	150		3 ⁰⁰	11,0	229	50	11,8	18,8	205	10	17
		2 ³⁸	150		3 ¹⁵	11,0	229	51,5	11,5	—	210	10	—
		2 ⁵⁴	150		3 ³⁰	10,9	225	51	12,5	—	210	10	—
		3 ⁰⁹	150		3 ⁴⁵	10,9	225	50	12,0	—	210	10	—
		3 ²³	150		4 ⁰⁰	10,9	230	50	11,5	18,5	220	10	17
		3 ³⁶	150		4 ¹⁵	10,9	237	52,5	10,8	—	200	10	—
		3 ⁴⁹	150		4 ³⁰	10,8	218	52,5	11,5	—	200	10	—
		4 ⁰⁰	150		4 ⁴⁵	10,8	217	52,5	11,8	—	200	10	—
		4 ¹²	150		5 ⁰⁰	11,0	224	53	11,0	19,5	205	10	15
		4 ³⁵	150		5 ¹⁵	11,0	—	—	—	—	—	—	—
		4 ⁵³	150										
			4200	17,0		10,9	232	50,5	11,5	19,0	211	10	15

Versuchsaufschreibungen:

Versuchstag
 Beobachter
 Versuchsbeginn 10⁴⁵ } Dauer 6 Std. 26 Min. = 6,43 Std.
 Versuchsschluß 5¹¹ }
 Wasserstand im Glas 149 ccm.
 Wasserstand im Behälter 121 ccm.

Versuchsergebnisse.

Versuchstag	19..
Heizfläche des Versuchskessels	qm	53
„ „ Überhitzers	„
Rostfläche „ Versuchskessels	„	0,7
Verhältnis der Rostfläche zur Heizfläche		1 : 76
<hr/>		
Dauer des Versuches	Std.	6,43
Brennstoff: Sorte: Ruhrstückkohle der Zeche Mathias Stinnes		
verheizt im ganzen	kg	464,3
„ in der Stunde	„	72,2
„ „ „ „ auf 1 qm Rostfläche	„	103,1
Herdrückstände: im ganzen	„	17,0
in Prozenten des verheizten Brennstoffes	%	3,66
Verbrennliches (Kohlenstoff) in denselben	%	67,03
Speisewasser: Verdampft im ganzen	kg	4200
Verdampft in der Stunde	„	653
Verdampft in der Stunde auf 1 qm Heizfläche	„	12,3
Temperatur	° C	50,5
Dampf: Überdruck	at	10,9
Temperatur hinter dem Überhitzer	° C	232
Erzeugungs- + Überhitzungswärme	WE	618 + 26 = 644
Heizgase: Kohlen säuregehalt	%	11,5
Sauerstoffgehalt	%	7,5
Temperatur am Kesselende	° C	211
Verbrennungsluft: Temperatur	° C	15
Zugstärke: am Kesselende .. mm Wassersäule		10
Verdampfung:		
a) 1 kg Brennstoff verdampfte Wasser	kg	9,05
b) desgl. auf Normaldampf bezogen ($\lambda_n = 639$ WE) „	„	9,12
Brennstoffpreis: Für 100 kg im Kesselhaus . M.		2,50
Dampfpreis: Für 1000 kg Dampf nach a) . . M.		2,76
Für 1000 kg Dampf nach b) M.		2,74
Wärmepreis: Für 100 000 WE Pf.		32,3

Wärmeverteilung für 1 kg Kohle		WE	%
Nutzbar gemacht:	Zur Dampfbildung $9,05 \cdot 618 =$	5593	72,4
	„ Dampfüberhitzung $9,05 \cdot 26$	235	3,0
	Insgesamt $9,05 \cdot 644 =$	5828	75,4
Verloren:			
a)	im Schornstein durch freie Wärme der Rauchgase	860	11,1
b)	in den Herdrückständen durch Unverbranntes .	199	2,6
c)	durch Strahlung, Leitung, Ruß und unverbrannte Gase	839	10,9
	Heizwert des Brennstoffes	7726	100,0

III. Die Überwachung des Dampfmaschinenbetriebes und die dazu notwendigen Apparate.

A. Apparate zur Messung der indizierten Maschinenleistung (Indikatoren).

1. Indikatoren der gewöhnlichen Bauart.

Man faßt unter dem Begriffe Indikatoren alle diejenigen Instrumente zusammen, deren Aufgabe es ist, die Untersuchung von Motoren auf ihre Leistung und — in fast allen Fällen — auch auf die Wirkungsweise der motorischen Substanz im Motorzylinder hin zu ermöglichen.

Ihnen fast allen gemeinsam ist die Art und Weise, wie sie die gewünschten Aufschlüsse erteilen, indem sie nämlich Kurven (Diagramme) aufzeichnen, aus denen es möglich ist, die Verhältnisse der Motore nach allen Richtungen hin gründlich zu studieren.

Man kann die Indikatoren einteilen wie folgt:•

1. Indikatoren gewöhnlicher Art, mit Kolben, Feder und Schreibzeug, bei denen das gezeichnete Diagramm das Ergebnis aus zwei Bewegungen ist: einer wagrechten des Papierblattes in genauer Übereinstimmung mit der Bewegung des Motorkolbens, und einer senkrechten des Schreibstiftes im Verhältnisse der im Motorzylinder auftretenden Spannungen. Die aus dem Diagramme zu berechnende Leistung des Motors ist also die indizierte Leistung.

2. Der integrierende Indikator oder Leistungszähler, das einzige Instrument dieser Art, welches keine Kurve aufzeichnet, bei dem sich vielmehr aus der Bewegung der (Papier-) Trommel und derjenigen des Indikator Kolbens die Verstellung eines Räderzählwerkes ergibt. In dieser Arbeitsweise ist auch der Grund zu finden, weshalb dieser Indikator nur die indizierte Durchschnittsleistung für eine längere Beobachtungszeit ergibt, nicht aber einen Einblick in die Arbeitsvorgänge im Innern des Motors gewährt.

3. Der Torsionindikator. Die Arbeitsweise dieses Instrumentes ist von Grund aus verschieden von derjenigen der übrigen Indikatoren, indem es durch Aufzeichnen einer Kurve die Nutzleistung des Motors aus der Verdrehung (Torsion) der Motorwelle bestimmt.

Gleichgültig welcher Bauart ein Indikator ist, stets muß im Auge behalten werden, daß es sich um ein Präzisionsinstrument handelt, welches eine zarte Bedienung und eine sorgfältige Behandlung auch außerhalb des Gebrauches erfordert.

Der Indikator nach Schäffer und Budenberg mit innen liegender Feder (Warmfederindikator). Die Abb. 114 und 115 zeigen die neueste Ausführung dieses Indikators. Abb. 115 zeigt den ersten Indikator im Schnitt.

Der Kolben *g* läuft in einem besonderen, einen Dampfmantel bildenden Zylindereinsatz *k*, der mittels eines besonderen Schlüssels (Abb. 116) leicht herausgenommen werden kann.

Der Durchmesser des normalen Kolbens (Abb. 117) beträgt 20,27 mm und ist unter Benutzung einer entsprechenden Kolbenfeder für Drucke bis zu 25 kg/qcm und bis

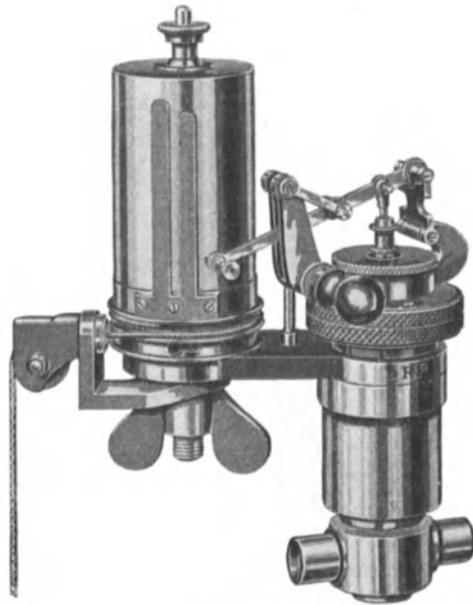


Abb. 114.

600 Maschinenumdrehungen je Minute verwendbar.

Außer dem normalen Kolben lassen sich für höhere Drucke kleinere Kolben verwenden, die dann in besonderen Zylindereinsätzen oder in einem besonders eingeschraubten Konus arbeiten.

Für Drucke bis 50 kg verwendet man einen

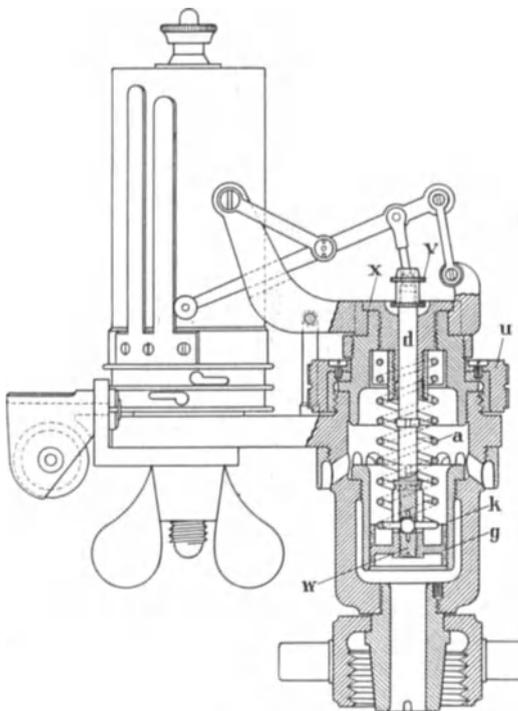


Abb. 115.



Abb. 116.

Kolben von 14,33 mm Durchmesser (Abb. 118), während Drucke bis zu 100 kg mit einem Kolben von 10,13 mm Durchmesser (Abb. 119) indiziert werden. Bei noch höheren Drucken laufen die Kolben im Konus, und zwar für Drucke bis 150 kg in einem besonders eingeschaubten Stahlkonus von 8,27 mm (Abb. 120) innerem Durchmesser.

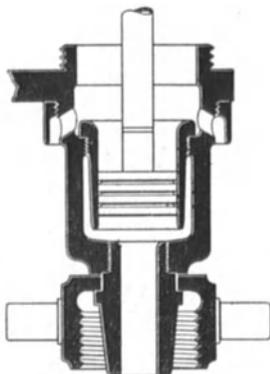


Abb. 117.

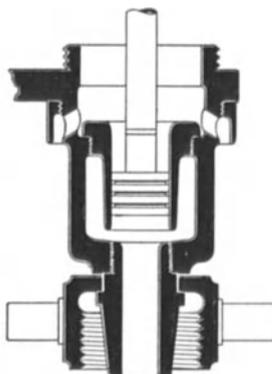


Abb. 118.

Beim Einsetzen der Kolbenfeder verfährt man wie folgt: Zunächst schraubt man die mit dem Schreibzeuge verbundene Überwurfmutter *u* ab, nimmt den Kolben *k* samt Schreibzeug aus dem Indikator heraus und schraubt dann die Kolbenstange aus der Mutter bei *v* heraus. Dann löst man unter Zuhilfenahme eines besonderen Schlüssels den

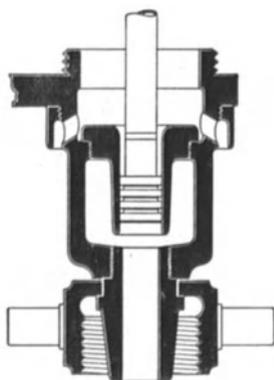


Abb. 119.

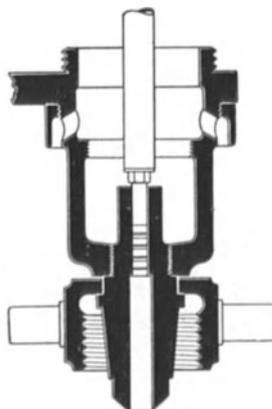


Abb. 120.

Kolben von der Kolbenstange los, dreht die im Kolben befindliche Schraube *w* zurück, legt die Kugel der doppelt gewundenen Kolbenfeder *a* (Abb. 121) in den am Kolben befindlichen Schlitz und schraubt die Kolbenstange auf dem Kolben wieder fest. Nun zieht man die Schraube *w* so lange an, bis die Feder *a* in dem Schlitz ohne toten

Gang sich mäßig schwer hin und her bewegen läßt. Den oberen Federkopf schraubt man dann auf den Gewindepapfen des Deckels x und setzt das Ganze wieder in den Indikator ein.

Soll die Papiertrommel abgenommen werden, um der Trommelfeder eine stärkere oder schwächere Spannung zu geben, so braucht man nur die obere Mutter zu lösen und kann dann die Trommel abziehen. Dann hebt man den oberen Federkopf über das an der Trommelachse befindliche Vierkant hinweg, gibt ihm eine viertel oder halbe Drehung nach rechts oder links und läßt ihn dann, ohne loszulassen, auf das Vierkant zurückgehen.

Der Schnurrollenträger ist um die Trommelachse drehbar und kann mittels der Flügelmutter in jeder Lage festgeschraubt werden.

Die Papiertrommeln werden je nach Wunsch mit oder ohne Anhaltvorrichtung, oder mit Einrichtung zur Aufnahme fortlaufender Diagramme ausgeführt.

Die Kolbenfedern sind, wie Abb. 121 zeigt, doppelt gewunden, besitzen oben einen vierflügeligen Federkopf und unten eine Kugel, mit welcher sie im Kolben gelagert sind. Einseitige Reibungen des Kolbens sind dadurch so gut wie ausgeschlossen.

Die Schäffer- und Budenbergschen Indikatoren mit außen liegender Feder (Kaltfederindikatoren). Bei diesen ist die Feder auf Zug beansprucht. Der in Abb. 122 und 123 dargestellte Indikator ist dadurch gekennzeichnet, daß der Schreibstifthebel durch eine Gelenkvorrichtung hindurchgeführt ist, wodurch sich die Masse dieser Vorrichtung auf beide Seiten des Schreibstifthebels verteilt und eine einseitige Schwingwirkung vermieden wird. Gleichzeitig ist damit auch der Vorteil erreicht, daß durch

Umsetzen des Schreibzeuges und der Papiertrommel das Instrument als Rechts- oder Linksindikator gebraucht werden kann.

Dieser Indikator, der nicht nur für Dampfmaschinen, sondern auch



Abb. 121.

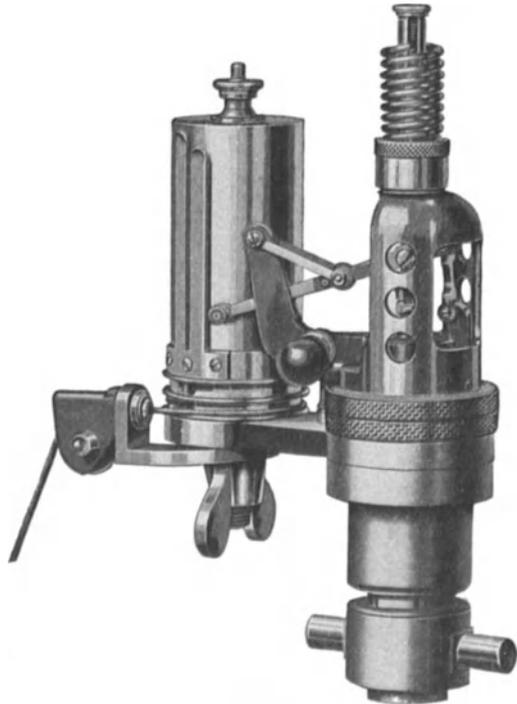


Abb. 122.

für Verbrennungskraftmaschinen geeignet ist, wird in vier verschiedenen Ausführungen geliefert:

	Trommel- durchmesser	Umdrehungen je Minute
Großmodell	50 mm	400
Normalmodell . . .	42 „	500
Kleinmodell 1 . . .	42 „	700
„ 2	30 „	1000

Abb. 123 gibt den Indikator mit Schnellverschluß wieder.

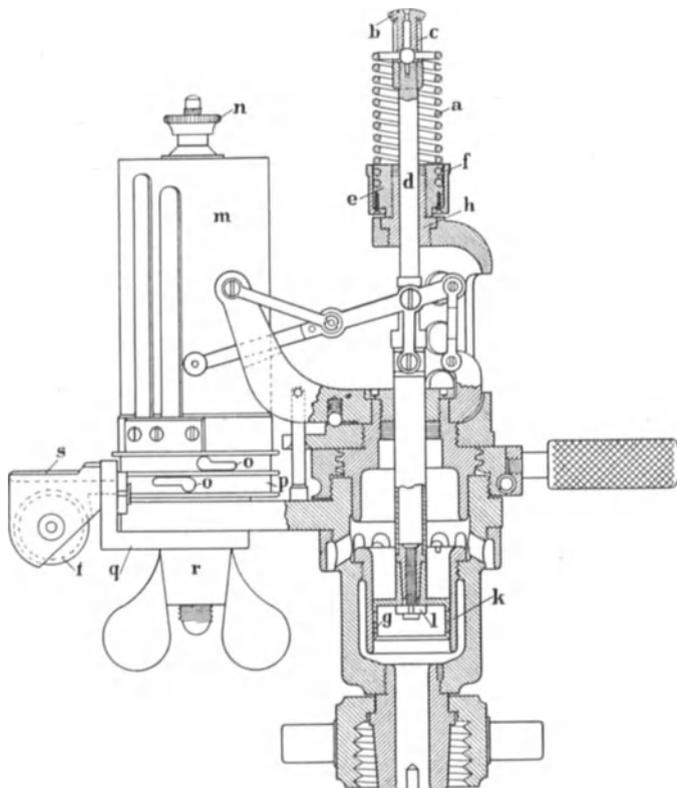


Abb. 123.

Bezüglich der für die vorkommenden Drucke zu verwendenden Kolbengrößen gilt bei beiden Indikatoren (Abb. 122 und 123) das schon auf Seite 214 Gesagte. Zu dem Indikator Abb. 123 gehört eine Feder von besonderer Konstruktion (Abb. 124). Es ist dies eine doppelt und enggewundene Feder, die mit ihrem Fuß durch eine Verschraubung und nicht durch Lötung verbunden ist. Die Austrittsenden der beiden Windungen sind im Fuß einander gegenüber angeordnet, so daß die Feder mit einem zur Drehachse senkrechten Querschnitt aus der Ver-

kranzsch Bauart durch Anwendung des unverkürzten Evans-Lenkers erreicht. Dies ist ein Ellipsenlenker, bei welchem aber die Ellipse in einen Kreis übergeht, sobald man den Gegenlenker G (Abb. 126) halb so lang ausführt wie den Schreibstifthebel H ; der Radius dieses Kreises = G . Die Punkte A , B und D (Abb. 126) liegen in allen Stellungen des Indikatorkolbens in einer Geraden. Konstruiert man (Abb. 126) für fünf verschiedene, gleichweit voneinander abstehende Kolbenstellungen die zugehörigen Schreibstiftstellungen 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , so findet man, daß diese auf einer Geraden liegen, die durch die Punkte 1 , 2 , 3 , 4 , 5 in fünf gleiche Teile geteilt wird.

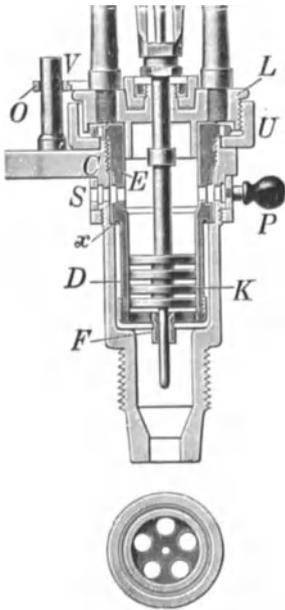


Abb. 127.

Die Geradföhrung des Schreibstiftes und die Proportionalität des Schreibstiftweges mit dem Wege des Indikatorkolbens sind unerläßliche Bedingungen für das Zustandekommen eines brauchbaren Diagrammes; sie sind auch das Kennzeichen für ein genau konstruiertes und ebenso ausgeführtes Schreibzeug. Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß die bei Indikatoren üblichen Geradföhrungen durch Hebelverbindungen ihrer Aufgabe nicht vollständig gerecht werden, indem erstens der Schreibstiftweg eine, allerdings wenig von der Geraden abweichende Kurve ist, die je nach der Güte der Konstruktion drei oder fünf Punkte mit der Geraden gemeinsam hat und daher eine drei- bzw. fünfpunktige Gerade genannt wird; und indem zweitens völlige Proportionalität nur in diesen gemeinsamen Punkten vorhanden ist.

Bei sämtlichen Rosekranzschenschen Indikatoren entspricht der Schreibstiftweg einer fünfpunktigen Geraden.

Das Schreibzeug ist drehbar auf dem Deckel R des Indikatorzylinders angeordnet und wird mit der Kolbenstange durch ein abschraubbares Kugelenk B (Abb. 126) verbunden.

Der Zylinder ist, wie die Abb. 127 zeigt, mit einem Dampfmantel ausgerüstet, der in einfacher Weise dadurch zustande kommt, daß in den Zylinder C ein Einsatz E eingeschraubt ist, der unten bei D einen Dampfmantel von solcher Länge bildet, daß der Indikatorkolben auch in seinen äußersten Stellungen sich innerhalb des Mantelbereiches befindet. Um dem Zylindereinsatz E ungehinderte Ausdehnung zu ermöglichen, liegt E auch in seinem oberen Teile nicht an C an, sondern ist gegen den Außenzylinder außer im oberen Gewinde nur in der Ringfläche bei x abgedichtet. Die Vorteile dieser Einrichtung sind verschiedener Art: Vor allem wird die Ausdehnung im Kolbenkörper K und im Einsatz eine so gleichmäßige, daß selbst bei hohen Dampftemperaturen ein Klemmen des Kolbens so gut wie aus-

geschlossen ist. Ferner kann der Einsatz E mit Hilfe des gerieften Randes N (Abb. 126) bequem herausgeschraubt, nachgesehen, gereinigt und wenn nötig, durch einen neuen ersetzt werden.

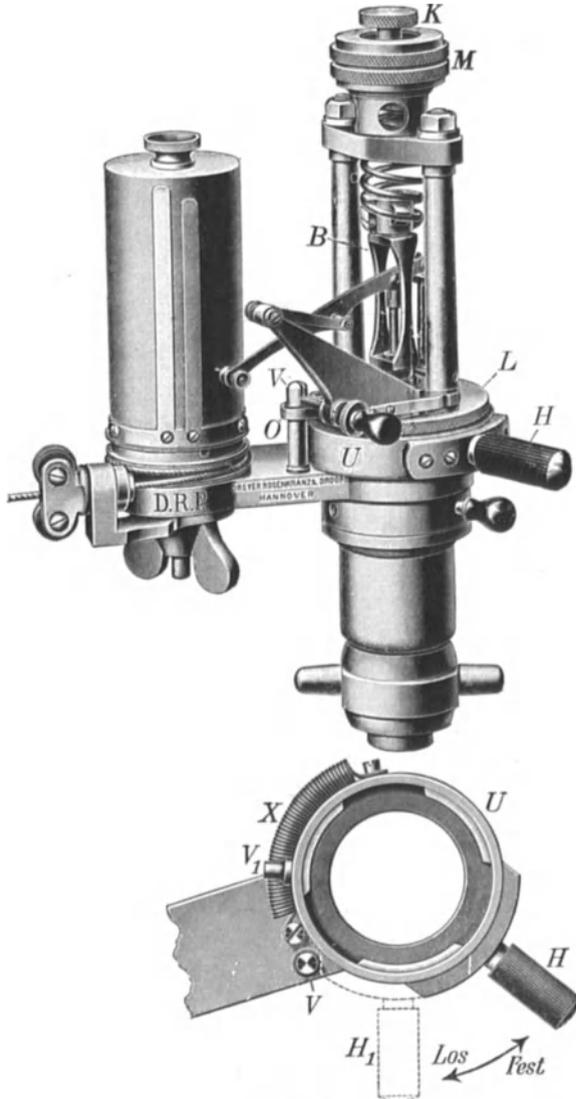


Abb. 128.

Soll der Kolben zur Schmierung oder Reinigung aus dem Zylinder genommen werden, so muß man den Deckel R (Abb. 126) heraus-schrauben, was etwas langwierig und in warmem Zustande auch lästig ist. Diesen Übelstand vermeidet der in neuerer Zeit bei allen Rosen-

kranzchen Indikatoren zur Anwendung kommende Momentverschluß (Abb. 125, 128, 129).

Der mittels des Griffes H (Abb. 128) drehbare Ring U (Abb. 127 und 128), der durch den oberen Rand des Zylindereinsatzes E festgehalten wird, besitzt Innengewinde, welches an drei Stellen des Umfanges unterbrochen ist. Das Gewinde des Deckels L ist in entsprechender Weise ebenfalls an drei Stellen des Umfanges ausgespart. Bringt man nun durch Drehen des Griffes H in die Stellung H_1 (siehe Grundriß Abb. 128) die Gewindeaussparungen des Ringes U mit den Gewindeteilen des Deckels L zusammen, so ist der Verschluß gelöst, und man kann den Deckel samt Kolben abnehmen, bzw. herausziehen.

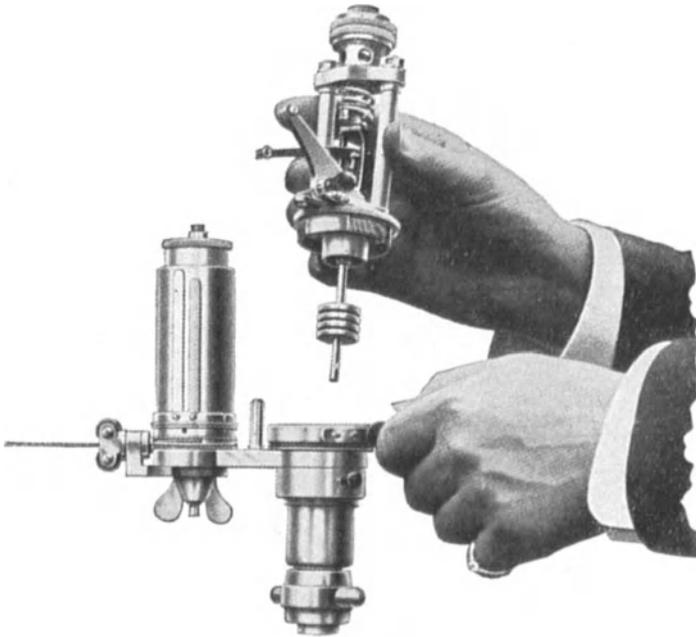


Abb. 129.

Beim Einsetzen von Kolben und Deckel bringt man den Griff H ebenfalls in die Stellung H_1 und führt Kolben nebst Deckel so ein, daß die Öse V des Deckels über den Stift O geführt werden kann. Läßt man den Griff los, so dreht sich dieser und damit auch der Ring U , durch die Kraft der Feder X betätigt, von selbst zurück, wodurch die Gewindeteile von U und L in Eingriff kommen, und der Verschluß in sicherer Weise erzielt ist.

Der Indikatorkolben K älterer Bauart (Abb. 130) ist ein mit Schmierrillen versehener Hohlkörper, der mit seiner Nabe auf das untere Ende der Kolbenstange geschraubt ist. Die Kolbenstange ist oben, wo sie durch den Deckel R geht, und unten im Kolben geführt.

Der Kolben neuerer Bauart (Abb. 127) ist ein sog. Lamellenkolben, der aus vier Scheiben von gleicher Stärke besteht und durch die durchgehende Kolbenstange sowohl oben im Deckel *L*, als auch unten im durchlochtem Boden *F* des Zylindereinsatzes *D* geführt ist. Dieser Kolben dient lediglich zur Abdichtung; die Kolbenreibung und damit die Abnutzung von Kolben und Zylinderwandung fallen dadurch sehr gering aus. Da die Lamellen eine Art Labyrinthdichtung bilden, ist die Abdichtung des Kolbens besonders gut.

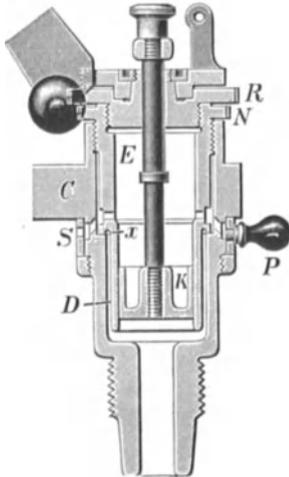


Abb. 130.

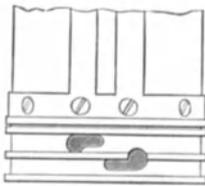


Abb. 132.

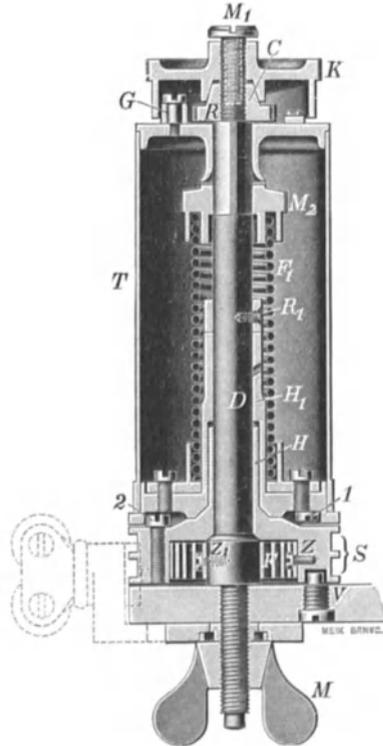


Abb. 131.

Schmutzteilchen, die sich bei der alten Bauart zwischen Kolben und Zylinderwandung festsetzten und die Kolbenreibung vermehrten, sondern sich bei der neuen Ausführung in den Räumen zwischen den Lamellen ab. Der Gang dieser Lamellenkolben ist besonders leicht und gleichmäßig.

Ein mittels des Knopfes *P* drehbarer Ringschieber *S* (Abb. 127) ermöglicht in jeder Lage des Indikators den Abfluß des Kondenswassers ohne Belästigung des Indizierenden.

Die stählernen Papiertrommeln werden ohne und mit Anhaltevorrichtung ausgeführt. In beiden Fällen erfolgt die Rückdrehung der Trommel durch eine Schraubenfeder. Die Trommel ohne Anhaltevorrichtung ist in Abb. 131 abgebildet. Der Unterteil jeder Trommel

besitzt zwei Schnurläufe S , in welche sich die zum Antriebe dienenden Schnüre einlegen.

Zum Einhängen der Schnur besitzen die Schnurrollen Schlitz, die in ein Rundloch (Abb. 132) auslaufen. Dadurch fällt es leicht, den Knoten der Schnur in den Schlitz einzuführen, ohne die Papiertrommel abzunehmen.



Abb. 133.

Ist ein Anspannen der Feder F nötig geworden, so wird nach Lösen des Kopfes M_1 die Trommel T abgezogen, die Mutter M_2 hochgehoben und so weit verdreht, bis die Feder die richtige Spannung hat; dann wird M_2 wieder auf das Vierkant der Trommelachse D gesetzt. V ist eine Anschlagsschraube. Die Flügelmutter M wird nur dann abgenommen, wenn der Indikator mit einem Hubverminderer verschraubt werden soll.

Die Trommel mit Anhaltevorrichtung ist in Abb. 133 dargestellt. Bei ihr ist die eigentliche Trommel T vom Schnurkranz S getrennt. Die Trommelspindel ist zweiteilig, die innere Spindel steht fest und trägt oben, außerhalb des Trommeldeckels, das lose aufgesetzte Sperrrädchen R mit Konus C . Der niederschraubbare Kopf K ist unten mit der gleichen Konizität ausgedreht. Wird nun K niedergeschraubt, so wird der Konus C festgeklemmt, und die Papiertrommel steht still. Wird aber K wieder hochgeschraubt, so nimmt die Trommel samt Sperrrädchen an der Drehung des Schnurkranzes teil.

Der Normalkolben hat 20 mm Durchmesser und ist für Drucke bis 20 kg/qcm anwendbar

Für höhere Drucke werden Riedlerkolben angewendet, und zwar für Drucke bis 80 kg/qcm

Kolben mit 10 mm Durchmesser und besonderem Zylindereinsatz D (Abb. 134),

für Drucke bis 200 kg/qcm

Kolben mit 6,3 mm Durchmesser und besonderem Einsatz F_1 (Abb. 135),

für Drucke bis 500 kg/qcm

Kolben mit 4 mm Durchmesser und besonderem Einsatz F_1 (Abb. 135).

Der Einsatzzylinder F , in welchem der Kolben K sich bewegt, und durch welchen auch ein Dampfmantel gebildet wird, ist in den unteren Teil G des Indikators eingeschraubt (Abb. 135).

Als Kolbenfedern kommen doppelt gewundene Schraubenfedern in

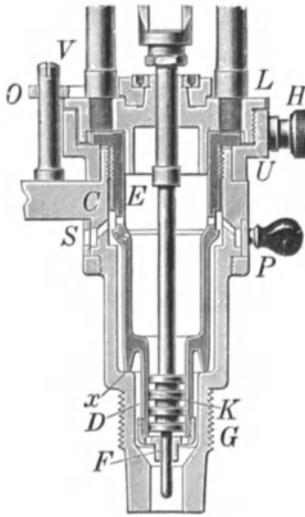


Abb. 134.

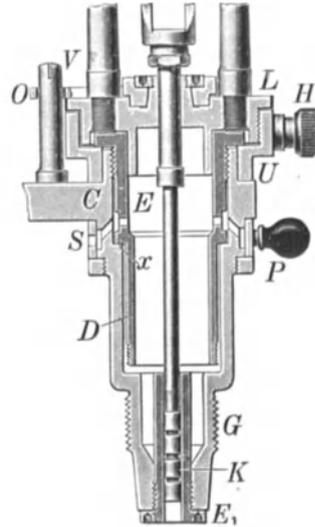


Abb. 135.



Abb. 136.

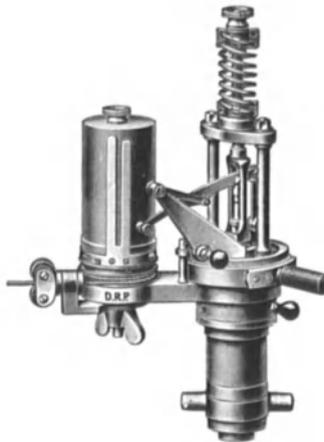


Abb. 137.

Anwendung (Abb. 136). Die Enden dieser Federn sind in sog. Feder-
muttern M und M_1 eingestemmt, die mit Gewinde versehen sind. Das
obere größere Gewinde (in M) wird an den Zapfen des Indikator-
Zylinderdeckels geschraubt, während die untere Mutter M_1 auf die
Kolbennabe aufgesetzt wird.

Die Federn sind sowohl für Überdruck, als auch für Vakuum verwendbar. Da der Federmaßstab für innenliegende Kolbenfedern unter Berücksichtigung des Wärmeeinflusses festgestellt ist, so lassen sich derartige Federn nicht ohne weiteres für kalten Druck benutzen; hierzu müssen vielmehr besonders geeichte Federn verwendet werden.

Der Indikator nach Rosenkranz mit außen liegender Feder. Dieser Indikator wird ausgeführt entweder so, daß die Feder auf Druck (Abb. 138), oder so, daß sie auf Zug (Abb. 139) beansprucht ist. In beiden Fällen gibt es wieder die schon eingangs angeführten drei Ausführungsgrößen.

Bei beiden Ausführungen (Abb. 138 und 139) ist der Federträger A durch zwei hohle Stahlsäulen F getragen.

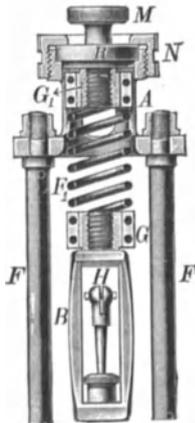


Abb. 138.

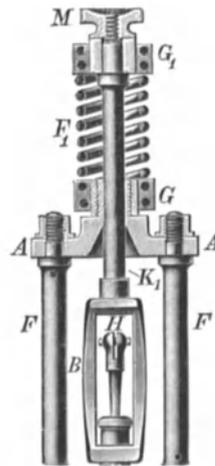


Abb. 139.

Zum Einsetzen einer neuen Feder wird zunächst die Druckmutter N (Abb. 138) abgeschraubt, der Kopf M herausgenommen und die Feder bei G_1 auf diesen Kopf geschraubt; dann führt man Kopf und Feder durch den Federträger A ein, schraubt das untere Ende der Feder bei G auf die gegabelte Kolbenstange B , dann setzt man die Druckmutter N ein und zieht sie fest an.

Bei der Anordnung nach Abb. 139 ist das Einsetzen einer neuen Feder noch einfacher. Nach Abnahme des Knopfes M wird die Feder F_1 mit ihrem Kopfe G auf den Federhalter A geschraubt. Setzt man M wieder auf das oberste Ende der durch die Feder gehenden Kolbenstange K_1 auf, so ist die Befestigung der Feder erledigt.

Der Rosenkranz-Indikator für schnellaufende Motoren. Dieser während des Krieges entstandene Indikator (Abb. 140) ist für die Verwendung an Verbrennungsmotoren, insbesondere an Flugzeugmotoren bestimmt und durch starke Verminderung der bewegten

Massen gekennzeichnet. Diese machen sich bei den hohen Umlaufzahlen solcher Motoren hauptsächlich in der Expansionskurve der Diagramme derartig ungünstig bemerkbar, daß eine Auswertung der Diagramme nicht mehr möglich ist.

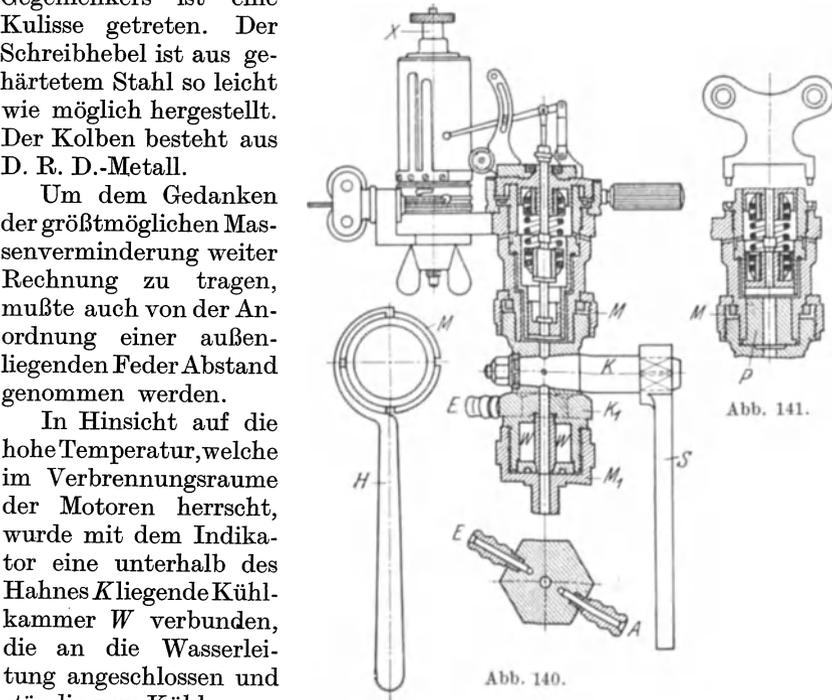
Die Masse der Papiertrommel ist auf das angängig kleinste Maß herabgemindert.

Das Schreibzeug des Indikators ist unter Zugrundelegung des Prinzips des unverkürzten Evanslenkers und Vermeidung von Gegenlenkern in die leichteste Ausführungsform gebracht. An die Stelle des Gegenlenkers ist eine Kulissee getreten. Der Schreibhebel ist aus gehärtetem Stahl so leicht wie möglich hergestellt. Der Kolben besteht aus D. R. D.-Metall.

Um dem Gedanken der größtmöglichen Massenverminderung weiter Rechnung zu tragen, mußte auch von der Anordnung einer außenliegenden Feder Abstand genommen werden.

In Hinsicht auf die hohe Temperatur, welche im Verbrennungsraume der Motoren herrscht, wurde mit dem Indikator eine unterhalb des Hahnes *K* liegende Kühlkammer *W* verbunden, die an die Wasserleitung angeschlossen und ständig vom Kühlwasser durchflossen ist (*E* = Wassereintritt, *A* = Wasseraustritt), so daß die Verbrennungsgase mit nicht übermäßig hoher Temperatur unter den Indikator Kolben treten.

Bei den hohen Umdrehungszahlen der in Betracht kommenden Motoren ist ein Aushaken der Antriebsschnur zum Auswechseln des Diagrammblattes unmöglich. Bei den üblichen Papiertrommel-Anhaltvorrichtungen (vgl. Abb. 133) erfolgt leicht ein Reißen der Schnur. Deshalb ist die Trommel des Indikators derart ausgeführt, daß sie während des Betriebes leicht abgezogen und wieder aufgesteckt werden kann. Durch Linksdrehung des Knopfes *X* wird die Trommel allmählich nach oben gezogen und kann leicht abgenommen und mit einem neuen Papierstreifen versehen werden. Die Trommel wird dann wieder aufgesteckt und durch Rechtsdrehung des Knopfes *X* in betriebs-



fertigen Zustand gebracht. Das Abheben und Wiederaufstecken erfolgt ohne Stoß; die Schnur zur Maschine bleibt dauernd straff und in Bewegung.

Der Abschluß des Indikatorzylinders erfolgt durch den sog. Momentverschluß, der schon Seite 220 beschrieben ist.

Die Überwurfmutter M , sowie das Anschlußstück M_1 werden mittels des Schlüssels H angezogen.

Der Indikator wird mit zwei Kolbengrößen ausgerüstet, nämlich mit 20 mm und 14,1 mm Durchmesser. Zu ersterem gehört eine Feder für 30 kg/qcm und eine solche für 20 kg/qcm.

Da der Kolben mit 14,1 mm Durchmesser den halben Querschnitt des 20-mm-Kolbens hat, so kann bei Anwendung des ersteren der Indikator mit den angegebenen Federn auch für 60 bzw. 40 kg/qcm Druck benutzt werden.

Beim Arbeiten mit dem 20-mm-Kolben muß das Paßstück P (Abb. 141) eingesetzt werden, um den toten Raum zu beschränken.

Der Indikator ist bis zu 2000 Umdrehungen je Minute verwendbar.

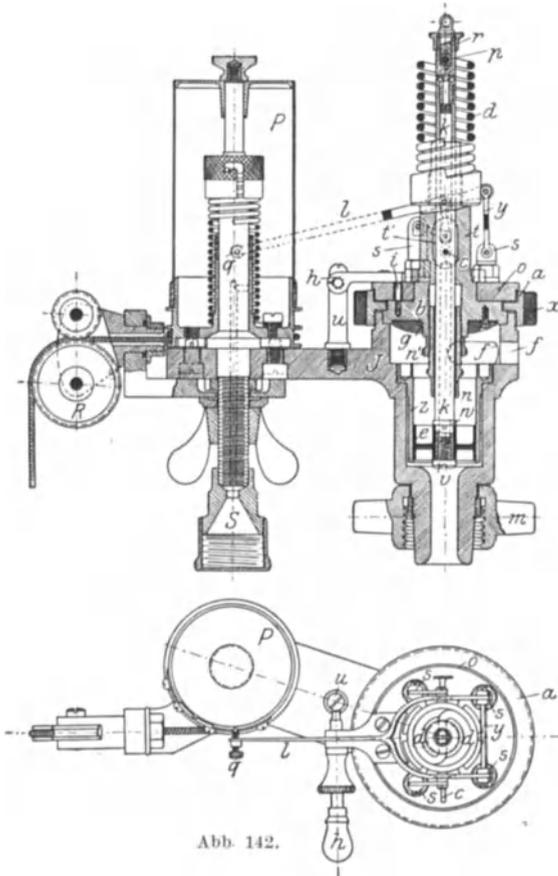


Abb. 142.

Der Maihak-Indikator. Dies ist ebenfalls ein Indikator mit außen, also kühl liegender Feder (Abb. 142), und zwar ist die Feder auf Zug beansprucht. Er wird

in drei verschiedenen Größen ausgeführt, nämlich:

Größe I für Maschinen bis rd. 250 Umdrehungen je Minute.

Größte Diagrammhöhe . . . 70 mm | Größte Diagrammlänge . . . 125 mm
Trommeldurchmesser . . . 50 mm

Dieser Indikator ergibt ein großes Diagramm und ist geeignet zur Indizierung von Dampfmaschinen mit gesättigtem und überhitztem Dampf; ferner auch für Pumpen, Kompressoren und Kältemaschinen.

Größe II für Maschinen bis rd. 500 Umdrehungen je Minute.
 Größte Diagrammhöhe . . . 50 mm | Größte Diagrammlänge . . . 90 mm
 Trommeldurchmesser . . . 40 mm

Dieses Instrument empfiehlt sich zur Verwendung bei schnelllaufenden Dampfmaschinen und bei Verbrennungsmaschinen, insbesondere auch bei Dieselmotoren.

Größe III für Maschinen bis rd. 1500 Umdrehungen je Minute.
 Größte Diagrammhöhe . . . 35 mm | Größte Diagrammlänge . . . 70 mm
 Trommeldurchmesser . . . 30 mm

Diese Ausführung eignet sich für alle Schnellläufer.

Die Abb. 142 zeigt den Indikator im Schnitt und im Grundriß. Als besonders kennzeichnendes Merkmal ist hervorzuheben, daß beim Maihak-Indikator das Schreibgestänge den Federträger umgibt, während bei verschiedenen anderen Indikatoren mit außenliegender Feder die umgekehrte Anordnung zu finden ist.

Die doppelgängige, aus einem Draht gewundene Crosby-Feder trägt an ihrem oberen Ende, welches die größte Bewegung macht, eine kleine Kugel, und diese legt sich zentrisch in den geschlitzten oberen Drehkopf p der Kolbenstange. Durch das Schraubchen r wird die Kugelgelenkverbindung zwischen Feder und Kolbenstange geschlossen. Infolge dieser Federbefestigung ist eine zentrale Druckaufnahme gesichert. Der Federträger t ist mit dem Indikatordeckel b aus einem Stück hergestellt; er enthält zwei gegenüberliegende Öffnungen t' , durch welche ein Teil der Kolbenstange k freigelegt ist. An dieser Stelle wird mittels eines Querstiftes c das den Federträger t gegabelt umgreifende Schreibstänge yl lösbar mit der Kolbenstange gekuppelt.

Wenn der Querstift c gelöst, die Feder d und das Schraubchen r abgenommen sind, kann die Kolbenstange zum Zwecke der Reinigung nach unten herausgezogen werden.

Das Schreibgestänge hat die Grundform des Crosby-Schreibzeuges mit einer Übersetzung von 1 : 6. Die drei Punkte $s c q$ liegen in einer Geraden. Die Gabelung des Schreibhebels l bedingt eine doppelte Lenkeranordnung, wodurch das Gestänge aber eine größere Widerstandsfähigkeit gegen seitliche Drücke erhält. Vier kurze Stahlsäulchen s tragen das Schreibzeug. Diese Säulchen sind in der gut geführten Drehscheibe O befestigt, welche durch die Griffschraube h bewegt wird. In einem Schlitz dieser Drehscheibe befindet sich der im Indikatordeckel b befestigte Stift i , der einen genügend großen Ausschlag von O und damit des Schreibzeuges gestattet.

Der Zylinderdeckel b , der unten mit einer Wärmeschutzplatte g versehen ist, wird mittels der Überwurfmutter a am Indikatorkörper befestigt. Der Rand der Überwurfmutter a ist durch einen Hartgummiüberzug gut wärmeisoliert. Solange a nicht fest angezogen ist, kann das Schreibgestänge im Kreise herumgedreht werden, wodurch der Indikator für den Rechts- und Linksgebrauch geeignet ist.

Der Indikatorkörper J hat zwei längliche Fenster f , durch welche jeder Druckbildung über dem Kolben vorgebeugt ist. Auch kann durch

diese Öffnungen Öl zur Kolbenschmierung in den Zylinder eingeführt werden. Der Laufzylinder z ist in den Indikatorkörper J eingeschraubt.

Der glasharte Kolben e ist aus einem Stück Stahl sehr dünnwandig hergestellt und mit drei Schmierrillen versehen. Seine Nabe ist auf das schwach konische Kolbenstangenende aufgeschliffen und durch die Schraube v lösbar befestigt. Die Nase w sichert die Arbeitslage des Kolbens, während der Anschlag n seinen Hub begrenzt. Dieser

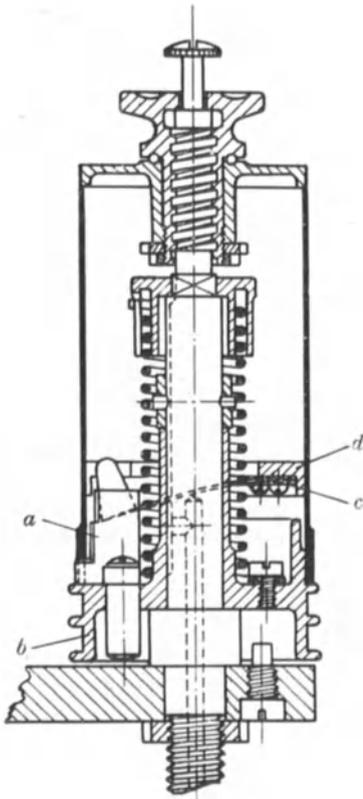


Abb. 143.

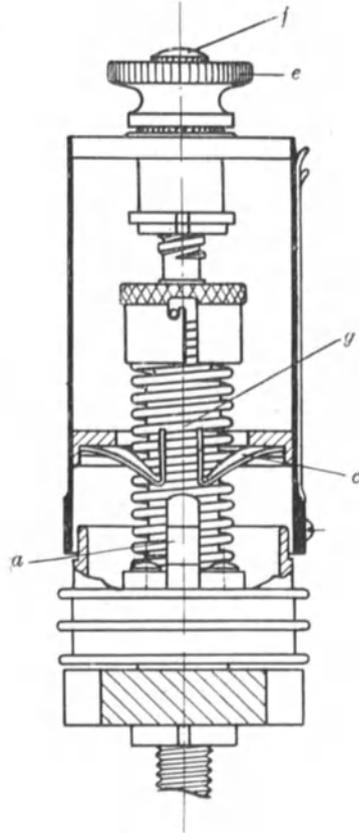


Abb. 144.

Anschlag ist mit dem Deckel b verbunden, kann verstellt und durch die Gegenmutter n' gesichert werden.

Die Überwurfmutter m dient zur Verbindung des Indikators mit dem Indikatorhahn.

Zur möglichen Schonung der Indikatorscheur ist die untere Führungsrolle R mit großem Durchmesser ausgeführt.

Die Laufstellen der Papiertrommel P können von einer Staufferbuchse S aus geschmiert werden. Die in Abb. 142 dargestellte Papiertrommel ist nicht anhaltbar. Sie wird aber auch mit Anhaltevorrich-

tung ausgeführt und hat dann die in Abb. 143 und 144 dargestellte Einrichtung.

Zu diesem Zweck ist eine federnde, während des Betriebes ein- und ausrückbare Kupplung eingebaut. Die eine Hälfte *a* (Abb. 143 links) dieser Kupplung wird von der Schnurscheibe *b* festgehalten und die andere Hälfte *c* auf einer in den Papierzylinder eingesetzten Scheibe *d* festgeschraubt. Der Papierzylinder ist oben auf einer Hülse befestigt und kann mit dieser durch Drehen am Knopfe *e* heraus- und heruntergeschraubt werden. In der oberen Stellung (Abb. 144) steht der Papierzylinder nicht in Verbindung mit der Schnurscheibe, er steht dann also still, wenn der Trommelboden sich dreht. Beim Herunterschrauben des Papierzylinders kommt die federnde Kupplung *c* in Eingriff, wodurch der Papierzylinder die Bewegung der Schnurscheibe mitmacht. Durch weiteres Herunterschrauben wird dann der Papierzylinder starr mit der Schnurscheibe gekuppelt, so daß im Betriebe die federnde Kupplung entlastet ist. Nach Abschrauben der Begrenzungsschraube *f* kann der Papierzylinder am Knopf *e* abgeschraubt werden, wodurch die Trommelfeder freigelegt wird.

Zwei in neuerer Zeit durchgeführte Verbesserungen des Maihak-Indikators sind der Schnellverschluß und die Kolben-schmiervorrichtung.

Ersterer ist in den Abb. 145 bis 147 dargestellt. Er hat den Zweck, eine möglichst rasche Verbindung des Indikatoroberteils *b* mit dem Unterteil *J* zu ermöglichen. Eine geringe Drehung der stets mit dem Unterteil *J* in Verbindung bleibenden Überwurfmutter *1* bewirkt diese Verbindung. Der Boden *2* dieser Überwurfmutter ist mit Aussparungen *3* versehen, in welche beim Einsetzen des Oberteils *b* entsprechende Vorsprünge *4* passen. Die Höhe dieser Vorsprünge entspricht nahezu der Höhe des Abstandes des Bodens *2* der Überwurfmutter *1* von der Sitzfläche *5* des Oberteils, so daß die stehenbleibenden Vorsprünge des Bodens *2* der Überwurfmutter *1* eben noch über die Vorsprünge *4* des Oberteils *b* hinweggehen können. Das Oberteil wird durch einen Zapfen *6* (Abb. 145), der in eine entsprechende Aussparung des Unterteils eingreift, gegen Drehung gesichert. Das Anziehen der Überwurfmutter *1* wird durch eine Zugfeder *8* bewirkt, die einerseits am Unterteil *J*, andererseits an der Überwurfmutter *1* befestigt ist (Abb. 146). Durch diese Feder ist ein

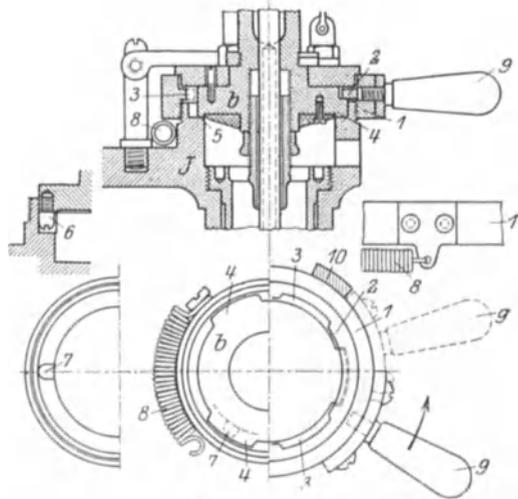


Abb. 145—147.

selbsttätiges Lösen des Verschlusses gesichert. Zum Zwecke des Herausnehmens des Oberteils wird die Überwurfmutter *1* unter gleichzeitiger Spannung der Feder *8* an dem Handgriffe *9* um etwa 60° gedreht, wodurch die Aussparungen im Boden *2* der Überwurfmutter mit den Vorsprüngen des Oberteils zur Deckung gebracht werden.

Die Kolbenschiervorrichtung besteht in einer Öldruck-schmierbüchse *B* (Abb. 148), die mittels des Konus *C* und der Überwurfmutter *M* an den durchbohrten Stützen *A* angeschlossen ist. Letzterer ist in den Federträger *t* eingeschraubt und steht mit einem Kanal in Verbindung, der in dem Raume *D* ausmündet.

Wird die Mutter *N* auf dem Deckel der Schmierbüchse *B* um weniges niedergeschraubt, so wird das Öl aus *B* auf dem durch die Pfeile angegebenen Wege in den Raum *D* gepreßt, von dem aus es in die hohle Kolbenstange *k* eintritt, um so in den Kolben *e* und durch denselben an dessen Lauf-fläche zu gelangen.

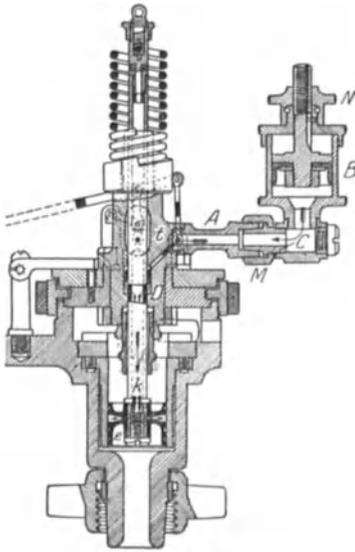


Abb. 148.

Der Maihak-Indikator für schnell-laufende Maschinen (Automobil- und Flugzeugmotoren). Abb. 149 zeigt einen Schnitt durch den Indikator mit dem zugehörigen Grundriß. In das linke Ende des Trägers *1* ist mittels einer Überwurfmutter eine Stabfeder *20* konisch eingespannt. Diese Stabfeder ist als Körper gleicher Festigkeit, also geringster Masse, mit rundem oder sonstwie geeignetem Querschnitt ausgebildet und endet rechts in eine kleine Kugel. Die Kugel paßt genau in eine horizontale Bohrung der mit dem Kolben aus einem Stück hergestellten hohlen Kolbenstange, die gegen den Druck-

raum unten durch eine Platte verschlossen ist. Der Kolben bewegt sich in einem leicht auswechselbaren Einsatzzylinder *16*, und die Kolbenstange wird im Schreibzeugträger *17* auf ihrer ganzen Länge geführt. Diese Führung nimmt den Seitendruck des Kupplungsbolzens zwischen dem senkrechten Schreibzeuglenker und der Kolbenstange auf. Zwischen dem Kupplungsbolzen und der Kugel der Stabfeder ist zur Massensparnis ein Loch in die Kolbenstange gebohrt. Der Elektron-Schreibhebel ist mit Übersetzung $1 : 8$ ebenfalls als Körper gleicher Festigkeit ausgeführt. Der Schreibstift besteht aus Aluminium mit Silberspitze; er ist so eingestellt, daß sein Schwerpunkt in die vertikale Schwerpunktebene des Schreibhebels fällt, damit Schwingungen senkrecht zu dieser Ebene vermieden werden. Oberhalb des Kolbens ist am unteren Ende des Schreibzeugträgers eine federnde Stahlblechscheibe befestigt, die bei Entnahme von Schwachfederdiagrammen die obere Hub-

begrenzung des Kolbens bildet. Der Schreibzeugträger *17* ist mittels der Griffschraube *7* um die Kolbenachse schwenkbar angeordnet, damit der Schreibstift ein- und ausgerückt werden kann. Der Druck des Schreibstiftes gegen das Diagrammblatt wird durch Einstellung der Griffschraube *7* in Halter *10* eingestellt. Eine Feder *12* verhindert, daß der Schreibhebel durch Erschütterungen sich selbsttätig einrückt. Die

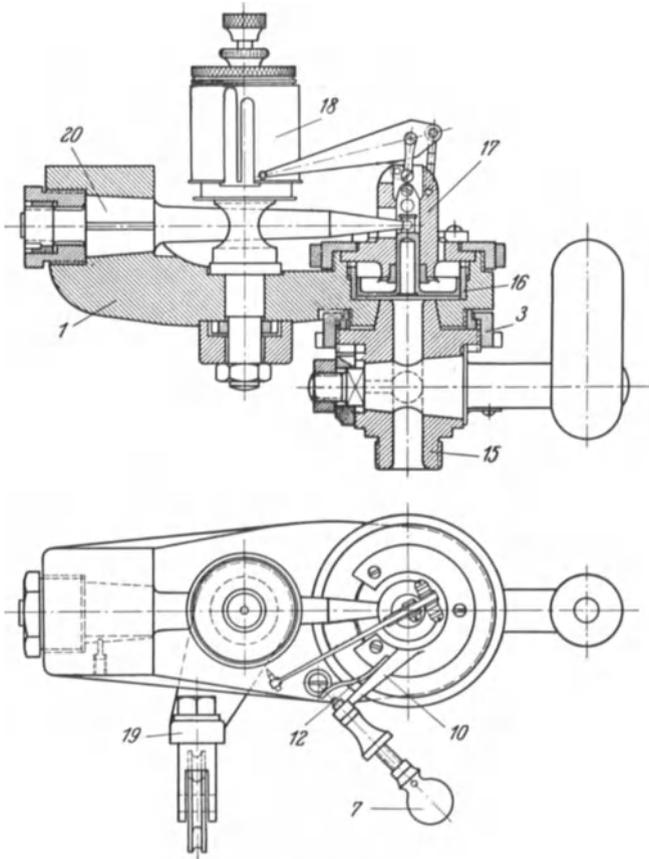


Abb. 149.

Elektron-Schreibtrommel *18* ist im Durchmesser möglichst groß gehalten, damit die Diagramme, die durch die verhältnismäßig kleine Höhe von maximal 26 mm an sich weniger deutlich ausfallen würden, diesen Nachteil durch große Länge ausgleichen. Die Trommelachse ist mittels einer Ringmutter auf dem Träger *1* befestigt. Auf diese Achse ist der Schnurrollenhalter *19* leicht verstellbar geschraubt. Der Indikator wird mittels der am Halter *1* leicht drehbaren Anschlußmutter *3* und eines Konusses auf dem Absperrhahn *15* befestigt. Die Hahnbohrung hat 8 mm Durchmesser und ist möglichst kurz gehalten,

damit keine Schwingungen in ihr auftreten. Der Hahn soll mittels des unteren Zündkerzengewindes 18 mm Durchmesser, 1,5 Steigung, unmittelbar ohne verlängernde Zwischenstücke auf dem Maschinenzylinder befestigt werden. Das Hahnküken ist mit einer axial eingefrästen Längsnut versehen. Diese bewirkt, daß die beim Öffnen des Hahnes entstehenden Explosionsstöße in die Atmosphäre geleitet werden und nicht das Schreibzeug treffen.

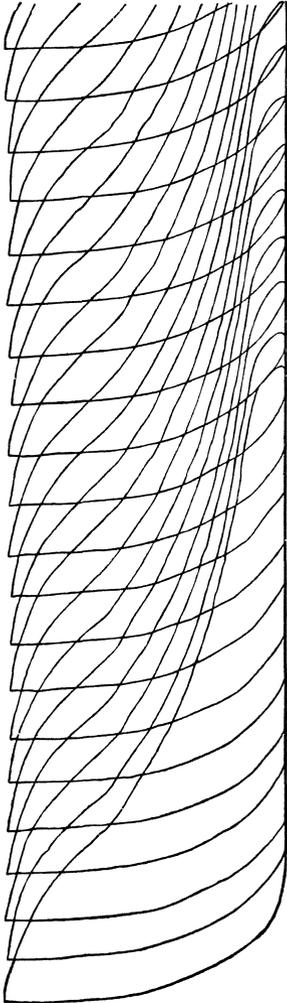


Abb. 150.

2. Indikatoren für Wanderdiagramme.

Für viele Fälle in der Praxis reicht der Indikator für Einzel-Kolbenweg-Diagramme nicht mehr aus. So wird man bei Dauerversuchen, wo es sich darum handelt, eine ununterbrochene Folge von Diagrammen zu erhalten, zu den Indikatoren für fortlaufend geschlossene oder fortlaufend offene Kolbenweg-Diagramme greifen. In besonderen Fällen versagen aber die Kolbenweg-Diagramme überhaupt, und erweisen sich Zeit- und Kurbelweg-Diagramme als zweckmäßiger. Kolbenweg-Diagramme sind besonders geeignet, wenn es sich in der Hauptsache um die Ermittlung der indizierten Leistung handelt, da hierzu nur eine einfache Flächenausmessung erforderlich ist; sobald es aber weniger darauf ankommt, lediglich Arbeitswerte zu bestimmen, sondern über Vorgänge in den Maschinen Aufschluß zu erhalten, sind Kurbelweg- und Zeit-Diagramme in bezug auf Klarheit und Übersichtlichkeit der Angaben besonders in der Nähe der Totpunktlagen überlegen. Ein Auswerten dieser Diagramme ist jedoch, wenn auch in weniger bequemer Form, gleichfalls möglich. Im Gegensatz zu den Einzeldiagrammen wählte Rosenkranz

als Sammelnamen für die eben genannten verschiedenen Arten von Diagrammen das Wort „Wanderdiagramme“.

Indikatoren für fortlaufend geschlossene Kolbenweg-Diagramme, Bauart Rosenkranz. Dieser Indikator schreibt auf einem mehrere Meter langen Papierband eine große Anzahl nebeneinanderliegender geschlossener Diagramme (Abb. 150), indem sich während des Schreibens

der Ausströmlinie das Papierband um eine Teilung verschiebt. Die zugehörige Trommel, die auch auf Indikatoren gewöhnlicher Bauart paßt, ist in Abb. 151 dargestellt.

Schnitt I÷II zeigt die Einbringung und Abwicklung des Papierbandes. *a* ist die Vorratspapierertrommel. Von hier geht der Papierstreifen, wie gezeichnet, über Leitrolle 2 und unter Spannrolle 1 um den Trommelumfang und wird um Leitrolle 3 in den Schlitz *Z* der Aufwickelwalze *b* geführt, um die er sich bei Drehung derselben aufwickelt. Um die nötige Spannung des Papierbandes zu erhalten, ist die federnde Spannrolle 1 angeordnet, die an dem Hebelarm *A* befestigt ist und bei *D* ihren Drehpunkt hat. Während des Einbringens des Papiers

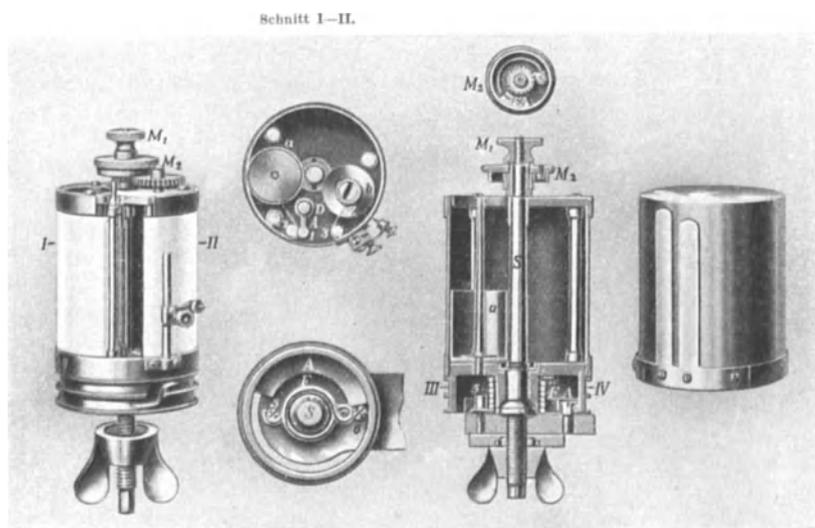


Abb. 151

muß man dieselbe etwas abfedern, indem man den vorstehenden kleinen Griff *I* seitlich drückt. Der Vorschub des Papierstreifens erfolgt beim Rücklauf der Trommel.

Die Trommeln können auch zeitweise für Einzeldiagramme benutzt werden. Die Handhabung, um das eine oder andere zu erzielen, ist folgende: Dreht man die Mutter M_1 links, so daß sie fest auf M_2 aufliegt, so wird mittels des im Grundriß M_2 sichtbaren Gesperres die Kupplung mit dem Rädchen oberhalb der Aufwickelwalze bewirkt, und man erzielt fortlaufende Diagramme. Dreht man Mutter M_1 rechts, so schwingt die Papiertrommel, ohne das Papierband weiterzuziehen, und man kann vorübergehend ein Einzeldiagramm entnehmen.

Der Indikator nach Abb. 152 liefert gleichfalls fortlaufend geschlossene Kolbenweg-Diagramme, die jedoch senkrecht übereinander gelagert sind. Die Papiertrommel erfährt eine hin und her gehende Bewegung, wobei die Trommel bei jedem Hub ein gewisses Stück

senkrecht in die Höhe steigt. Der Vorteil liegt darin, daß man den gesamten Diagrammzug ständig vor Augen hat. Je nachdem man den Papiertrommeldurchmesser mehr oder weniger ausnutzt, d. h. längere oder kürzere Diagramme nimmt, wird die Entfernung der Diagramme unter sich kleiner oder größer. Eine Diagrammschar ist in Abb. 153 dargestellt. Je nach Diagrammlänge lassen sich mit die-

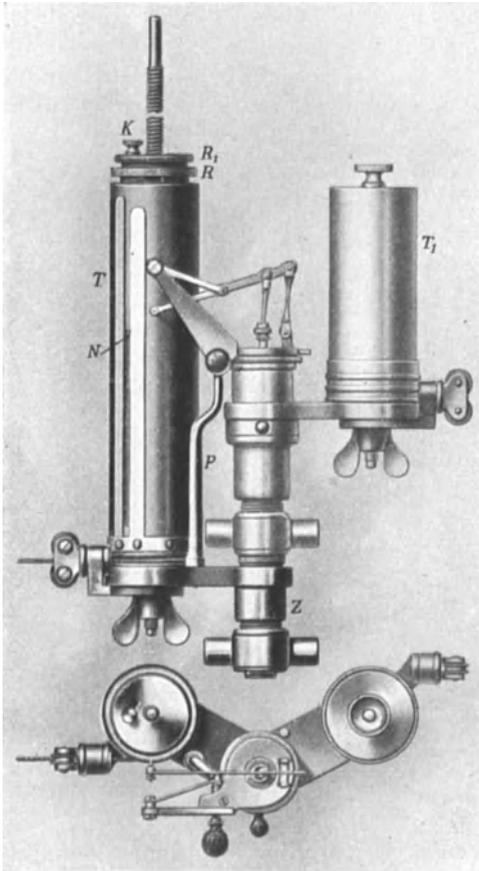


Abb. 152.

sem Indikator 50 ÷ 90 Diagramme aufnehmen. Der Abstand der einzelnen Diagramme voneinander beträgt bei größter Diagrammlänge 2,5 mm. Jedoch läßt sich die Spindel der Papiertrommel mit stärkerem Gewinde ausrüsten, so daß ein Abstand bis 7 mm erzielt wird. Die Anzahl der Diagramme vermindert sich dann dementsprechend. Um die Trommel zum Steigen zu bringen, dreht man die Scheibe *R* sowie den Knopf *K* nach rechts, wodurch das innerhalb angebrachte Gesperre betätigt wird. Bei Linksdrehung schwingt die Trommel, ohne zu steigen; man ist dadurch in den Stand gesetzt, auch Einzeldiagramme nehmen zu können. Um die Papiertrommel nach Erreichung der höchsten Lage wieder herunterzustellen, dreht man die Scheibe *R* nach links und schraubt durch Rechtsdrehung der Scheibe *R*₁ die Trommel in ihre Anfangsstellung zurück. Die

Papiertrommel läßt sich mittels des Zwischenstückes *Z* an jedem normalen Rosenkranz-Indikator anbringen.

Indikatoren für fortlaufend offene Zeit- und Kurbelwegdiagramme, Bauart Rosenkranz. Diese Indikatoren werden angewandt, wenn es sich darum handelt, Aufschlüsse über Vorgänge zu erhalten, die sich in der Nähe der Totpunktlage einer Maschine abspielen. Diese Vorgänge lassen sich wegen der starken Verminderung der Kolben-

geschwindigkeit und somit auch der Papiertrommelgeschwindigkeit im Kolbenwegdiagramm nur unvollkommen darstellen. Im Gegensatz zum letzteren bildet in Zeit- und Kurbelwegdiagrammen die Zeit die Abszisse, d. h. das Papierband schreitet stetig fort, und man erhält offene Diagramme. Treibt man die Papiertrommel mit einem Elektromotor an, dann ist die Papiergeschwindigkeit konstant, und es entstehen reine Zeitdiagramme. Erfolgt dagegen der Antrieb von der Kurbelwelle aus, dann ist die Papiergeschwindigkeit proportional der Wellengeschwindigkeit, und man erhält ein reines Kurbelwegdiagramm. Vernachlässigt man den Einfluß des

Ungleichförmigkeitsgrades der Kurbelwelle, dann kann man letzteres Diagramm auch als Zeitdiagramm auffassen. Die Totlagen werden durch ein besonderes Markenschreibzeug eingezeichnet.

Die äußere Form des Indikators ist in Abb. 154 wiedergegeben. Der Antrieb der Papiertrommel T_1 , deren Durchmesser 80 mm beträgt, erfolgt mittels endloser Schnur von der Kurbelwelle oder einem Elektromotor aus. Die Trommel macht infolgedessen eine

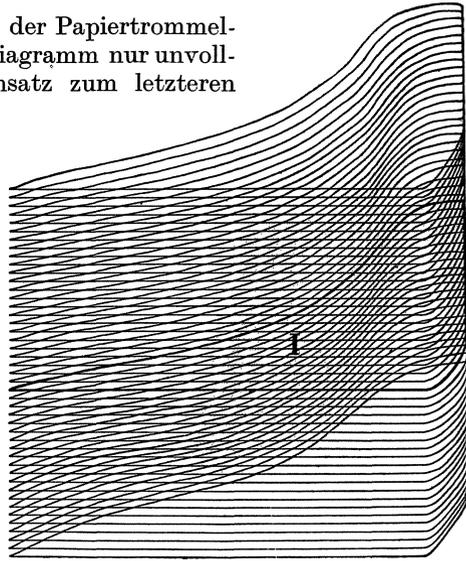


Abb. 153.

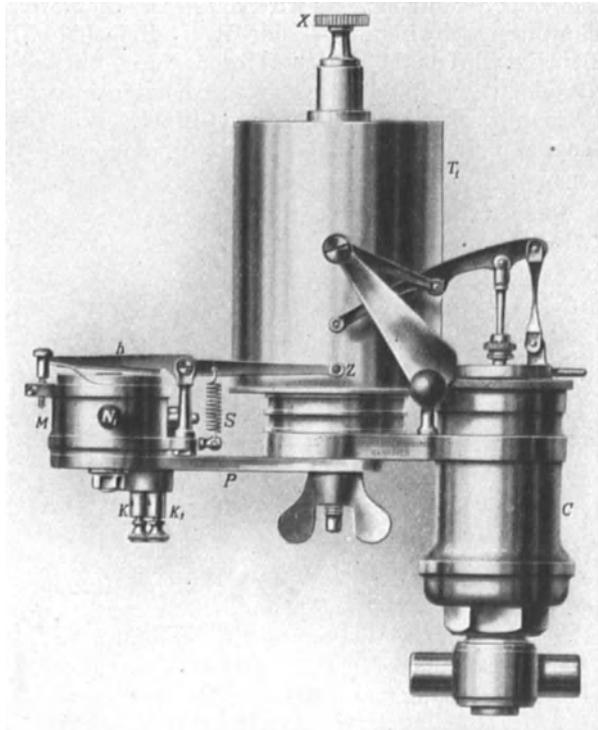


Abb. 154.

umlaufende Bewegung. Der Indikatorzylinder besitzt 2 Bohrungen von 40 und 20 mm Durchmesser, so daß dementsprechende Kolben für geringe (unter 1 at) und höhere Drücke (bis 20 at.) verwandt werden können. Die Papiertrommel läßt sich gegen eine solche für Kolbenwegdiagramme auswechseln.

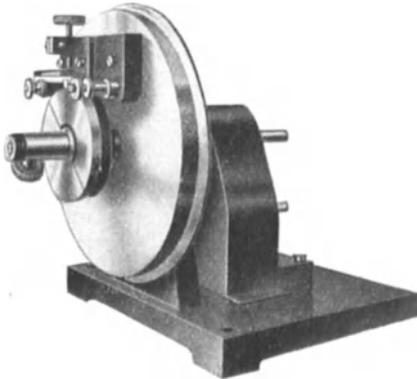


Abb. 155.

Zum Aufzeichnen der Totpunkt-lagen (oder gewisser charakteristischer Ventilstellungen u. a. m.) dient das Markenschreibzeug *M*, welches in verschiedenen Ausführungen geliefert wird. Als besonders praktisch hat sich das Markenschreibzeug mit schwingendem Hebel nach Prof. A. Wagner erwiesen (Abb. 155). Dasselbe besteht aus dem Elektromagneten und dem als doppelarmige Schwinge ausgebildeten Anker, der den Schreibstift trägt. Der Schreib-

hebel ist mit seinem Fuß durch eine Blattfeder verbunden und wird durch den Ausschlag des von dem Magneten angezogenen Ankers zum Schwingen gebracht. Es wird dann im Diagramm das Bild einer gedämpften Schwingung — eine Wellenlinie (Abb. 156) — eingezeichnet. Betätigt wird das Markenschreibzeug durch einen Stromsender (Abb. 157), die einen der Spule des Glockenmagneten in sich enthaltenden Stromkreis abwechselnd schließt und öffnet. Wird nun die Erregung des Magneten im Totpunkt der Maschine bewirkt, so ist im Diagramm

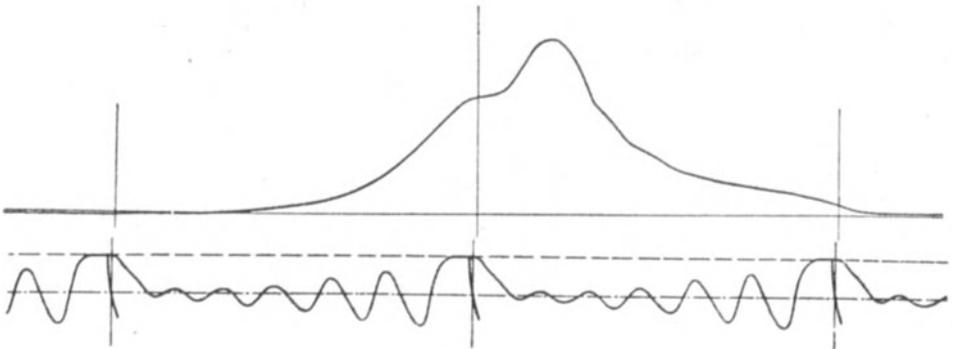


Abb. 156.

nicht nur die Lage des Totpunktes festgelegt, es läßt sich auch gleichzeitig die Geschwindigkeit der Schreibflächenbewegung und somit die Drehzahl der Maschine daraus ersehen. Die Wellenlinie stellt somit eine Vereinigung von Ort- und Zeitmarken dar.

Der Gedanke der fortlaufend offenen Diagramme läßt sich auch auf Kolbenwegdiagramme anwenden. Diese sind dann am Platze,

wenn die fortlaufend geschriebenen Diagramme unter sich so verschieden sind, daß sie fast unentwirrbare Linienzüge ergeben (Walzenzugmaschinen, Fördermaschinen usw.). Auch für diesen Fall liefert Rose n-kranz einen Indikator, der die einzelnen Hin- und Hergänge nebeneinander aufzeichnet, bei denen aber wie beim gewöhnlichen Indikator, die Geschwindigkeit der Papiertrommel proportional der Kolbengeschwindigkeit ist.

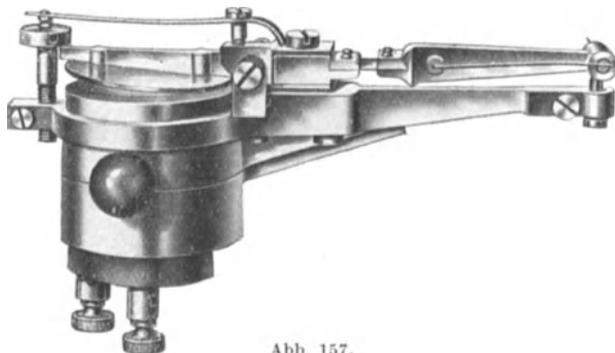


Abb. 157.

Indikator für fortlaufend geschlossene Kolbenwegdiagramme, Bauart Maihak. Die zugehörige Papiertrommel ist in Verbindung mit einem gewöhnlichen Indikator in Abb. 158, der Mechanismus der Auf- und Abwicklung des Papierstreifens in Abb. 159 dargestellt.

Der aufgerollte Papierstreifen wird in das Rohr o auf den Stift s geschoben. Das freie, durch den Schlitz r geführte Ende des Papiers erfaßt man mit der beigegebenen Pinzette und zieht es heraus. Das Papier wird dann zwischen den Leitwalzen 1 und 2 hindurch um den Papierzylinder gelegt und zwischen den Walzen 3 und 4 hindurch in den Schlitz der Achse 5 gesteckt. Achse 5 trägt oben das Zahnrad z , das mit dem auf einem Ansatz des Trommeldeckels lose drehbaren Zahnrade z_1 im Eingriff steht. Mit z_1 ist eine Sperrkrone verbunden, in welche die Sperrklinke b federnd eingreift. Eine zweite Sperrklinke n greift in die Zähne von z_1 .

Zunächst seien b und n ausgerückt. Dreht man nun Achse 5 (Abb. 159) nach Einstecken des Papiers in deren Schlitz (wie oben beschrieben) durch Bewegung des Zahnrades z mit dem Finger, so wickelt sich der Papierstreifen auf 5 auf und spannt sich glatt um die Trommelwandung; die Spannung sichert man durch Einrücken der Klinke n .

Wird in diesem Zustande die Papiertrommel bewegt, so verhält sich das Papier wie bei einer gewöhnlichen Trommel, da z_1 und die eingreifenden Teile sich mit der Trommel hin und her bewegen. Sobald die Klinke b beim Anziehen des Ankers i mit der Sperrkrone z_2 in Eingriff gebracht wird, werden beim Schnurzug z_2 und mit ihm z_1 festgehalten. Rad z muß sich auf z_1 abwälzen und dreht sich mit Achse 5 , so daß der Papierstreifen ein entsprechendes Stück auf der Trommel vorgeschoben wird. Beim Rückzug der Trommel durch die Trommel-

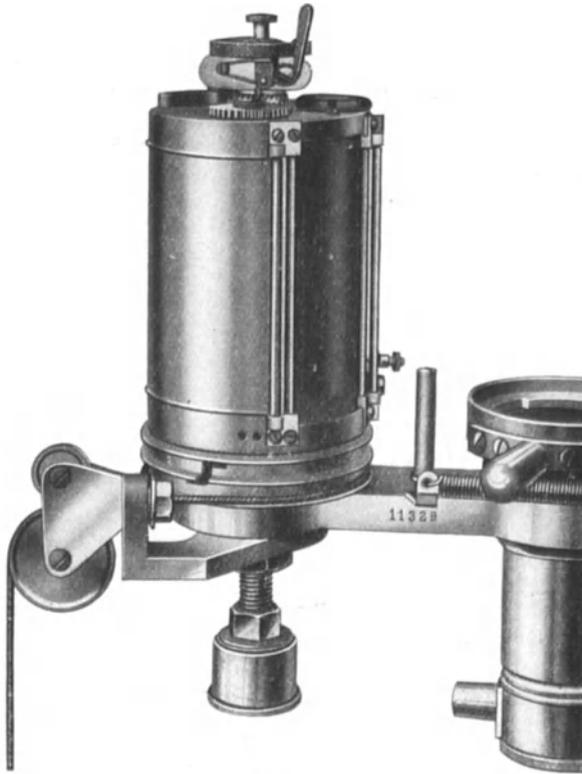


Abb. 158.

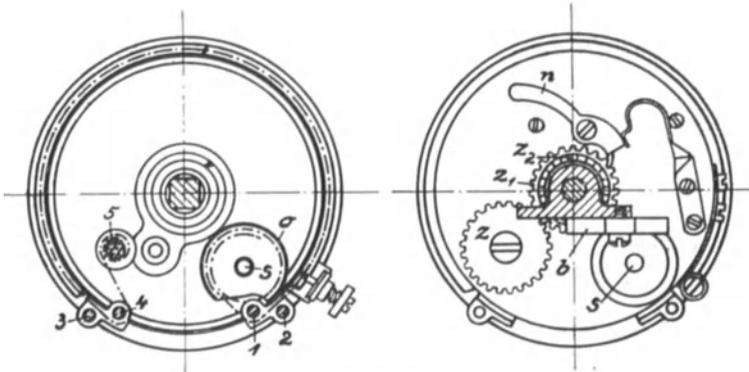


Abb. 159.

rückziehfeder gleitet der Sperrzahn der Klinke b über die Zähne von z_2 und das Papier bleibt in Ruhe. Bei der nächsten Vorwärtsbewegung der Trommel wird das Papier wieder vorgeschoben und bleibt beim Rückgange wieder in Ruhe. Das Indikatorpapier wird auf diese Weise

bei jedem Hub etwa $8 \div 10$ mm weiter geschoben. Löst man die Sperrklinke b wieder aus, so findet ein Vorschub des Papiers nicht statt. Die Trommel arbeitet jetzt wie eine solche gewöhnlicher Bauart und es kann ein normales geschlossenes Diagramm genommen werden. Wird dann b wieder während mehrerer Hübe eingerückt, so ist das Papier um ein entsprechendes Stück weiter geschoben und es kann wieder ein einzelnes Diagramm genommen werden.

3. Der integrierende Indikator von Böttcher (Leistungszähler).

Das durch den Indikator gewöhnlicher Konstruktion erlangte Diagramm läßt die Höhe der Dampfspannungen bei jeder beliebigen Stellung des Dampfmaschinenkolbens genau erkennen und dient auch dazu, Fehler aller die Arbeit des Dampfes beeinflussenden Organe der Maschine zu erkennen; endlich wird es auch benutzt zur Berechnung der auf den Kolben übertragenen Arbeit des Dampfes (indizierte Leistung). Dieses Rechnungsergebnis hat jedoch nur Gültigkeit für den Kolbenhub, bei welchem die Aufnahme des Diagrammes erfolgte und darf nur dann auf eine längere Arbeitszeit ausgedehnt werden, wenn sowohl in der Eintrittspannung, als auch in dem Expansionsgrade keinerlei Änderungen notwendig werden.

Bei den meisten Maschinen wechseln jedoch die Widerstände, und demnach muß auch die Dampfzuströmung in irgendeiner Weise geregelt werden. Hierdurch fallen die indizierten Leistungen fast für jeden Kolbenhub verschieden aus, weshalb es notwendig erscheint, will man genau über die mittlere Leistung der Maschine orientiert sein, eine große Anzahl von Diagrammen aufzunehmen und zu berechnen. Streng genommen müßte die Aufnahme ohne Unterbrechung für eine Arbeitsdauer, in welcher alle auftretenden Änderungen der Widerstände vorkommen, stattfinden. Die gewöhnlichen, allgemein in Gebrauch stehenden Indikatoren ermöglichen jedoch nur die Aufnahme eines einzelnen Diagrammes, und es bedarf einer entsprechenden Zeit, bis nach Abnahme und Auswechslung des Papiere ein zweites erhalten werden kann.

Alle inzwischen stattgehabten, die Dampfarbeit beeinflussenden Vorfälle werden daher nicht verzeichnet, und da diese, als zufällige, nicht bekannt sind, können sie einer Berechnung oder Schätzung nicht unterzogen werden.

Aus diesem Grunde wird durch die Aufnahme einzelner Diagramme, selbst durch den gewandtesten Experimentator, ein vollständig entsprechendes Endergebnis nicht erreicht werden können, wenn auch bei Dampfmaschinen, die im allgemeinen gleichmäßig arbeiten, der aus einer beträchtlichen Anzahl Diagramme gerechnete mittlere Wert der Leistung als genügend genau angenommen zu werden pflegt.

Sonach ist es wünschenswert, Indikatoren zu besitzen, mittels welchen die Leistung einer Dampfmaschine für beliebig lange Zeit, wie dies bei Versuchen zur Feststellung des Dampfverbrauches der Fall ist, mit genügender Genauigkeit und auf einfachere Weise ermittelt werden kann.

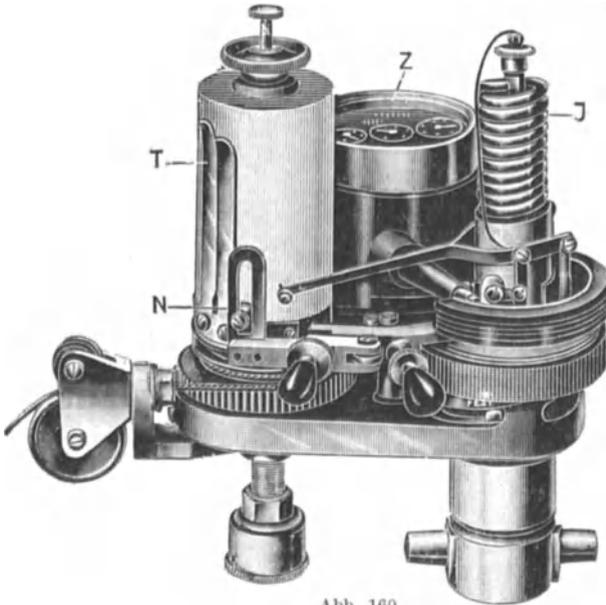


Abb. 160.

Indikatoren dieser Art setzen ein Zählwerk in Bewegung, aus dessen Angaben die indizierte Leistung der Maschine berechnet werden kann

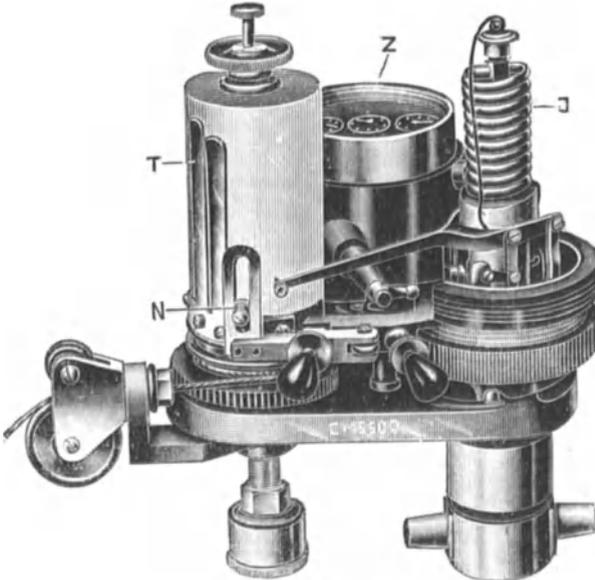


Abb. 160 a.

(integrierende Indikatoren). Im folgenden sei die Bauart eines solchen Indikators nach Böttcher beschrieben:

Auf einer gemeinsamen Grundplatte, die in einem Stück mit dem Indikatorzylinder gegossen ist, sind der Indikator *J*, die Papiertrommel *T* und der Leistungszähler *Z* angeordnet.

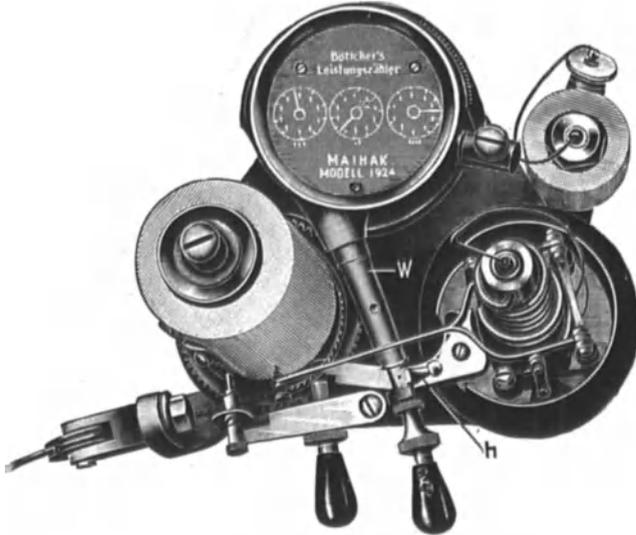


Abb. 160 b.

Der Indikator *J* (Abb. 160 u. 161) entspricht der Ausführung des Patent-Maihak-Indikators. Der Oberteil des Indikators ist mit dem Indikatorzylinder durch eine Überwurfmutter mit Schnellverschluß verbunden, vgl. besondere Drucksache.

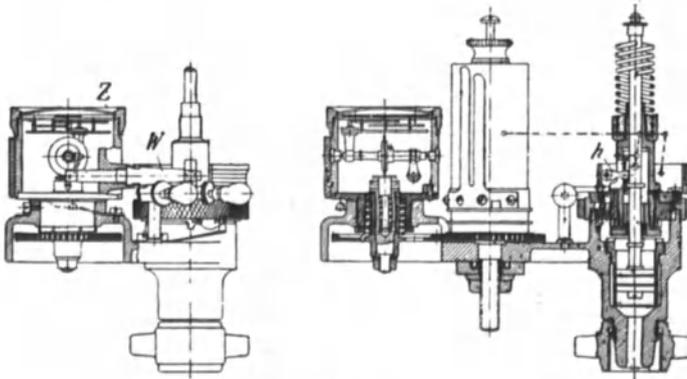


Abb. 161.

Die Papiertrommel *T* erhält außer der üblichen Einrichtung zum Anhalten der Trommel noch einen besonderen Nullschreiber *N* zur Aufzeichnung der Nulllinie auch während der Meßzeit.

Der Leistungszähler *Z* steht mit der Indikator Kolbenstange vermittels einer Antriebswelle *W* in Verbindung (Abb. 161 u. 160b). Letz-

tere greift mit einem querliegenden Hebel h in eine Öffnung eines Mitnehmers, der auf der Indikatorkolbenstange sitzt und von dieser mitgenommen wird (Abb. 161). Das andere Ende der Antriebswelle verschiebt mittels eines senkrechten Hebels das Planimetrierrädchen auf der Antriebsachse, wodurch das Zählwerk bewegt wird. Der Zähler zeigt auf drei nebeneinanderliegenden Skalen die Einer, Zehner und Hunderter des planimetrierten Betrages an. Durch eine kleine Linksdrehung des Zählers bringt man den kleinen Hebel der Antriebswelle W in die Öffnung des Mitnehmers, wodurch der Zähler sofort in Tätigkeit gelangt (Abb. 160). Die Zählungen hören sofort auf, sobald die Welle außer Eingriff mit dem Mitnehmer der Indikatorkolbenstange gebracht wird

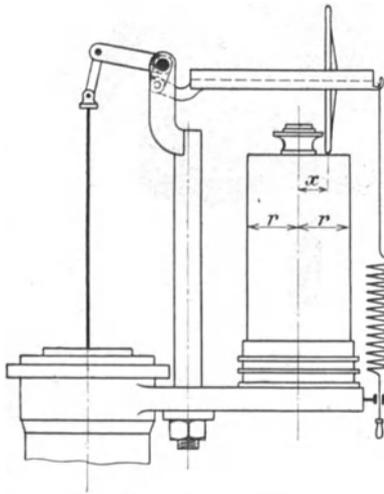


Abb. 162.

(Abb. 160 a u. 160 b). Dies geschieht durch eine kurze Rechtsdrehung des Zählers bzw. Ausschwenken der Welle W . Eine Rast hält den Zähler in der ein- oder ausgerückten Stellung fest (Abb. 160). Durch Stirnräder wird die Bewegung der Trommel auf den Leistungszähler übertragen.

Indikator, Papiertrommel und Leistungszähler besitzen Schmiergefäße. Unterhalb der Papiertrommel ist eine schwenkbare Rollenführung für die Antriebsschnur angeordnet.

Die theoretischen Grundlagen des Leistungszählers mögen an der Hand der Abb. 162 abgeleitet werden.

Der Weg, welchen ein Punkt des Umfanges der Papiertrommel in einer gewissen Zeit zurücklegt, ist infolge der zwischengeschalteten Hubverminderungsvorrichtung (s. S. 245) kleiner als der in der gleichen Zeit vom Maschinenkolben zurückgelegte Weg.

Das Verhältnis dieser beiden Wege sei mit A , der Radius der Papiertrommel mit r und ein beliebiger Maschinenkolbenweg mit s bezeichnet, dann ist der dem Wegelement ds entsprechende Verdrehungswinkel $d\alpha$ der Papiertrommel:

$$d\alpha = A \cdot \frac{ds}{r}.$$

Befindet sich der Berührungspunkt der Zählerrolle im Abstände x von der Achse der Papiertrommel, so ist der Umfangsbogen du , welcher sich bei der Drehung der Trommel um den Winkel $d\alpha$ abgewickelt hat, der Entfernung x proportional, also gilt die Gleichung:

$$du = x \cdot d\alpha = x \cdot A \cdot \frac{ds}{r}.$$

Die Entfernung x ändert sich wegen der Winkelhebelverbindung zwischen der Hülse i und dem Punkte u der Kolbenstange umgekehrt proportional der Änderung des indizierten Dampfdruckes p_i , also ist:

$$x = C \cdot p_i,$$

worin C eine Konstante des Apparates bedeutet; folglich wird:

$$du = C \cdot p_i \cdot A \cdot \frac{ds}{r},$$

oder:

$$du = \frac{C \cdot A}{r} \cdot p_i \cdot ds.$$

Faßt man $\frac{C \cdot A}{r}$ zu einer neuen Konstanten B zusammen, so ist:

$$du = B \cdot p_i \cdot ds.$$

Integriert man für eine bestimmte Beobachtungszeit, so erhält man

$$U = B \cdot \int p_i \cdot ds,$$

d. h. der in dieser Beobachtungszeit abgewickelte Bogen U , oder auch die in dieser Zeit festgestellte Differenz z der Zählerablesungen ist der indizierten Arbeit proportional.

Wäre diese Zeit hindurch die Maschine indiziert worden derart, daß für jeden Maschinendoppelhub ein Diagramm zur Aufnahme gekommen wäre, und bezeichnet man den mittleren Flächeninhalt all dieser Diagramme mit f , so ist f der geleisteten Arbeit und damit auch der Ablesungsdifferenz $\frac{z}{n_z}$ für eine Umdrehung proportional. n_z bezeichnet die in der Beobachtungszeit gezählten Maschinenumdrehungen.

Demnach gilt:

$$f = D \cdot \frac{z}{n_z},$$

worin D wiederum eine Apparatenkonstante bedeutet.

Bezeichnet man die Länge der Basis der aufgenommenen Diagramme mit b , so ist dies auch die Länge des Schwingungsbogens, gemessen am äußeren Umfange der Papiertrommel; und ist ferner der Maßstab der verwendeten Indikatorfeder = m , so ergibt sich der mittlere indizierte Druck zu:

$$p_i = \frac{f}{b \cdot m} = \frac{D \cdot z}{b \cdot m \cdot n_z}.$$

Für die indizierte Leistung einer Dampfmaschine wird später noch die Formel abgeleitet:

$$N_i = \frac{p_m \cdot Q \cdot n \cdot s}{30 \cdot 75}.$$

Hierin bedeutet:

- p_m = mittlerer Dampfdruck aus einem Diagramm berechnet,
- Q = wirksame Maschinenkolbenfläche in qcm,
- n = Zahl der Umdrehungen der Maschine je Minute,
- s = Maschinenhub in Metern.

Da Q und s konstante Größen sind, kann man setzen:

$$\frac{Q \cdot s}{30 \cdot 75} = E,$$

also wird:

$$N_i = E \cdot p_m \cdot n,$$

oder mit $p_m = p_i$

$$N_i = E \cdot D \cdot \frac{z \cdot n}{b \cdot m \cdot n_z}.$$

Bezeichnet man die Beobachtungszeit in Minuten mit t_z , so ist

$$\frac{n_z}{n} = t_z; \quad \text{also} \quad \frac{n}{n_z} = \frac{1}{t_z},$$

folglich wird:

$$N_i = \frac{E \cdot D}{b \cdot m} \cdot z \cdot \frac{1}{t_z},$$

oder

$$N_i = F \cdot \frac{z}{t_z},$$

nachdem man $\frac{E \cdot D}{b \cdot m}$ als neue Konstante F ausgedrückt hat.

Beispiel. Bei einer liegenden Auspuffmaschine beträgt
 der Zylinderdurchmesser $D = 240$ mm,
 der Kolbenstangendurchmesser $\left\{ \begin{array}{l} \text{vorn: } d_v = 45 \text{ ,,} \\ \text{hinten: } d_h = 35 \text{ ,,} \end{array} \right.$
 der Hub $s = 520$,,
 die minutliche Drehzahl $n = 105$.

Bei dieser Maschine wurde der Leistungszähler 4 Minuten lang beobachtet, wobei sich eine Anfangsablesung von 642,8 und eine Endablesung von 663,5 ergab. Die in derselben Zeit festgestellte Umdrehungszahl betrug 421. Die Basis der gleichzeitig aufgenommenen Indikator-diagramme ist genau 50 mm lang; der Maßstab der verwendeten Indikatorfeder ist 4 mm = 1 kg/qcm, also ist zu setzen:

$$\text{Leistungszähler} \left\{ \begin{array}{l} t_z = 4 \text{ Minuten} \\ n = 421 \\ \text{Endablesung} = 663,5 \\ \text{Anfangsablesung} = 642,8 \end{array} \right\} \text{Konstante } D = 8950$$

$$\text{Unterschied } z = 20,7$$

$$\left. \begin{array}{l} b = 50 \text{ mm} \\ m = 4 \text{ mm/kg} \end{array} \right\} \text{Konstante } F = 4,56$$

Folglich

$$\text{mittlere Diagrammfläche: } f = D \cdot \frac{z}{n_z} = 8950 \cdot \frac{20,7}{421} \text{ qmm}$$

$$f = 400 \text{ qmm.}$$

Daraus folgt eine

$$\text{mittlere Diagrammhöhe: } h_m = \frac{440}{50} \text{ mm}$$

$$h_m = 8,8 \text{ mm,}$$

folglich:

$$\text{mittlerer Dampfdruck: } p_m = \frac{8,8}{4} \text{ kg/qcm}$$

$$p_m = 2,2 \text{ kg/qcm.}$$

Ferner ist die

mittlere wirksame Kolbenfläche $Q_m = 439,63 \text{ qcm}$, also die indizierte Leistung

$$N_i = \frac{p_m \cdot Q_m \cdot n \cdot s}{30 \cdot 75} = \frac{2,2 \cdot 439,63 \cdot 105 \cdot 0,52}{30 \cdot 75} \text{ PS,}$$

$$N_i = 23,5 \text{ PS.}$$

Rechnet man die Leistung unmittelbar aus dem Unterschied der Zählerablesungen und der Beobachtungszeit, so ergibt sich:

$$N_i = \frac{F \cdot z}{t_z} = \frac{4,56 \cdot 20,7}{4} \text{ PS}$$

$$N_i = 23,6 \text{ PS.}$$

4. Die Hubverminderungseinrichtungen.

Der Hub der Dampfmaschine ist stets größer als der Umfang der Indikatorpapiertrommel, deshalb muß zwischen den Mitnehmer an der Dampfmaschine und den Indikatoren der bisher beschriebenen Art eine Hubverminderungseinrichtung geschaltet werden. Die Konstruktion dieser Einrichtungen muß derart sein, daß die zwischen der Kreuzkopfbewegung und der Trommelab- bzw. -aufwicklung unbedingt nötige Proportionalität nicht gestört wird.

Bei Schnellläufern, bei denen oft das Einhängen der Indikatorscheur in den Mitnehmer Schwierigkeiten verursacht, fällt der Hubverminderungseinrichtung noch die Aufgabe zu, dieses Einhängen zu erleichtern.

Ihrem Wesen nach bestehen die Hubverminderungseinrichtungen entweder in

- . Rollenverbindungen oder in Hebelverbindungen.

Der gebräuchlichste **Rollenhubverminderer**, der unmittelbar mit dem Indikator verbunden wird, ist in den Abb. 163 und 164 abgebildet.

Die Indikatorscheur wird auf der Aluminiumrolle R mit so viel Windungen aufgewickelt, daß ihre Gesamtlänge größer als der zu erwartende Dampfmaschinenhub ist. Das freie Ende der Indikatorscheur wird über die Führungsrolle P_1 , die in dem verstellbaren Arm g_1 gelagert ist, gelegt und mit einem Messing- oder Eisenring fest verknüpft. An diesen Ring wird dann die nach dem Mitnehmer führende, mit einem Eisenhaken endigende Schnur verbunden.

Zur Verbindung der Hubverminderungseinrichtung mit dem Indikator löst man zunächst die Flügelmutter M_I , setzt den Arm V auf das nach unten vorstehende Ende der Papiertrommelachse und schraubt beide Teile mit der Zentriermutter M_{II} fest.

Die Rückdrehung der Rolle R geschieht durch eine kräftige Spiralfeder F , die in dem Gehäuse H untergebracht ist. Damit die einzelnen Schnurwindungen sich nicht übereinander, sondern nebeneinander auf der Rolle R aufwickeln, ist die Achse W der letzteren mit flachem Gewinde versehen; die Rolle R folgt bei Drehung den Gängen dieses Gewindes, so daß sich die Schnur in Schraubenwindungen aufwickelt.

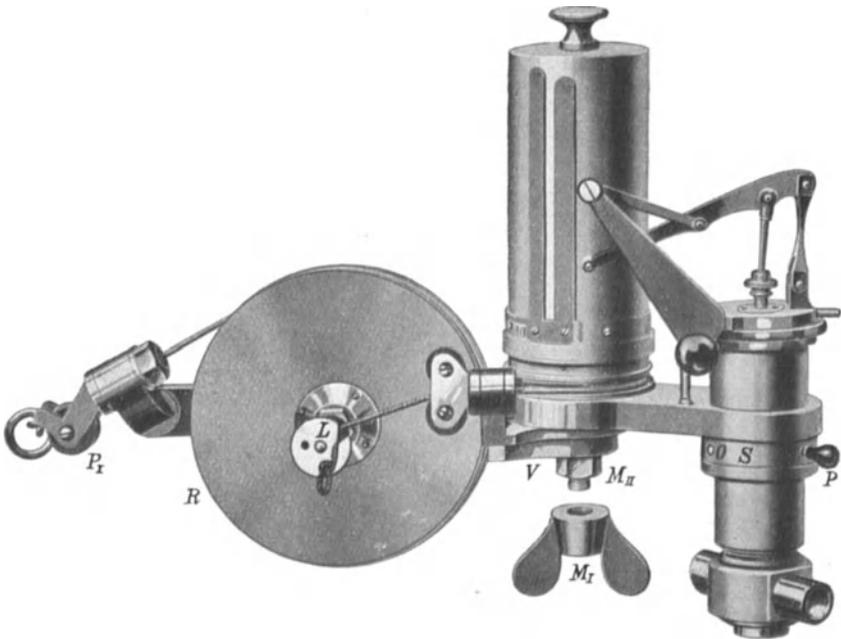


Abb. 163.

Eine Hubverminderung wird nun dadurch erzielt, daß die die Papiertrommel antreibende Schnur sich auf einer kleinen Rolle aufwickelt. Diese eigentliche Verminderungsrolle wird so über das dünnere, glatte Ende der Achse W geschoben, daß sie sich relativ zu dieser Achse nicht drehen kann, wohl aber die Drehungen der Achse bzw. der Rolle R mitmachen muß. Die von der Papiertrommel kommende Schnur wird über diese Verminderungsrolle geschlungen, im Einschnitte derselben festgeklemmt, mit ihrem Ende um die vorstehende Achse W gewickelt und schließlich mittels der geränderten Mutter L gegen die Verminderungsrolle geklemmt. Dabei soll stets darauf geachtet werden, daß die Papiertrommel noch nicht an ihrem Hubende angekommen ist, wenn der Mitnehmer in einer seiner beiden Totpunktlagen sich befindet.

Je nachdem der Hub der zu indizierenden Maschine größer oder kleiner ist, wählt man eine Verminderungsrolle mit kleinerem oder größerem Durchmesser. Bei richtiger Wahl der Rolle ergibt sich eine Diagrammlänge von ca. $115 \div 120$ mm. Für Hübe über 1500 mm läßt man die Papiertrommelschnur unmittelbar auf der Achse *W* auflaufen und klemmt ihr Ende mit einem Knoten in der Kerbe der Mutter *L* fest.

Der aus Abb. 164 zu erkennende Lederring *g* hat den Zweck, bei einem plötzlichen Reißen der nach dem Mitnehmer führenden Schnur und einem dadurch veranlaßten plötzlichen Rückdrehen der Rolle *R* ein Festbremsen der letzteren zu verhindern.

Die Hubverminderungsrolle von Maihak für hohe Drehzahlen.
Diese Einrichtung unterscheidet sich von der vorhergehenden haupt-

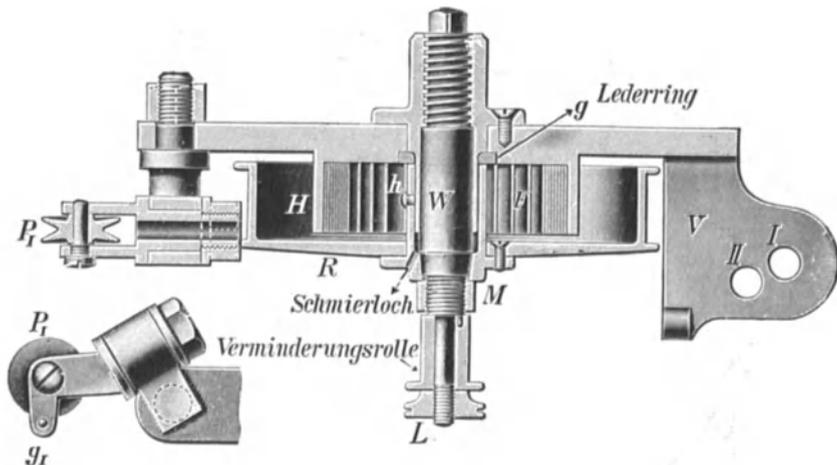


Abb. 164.

sächlich in zwei Punkten, indem zunächst ihre Achse parallel zur Papiertrommelachse angeordnet ist, und indem ferner die die Rückdrehung bewirkende Spiralfeder in Wegfall genommen ist. Die Rückdrehung der Rolle wird von der Papiertrommelfeder übernommen, deren Spannung dementsprechend einzustellen ist.

Die Rolle *d* (Abb. 165) wird mit dem geraden Arme *c* unter der Indikatortrummel befestigt nach Fortnahme des Schnurrollenhebels, der hier entbehrlich wird. Die Rollenspindel *e* ist mittels flachen Gewindes und oben und unten durch zylindrische Führungen im Körper *e*¹ gelagert; sie trägt unten die Aluminiumrolle *d*, die vermöge des Gewindes sich bei jeder Umdrehung um das Maß der Schnurdicke auf und ab bewegt, so daß ein Übereinanderlaufen der Schnur verhindert ist. Der Rollenkörper *e*¹ trägt ferner den Schnurführungsarm *k*, der im Kreise drehbar und durch die Klemmschraube *k*¹ in jeder gewünschten Lage festgestellt werden kann.

Der im Arme k gelagerte und um seine Achse drehbare Kopf enthält zwei Rollen o , zwischen denen die zum Mitnehmer gehende Schnur hindurchgeführt wird.

Nach Entfernung der am Achsenende aufgeschraubten Scheibe s^1 wird je nach dem Hube der Maschine ein entsprechend großes Röllchen r^1 auf h geschoben und mit s^1 befestigt. Die Indikatorscheibe s wird einmal um das Röllchen r^1 gelegt und dann mit einem Knoten in den Schlitz der Scheibe s

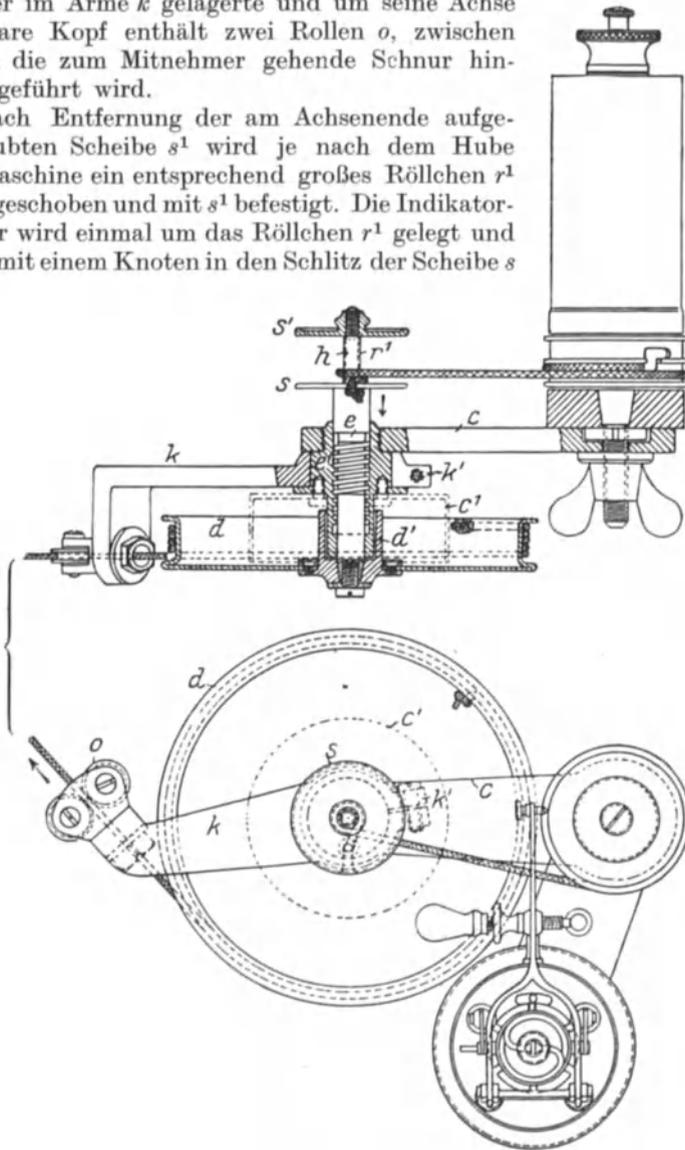


Abb. 165.

geklemmt. Sind k und o passend eingestellt, so kann die Schnur ohne weiteres nach allen Richtungen abgeleitet werden.

Da die Schnurzugstellen annähernd gleich weit vom Tragarme c , aber zu verschiedenen Seiten desselben, abliegen, ist die Spindel e gut geführt und damit ein leichter Gang der Rolle d erzielt.

Der Hubverminderer nach Stanek. Dies ist zwar auch ein Rollenhubverminderer (siehe Abb. 166 und 167), unterscheidet sich aber von den vorher beschriebenen beiden Einrichtungen dieser Art dadurch, daß er nicht unmittelbar mit dem Indikator verschraubt zu werden braucht, sondern in jeder beliebigen Lage an Fundamentschrauben, an Schrauben des Zylinderdeckels oder an irgendwelchen hervorstehenden Dornen usw. mit Hilfe des Ringes *R* und der drei Klemmschrauben *p* (Abb. 168) befestigt werden kann. In die Öffnung *x* dieses Ringes wird ein Stahldorn *D* (Abb. 166 und 167) eingeschraubt, der zur Aufnahme des eigentlichen Hubverminderers dient. Dabei ist es gleichgültig, ob derselbe neben, unter oder über der Maschine zu stehen kommt, weil die Leitrollen jeden beliebigen Winkel zur Ableitung der Schnüre zum Indikator und zum Mitnehmer der Maschine gestatten.

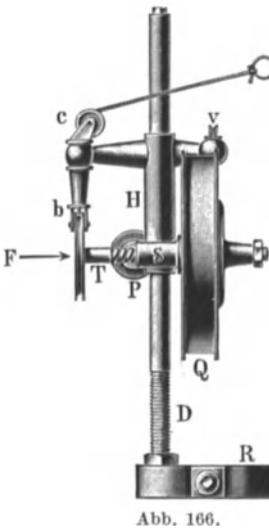


Abb. 166.

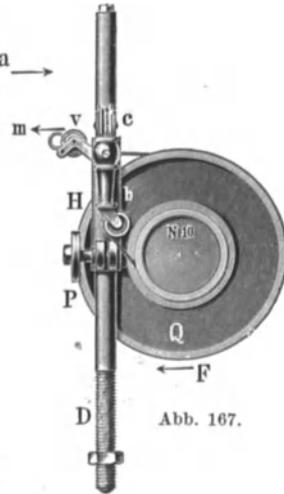


Abb. 167.

Die Hülse *H* wird über den Dorn *D* geschoben und kann durch die Klemmschraube *P* sowohl in der Höhe, als auch in der Drehung um *D* innerhalb ziemlich weiter Grenzen festgehalten werden. Bei *S* nimmt die Hülse eine Stahlspindel *T* auf, die mit flachem Linksgewinde versehen ist und sich also in der Hülse *S* verschieben kann. Mit der Spindel *T* fest verbunden ist die Trommel *Q*, welche die über das Röllchen *v* zum Mitnehmer führende Schnur aufnimmt. Wird die Trommel *Q* von der Maschine aus bewegt, so wandert sie den Schraubengängen von *T* entsprechend hin und her, wodurch die Schnurwindungen sich nebeneinander aufwickeln. Die Rückdrehung der Trommel wird durch eine kräftige Spiralfeder veranlaßt. Die Breite von *Q* ist so bemessen, daß acht Schnurwindungen nebeneinander Platz haben, was einer Hublänge von 4 m entspricht.

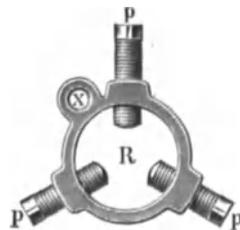


Abb. 168.

Das andere Ende der Spindel *T* ist mit Innengewinde versehen und dient zur Aufnahme der dem Maschinenhube entsprechend auszuwählenden eigentlichen Verminderungsrolle. Von dieser aus führt die Schnur über die feste Leitrolle *b* und das bewegliche Röllchen *c* zur

Papiertrommel des Indikators. Der Pfeil *a* bedeutet die Richtung zum Indikator, der Pfeil *m* diejenige nach der Maschine.

In Abb. 169 ist der Staneksche Hubverminderer in der Ausführung von Maihak dargestellt.

Der eigentliche Hubverminderer ist ähnlich wie die auf Seite 245 beschriebene Einrichtung gebaut. Die Rolle *d* trägt die nach dem

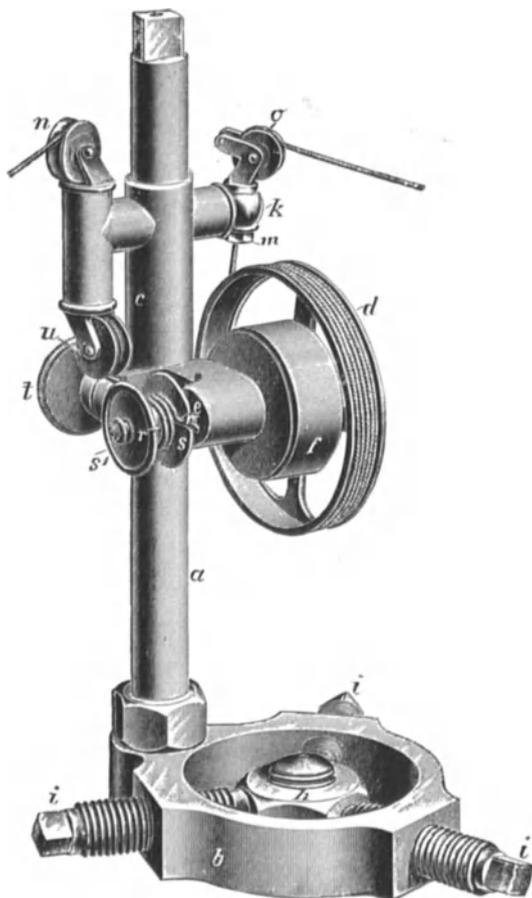


Abb. 169.

Mitnehmer an der Maschine führende Schnur; *f* ist das Gehäuse für die Rückdrehfeder; im Schlitz *e* der Scheibe *s* ist der Endknoten der um das auswechselbare Röllchen *r* gewundenen, zum Indikator führenden Schnur festgeklemmt, während die Scheibe *s*¹ das Röllchen *r* auf der Achse der Schnurtrommel *d* festhält. Diese ganze Einrichtung ist mit der Hülse *c* und der Klemmschraube *t* auf der Stahlstange *a* in beliebiger Lage zu befestigen. Die vom Indikator kommende Schnur führt über das im Kreise drehbare Röllchen *n* und wird durch das Röllchen *u* auf die eigentliche Reduktionsrolle *r* geführt. Die zur Maschine führende Schnur wird von *d* aus über das Röllchen *o* geleitet. Letzteres ist im Kopfe *k* im Kreise drehbar und kann durch die

Mutter *m* in jeder Lage festgestellt werden. Die Säule *a* wird in dem Ringe *b* festgeschraubt, der durch drei Schrauben *i* mit einer Mutter *h* oder einem sonstigen geeigneten Teile des Maschinengestells verbunden wird.

Hebelverbindungen als Hubverminderer. Diejenigen Hubverminderungseinrichtungen, welche in Hebelverbindungen bestehen, sind in bezug auf die Erhaltung der Proportionalität zwischen Kreuz-

kopfweg und Papiertrommelweg meist nicht ganz einwandfrei¹⁾. Sie können daher bei Maschinen mit hoher Drehzahl, bei denen das Ein- und Aushängen des Hakens von Hand sehr schwierig, wenn nicht ganz unmöglich ist, nur als Notbehelf angesehen werden.

Abb. 170 zeigt eine solche Einrichtung. Der Holzhebel *b* trägt ein ebenfalls aus Holz gefertigtes Segment *B*, von welchem aus die zum Indikator führende Schnur abläuft. Die Schiene *a* ist am Rahmen der Maschine befestigt und trägt den Drehpunkt für *b*. Ein am Kreuzkopfe drehbar angeordneter Lenker *c* setzt den Hebel *b* und damit auch das Segment *B* in schwingende Bewegung.

Eine ähnliche Einrichtung, wie sie mit Vorteil bei kleinen Gasmotoren Anwendung finden, ist in Abb. 171 dargestellt.

Von der Schwungradwelle aus wird *a* in Drehung versetzt. Der Hebel *b* gerät dadurch in schwingende Bewegung und überträgt diese auf den an einem festen Punkte des Gestelles drehbar angeordneten Hebel *d*. Mit diesem fest verbunden ist das hakenförmig gebogene Rundstäbchen *c*, in welchem letzteres die Indikatorschnur eingehängt wird. Der Hebel *d* setzt außerdem durch Vermittlung des Hebels *e* noch den Hebel *f* in schwingende Bewegung, und von letzterem aus wird der auf dem Gestelle des Motors befestigte Umdrehungszähler betätigt. Sämtliche Hebel dieser Anordnung sind aus Schmiedeeisen hergestellt.

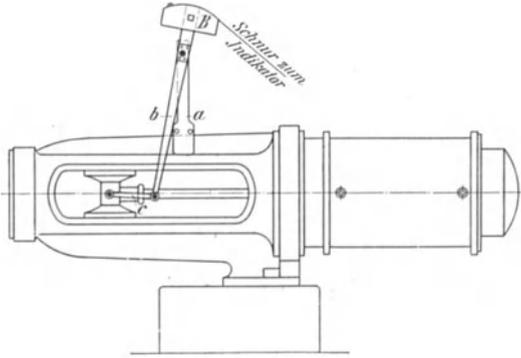


Abb. 170.

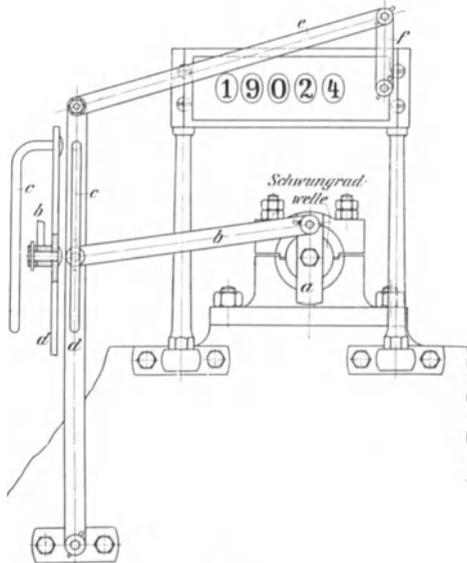


Abb. 171.

¹⁾ Eine praktisch vollkommene Hebelverbindung ist in der Zeitschr. d. Bayer. Rev.-Vereins 1902, S. 150 beschrieben.

5. Die Anbringung des Indikators an der zu indizierenden Maschine.

Die Art der Anbringung des Indikators richtet sich nach der Bauart der Maschinen. Diese ist aber eine so vielfältige, daß es unmöglich ist, alle vorkommenden Fälle hier zu behandeln. Große Dampfmaschinen werden gewöhnlich mit einer vollständigen Einrichtung zum

Indizieren geliefert. Für kleinere Maschinen können folgende allgemeine Regeln aufgestellt werden:

Die meisten Dampfzylinder sind an beiden Enden mit Anbohrungen versehen, welche zum Einschrauben der Indikatorhähne dienen. Diese Anbohrungen sind entweder durch Kopfschrauben verschlossen (Abb. 172), oder sie

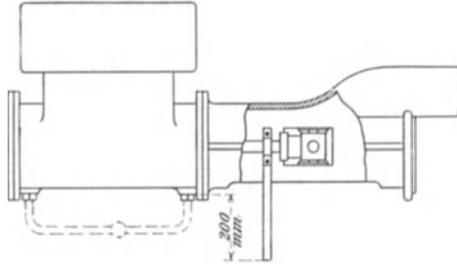


Abb. 172.

enthalten bereits die Indikatorhähne (Abb. 173).

Diese Anbohrungen im Zylinder sollen dasjenige Gewinde haben, für welches die zur Vermeidung kommenden Indikatorhähne eingerichtet sind. Gewöhnlich findet man bei letzteren $\frac{3}{4}$ " engl. oder 1" engl. Gewinde. Paßt aber das Gewinde des Indikatorhahnes nicht in dasjenige der Anbohrung, so müssen Zwischenstücke nach Abb. 174 angefertigt werden.

Ist eine Maschine noch nicht mit Indikatorhähnen ausgerüstet, so empfiehlt es sich, dieselben für beständig an der Maschine anzubringen,

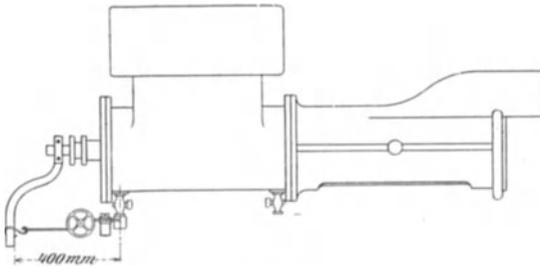


Abb. 173.

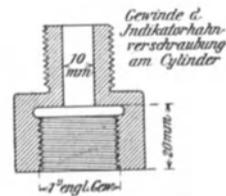


Abb. 174.

da dann bei Vornahme eines Indikatorversuches die Anbringung und Abnahme der Instrumente keinerlei Störung im Betriebe verursacht. Am besten ist es, solche Hähne zu nehmen, welche oben die konische Normalbohrung und Außengewinde für die Muffenmutter des Indikators tragen, so daß letzterer ohne weiteren Zwischenhahn aufgeschraubt werden kann. Um Unfälle durch unbefugtes Öffnen der Indikatorhähne in Zeiten, wo die Maschine nicht indiziert wird, zu vermeiden, schraubt man auf das Außengewinde der Hähne eine Überwurfmutter.

Haben die Dampfzylinder alter Maschinen keine Verschraubungen für Indikatorhähne, so müssen entweder die Zylinderdeckel angebohrt und mit Kniestutzen (Abb. 175), welche oben 1" engl. Muttergewinde erhalten, oder mit Winkelhähnen versehen werden. Die Kniestutzen müssen mindestens 10 mm Bohrung haben und in der Länge so bemessen sein, daß der Indikator über den Rand des Zylinderflansches zu stehen kommt. Unnötige Länge und scharfe Winkel sind zu vermeiden. Ist

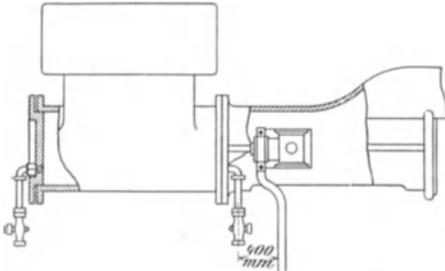


Abb. 175.

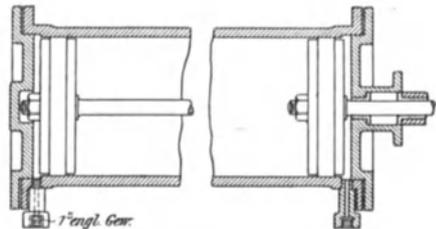


Abb. 176.

aber bei der Bauart der Maschine das Einschrauben solcher Kniestutzen in den Zylinderdeckel nicht ausführbar, so sind an den Zylinderenden seitliche Anbohrungen vorzunehmen und geeignete Zwischenstutzen zur Aufnahme der Indikatorhähne einzuschrauben, wie aus Abb. 176 zu ersehen ist. Die Stelle der Durchbohrung muß aber so gewählt werden, daß sie nicht durch die Kolbenringe bei den äußersten Stellungen des Kolbens verdeckt oder abgeschlossen wird (Abb. 176). Um dies zu

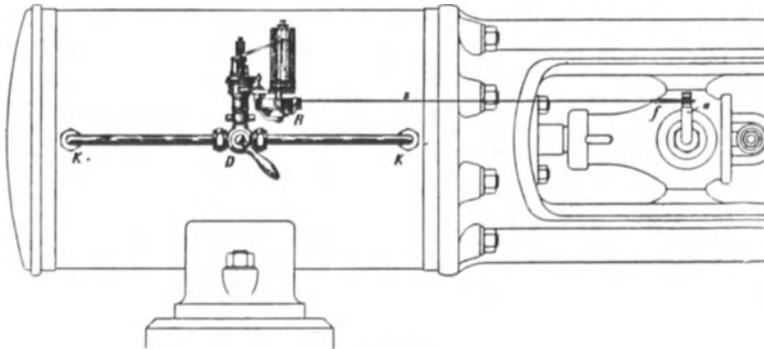


Abb. 177.

erreichen, fällt in vielen Fällen die Einbohrung zum Teil in den Flansch des Zylinders. Hat der Zylinder einen Dampfmantel, so ist dies bei den Anbohrungen zu beachten.

Die Indikatoren können senkrecht oder wagrecht oder in jeder Zwischenlage angeordnet werden, müssen aber mit wenig Ausnahmen parallel zueinander stehen.

Mehrfach ist noch die Anordnung zu finden, daß von den Anbohrungen *K, K* (Abb. 177) der Zylinderenden Rohrleitungen nach einem

in der Mitte der Zylinderlänge befindlichen Dreiweghahne *D* führen (in Abb. 172 punktiert eingezeichnet), der dann zur Aufnahme eines Indikators *R* eingerichtet ist, der durch die Schnur *s* von dem im Kreuzkopfe eingeschaubten Mitnehmer *a* angetrieben wird. Durch ent-

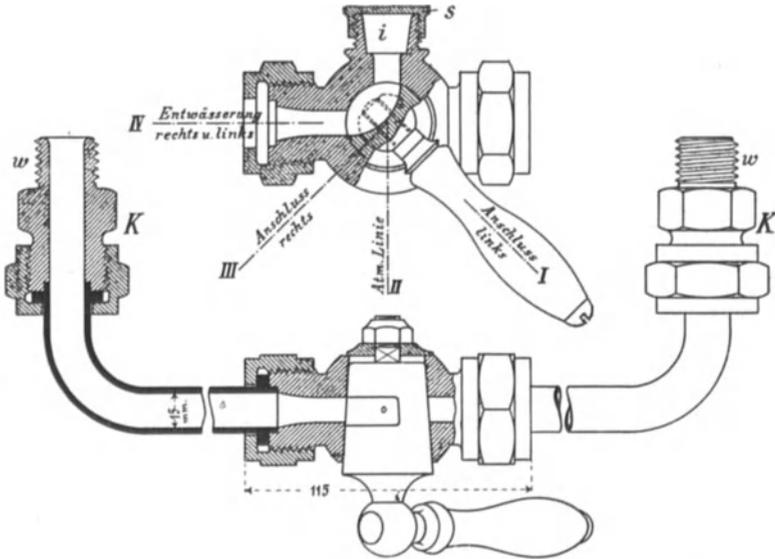


Abb. 178.

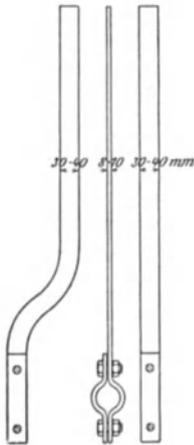


Abb. 179.

Abb. 180.



Abb. 181.

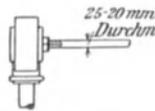


Abb. 182.

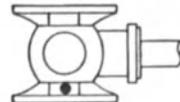


Abb. 183.

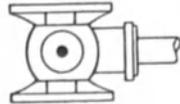


Abb. 184.

sprechende Umstellung des Hahnes *D* (Abb. 178) können dann die Diagramme beider Zylinderseiten gekreuzt auf ein einziges Diagrammblatt gezeichnet werden. Abgesehen davon, daß hiermit die Übersichtlichkeit über den Verlauf der einzelnen Diagrammlinien etwas leidet, kommen durch diese Anordnung der Rohrleitung zum Indikator

— auch wenn diese Leitung noch so gut isoliert ist — Fehler in das Diagramm, die leicht zu Trugschlüssen Veranlassung geben können. (Siehe Abschnitt: Fehlerhafte und richtige Diagramme.)

Die Papiertrommel des Indikators muß eine der Bewegung des Dampfmaschinenkolbens proportionale Bewegung machen. Zu diesem Zwecke wird die zum Antriebe der Papiertrommel dienende Schnur an einem Mitnehmer befestigt, der entweder mit dem Kreuzkopfe oder der Kolbenstange der Dampfmaschine fest verbunden ist.

Dieser Mitnehmer wird entweder aus Flacheisen hergestellt (Abb. 179 bis 181) und mittels Schelle an der Kolbenstange (Abb. 179 und 180) oder am Kreuzkopfe (Abb. 181) befestigt, oder er wird aus Rundeisen hergestellt und in den Kreuzkopf eingeschraubt (Abb. 182 bis 184.)

Der Mitnehmer mit Schelle ist jedoch vielfach vorzuziehen, da derselbe durch Drehung in jede für die Lage des Indikators am besten passende Stellung gebracht werden kann.

Bei kleineren Maschinen ist der Mitnehmer zu kröpfen (Abb. 173 und 175), damit derselbe bei der äußersten Stellung mindestens noch 400 mm Abstand vom Indikatorhahne hat.

Befinden sich die Indikatorverschraubungen oben auf dem Rücken des liegenden Dampfzylinders, so macht die Form der Kreuzkopfführungen es gewöhnlich nötig, dem Mitnehmer die in Abb. 181 angegebene Gestalt zu geben.

Die Länge des Mitnehmers ist so zu bemessen, daß sein Ende ungefähr 200 mm über die Verschraubung am Zylinder hinausragt (Abb. 172).

6. Die Prüfung der Indikatorfedern.

Die Kenntnis des genauen Maßstabes der Indikatorfedern ist zur richtigen rechnerischen Auswertung der aufgenommenen Indikator-diagramme unerlässlich. Vor jedem wichtigen Indikatorversuche ist daher eine erneute Feststellung des Maßstabes der zur Verwendung kommenden Indikatorfedern auszuführen. Da sich die Indikatorfedern durch öfteren Gebrauch verändern, so ist eine solche Prüfung in gewissen Zwischenräumen für jede in regelmäßiger Benutzung befindliche Indikatorfeder angezeigt.

Der Verein deutscher Ingenieure hat im Einvernehmen mit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt folgende Bestimmungen über die Feststellung der Maßstäbe für Indikatorfedern aufgestellt.

1. Jeder Indikator, dessen Federn geprüft werden sollen, ist vorher auf seinen Zustand, insbesondere hinsichtlich Kolbenreibung, Dichtigkeit und auf toten Gang des Schreibzeuges zu untersuchen.

2. Die Indikatorfedern sind durch Gewichtsbelastung zu prüfen.

3. Die Federn sind in Verbindung mit dem Schreibzeug zu prüfen.

4. Jede Feder, die beim Gebrauch des Indikators höhere Temperaturen annimmt, ist im allgemeinen kalt und warm, und zwar bei etwa 20° (Zimmertemperatur) und bei 100° zu prüfen.

5. Die Federn sind mit mehrstufiger Belastung zu prüfen, und zwar in mindestens 5 Stufen oberhalb der atmosphärischen Linie und in

wenigstens 3 Stufen unterhalb derselben. In den Prüfschein sind alle Einzelwerte der Untersuchung aufzunehmen.

6. Der Durchmesser des Indikator Kolbens wird bei Zimmertemperatur gemessen.

Die Prüfung der Indikatorfedern kann geschehen:

a) Durch Flüssigkeitsdruck, und zwar, indem man den Indikator Kolben

1. in kaltem,
2. in warmem Zustande

belastet.

Der Ausschuß, welcher die Bestimmungen über die Feststellung der Maßstäbe für Indikatorfedern ausarbeitete, hat es für geboten erachtet, von diesen zwei Prüfungsmethoden abzusehen, und zwar von 1., weil nach Versuchen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt nur unter gewissen Voraussetzungen und nur für stärkere Federn bei Drücken über 2 kg/qcm einwandfreie Ergebnisse zu erwarten sind; von 2., weil es schwer ist, die Indikatorfeder längere Zeit auf einer gewissen konstanten Temperatur zu erhalten. Beide Methoden ergeben aber bei gewissenhafter Durchführung brauchbare, wenn auch nicht wissenschaftlich genaue Werte, deshalb sollen sie hier behandelt werden.

b) Durch Gewichtsbelastung, und zwar, indem man den Indikator Kolben

3. in kaltem,
 4. in warmem Zustande belastet, oder
- indem man die Indikatorfeder allein, also ohne Kolben,
5. in kaltem,
 6. in warmem Zustande belastet.

Bei der Berechnung des Federmaßstabes muß der Durchmesser des Indikator Kolbens genau festgestellt und müssen etwaige Abweichungen von 20 mm berücksichtigt werden.

a) Prüfung durch Flüssigkeitsdruck.

1. Der Indikator Kolben wird in kaltem Zustande belastet.

Hierzu kann eine Einrichtung verwendet werden, wie sie von Dreyer, Rosenkranz & Droop, Hannover, hergestellt wird, und wie sie in Abb. 185 dargestellt ist.

Ein Preßzylinder von geringem Durchmesser ist mit Glyzerin gefüllt. Der Indikator wird mit der zu prüfenden Feder bei J aufgeschraubt. Ein massiver Kolben K von 20 mm Durchmesser (also gleich dem gewöhnlichen Durchmesser der Indikator Kolben) taucht in den Preßzylinder. Der zu einer Stange ausgebildete obere Teil K_1 des Kolbens kann mit Gewichten G belastet werden, von denen jedes dem Drucke von 1 kg auf 1 qcm entspricht. Ein Manometer F mit doppelter Skala dient zur Kontrolle der durch Auflegen von Gewichten G geschaffenen Belastung.

Man belastet nun, von der Belastung Null ausgehend, die Feder fortschreitend von kg zu kg (für je 1 qcm Kolbenfläche) bis zur Höchstlast,

für welche die Feder überhaupt bestimmt ist. Das Maß der Zusammenrückung der Feder erhält man, indem man nach jedesmaliger Änderung der Belastung, also nach jedesmaligem Auflegen eines Gewichtes G den Indikatorhahn J öffnet, den Indikatorschreibstift sanft gegen die Papiertrummel drückt und diese von Hand aus in Bewegung setzt. Dabei darf nie versäumt werden, daß der Kolben K vor dem Andrücken des Schreibstiftes mit der Hand gedreht wird, weil dann erst die Reibung vom Kolben K überwunden ist, und der volle Belastungsdruck auf das Manometer F und den Indikatorhahn übertragen wird.

Man kann bei der Prüfung auch den umgekehrten Weg einschlagen, indem man den Kolben K zuerst mit der Höchstlast der Feder beschwert und dann durch Abnahme von Gewichtsstücken G die Belastung fortschreitend von kg zu kg (für je 1 qcm Kolbenfläche) verkleinert.

Man kann also eine Indikatorfeder mit der beschriebenen Prüfungseinrichtung, ebenso wie mit allen noch zu beschreibenden Einrichtungen dieser Art, durch Belastung und durch Entlastung prüfen. Die dabei erhaltenen Systeme von Parallellinien sollen fernerhin als Eichdiagramme bezeichnet werden.

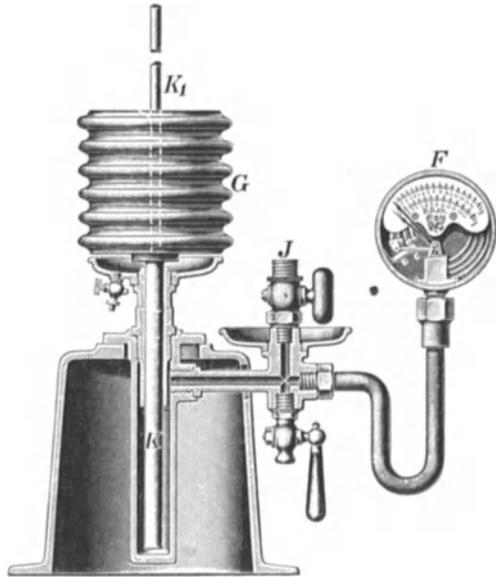


Abb. 185.

2. Der Indikatorhahn wird in warmem Zustande belastet.

Diese Prüfung könnte am einfachsten erfolgen, indem man den Indikator an einem Dampfkessel anschraubt. Die Vorteile dieses Verfahrens bestehen darin, daß man während der Prüfung Temperaturverhältnisse im Indikator herbeiführen kann, die annähernd denen entsprechen, die beim Gebrauche des Indikators an der Dampfmaschine sich vorfinden, daß ferner die Belastung des Indikatorhahns sich ganz gleichmäßig über dessen Fläche verteilt, und daß man gleichzeitig Indikatoren verschiedener Konstruktionen und mit verschiedenen Kolbendurchmessern prüfen kann.

Als Nachteil des Verfahrens fällt wohl der Umstand am meisten ins Gewicht, daß man mit der Bemessung des Prüfungsdruckes in Rücksicht auf den Betrieb an sehr enge Grenzen gebunden ist. Durch Anschaffung eines nur zur Federprüfung dienenden kleinen Kessels ist man auch von dieser Beengung befreit.

Die Firma Dreyer, Rosenkranz & Droop, Hannover, fertigt zu genanntem Zwecke einen kupfernen Kessel an, mit 300 mm Durchmesser und für Dampfdrucke bis 20 at benutzbar.

Wie Abb. 186 zeigt, ist dieser Kessel zur Aufnahme zweier Indikatoren eingerichtet und mit vollständiger Armatur, als Wasserstandszeiger (*N*) mit Füllhahn, Sicherheitsventil, Gasheizung, sowie mit Doppelkontrollmanometer (*A*) versehen. Das Ganze ist zum Schutze mit einem Blechmantel umkleidet.

Die Prüfung geschieht in folgender Weise:

Man heizt zunächst auf den höchsten zulässigen Druck der zu

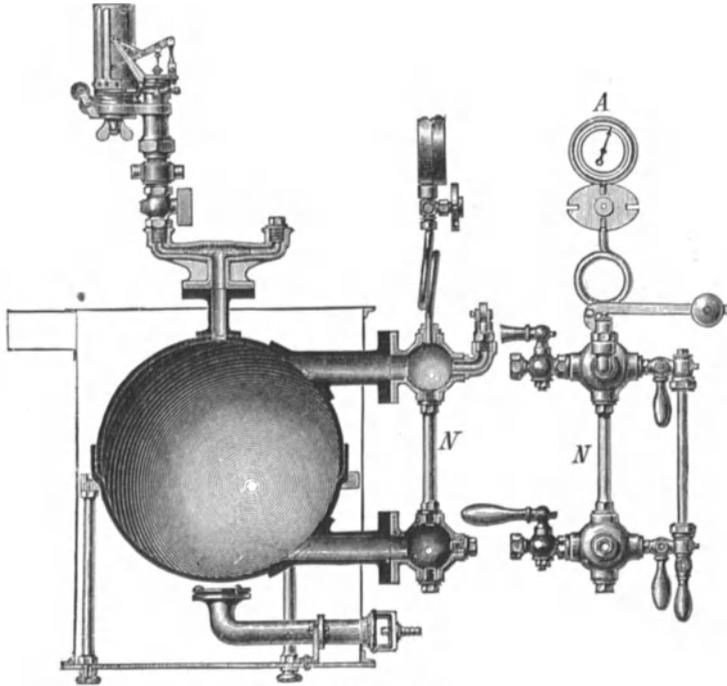


Abb. 186.

prüfenden Feder und läßt dann den Druck sinken, während man von Atmosphäre zu Atmosphäre Diagrammlinien (Gerade) schreibt. Natürlich kann man auch bei steigendem Dampfdrucke prüfen. Damit der Dampfdruck beim Öffnen des Indikatorhahnes nicht zu stark zurückgeht, darf der Kupferkessel nicht zu klein gewählt werden. Den Indikatorhahn längere Zeit vor Erreichung des beabsichtigten Prüfungsdruckes zu öffnen und zu warten, bis der gewünschte Druck erreicht ist, ist nicht empfehlenswert, da hierdurch die Erwärmung der Indikatorfeder viel weiter getrieben wird als beim Indizieren an der Dampfmaschine. Der Indikatorhahn soll daher erst kurz vor Eintritt des Prüfungsdruckes geöffnet und nach dem Ziehen der Diagrammlinie sofort wieder geschlossen werden.

b) Prüfung durch Gewichtsbelastung.

3. Der Indikator Kolben wird in kaltem Zustande belastet.

Die Prüfungseinrichtung nach Rosenkranz. Bei denjenigen Prüfungseinrichtungen, die ein Anwärmen des Indikators durch Dampf ermöglichen, ergeben sich durch das unvermeidbare Kondenswasser mancherlei Störungen und Unbequemlichkeiten. Auch gibt das bei den meisten Einrichtungen nötige Wechseln der Indikatorstellung für die Prüfung bei Vakuum und bei Druck leicht die Veranlassung zu Fehlern.

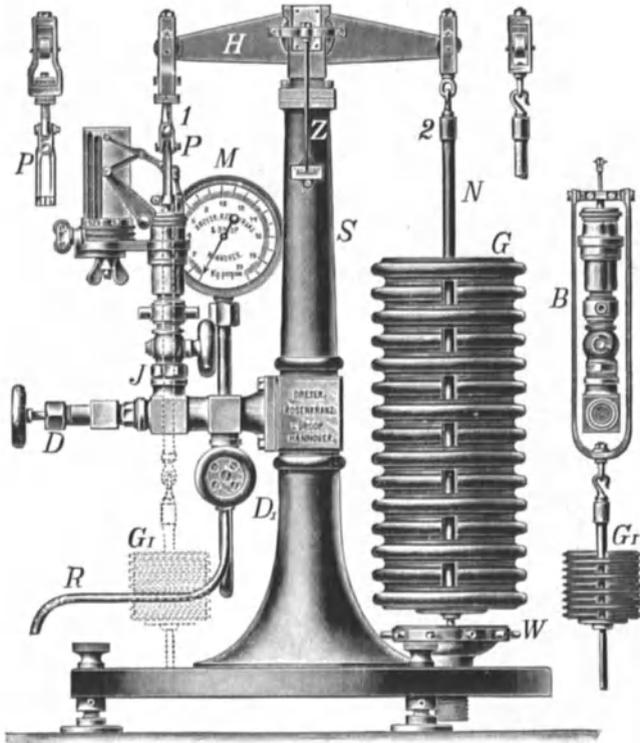


Abb. 187.

Abb. 188.

Diese Übelstände zu beseitigen und eine möglichst genaue Untersuchung zu gewährleisten, ist der Zweck der Rosenkranz'schen Einrichtung. Sie besteht, wie Abb. 187 zeigt, aus einer Säule *S*, die mit Hilfe von drei Fußschrauben und eines an der Rückseite der Säule befindlichen Lotes genau senkrecht eingestellt werden kann. Der Indikator wird bei *J* an den hohlen Querarm aufrecht aufgeschraubt und behält diese Stellung bei allen Prüfungsarten. Ein auf Schneiden gelagerter Wagebalken *H* trägt links ein Gehänge *I*, welches durch die Zange *P* mit der Indikator Kolbenstange verbunden ist, während die rechte Seite des Wagebalkens bei *2* eine Stange *N* mit Belastungsgewichten *G* trägt.

Jedes dieser Gewichte ist so bemessen, daß es für einen Durchmesser des Indikator Kolbens von 20 mm eine Belastung von 1 kg/qcm darstellt, nur das zuerst aufzulegende Gewicht ist leichter und gibt erst mit der Stange *N* zusammen diese Belastung.

Für kleinere Belastungsstufen, und besonders für die Prüfung auf Vakuum werden dem Apparate noch Gewichte für je 0,1 kg/qcm Kolbenbelastung beigegeben.

Diese Belastung der Feder auf Vakuum geschieht, wie in Abb. 187 punktiert eingezeichnet ist, unmittelbar, d. h. ohne Wagebalken, indem die Indikator Kolbenstange mit einem nach unten hängenden Bügel *B* (Abb. 187 und 188) verbunden wird und die Gewichte G_1 auf ein an diesen Bügel angehängtes Stängchen geschoben werden. Der Vorteil dieser Einrichtung besteht darin, daß die Diagramme für Überdruck und Vakuum auf ein Diagrammblatt geschrieben, also auf nur eine Atmosphärenlinie bezogen werden können.

Die Dampfzuführung bei der Prüfung mit angewärmtem Indikator erfolgt bei *D* durch ein Schraubenregulierventil. Durch das Ventil D_1 und das Röhrchen *R* fließt das Kondenswasser ab.

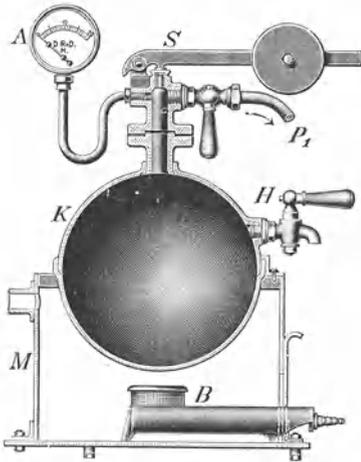


Abb. 189.

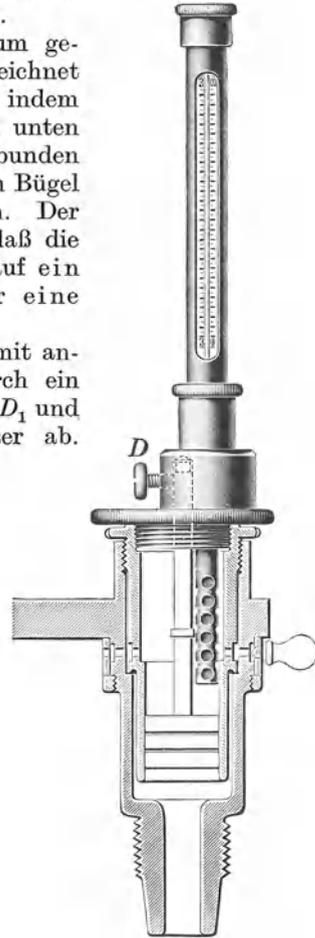


Abb. 190.

Beide Ventile *D* und D_1 dienen im Vereine mit dem Manometer *M* zur Einstellung und Konstanthaltung eines bestimmten Dampfdruckes, bzw. einer bestimmten Temperatur im Indikator.

Der Indikator kann auch nur mit Dampfdruck, also ohne Anwendung von Gewichten, geprüft werden. Zur Erzeugung des nötigen Dampfes dient der in Abb. 189 dargestellte Kupferkessel, oder man wärmt

den Indikator unter Zuhilfenahme des Wiebe-Schwirkusschen Thermometereinsatzes (Abb. 190) bis zu einer gewissen Temperatur vor. Um dieses Thermometer anbringen zu können, entfernt man die Indikatorfeder und befestigt es dann mittels des Schraubchens *D* an der Kolbenstange. Temperaturmessungen können also nur vor oder nach dem Versuche vorgenommen werden; außerdem muß durch Regelung der Ventile *D* und *D*₁ und mit Hilfe des Manometers *M* der gewünschte Zustand festgehalten werden.

Um eine Überlastung der Feder beim Prüfen zu verhindern, ist die mit einem Lederringe besetzte Platte *W* so in die Grundplatte eingeschraubt, daß sie in ihrer Höhenlage verstellt werden kann. Die Gewichte *G* können sich auf *W* auflagern, während die Stange *N* freischwingt.

Die Prüfungseinrichtung nach Strupler. In eine Grundplatte *B*₁ (Abb. 191 und 192), die mittels dreier Stellschrauben wagrecht ausgerichtet werden kann, sind zwei schmiedeeiserne, rd. 25 mm starke und 800 mm hohe Säulen eingeschraubt, welche oben durch eine Brücke *R* (Abb. 191) verbunden sind. Letztere ist zur Aufnahme des Indikators eingerichtet, der bei Druckprüfung nach unten hängend (Abb. 191), bei Vakuumprüfung nach oben stehend (Abb. 192) in die Brücke eingeschraubt wird. Im ersten Falle wird die Klemme *Z* (Abb. 191), im letzten Falle das Querstück *T* des Bügels *B* (Abb. 193) mit der Indikatorkolbenstange verbunden. Die Zugstange *K* nimmt die mit Einschnitten versehenen Belastungsgewichte *G* (Abb. 194) auf. Um einseitige Belastungen zu vermeiden, wechselt man die Lage dieser Einschnitte. Bei den ersten Gewichten sind Zange, Bügel und Druckstange in der Weise berücksichtigt, daß diese Gewichte um die entsprechenden Gewichtsunterschiede leichter gehalten sind als die übrigen Gewichte.

In den Abb. 191 und 192 ist die Prüfung von Warmfederindikatoren Rosenkranzschers Bauart dargestellt. Mit geringen Änderungen ist

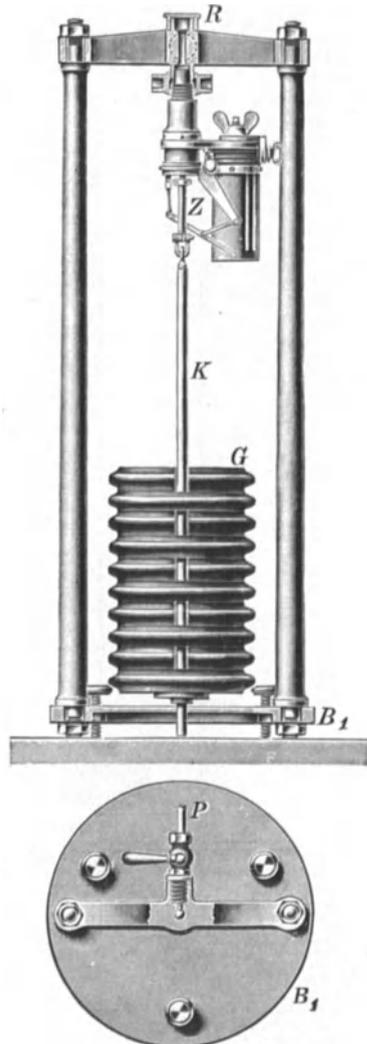


Abb. 191.

die Struplersche Prüfungseinrichtung auch für Kaltfederindikatoren und für Indikatoren anderer als der Rosenkranzsehen Bauart zu gebrauchen.

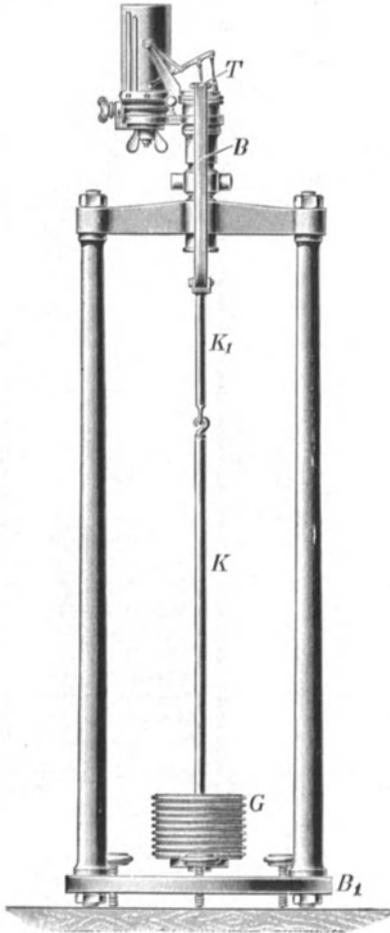


Abb. 192.



Abb. 193.

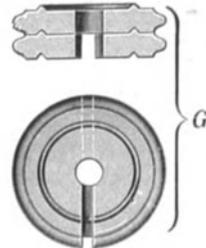


Abb. 194.

Die Prüfungseinrichtungen von Maihak. In einer kräftigen Grundplatte p (Abb. 195) sind zwei Stahlsäulen S befestigt, welche oben das Querstück t tragen. Letzteres ist für die Aufnahme des Indikators in umgekehrter Lage bestimmt. Durch drei Schrauben r und unter Zuhilfenahme der Libelle l wird die Grundplatte genau wagrecht eingestellt.

Vor dem Aufschrauben des Indikators wird bei demselben die den Kolben sichernde Schraube (bei Maihak- und Staus-Indikatoren) entfernt und an ihre Stelle das Gestänge cd eingeschraubt. Dieses Gestänge endet oben in einer Kette, welche eine Schneide s trägt.

Mit dieser Schneide hängt das Gestänge an dem linken Arme des Wagebalkens *w*. Der Zweck dieser Einrichtung ist ein doppelter:

1. wird dadurch die Möglichkeit der Ausgleichung des auf der Feder lastenden Gestängegewichtes sowie der Kolbenreibung geschaffen;
2. kann die Feder auch auf Vakuum geprüft werden.

Zu ersterem Zwecke wird der Indikator zunächst ohne Feder an das Querstück *t* geschraubt und zur Entlastung des Gestänges, welches in dieser Lage die Feder belasten würde, am rechten Ende des Wagebalkens *w* das Gewicht *i* angehängt.

Hiernach wird die Feder aufgeschraubt und an Stelle des gewöhnlich benutzten Schlußschraubchens *r* (Abb. 142) ein solches *r'* (Abb. 195) benutzt, welches nach unten mit einem kleinen Gewindepapfen zur Aufnahme des Gewichtsgestänges *kf* versehen ist.

Nunmehr zieht man auf dem auf der Papiertrommel aufgespannten Diagrammblatt die Nulllinie.

Vor Beginn der Belastung muß der Wagebalken *w* so eingestellt werden, daß er, wenn später die Feder mit der halben Maximallast beschwert ist, horizontal steht. Dadurch erreicht man es, daß der Wagebalken bei voller Belastung der Feder gleich weit nach oben und nach unten ausschlägt, der Zug in der Kette also stets in annähernd senkrechter Richtung erfolgt.

Die Feder bewegt sich bei maximaler Belastung durchschnittlich um ca. 10 mm; die Länge des mit der Schneide des Wagebalkens verbundenen Zeigers *n* ist das Doppelte der Länge eines Wagebalkens; die Spitze des Zeigers *n* würde also, wenn die Federbelastung von Null bis zur Maximallast ansteigt, auf der Millimeterteilung des Maßstabes *m* einen Weg von ca. 20 mm zurücklegen. In der Nullstellung des Schreibstiftes ist der Zeiger *n* um 10 mm nach links einzustellen. Diese Ein-

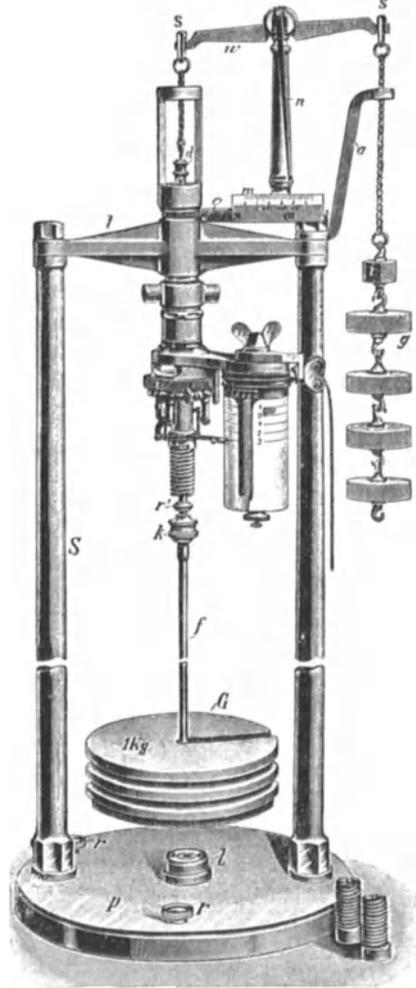


Abb. 195.

stellung geschieht durch Drehung am Schraubkopfe d , wodurch die linksseitige, zur Schneide s des Wagebalkens führende Kettchenverbindung verlängert oder verkürzt wird. Ganz kleine Unterschiede werden mittels eines Stellgewichtes ausgeglichen. Jetzt wird das Gestänge f für die Gewichte G mit der Kugelgelenkschraube k an den Gewindezapfen r' geschraubt. Durch vorsichtiges allmähliches Auflegen der Gewichtsplatten G wird die Feder auf Zug belastet bis zu der der Feder entsprechenden Maximallast. Die Gewichte G sind für den Kolbendurchmesser 20,27 mm berechnet. Sie können so ausgewählt werden, daß 1 qcm der Kolbenfläche durch eine Gewichtplatte entweder mit 1 kg oder mit $\frac{1}{2}$ kg belastet ist. Zur bequemen Handhabung und um eine Nachjustierung leichter bewirken zu können, sind die Gewichte G aus Hartblei hergestellt. Für die Belastung von 1 kg/qcm Kolbenfläche wiegt eine Platte 3,228 kg. Die Platten liegen ohne Zentriernut und -feder glatt aufeinander. Zum bequemen Anfassen werden die 1-kg-Gewichtsplatten mit einem Rande versehen. Da das Gestänge kf die Feder mit genau $\frac{1}{10}$ kg/qcm belastet, ist die zuerst aufzulegende 1-kg- bzw. $\frac{1}{2}$ -kg-Gewichtplatte um den entsprechenden Betrag leichter gehalten.

Die Gewichtsplatten sollen so aufeinandergelegt werden, daß sich die Schlitze derselben nicht decken.

Nach Erreichung der höchsten Zugbelastung geht man durch Abnahme der Gewichte G wieder zur Nullinie zurück und belastet nun die Feder auf Druck (entsprechend dem Vakuum im Maschinenzylinder), indem man den rechten Wagebalken durch Gewichte g belastet, von denen jedes $\frac{1}{10}$ kg/qcm entspricht.

Sowohl bei der Belastung auf Zug, als auch bei derjenigen auf Druck zieht man erst dann die Linie auf dem Diagrammblatt, nachdem man die Feder durch leichten Druck auf das oberste Gewicht in Schwingungen versetzt hat und nachdem der Schreibstift wieder zu Ruhe gekommen ist.

Nach Abnahme der Gewichte g muß sich die Nullinie genau wieder mit der anfangs gezogenen decken.

Als ein besonderer Vorteil der beschriebenen Einrichtung ist es anzusehen, daß die Prüfung von der höchsten Zugbelastung zurück durch die Nullinie bis zur Vakuumlinie und wieder zurück bis zur Nullinie erfolgen kann, ohne daß die Lage des Indikators geändert zu werden braucht.

4. Der Indikatorkolben wird in warmem Zustande belastet.

Bezüglich des Einflusses der Federtemperatur auf den Maßstab der Feder hat Eberle durch eine Reihe von Versuchen nachgewiesen, daß sich schon bei Anwärmung der Feder mit Dampf von Atmosphärenspannung annähernd die gleichen Maßstäbe ergeben wie bei Anwärmung mit Dampf von 12 at Spannung. Er schloß daraus, daß der Fehler, der dadurch entstehen kann, daß die Federn nicht genau bei derjenigen Temperatur geprüft werden, bei welcher sie verwendet werden, sehr gering sein wird; denn der Unterschied in den Maßstäben der mit

Dampf von Atmosphärendruck und von 12 at Spannung angewärmten Federn ergab sich in den von ihm beobachteten Fällen zu nur 0,2%. Deshalb mag es auch als berechtigt erscheinen, diejenigen Federn, welche zur Indizierung von Dampfmaschinen — wenigstens von solchen, die mit gesättigtem Dampfe arbeiten — verwendet werden, mit Dampf von der halben zulässigen Federspannung vorzuwärmen.

Will man bei der Struplerschen Prüfungseinrichtung den Indikator vor der Gewichtsprobe entsprechend anwärmen, so geschieht dies mit Hilfe des kleinen kupfernen Dampfkessels *K* (Abb. 189), der mit Manometer *A*, Sicherheitsventil *S*, Probierhahn *H*, Anschlußhahn *P*₁ und Schutzmantel *M* ausgerüstet ist. Die Heizung geschieht durch einen Gasbrenner *B*. Mittels eines bei *P*₁ anzuschließenden Kupfer- oder Messingröhrchens wird die Verbindung mit der Prüfungseinrichtung bei *P* (Grundriß Abb. 191) hergestellt, wobei natürlich die obere Indikatoranschlußöffnung in der Brücke *R* durch eine Überwurfmutter geschlossen werden muß.

Für Indikatoren mit außen — also kühl — liegender Feder fallen diese Betrachtungen fort.

5. Die Indikatorfeder allein wird in kaltem Zustande belastet.

Da bei den meisten Indikatoren die Reibung des Kolbens zweifellos störenden Einfluß auf das Ergebnis der Federprüfung ausübt, so ist es üblich, bei der Prüfung stets zwei Linien zu schreiben, und zwar die eine nach schwachem Zusammendrücken, die andere nach schwachem Ziehen an der Feder, und so den durch die Reibung verursachten Fehler zu beseitigen. Manche, beim Indizieren recht gute Instrumente ergaben aber bei diesbezüglichen Versuchen von Eberle, besonders bei den höheren Belastungsstufen der Federn zwischen beiden Linien, so große und durch mehr oder minder starken Händedruck so sehr beeinflussbare Abstände, daß die Ergebnisse nicht mehr als objektiv richtig angesehen werden können, da sie sich als von der mehr oder minder zarten Handhabung seitens des Prüfenden in beträchtlichem Maße abhängig zeigten.

7. Die Prüfung des Schreibzeuges.

Zwischen dem Wege des Indikator Kolbens und des Schreibstiftes muß Proportionalität bestehen, weil nur dann eine wirklich gute Feder sich als solche erweisen kann. Durch falsche Stellung der Gelenkpunkte des Schreibzeuges oder durch Verbiegung der Schreibzeugarme wird diese Proportionalität gestört. Es ist daher wichtig, vor jeder Federprüfung das Schreibzeug zu prüfen. Dies kann ebenfalls durch Aufnahme von Eichdiagrammen geschehen, und zwar mit Hilfe eines Mikrometers oder mittels Paßstücken.

a) Prüfung mit dem Mikrometer.

Der Indikator wird mit der dreh- und feststellbaren Klaue *n k* (Abb. 196) an dem Ständer *S* befestigt. Je nach der Größe der Indikatorverschraubung wird das Mikrometer *A* mittels der Schraube *a*

oder a^1 (Abb. 197) mit dem Indikator so verbunden, daß die Schraube s (Abb. 197) mit ihrem Ende s^1 oder mit einem darangeschraubten Verlängerungsstücke 1, 2 oder 3

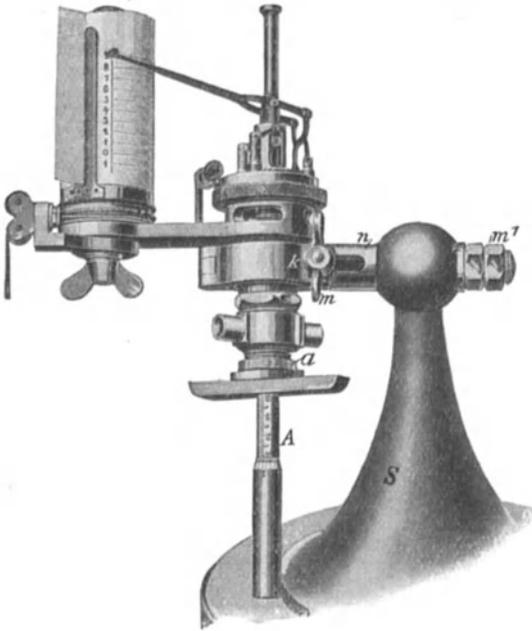


Abb. 196.

den Indikator Kolben in seiner tiefsten Lage berührt. Dann stellt man die Schraubhülse des Mikrometers auf Null und zieht mit dem Schreibstifte eine Linie, indem man die Papiertrommel mittels der Indikatorscheur bewegt. Nach einer ganzen Umdrehung der Schraubhülse hebt sich der Indikator Kolben genau um 1 mm. Zieht man dann wieder eine Linie, so muß diese von der Nulllinie einen dem Übersetzungsverhältnis des Schreibzeuges entsprechenden Abstand haben (bei der Übersetzung 1:6 also 6 mm). Dieses Verfahren setzt man fort bis zur höch-

sten Schreibstiftlage und führt zweckmäßig die Prüfung auch rückwärts aus, wobei die Berührung von Kolben und Schraube s durch leichten Druck auf den Schreibstifthebel sicherzustellen ist.

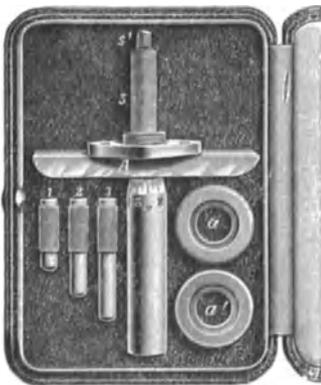


Abb. 197.

b) Prüfung mit Paßstücken.

An Stelle der Indikatorfeder werden nacheinander fünf Paßstücke (Abb. 198)

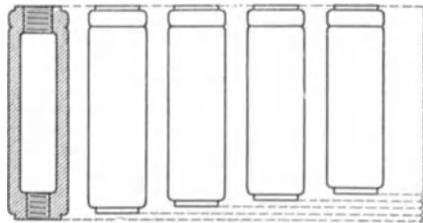


Abb. 198.

eingeschraubt, die bei Zimmertemperatur den fünf gleich weit voneinander entfernt liegenden Teilungspunkten des gesamten Schreib-

stiftweges entsprechen. Zieht man nach Einsetzung je eines Stückes durch Drehen der Papiertrommel eine Linie mit dem Indikatorstift, so müssen diese Linien gleichen Abstand voneinander haben.

8. Berechnung des Maßstabes der Warmfeder.

Die für innenliegende Indikatorfedern von seiten der Fabriken angegebenen Maßstäbe beziehen sich auf Zimmertemperatur. Bei höheren Temperaturen ändert sich nicht nur der Elastizitätsmodul des Federdrahtes, sondern auch der Federkerndurchmesser und damit auch der Federmaßstab.

Mit Hilfe des Temperaturkoeffizienten, d. h. der Veränderung der Elastizität der Feder je 1° und 1 kg, bezogen auf 1 mm des Warmfedermaßstabes, läßt sich der Federmaßstab für Temperaturen, die oberhalb der Kaltprüfungstemperatur liegen, wie folgt berechnen:

Bezeichnet

t = Temperatur der Kaltprüfung,

i = Maßstab für diese Temperatur,

T = die durch den Wiebe-Schwirkusschen Einsatz ermittelte höhere Temperatur,

k = Temperaturkoeffizient = 0,0004,

so ist der Maßstab J für T°

$$J = i + (T - t) \cdot i \cdot k = i[1 + (T - t)k].$$

Ist z. B.

$$t = 20^\circ, \quad i = 5 \text{ mm (für 1 kg/qcm)}, \quad T = 140^\circ,$$

so wird:

$$J = 5 + (140 - 20) \cdot 5 \cdot 0,0004 = (5 + 0,24) \text{ mm} = 5,24 \text{ mm}.$$

9. Meßapparat für Eichdiagramme (Bauart Staus).

Um die bei der Prüfung der Indikatorfedern und des Schreibzeuges erhaltenen Eichdiagramme möglichst genau ausmessen zu können, empfiehlt es sich, den in Abb. 199 dargestellten Meßapparat zu Hilfe zu nehmen.

Dieser mit Absicht schwer gehaltene Apparat besteht in der Hauptsache aus zwei Wangen a , die durch Querstreben zu einem Gestell verbunden sind, einem durch ein Mikrometerwerk verschiebbaren Meßtisch b und dem Mikroskop f . Durch zwei Stellschrauben kann der Apparat horizontal eingestellt werden, was durch eine auf den Tragarm des Mikroskopes aufgesetzte Libelle zu erkennen ist.

Da das Mikroskop eine rd. 25fache lineare Vergrößerung ergibt, erscheinen die Eichlinien, selbst wenn sie mit scharf gespitztem Schreibstift gezogen sind, als schmale Flächenstreifen. Deshalb besitzt das Fadenkreuz des Okulares eine besondere Einrichtung. Es besteht, wie Abb. 200 zeigt, aus vier parallelen Fäden, die durch einen fünften Faden senkrecht halbiert werden. Das in seiner Hülse drehbare Okular muß so eingestellt werden, daß die anvisierte Eichlinie genau in der

Mitte der beiden inneren Fäden zwischen denselben verläuft. Ist die Einstellung des Okulares derart geschehen, daß die Eichlinien scharf im Gesichtsfelde erscheinen, so soll auch bei Seitwärtsbewegung des Auges das Fadenkreuz unverrückbar zum Bilde erscheinen; es soll also

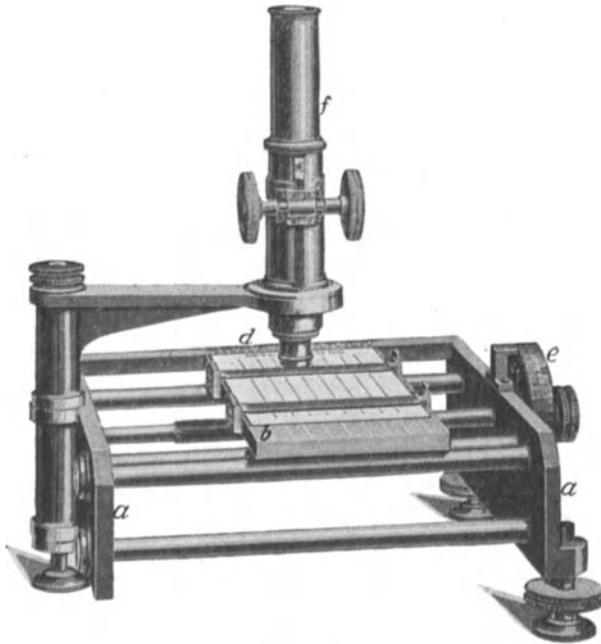


Abb. 199.

jede Parallaxe vermieden sein. Ist dies nicht der Fall, so stellt man nach Herausnahme des Okulares die dem Auge zunächstliegende Linse solange, bis die Parallaxe verschwindet.

Zum Festhalten der Eichdiagramme dienen zwei aufklappbare Blattfedern, die das Diagrammblatt auf den Meßtisch *b* drücken.

Die Mikrometerschraube wird durch ein Handrädchen bewegt; der Umfang der Meßtrommel *e* ist in 100 Teile geteilt. Einer vollen Umdrehung der Schraube entspricht eine Ver-

schiebung des Tisches *b* um 1 mm, so daß man also an der Meßtrommel Verschiebungen von $\frac{1}{100}$ mm ablesen kann. Die ganzen Millimeter werden an dem Maßstabe *d* festgestellt.

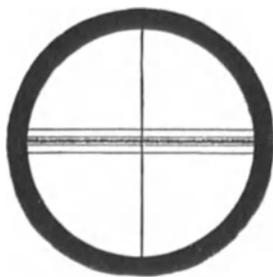


Abb. 200.

Bevor ein Eichdiagramm ausgewertet wird, zieht man eine der Eichlinien ganz durch, so daß sie auf beiden Seiten bis zum Papierrande reicht, und legt dann das Blatt so auf den Meßtisch, daß die atmosphärische Linie oder die unterste Eichlinie nach rechts gegen die Meßtrommel zu liegt und außerdem so, daß die durchgezogene Eichlinie parallel zu den auf dem Meßtische in Abständen von 1 cm eingravierten Linien verläuft. Nun stellt man den Meßtisch durch Drehen der Mikrometerschraube so weit nach links, daß die unterste Eich-

linie in der in Abb. 200 dargestellten Weise zwischen den inneren Fäden erscheint, und liest hierauf die Lage dieser Eichlinie am Maßstabe *d* und an der Meßtrommel *e* ab. Dann dreht man weiter bis zur nächsten Eichlinie, liest wieder ab und fährt so fort bis zur letzten Eichlinie.

Um den allenfalls in der Schraube vorhandenen toten Gang für die Messung unschädlich zu machen, empfiehlt es sich, den Meßtisch zur Einstellung der Linien unter das Fadenkreuz stets in der gleichen Richtung, am besten von links nach rechts, heranzuführen und, falls man zu weit gedreht hat, den Meßtisch genügend weit zurückzubewegen und von neuem einzustellen.

10. Berechnung des mittleren Federmaßstabes.

Man kann nur dann von einem Federmaßstabe sprechen, wenn die Indikatorfeder Proportionalität besitzt, d. h. wenn die Zusammenrückungen bzw. Auseinanderzerrungen proportional den Belastungen bzw. Entlastungen sind. Solche vollkommene Proportionalität findet sich aber bei keiner Indikatorfeder vor; man berechnet daher aus den bei der Prüfung einer Feder gewonnenen Ergebnissen einen sog. mittleren Federmaßstab. Dies kann nach 4 Methoden geschehen.

Es ergab z. B. die Prüfung der 10-kg-Feder eines Dreyer, Rosenkranz und Droopschen Indikators großen Modells folgende Werte:

Prüfungsgewicht g kg/qcm	Prüfung durch Belastung		
	Schreibstiftheub h von der Atmosphärenlinie aus gemessen mm	Quotient: $\frac{\text{Schreibstiftheub}}{\text{Gesamtbelastung}}$ $= \frac{h}{g} = m$	Zunahme des Schreibstiftheubes mm
$g_1 = 0,5$	$h_1 = 3,1$	$\frac{h_1}{g_1} = 6,20$	$h_2 - h_1 = 6,1$
$g_2 = 1,5$	$h_2 = 9,2$	$\frac{h_2}{g_2} = 6,13$	$h_3 - h_2 = 6,1$
$g_3 = 2,5$	$h_3 = 15,3$	$\frac{h_3}{g_3} = 6,12$	$h_4 - h_3 = 6,2$
$g_4 = 3,5$	$h_4 = 21,5$	$\frac{h_4}{g_4} = 6,14$	$h_5 - h_4 = 6,5$
$g_5 = 4,5$	$h_5 = 28,0$	$\frac{h_5}{g_5} = 6,22$	$h_6 - h_5 = 6,4$
$g_6 = 5,5$	$h_6 = 34,4$	$\frac{h_6}{g_6} = 6,25$	$h_7 - h_6 = 6,0$
$g_7 = 6,5$	$h_7 = 40,4$	$\frac{h_7}{g_7} = 6,21$	$h_8 - h_7 = 6,1$
$g_8 = 7,5$	$h_8 = 46,5$	$\frac{h_8}{g_8} = 6,20$	$h_9 - h_8 = 6,2$
$g_9 = 8,5$	$h_9 = 52,7$	$\frac{h_9}{g_9} = 6,20$	$h_{10} - h_9 = 6,3$
$g_{10} = 9,5$	$h_{10} = 59,0$	$\frac{h_{10}}{g_{10}} = 6,21$	
Sa. 50,0	310,1	61,88	55,9

1. Methode. Man berechnet für jedes Belastungsintervall den zugehörigen Maßstab, also die Quotienten $\frac{h_1}{g_1}, \frac{h_2}{g_2} \dots \frac{h_{10}}{g_{10}}$, und bildet aus den so erhaltenen Maßstäben das arithmetische Mittel. Es wird dann:

$$\text{Mittlerer Federmaßstab} = \frac{61,88}{10} = 6,19 \text{ mm.}$$

(bei Belastung)

2. Methode. Diese besteht darin, daß man das arithmetische Mittel der Differenzen zweier aufeinanderfolgender Schreibstifthübe bildet. Es wird dann:

$$\text{Mittlerer Federmaßstab} = \frac{55,9}{9} = 6,21 \text{ mm.}$$

(bei Belastung)

3. Methode. Diese wurde von Eberle angegeben. Man dividiert den bei der Gesamtbelastung festgestellten Gesamtschreibstifthub durch die Gesamtbelastung. Es wird dann:

$$\text{Mittlerer Federmaßstab} = \frac{h_{10}}{g_{10}} = \frac{59,0}{9,5} = 6,21 \text{ mm.}$$

(bei Belastung)

4. Methode. Diese wurde von Meyer angegeben. Nach ihr erhält man den mittleren Federmaßstab, wenn man die Summe aller Schreibstifthübe, jeden von der Atmosphärenlinie aus gerechnet, durch die Summe aller Prüfungsgewichte dividiert. Es wird dann:

$$\begin{aligned} \text{Mittlerer Federmaßstab} &= \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_{10}}{g_1 + g_2 + \dots + g_{10}} \\ &= \frac{310,1}{50,0} = 6,20 \text{ mm.} \end{aligned}$$

(bei Belastung)

Für gewöhnliche Indikatorversuche genügt es, für jede Feder, die in Benutzung kommt, einen mittleren Federmaßstab nach einer der obigen vier Methoden zu berechnen und denselben von Zeit zu Zeit nachzuprüfen. Bei wissenschaftlichen Untersuchungen dagegen und bei Garantieversuchen, bei denen es sich um Objekte von hohem Anschaffungswerte oder um beträchtliche Konventionalstrafen handelt, ist man gezwungen, diejenigen Fehler, die in der mangelhaften Proportionalität der Indikatorfedern zu suchen sind, in eingehender Weise zu berücksichtigen. Hierzu stehen drei verschiedene Methoden zur Verfügung, nämlich:

1. die Methode von Eberle,
2. die Methode von Schröter,
3. die Methode von Schröter - Koob.

Selbstverständlich ist, daß bei wichtigen Untersuchungen nur solche Indikatorfedern benutzt werden sollen, die wesentliche Proportionalitätsfehler nicht aufweisen.

11. Die Berücksichtigung von Proportionalitätsfehlern.

Methode von Eberle zur Berücksichtigung der Proportionalitätsfehler von Indikatorfedern. Das in Abb. 201 dargestellte Diagramm des Hochdruckzylinders einer stehenden 1500 pferdigen Verbundmaschine mit Corlißsteuerung ist mit der Indikatorfeder geschrieben, deren Prüfungsergebnisse bereits auf S. 269 angeführt sind.

Innerhalb der einzelnen Belastungsstufen waren die Maßstäbe folgende:

Belastungsstufe kg/qcm	0,0 bis 0,5	0,5 bis 1,5	1,5 bis 2,5	2,5 bis 3,5	3,5 bis 4,5	4,5 bis 5,5	5,5 bis 6,5	6,5 bis 7,5	7,5 bis 8,5	8,5 bis 9,5
Maßstab . . . mm	6,2	6,1	6,1	6,2	6,5	6,4	6,0	6,1	6,2	6,3

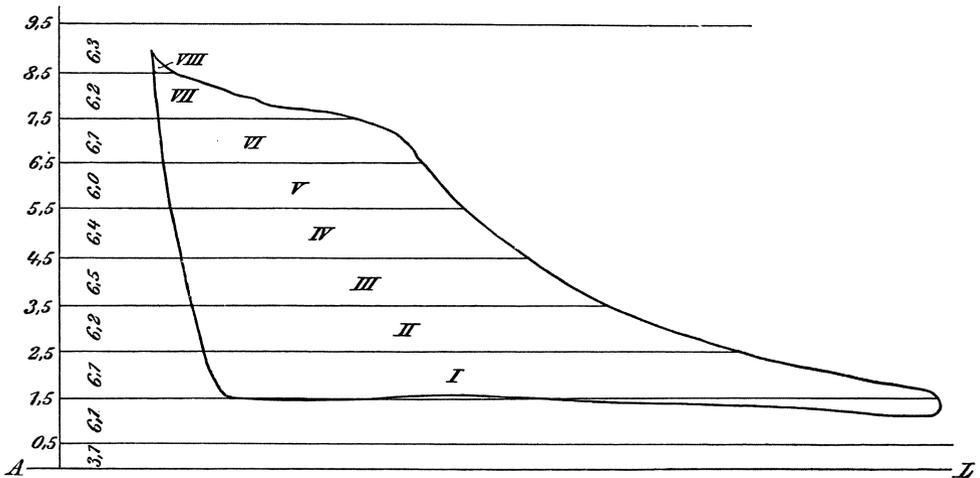


Abb. 201.

Eberle trägt nun diese 10 verschiedenen Maßstäbe auf einer Senkrechten zur Atmosphärenlinie AL , von letzterer ausgehend, auf und zieht durch die entsprechenden Punkte Horizontallinien. Dadurch wird die Diagrammfläche in verschiedene Horizontalstreifen geteilt. In folgendem Diagramme fällt der an der Atmosphärenlinie AL anliegende Streifen nicht auf die Diagrammfläche, während der nächstfolgende Streifen nur zum kleinsten Teile mit der Diagrammfläche zusammenfällt, weshalb diese beiden Horizontalstreifen bei der nun folgenden Berechnung vollständig außer acht gelassen werden. Erst die Streifen I bis VIII fallen auf die Diagrammfläche.

Man planimetriert nun jeden einzelnen Streifen, berechnet die zugehörige mittlere Höhe (die Länge des vollständigen Diagrammes als Grundlinie genommen) und bestimmt aus dieser mit Hilfe des zu jedem Streifen gehörigen, durch vorangegangene Prüfung festgestellten Feder-

maßstabes den jedem Streifen entsprechenden mittleren Druck. Dann erhält man die Zahlen der folgenden Tafel.

Nr. des Feldes	Mittlere Höhe	Maßstab	Mittlerer Druck
	mm		kg/qcm
VIII	0,065	6,3	0,010
VII	0,580	6,2	0,093
VI	1,729	6,1	0,283
V	2,029	6,0	0,338
IV	2,512	6,4	0,392
III	2,995	6,5	0,461
II	3,478	6,2	0,560
I	5,507	6,1	0,903
	18,895		3,040

Der mittlere Federmaßstab ist alsdann:

$$\frac{18,895}{3,040} \text{ mm} = 6,215 \text{ mm.}$$

Wie ein Blick auf Abb. 201 zeigt, sind bei dieser Methode die für die Belastungsintervalle $0 \div 0,5$ kg und $0,5 \div 1,5$ kg geltenden Einzelmaßstäbe außer acht gelassen, und das mit Recht, denn diese Drücke kommen im Diagramm nicht vor.

Methode von Schröter zur Berücksichtigung der Proportionalitätsfehler von Indikatorfedern. In Abb. 202 ist wieder das Diagramm des Hochdruckzylinders einer stehenden 1500 pferdigen Verbundmaschine mit Corlißsteuerung dargestellt. Die Prüfung der Indikatorfeder hatte für die einzelnen Belastungsstufen die folgenden, bereits angeführten Maßstäbe ergeben:

Belastungsstufe kg/qcm	0,0 bis 0,5	0,5 bis 1,5	1,5 bis 2,5	2,5 bis 3,5	3,5 bis 4,5	4,5 bis 5,5	5,5 bis 6,5	6,5 bis 7,5	7,5 bis 8,5	8,5 bis 9,5
	Maßstab . . . mm	6,2	6,1	6,1	6,2	6,5	6,4	6,0	6,1	6,2

Auf einer Senkrechten zur Atmosphärenlinie AL trägt man die diesen Belastungsstufen entsprechenden Maßstäbe auf, wodurch die Punkte 0,5, 1,5, 2,5, . . . 9,5 erhalten werden. Dann halbiert man die Abstände dieser Teilpunkte und zieht durch die Halbierungspunkte Parallelen zur Atmosphärenlinie. Von den Schnittpunkten dieser Halbierungslinien mit dem Diagramm fällt man Senkrechte auf die Atmosphärenlinie AL . Dadurch wird das Diagramm in eine Anzahl senkrechter Streifen geteilt, die in Abb. 202 mit römischen Ziffern I bis $XVII$ bezeichnet sind. (Die Ziffern $XIII$ bis XVI sind des beengten Platzes wegen fortgelassen.) Die außerhalb der Diagrammfläche liegenden Streifen wurden der Deutlichkeit halber schraffiert. Diese Streifen sind negativ in Rechnung zu ziehen. Es wird nun jeder Streifen für sich planimetriert und der gefundene Inhalt in ein Rechteck verwandelt, dessen Grundlinie gleich der Länge des ganzen Diagrammes ist (in obigem Beispiele = 103,5 mm).

Die zu dieser Grundlinie gehörige Höhe sei bei den einzelnen Vertikalstreifen mit $h(I)$, $h(II)$ usw. bis $h(XVII)$ bezeichnet. Jede dieser Höhen wird nun durch den zu dem entsprechenden Vertikalstreifen gehörenden Maßstab dividiert, wodurch man die den einzelnen Streifen entsprechenden mittleren Drücke $p(I)$, $p(II)$, . . . $p(XVII)$ erhält.

Der Maßstab, der zum Streifen *I* gehört, ist derjenige, der bei der Prüfung des Feder für die Belastung 8,5 kg gefunden wurde. Zum Streifen *VI* z. B. gehört der für 3,5 kg Belastungsgewicht gefundene Maßstab. Man findet also diese Maßstäbe aus der Zahlentafel auf S. 269, wo sie allgemein mit $\frac{h}{g} = m$ bezeichnet sind.

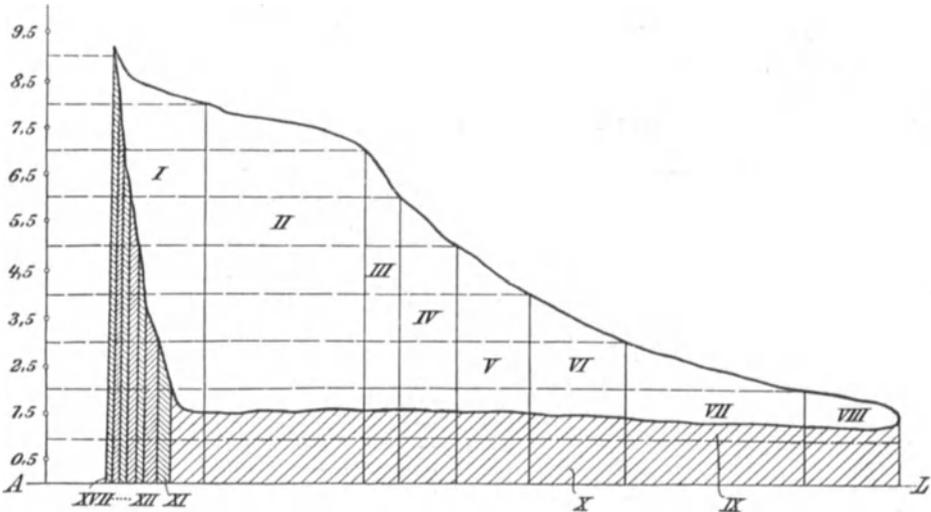


Abb. 202.

Es wird also:

$$\begin{aligned}
 p(I) &= \frac{h(I)}{m(I)}, \\
 p(II) &= \frac{h(II)}{m(II)}, \\
 &\vdots \\
 p(XVII) &= \frac{h(XVII)}{m(XVII)}.
 \end{aligned}$$

Man erhält alsdann den mittleren Druck des Diagrammes:

$$\begin{aligned}
 P &= p(I) + p(II) + \dots + p(XVII) \\
 &= \frac{h(I)}{m(I)} + \frac{h(II)}{m(II)} + \dots + \frac{h(XVII)}{m(XVII)},
 \end{aligned}$$

allgemein:

$$P = \sum \frac{h}{m}.$$

Es ist aber auch:

$$P = \frac{\text{mittlere Höhe des ganzen Diagrammes}}{\text{mittlerer Maßstab des ganzen Diagrammes}} = \frac{H}{M},$$

woraus sich ergibt:

$$\sum \frac{h}{m} = \frac{H}{M},$$

folglich:

$$M = \frac{H}{\sum \frac{h}{m}} = \frac{\sum h}{\sum \frac{h}{m}}.$$

Die folgende Zahlentafel enthält die Ergebnisse des nach der Methode von Prof. Schröter ausgewerteten Diagrammes in Abb. 202.

Streifen Nr.	Maßstab kg/qcm	Mittlere Höhe h mm	Mittlerer Druck = $\frac{h}{m}$
I	6,20	6,208	1,001
II	6,20	9,455	1,525
III	6,21	2,196	0,353
IV	6,25	2,292	0,366
V	6,22	2,483	0,399
VI	6,14	2,387	0,388
VII	6,12	3,629	0,593
VIII	6,13	1,146	0,187
IX	6,13	-2,865	-0,467
X	6,20	-4,157	-0,831
XI	6,12	-0,382	-0,062
XII	6,14	-0,286	-0,046
XIII	6,22	-0,382	-0,061
XIV	6,25	-0,286	-0,045
XV	6,21	-0,286	-0,460
XVI	6,20	-0,382	-0,061
XVII	6,20	-0,573	-0,092
		19,197	3,101

Mittlerer Maßstab:

$$M = \frac{\sum h}{\sum \frac{h}{m}} = \frac{19,197}{3,101} = 6,19.$$

Die beiden vorher besprochenen Methoden der Zerlegung in Horizontal- bzw. Vertikalstreifen bergen den Fehler in sich, daß sie auf der Annahme beruhen, der Federmaßstab eines Streifens gehe plötzlich in denjenigen des benachbarten Streifens über, während es doch sehr wahrscheinlich ist, daß diese Änderung sich allmählich vollzieht. Diesem Umstande trägt die

Methode von Schröter-Koob zur Berücksichtigung der Proportionalitätsfehler von Indikatorfedern-Rechnung. Man könnte diese Methode auch das Verfahren der Umzeichnung nennen.

Das ausgezogene Diagramm in Abb. 203 sei mit einer Indikatorfeder mit mangelhafter Proportionalität geschrieben, während das punktiert dargestellte Diagramm angenommenerweise mit einer Feder, die vollkommene Proportionalität besitze, aufgenommen sei, und zwar unter genau denselben Verhältnissen in bezug auf Belastung, Dampfspannung usw. wie das ausgezogene Diagramm.

Im ersten Falle hat ein beliebiger Punkt A der Diagrammkurve den Abstand h von der Atmosphärenlinie AL . Der Federmaßstab für diesen Punkt A sei gemäß der Federprüfungsergebnisse $= m$.

Der Dampfdruck p im Punkte A ist dann:

$$p = \frac{h}{m}.$$

Im zweiten Falle hätte der Punkt A die Lage A_1 ; sein Abstand von der Atmosphärenlinie sei $= h_1$.

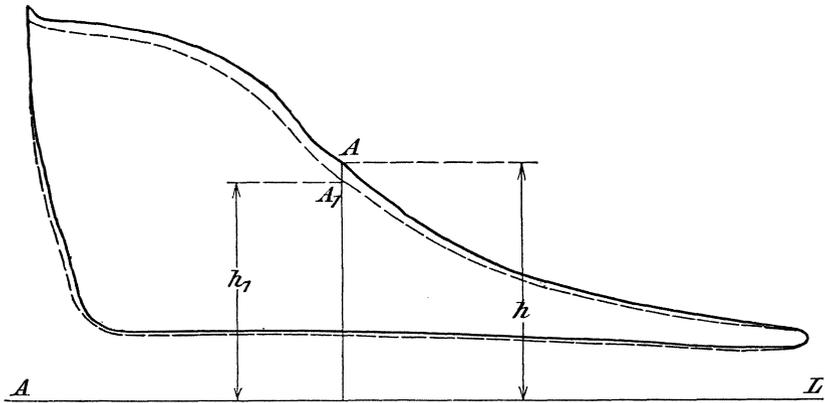


Abb. 203.

Der Dampfdruck im Punkte A_1 fände sich dann zu:

$$p_1 = \frac{h_1}{M_1},$$

wobei M_1 den für das ganze punktierte Diagramm geltenden Federmaßstab bedeutet.

Es ist dann:

$$\frac{h}{m} = \frac{h_1}{M_1},$$

folglich:

$$h_1 = M_1 \cdot \frac{h}{m}.$$

Mit Hilfe dieser Gleichung lassen sich für alle diejenigen Punkte des ausgezogenen Diagrammes, deren Federmaßstäbe bekannt, d. h. durch Prüfung gefunden sind, diejenigen Ordinaten bestimmen, die sich bei Anwendung einer Indikatorfeder mit vollkommener Proportionalität ergeben hätten. Man kann also das vom Indikator geschriebene, aber

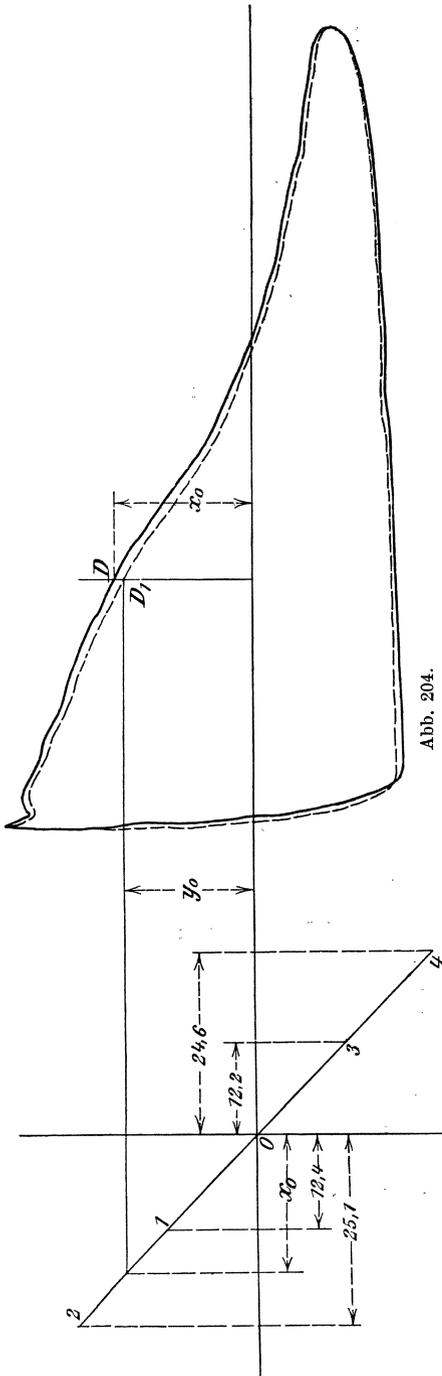


Abb. 204.

verzerres Diagramm in das entsprechende reguläre Diagramm umzeichnen.

Bezeichnet:

P = mittleren Dampfdruck aus dem verzerren Diagramm berechnet,

H = mittlere Höhe des verzerren Diagrammes,

F = Fläche des verzerren Diagrammes,

M = mittleren Maßstab des verzerren Diagrammes,

P_1 = mittleren Dampfdruck aus dem regulären Diagramm berechnet,

H_1 = mittlere Höhe des regulären Diagrammes,

F_1 = Fläche des regulären Diagrammes,

M_1 = mittleren Maßstab des regulären Diagrammes,

so ist für das reguläre Diagramm:

$$\text{mittlerer Dampfdruck } P_1 = \frac{H_1}{M_1},$$

für das verzerres Diagramm ist:

$$\text{mittlerer Dampfdruck } P = \frac{H}{M},$$

M soll nun so bestimmt werden, daß:

$$P = P_1$$

wird, oder

$$\frac{H}{M} = \frac{H_1}{M_1},$$

folglich muß

$$M = M_1 \cdot \frac{H}{H_1}$$

sein.

Zur Auffindung von M ist nur nötig, durch Planimetrieren die mittleren Höhen H und H_1 des verzerren bzw. regulären Diagrammes zu suchen und ihren Quotienten mit demjenigen Maß-

stabe M_1 zu multiplizieren, welcher der vollkommen proportionalen Indikatorfeder zukäme.

In Abb. 204 ist das Diagramm des Niederdruckzylinders der schon vorher durch das Hochdruckdiagramm gekennzeichneten 1500 pferdigen Dampfmaschine wiedergegeben. Es ist mit einer Indikatorfeder geschrieben, deren Prüfung folgende Ergebnisse lieferte:

Nr.	Druck in kg/qcm	Schreibstifthub in mm	Federmaßstab
1	0,5	12,4	24,8
2	1,0	25,1	25,1
3	0,5	12,2	24,4
4	1,0	24,6	24,6

Das Diagramm soll für einen konstanten Maßstab $M_1 = 24$ mm umgezeichnet werden. Dazu gibt Koob¹⁾ folgendes Verfahren an:

Man trägt zuerst in einem Koordinatensysteme (Abb. 204) die in der Zahlentafel enthaltenen Ergebnisse der Federprüfung so auf, daß die Abszissen x den bei der Prüfung gefundenen Schreibstifthüben gleich sind, während die Ordinaten y denjenigen Schreibstifthüben gleich sind, die sich bei der Feder ergeben hätten, wenn letztere vollkommene Proportionalität besessen hätte (hier also 1 kg/qcm 24 mm).

Es wird also für den

- Punkt 1 die Abszisse $x = 12,4$ mm, die Ordinate $y = 0,5 \cdot 24 = 12$ mm,
- „ 2 „ „ „ $x = 25,1$ „ „ „ „ $y = 1,0 \cdot 24 = 24$ „ „
- „ 3 „ „ „ $x = 12,2$ „ „ „ „ $y = 0,5 \cdot 24 = 12$ „ „
- „ 4 „ „ „ $x = 24,6$ „ „ „ „ $y = 1,0 \cdot 24 = 24$ „ „

Die Abszissenachse ist so gewählt, daß sie in die verlängerte Atmosphärenlinie des Diagrammes fällt.

Man verbindet dann die Punkte 1 und 3 einerseits mit den Punkten 2 bzw. 4, andererseits mit dem Koordinatenursprung 0 durch gerade Linien.

Soll nun für einen beliebigen Punkt D des verzerrten Diagrammes der entsprechende Punkt des zugehörigen regulären Diagrammes gefunden werden, so trägt man seine Ordinate x_0 in dem Koordinatensysteme als Abszisse auf. Die zugehörige Ordinate y_0 ist die Ordinate des gesuchten Punktes des regulären Diagrammes.

B. Einrichtungen zur Messung der Nutzleistung.

1. Der Pronysche Zaum und seine Abarten.

Die von einer Kraftmaschine abgegebene Leistung ist bestimmt durch die Kraft, die am Umfange einer Scheibe wirkt, welche auf der Hauptwelle der Maschine sitzt, und durch ihre Umdrehungszahl.

¹⁾ Z. bayer. Rev.-V. Jg. 1901.

Bezeichnet P_1 die Umfangskraft, R den Halbmesser der Scheibe, n die minutliche Umdrehungszahl derselben, so beträgt die Leistung:

$$N = P_1 \cdot \frac{2\pi R}{60 \cdot 75} \cdot n \text{ PS.}$$

Um N durch den Versuch zu ermitteln, hat man also P_1 und n zu messen. Die Messung der Umdrehungszahl läßt sich mit Tourenzählern, Hubzählern usw. in sehr einfacher Weise genau bewerkstelligen, die der Umfangskraft ist schon umständlicher, besonders wenn es sich um große Kräfte handelt.

Die Zahl der zur Messung der Umfangskraft dienenden Vorrichtungen ist sehr groß, es soll an dieser Stelle zunächst der Pronysche Zaum besprochen werden. Derselbe ist in Abb. 205 veranschaulicht und besteht aus einem Hebel, der 2 Bremsklötze trägt, die auf eine

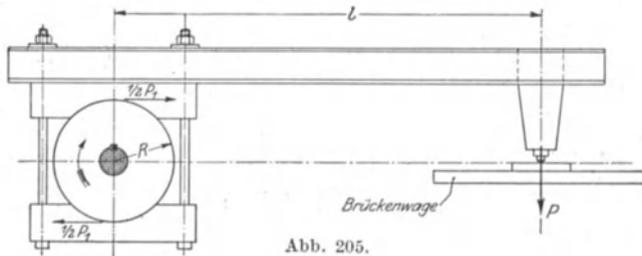


Abb. 205.

Scheibe, deren Umfangskraft gemessen werden soll, aufgeklemmt werden. Durch die dabei entstehende Reibung würde sich der Zaum mit der Scheibe mitdrehen. Verhindert man dies, wie in Abb. 205 eingezeichnet, durch eine Waage, so kann man den am Hebelarm l wirkenden Druck P abwägen, der der Reibung am Scheibenumfang das Gleichgewicht hält. Setzt man voraus, daß die Eigengewichtswirkung des Zaumes ausgeglichen sei, so besteht für den Fall der Belastung bei richtig einspielender Waage folgende Gleichgewichtsbeziehung:

$$P_1 \cdot R = P \cdot l,$$

$$P_1 = P \cdot \frac{l}{R}.$$

Setzt man den letzten Wert in die Gleichung für N ein, so folgt:

$$N = \frac{P \cdot l}{R} \cdot \frac{2R\pi n}{60 \cdot 75},$$

$$N = \frac{2\pi l}{60 \cdot 75} \cdot P \cdot n,$$

da $\frac{2\pi l}{60 \cdot 75}$ ein für eine Bremsvorrichtung konstant bleibender Wert ist:

$$N = \text{Const. } P \cdot n.$$

Die Eigengewichtswirkung kann in verschiedener Weise berücksichtigt werden: Man hängt die Bremse, losgelöst von der Brems-

scheibe, mit dem Scheitel des oberen Bremsklotzes (Punkt *e* in Abb. 206) freischwebend auf und ermittelt das einseitige Übergewicht des Hebelarmes *l* mittels der Wage. Statt die Bremse aufzuhängen, kann man sie bei *e* auch auf eine Schneide legen, oder man steckt die Bremscheibe auf eine besondere Achse, die möglichst wagerecht und reibungsfrei gelagert wird. In allen diesen Fällen ist bei der Ausführung von Bremsversuchen das Übergewicht des Hebelarmes *l* von der Gesamtbelastung der Wage abzuziehen; der Rest ist das in Rechnung zu setzende Gewicht *P*. Endlich kann man das Übergewicht auch durch ein Gegengewicht *Q'* (Abb. 206) ausgleichen.

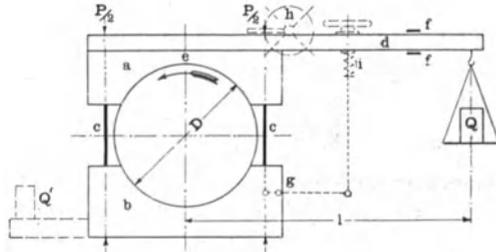


Abb. 206.

Die in Abb. 205 dargestellte Bremse kann leicht unruhig laufen, besonders wenn das Druckgestänge eine erhebliche Länge hat. Ruhiger läuft die Bremse nach Abb. 206, bei der im Abstand *l* von der Drehachse eine Wagschale mit Gewichten angehängt ist. Diese Bremse muß entweder durch fest verankerte Seile, die während der Versuche aber lose hängen müssen, gegen Herumschleudern gesichert werden, oder der Hebelarm muß zwischen zwei festen Anschlägen *ff* pendeln. Es empfiehlt sich zur Erreichung einer gewissen Elastizität der Bremse bei Veränderung des Reibungskoeffizienten Gummischeiben oder starke Federn unter die Anzugsschrauben zu legen. Dasselbe läßt sich mit der Hebel- und Federanordnung *gi* in Abb. 206 erreichen. Bei größeren Leistungen ist eine Übersetzung mit Schnecke und Schneckenrad *h* zu empfehlen; hier sind zur Erzielung leichten Ganges sämtliche Zapfen in Kugeln zu lagern.

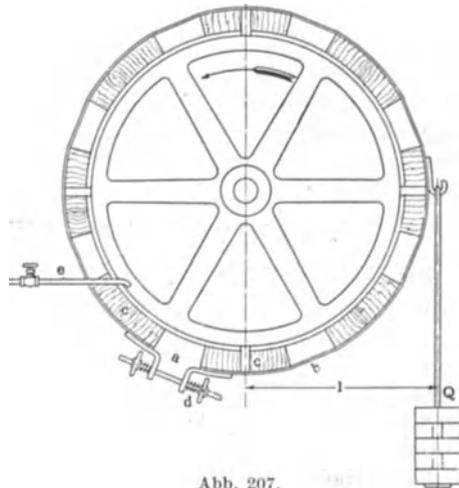


Abb. 207.

Die Reibungsfläche der Bremscheibe ist durch mäßige Schmierung etwas fettig zu halten. Bei Versuchen von längerer Dauer ist die erzeugte Wärme dadurch abzuführen, daß man auf die Innenseite des Bremscheibenkranzes kaltes Wasser leitet.

Bremsen dieser Art haben sich für Leistungen bis 200 PS bewährt.

Abb. 207 zeigt eine besonders bei Versuchen an Lokomobilen bis 200 PS sehr häufig verwendete Bremse. Sie besteht aus einem bei *a*

geteilten Stahlband b , das auf der Innenseite mit Holzklötzen c besetzt ist und mittels des Schraubengetriebes d unter Zwischenlage von kräftigen Federn angezogen wird. Die Gewichtsscheiben sind zum bequemen

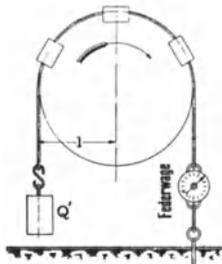


Abb. 208.

Anbringen und Abnehmen geschlitz. Die Kühlwasserzufuhr erfolgt durch zwei auf beiden Seiten angebrachte Rohre e . Die Bremse wird unmittelbar auf das Schwungrad aufgesetzt und durch an den Holzklötzen befestigte Flacheisen gegen Herabfallen geschützt. Auch diese Bremse bedarf einer Seilsicherung.

In Abb. 208 ist eine Seilbremse dargestellt, die für kleinere Leistungen bis 20 PS brauchbar ist und keine Bedienung erfordert. Sie besteht aus zwei etwa $12 \div 15$ mm starken Hanfseilen, die um den halben Umfang einer geeigneten Scheibe geschlungen und mittels einiger Holzklammern mit Blecheinlagen nach Abb. 209 zusammengehalten sind. Das ablaufende Seilende wird mit einer fest verankerten Federwaage verbunden, am auflaufenden Seilende wird das Belastungsgewicht Q' eingehängt. Die Federwaage ist vor den Versuchen auf ihre Richtigkeit zu prüfen; als Bremsgewicht P ist der Unterschied zwischen Q' und der Angabe q der Federwaage in die Rechnung einzuführen; also

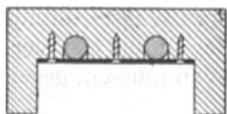


Abb. 209.

$$\text{Belastung } P = Q' - q.$$

Die Seile sind vor ihrer Verwendung in Talg auszukochen. Vor dem Abstellen der Maschine sind entweder die Gewichte abzunehmen oder die Federwaage ist auszuhängen, weil die letztere sonst durch plötzliche Überlastung beschädigt werden kann.

2. Bremsvorrichtungen für Dampfturbinen.

Die Flüssigkeitsbremse. Die hohen Umdrehungszahlen der Dampfturbinen setzen der Verwendung der eben beschriebenen Reibungsbremsen große Schwierigkeiten entgegen. Man wendet daher in Laboratorien und auf Prüfständen zum Zwecke der Messung der Nutzleistung vielfach eine Bremse an, bei welcher die Flüssigkeitsreibung die Leistungsübertragung zwischen Bremscheibe und Bremszaum übernimmt.

Die Arbeitsweise einer solchen Flüssigkeitsbremse veranschaulicht Abb. 210. Auf der Welle derselben sitzen die Bremscheiben S aufgekeilt, ihre Größe und Anzahl richtet sich nach der Größe der abzubremsenden Gesamtleistung. Gleichfalls auf der Welle, jedoch drehbar gelagert, sitzt ein Kammergehäuse G zur Aufnahme der Bremsflüssigkeit. Am Gehäuse sind Wagebalken angeordnet zur Abwägung des übertragenen Drehmomentes für wechselnde Drehrichtung. Die Lagerung der Welle und des Gehäuses kann man sich jedoch etwa in derselben Weise ausgeführt denken, wie bei der nachfolgend beschrie-

benen Leistungswage (Abb. 211). In das Kammergehäuse wird durch einen Zuflußhahn Wasser geleitet. Zur Regelung des Wasserabflusses dienen mehrere Hähne; es wird durch diese die im Kammergehäuse befindliche Wassermenge und damit die Größe der Teilbelastung eingestellt.

Bezeichnet P die Summe der aufgelegten Bremsgewichte in kg, l den Hebelarm des Wagebalkens in m, n die Umdrehungszahl in der Minute, so beträgt die abgebremste Leistung:

$$N_e = P \cdot \frac{2\pi \cdot l}{60 \cdot 75} \cdot n,$$

$$\frac{2\pi l}{60 \cdot 75} = C,$$

$$N_e = C \cdot P \cdot n \text{ PS.}$$

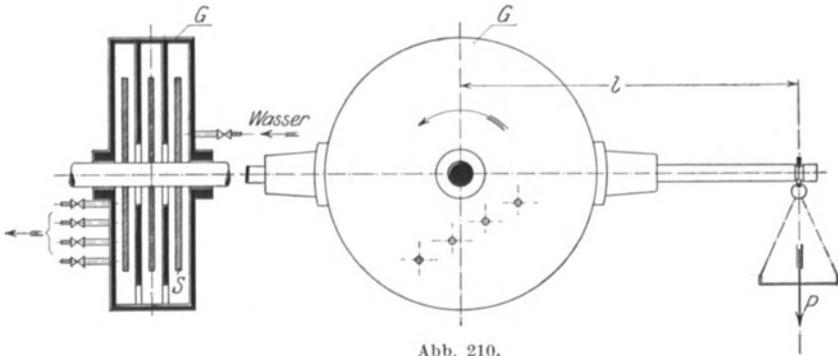


Abb. 210.

Die abgebremste Leistung setzt sich in Flüssigkeitswärme um und muß sich, abzüglich des Betrages der Wärmestrahlung und etwaiger Verdampfungsverluste, in der Zunahme der Flüssigkeitswärme wiederfinden. Diese Tatsache kann man zu einer Nachprüfung der Bremsung benutzen. Die Wärmestrahlung wird gering sein, falls Zufluß- und Abflußtemperatur des Wassers nicht zu viel von der Raumtemperatur abweichen; es wird dadurch auch eine Verdampfung vermieden. Es wird allerdings in diesem Falle der Kühlwasserverbrauch ziemlich groß. Bezeichnet G das stündlich die Wasserkammer durchfließende Wassergewicht in kg, t_e und t_a die Wassertemperaturen am Ein- und Austritt im Beharrungszustande, so ergibt sich die an das Wasser abgegebene Leistung aus:

$$N_w \cdot \frac{75 \cdot 3600}{427} = G(t_a - t_e),$$

$$N_w = \frac{G(t_a - t_e)}{632,3} \text{ PS.}$$

Dieser Wert N_w muß, falls anderweitige Verluste nicht auftreten, mit N_e insoweit übereinstimmen, als die Bremsleistung in Wassermenge übergehen kann, d. h. also abgesehen von der Lagerreibung.

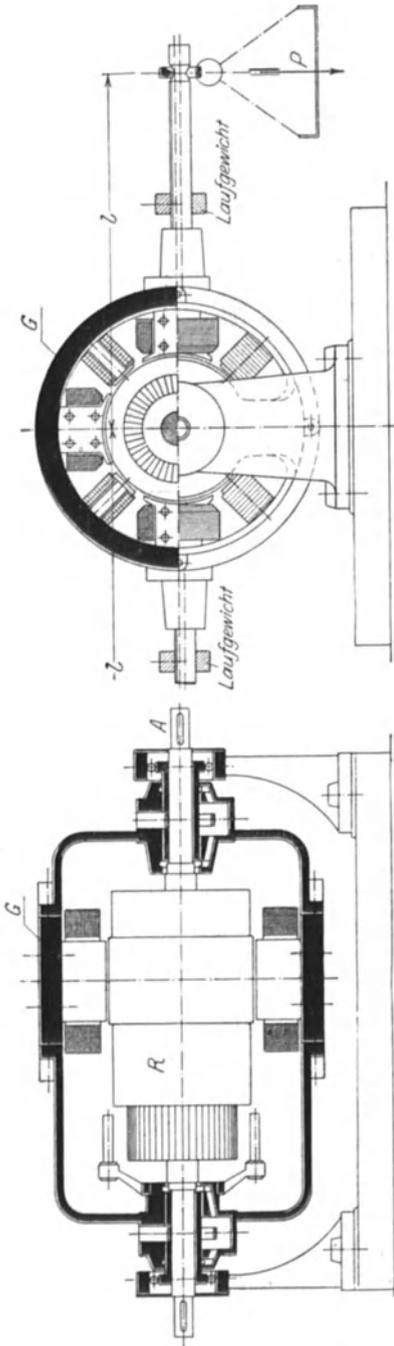


Abb. 211.

Die elektrodynamische Leistungswage. Sehr geeignet zur unmittelbaren Leistungsmessung ist ferner das dynamoelektrische Prinzip, und zwar in einer Anwendung, bei der seine Wirkung an Stelle der Reibung tritt und, ähnlich wie bei der Flüssigkeitsbremse das Wasser, nur als Belastungsmittel dient.

Eine nach diesem Grundsatz arbeitende Bremse ist die elektrodynamische Leistungswage von Dr. M. Levy, Berlin, deren Anordnung Abb. 211 zeigt. Auf der Welle sitzt der Anker *R* (Gleichstromanker) aufgekittet. Das Magnetgehäuse *G* ist in Kugellagern beweglich gelagert und nimmt die Welle in Ringschmierlagern auf. An demselben sind, für wechselnde Drehrichtung, zwei Wagebalken angebracht, um bei Belastung das vom Anker infolge der dynamoelektrischen Wirkung auf das Magnetgehäuse übertragene Drehmoment abzuwägen, welches der Belastung proportional ist. Das Magnetfeld wird fremd erregt. Die Kugellagerung stellt die Schneiden des Wagebalkens dar und gestattet ein Pendeln des Magnetgehäuses um die Gleichgewichtslage. Es wird bei dieser Bauart auch das Lagerreibungsmoment mit abgewogen. Die Elektrizität ist bei dieser Leistungswage nicht das Mittel zur Leistungsmessung, sie kann wohl — in ähnlicher Weise wie die Wasserwärme der vorgenannten Flüssigkeitsbremse — zur Nachprüfung der Messung herangezogen werden. Wirkungsgradbestimmungen, wie sie bei indirekter Leistungsmessung durch elektrische Maschinen sonst notwendig sind, kommen also hierbei nicht in Frage, was als ein ganz wesentlicher Vorteil dieser Bremsvorrichtung zu bezeichnen ist. Die erzeugte elektrische

Energie kann entweder in Draht- oder in Wasserwiderständen vernichtet werden oder einem etwa vorhandenen Gleichstromnetz nutzbringend zugeführt werden. Die Leistung ergibt sich in gleicher Weise wie bei der vorbesprochenen Bremse zu:

$$N_e = C \cdot P \cdot n \text{ PS.}$$

Bisher hat die obengenannte Baufirma diese Leistungswagen nur bis zu 250 PS Einzelleistung gebaut für Drehzahlen von 2000 in der Minute bei den größeren, bis 3000 bei kleineren Ausführungen, ferner bisher auch nur nach dem Gleichstromprinzip. Bei diesen Leistungen und Drehzahlen kommt die Leistungswage für Dampfturbinenbremsung noch nicht in Frage. Da bei Dampfturbinen kleinerer und mittlerer Größe 3000 wohl die gangbarste Umdrehungszahl ist, wäre die Ausbildung der elektrodynamischen Leistungswage für diese Drehzahl und möglichst nach dem Drehstromprinzip eine wünschenswerte Lösung.

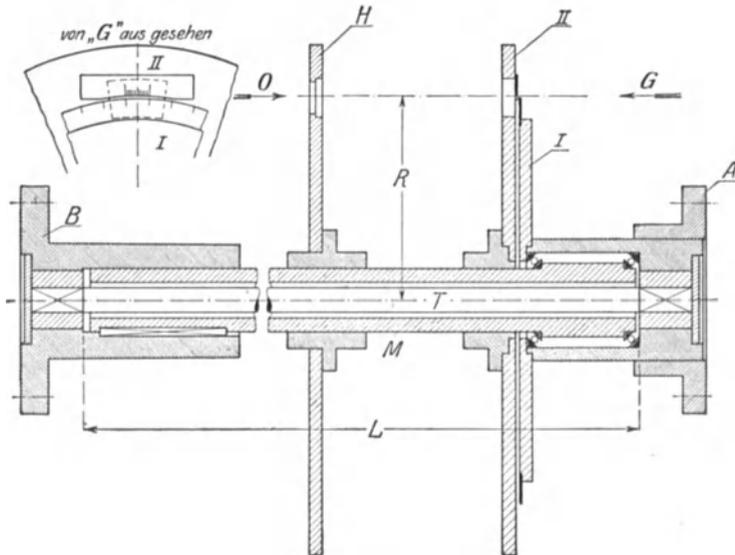


Abb. 212.

Das Torsionsdynamometer von Amsler-Laffon. Neben der Bremsung benutzt man zur Messung der Nutzleistung der Dampfturbinen das Torsionsdynamometer, welches auch Torsionsindikator genannt wird. Abb. 212 zeigt das Prinzip des Torsionsdynamometers von Amsler - Laffon in einer Ausführung, wie sie in der Z. f. d. ges. Turbw. 1911 (Dampfturbinen kleinerer Leistung von K. Hoefler) beschrieben ist. Das Dynamometer besteht aus dem Torsionsstabe T von der Meßlänge L , welcher in den Flanschen A und B befestigt ist. Der Flansch A wird mit der Turbine, B mit der angetriebenen Maschine verbunden. Das infolge der Belastung übertragene Drehmoment ist proportional dem Verdrehungswinkel des Torsionsstabes. Man benutzt diese einfache

Beziehung daher zur Messung des Drehmomentes. Um den Torsionswinkel bequem ablesen zu können, ist mit dem Flansch A die Meßscheibe I , mit dem Flansch B , auf einem Meßrohr M sitzend, die Meßscheibe II verbunden, beide mit Zelluloidskalen zur Ablesung versehen. Eine unmittelbare Ablesung ist infolge der hohen Umdrehungszahl nur mittels einer Hilfsscheibe H möglich, in welcher sich zwei gegenüber angeordnete Schlitze befinden. Beobachtet man von O aus in der Pfeilrichtung, so erhält das Auge jedesmal ein Augenblicksbild des Verdrehungswinkels, wenn Auge, Schlitz in der Scheibe H , Skalen von Scheibe I und II und die Lichtstrahlen einer dahinter befindlichen Glühlampe in eine Richtung fallen. Infolge der großen Schnelligkeit dieser sich wiederholenden Bilder an derselben Beobachtungsstelle erhält das Auge den Eindruck eines ruhenden Bildes, und es kann infolgedessen die Ablesung genau erfolgen.

Bezeichnet:

- s den beobachteten Verdrehungsbogen in cm;
- R den Radius, auf welchem der Bogen s gemessen wurde, in cm;
- L die Meßlänge des Torsionsstabes in cm;
- d den Durchmesser des Torsionsstabes in cm;
- J das polare Trägheitsmoment dieses Stabquerschnittes $J = \frac{\pi}{32} \cdot d^4$ in cm⁴;

G den Schubelastizitätsmodul des Stabmaterials in kg/qcm;

M das übertragene Drehmoment in cmkg;

so entspricht dem Bogen s ein Moment von der Größe:

$$M = \frac{G \cdot J}{L \cdot R} \cdot s \text{ cmkg.}$$

Genauere Ergebnisse erhält man, wenn man vor und nach jedem Versuch Eichkurven des Torsionsdynamometers ermittelt. Zu diesem Zweck verdreht man den Stab durch bekannte Drehmomente und beobachtet an den Ableseskalen die dazugehörigen Bögen s . Man trägt dann die zusammengehörigen Werte von M und s in Kurvenform auf und verwendet die so gewonnenen Kurven zur Auswertung der Leistungsmessung.

Der Torsionsindikator von Föttinger. Die Wirkungsweise des Apparates ist ähnlich wie die des vorgenannten Instrumentes; nur wird hier die Verdrehung eines Stückes L der Maschinenwelle selbst gemessen, während der Torsionsindikator von Amsler-Laffon die Verdrehung eines besonderen Meßstabes mißt. Außerdem besitzt der Apparat von Föttinger eine Schreibvorrichtung zur selbsttätigen Aufzeichnung des Drehmomentes.

Wie die in Abb. 213 gegebene schematische Darstellung des Indikators zeigt, besteht derselbe aus einem Meßrohre, zwei Scheiben, einem Hebelwerk und einer Schreibtrommel.

Das Meßrohr, dessen Länge möglichst groß gewählt wird, sitzt mit seinem rechten Ende fest auf der Turbinenwelle, während das freie, linke Ende die Scheibe I trägt. Dieser gegenüber ist eine gleich große

Scheibe *II* unmittelbar auf der Welle festgeklemmt. Da das Meßrohr die Verdrehung, welche die Welle an dem (rechten) Aufklemmquerschnitt erleidet, auf die Scheibe *I* überträgt, so ist die Größe der Verdrehung der beiden Scheiben *I* und *II* gegeneinander ein Maß für die Verwindung der Welle auf die Länge *L*, also auch ein Maß für die

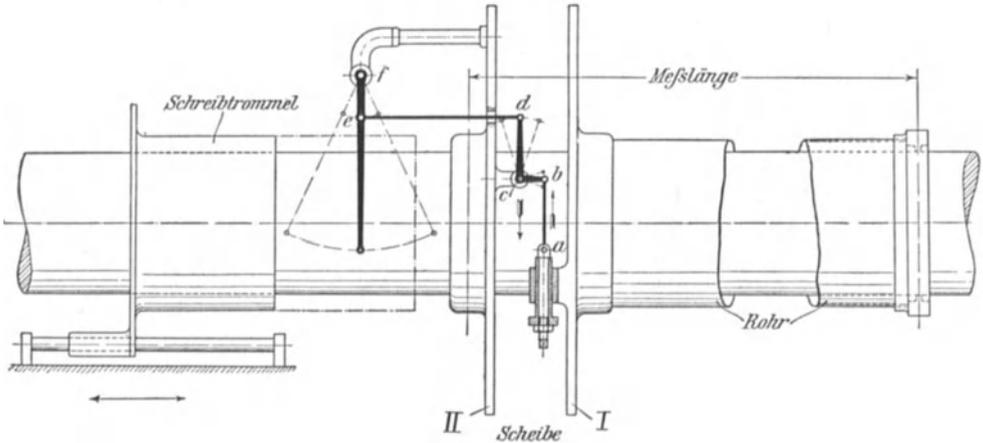


Abb. 213.

Drehkraft, welche diese Verwindung verursacht. Da die relative Verdrehung der Scheibenumfänge sehr gering ist, so bedient man sich zu ihrer Vergrößerung zweier ungleicharmiger Hebel *a b c d* und *e f*. Der kleine Bogen, um den sich die Scheibenumfänge gegeneinander verdrehen, beträgt rd. $1,5 \div 3$ mm; durch die Hebelanordnung wird er auf das $15 \div 30$ fache vergrößert.

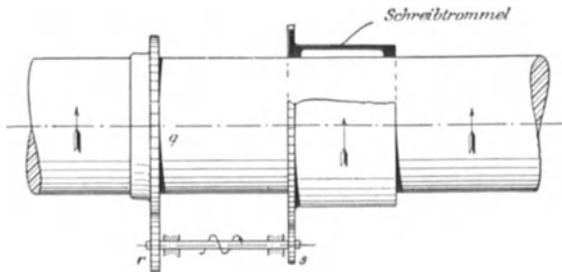


Abb. 214.

Bezüglich der Ausführung der Schreibtrommel sind zwei verschiedene Bauarten kennzeichnend: entweder ist die Trommel feststehend (Abb. 213), oder sie dreht sich, allerdings mit verminderter Geschwindigkeit, um die Welle (Abb. 214). Im ersten Falle ist sie auf einem Schlitten in axialer Richtung verschiebbar, so daß man sie zur Abnahme des Diagrammblattes und Neuaufziehen eines solchen jederzeit bequem aus dem Bereiche des Schreibstiftes bringen kann. Im

zweiten Falle wird die lose auf der Welle sitzende Schreibtrommel durch das Vorgelege rs angetrieben, wobei das Übersetzungsverhältnis so gewählt ist, daß die Schreibtrommel sich erst nach 2, 3 oder 4 Wellenumläufen einmal gedreht hat. Die ganze Diagrammlänge umfaßt alsdann die Kurven von ebensoviel Umdrehungen. Da das Zahnrad s und mit ihm die Schreibtrommel auf der Vorgelegswelle verschiebbar ist und von einer auf der Vorgelegswelle aufgekeilten Kupplungsscheibe getrennt werden kann, so ist es nicht schwer, die Schreibtrommel stillzusetzen.

Das Diagramm des Torsionsindikators hat eine Form ähnlich der des Tangentialdiagrammes. Die aus ihm berechnete Leistung ist die effektive oder Nutzleistung.

Der Torsionsindikator nach Föttinger hat bei der Indizierung großer Schiffsdampfturbinen bereits hervorragende Dienste geleistet, und es ist zu vermuten, daß die ihm zugrunde liegende Meßmethode sich ganz allgemein auf den Maschinenbetrieb ausdehnen läßt.

Die konstruktive Ausbildung des Indikators erforderte die Überwindung vieler, zum Teil nicht unbeträchtlicher Schwierigkeiten; die heute vorliegenden Ausführungsformen lassen an Zuverlässigkeit und Genauigkeit nichts zu wünschen übrig.

Die in neuerer Zeit im Prüffelde der A. E. G., Turbinenfabrik, Berlin, an einer 3000 pferdigen Schiffsturbine vorgenommenen Garantieversuche, bei welchen die Leistung durch eine Wasserbremse und gleichzeitig durch einen zwischen Turbine und Bremse geschalteten Torsionsindikator nach Föttinger gemessen wurde, ergaben bei sechs Versuchen folgende Abweichungen der Torsionspferdestärken von den Bremspferdestärken:

Versuch Nr.	Abweichung in Proz.
1	+ 0,29
2	+ 0,07
3	± 0,00
4	- 0,04
5	- 0,11
6	+ 0,04

C. Flächenmeßinstrumente.

Zur Bestimmung des Inhaltes solcher ebenen Flächen, die, weil sie unregelmäßig begrenzt sind, nicht geometrisch berechnet werden können, bedient man sich der Polarplanimeter und des Wildaschen Flächen- und Diagrammessers. Für Dampfdruckdiagramme gibt es zwar ein auf geometrischer Grundlage beruhendes Annäherungsverfahren zur Bestimmung des Flächeninhaltes (siehe Abschnitt: Bestimmung der mittleren Dampfspannung aus dem Dampfdruckdiagramme), doch ist die Anwendung dieses Verfahrens immerhin umständlich, besonders bei der gleichzeitigen Auswertung vieler Diagramme, und man greift auf dasselbe nur dann zurück, wenn ein Planimeter nicht zur Verfügung steht.

1. Die Polarplanimeter.

Zur Bestimmung des Flächeninhaltes beliebig begrenzter, ebener Figuren bedient man sich der Planimeter, deren einfachste Form die Polarplanimeter sind.

Für maschinentechnische Zwecke werden ausschließlich nur letztere benutzt, weshalb diese allein hier näher betrachtet werden sollen.

Bei allen Polarplanimetern, gleichgültig welcher Bauart sie sind, finden sich folgende Hauptteile (Abb. 215) vor:

Ein längerer Arm, der Fahrarm, welcher an einem Ende einen Metallstift, den Fahrstift, trägt. Auf dem Fahrarme verschiebbar angeordnet ist eine Metallhülse (Abb. 216), die zwischen zwei kurzen, nach unten gehenden Armen die Achse einer Rolle trägt. Der Umfang dieser Rolle (Limbus) ist in 100 gleiche Teile geteilt; links von

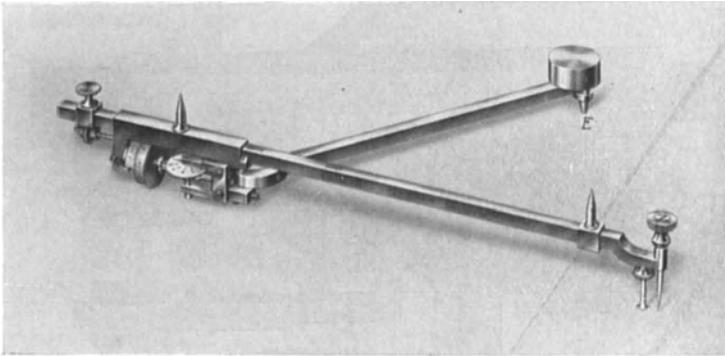


Abb. 215.

ihr, auf einem Kreissegmente, ist ein rückläufiger Nonius angebracht, der eine Skala von 10 gleichen Teilen trägt, die also in ihrer Summe ebenso groß sind als 9 Teile der Rolle. Die Achse dieser Rolle ist in der Mitte auf einer kurzen Strecke zur Schnecke ausgebildet, die in ein kleines Schneckenrad eingreift. Auf der Achse des letzteren sitzt die wagerechte Zehlscheibe (Abb. 215 und 216), welche in 10 gleiche Teile geteilt ist.

Hat sich die Rolle um 100 ihrer Teilstriche weiter gedreht, also eine volle Umdrehung ausgeführt, so ist die Zehlscheibe um einen Teilstrich weiter gegangen. Zur Festlegung der Stellungen der Zehlscheibe ist an dem links von ihr hervorragenden Arme ein Index (Abb. 216) angebracht, während für die Rolle der Nullpunkt des Nonius als Index gilt.

Die Stellung der Hülse am geteilten Fahrarme wird ebenfalls durch einen Index bestimmt, der sich an der Hülse (Abb. 216) befindet.

Eine Mikrometerschraube ermöglicht eine ganz scharfe Einstellung der Hülse am Fahrarme.

In bezug auf die Anordnung des Polarmes können zwei Arten von Planimetern unterschieden werden: Entweder ist dieser Arm mit einer senkrechten Achse an einem Ende einerseits in der Hülse, andererseits in einem Lappen drehbar angeordnet; dies ist das gewöhnliche Polarplanimeter; oder der Polarm bildet einen Teil für sich, der erst beim Gebrauch des Instrumentes mit dem Fahrarm in geeigneter Weise verbunden wird. Dies sind die sog. Kompensationsplanimeter.

Das andere Ende des Polarmes trägt den Pol des Planimeters, welcher ein Nadelpol E (Abb. 215) oder ein Gewichtspol b (Abb. 232) sein kann. Die Festlegung des Instrumentes auf der Zeichenfläche geschieht im ersten Falle durch leichtes Eindrücken der Nadelspitze in das Papier, im letzten Falle dadurch, daß man einen Kugelzapfen in das Gelenke der Polplatte b legt, die ihrerseits nur mit der durch

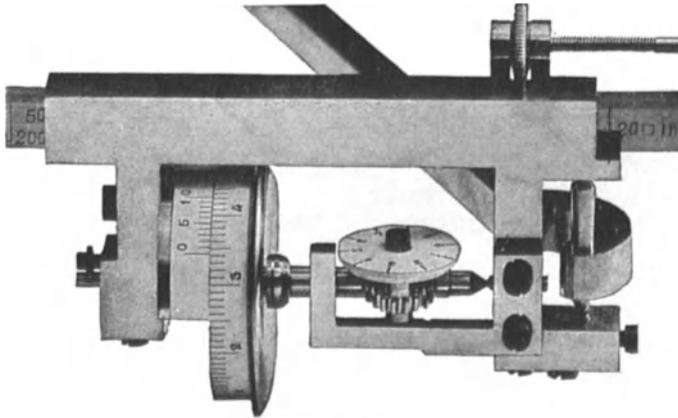


Abb. 216.

das Eigengewicht erzeugten Reibung auf der Zeichenfläche haftet. In beiden Fällen ist der Polarm noch durch das kleine Gewichte zu belasten.

Die mit Kugelpol ausgerüsteten Planimeter haben den schätzenswerten Vorteil, daß sich bei ihnen durch einfaches Verschieben der Polplatte die Meßrolle bequem auf Null einstellen läßt. Die Aufschreibung des Standes der Rolle bei Beginn der Umfahrung fällt damit fort. Bei Planimetern mit Nadelpol müßte zum Zwecke der Einstellung auf Null die Meßrolle von Hand gedreht werden. Um aber ein Rostigwerden des Rollenrandes zu verhindern, soll jede Berührung desselben peinlich vermieden werden. Man wird also bei Instrumenten mit Nadelpol sowohl am Anfange als auch am Ende der Umfahrung eine Ablesung zu machen haben.

Die Lage des Planimeters zu der zu umfahrenden Figur muß so gewählt werden, daß sich die Figur mit dem Fahrstifte bequem umkreisen läßt, dabei soll der Fahrarm, wenn er seine äußersten Stellungen einnimmt, noch nicht am Ende seiner Bewegungsfähigkeit angelangt sein.

Die günstigste Stellung des Planimeters erhält man, wenn man den Fahrstift J annähernd in den Mittelpunkt der fraglichen Figur setzt und den Pol P so einstellt, daß die verlängert gedachte Rollenebene durch den Pol P geht, wie in den Abb. 217 und 218 dargestellt ist.

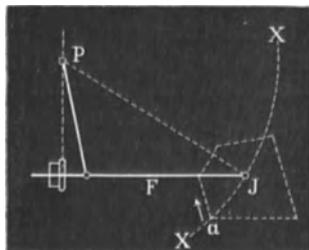


Abb. 217.

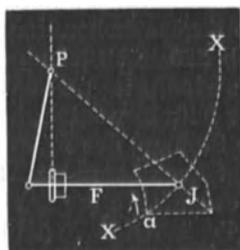


Abb. 218.

Zum Verständnis der Arbeitsweise des Polarplanimeters führen zwei Sätze, die wie folgt lauten:

1. Umfährt man mit dem Fahrstifte F eines Polarplanimeters eine geschlossene, ebene Figur, so ist die algebraische Summe aller Flächenteile, die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Stellungen des Fahrarmes liegen, gleich dem Flächeninhalte der vom Fahrstifte F umfahrenen, geschlossenen Figur.

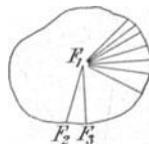


Abb. 219.

2. Umfährt man mit dem Fahrstifte F eines Polarplanimeters eine geschlossene, ebene Figur, so ist die algebraische Summe aller Flächenteile, die zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Stellungen des Fahrarmes liegen, durch die algebraische Summe aller Abwicklungen der Rolle (Abb. 216) bestimmt.

Der erste dieser beiden Sätze ist am einfachsten auf graphischem Wege bewiesen.

Jede geschlossene, ebene Figur läßt sich leicht in eine große Anzahl kleiner Dreiecke zerlegen, indem man z. B. von einem Punkte F_1 (Abb. 219) innerhalb der Figur Strahlen, eng aneinanderliegend, nach dem Umfange der Figur zieht (F_1F_2 , F_1F_3 usw. in Abb. 219).

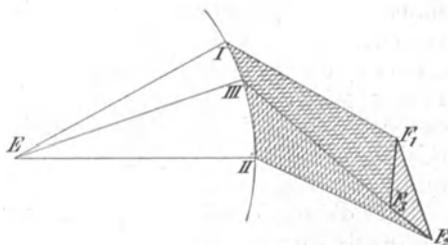


Abb. 220.

Es sei $F_1F_2F_3$ (Abb. 220) ein auf diese Weise entstandenes Dreieck, welches vom Fahrstifte E des Planimeters in der

Richtung $F_1-F_2-F_3$ umfahren werde. E (Abb. 220) sei der Pol des Planimeters. Dann ist IF_1 die Anfangsstellung des Fahrarmes. Ist der Fahrstift nach F_2 gekommen, so nimmt der Fahrarm die Stellung $II F_2$

ein, und die Fläche, die zwischen dieser Stellung und der Anfangsstellung liegt, ist die mit vollen Strichen schraffierte $F_1 F_2 III$.

Der Fahrstift gelangt auf seinem weiteren Wege nach F_3 , der Fahrarm hat jetzt die Stellung $F_3 III$, und zwischen dieser und der vorhergehenden Stellung liegt die Fläche $F_2 F_3 IIII$, welche punktiert schraffiert ist.

Geht endlich der Fahrstift von F_3 nach seiner Anfangsstellung F_1 zurück, so liegt zwischen den beiden letzten Stellungen des Fahrarmes die in Abb. 220 mit Strichpunkt schraffierte Fläche $F_1 F_3 IIII$.

Ein zwischen zwei benachbarten Fahrarmstellungen liegender Flächenteil ist nur dann als positiv anzusehen, wenn die zweite Stellung des Fahrarmes rechts von der ersten Stellung desselben liegt, vorausgesetzt, daß man von der Drehachse des Fahrarmes in der Richtung gegen den Fahrstift sieht.

Im vorliegenden Falle (Abb. 220) ist also nur die mit vollen Strichen schraffierte Fläche positiv, während sowohl die strichpunktierte als auch die mit punktierten Linien schraffierte Fläche negativ ist.

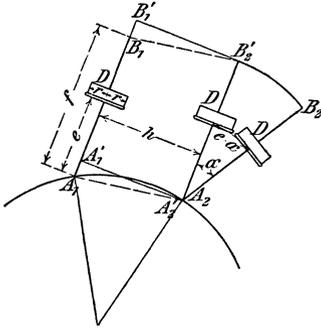


Abb. 221.

Bei der Summierung sämtlicher Flächenteile wird durch die negativen Flächen ein Teil der positiven Fläche (nämlich der mit zwei Strichlagen schraffierte) zu Null gemacht, und zwar so viel, daß nur noch die Dreiecksfläche $F_1 F_2 F_3$ als positiv übrigbleibt. In der Abb. 220 sind also die doppelt schraffierten Flächenteile als Null zu betrachten; als positiver Rest bleibt nur noch die einfach schraffierte Dreiecksfläche.

Zum Beweise des zweiten Satzes diene Abb. 221, in welcher $A_1 B_1$ die eine Stellung des Fahrarmes, $A_2 B_2$ die benachbarte Stellung desselben bedeute. Den Übergang von $A_1 B_1$ nach $A_2 B_2$ kann man sich in folgender Weise bewerkstelligt denken:
Der Fahrarm wird zuerst in der Richtung seiner Geraden verschoben und gelangt also von $A_1 B_1$ nach $A_1' B_1'$. Hierbei hat eine Drehung der mit dem Fahrarme verbundenen Rolle D nicht stattgefunden, die Rolle D hat nur eine Gleitbewegung ausgeführt. — Hierauf wird der Fahrarm parallel mit sich selbst so weit verschoben, daß er in die Stellung $A_2' B_2'$ kommt; dabei war die Lage $A_1' B_1'$ so gewählt, daß $A_1' A_2'$ und also auch $B_1' B_2'$ senkrecht auf $A_2' B_2'$ steht.

Bei dieser Parallelverschiebung wird die Rolle D nur eine drehende Bewegung ausführen, und zwar wird sie sich um einen Bogen abwälzen, der gleich der Höhe h des Parallelogramms $A_1 B_1 A_2' B_2'$ ist.

Um von $A_2' B_2'$ nach $A_2 B_2$ zu gelangen, muß der Fahrarm einen Kreissektor $A_2' B_2' B_2$ bestreichen, wobei die Rolle D ebenfalls nur eine drehende Bewegung ausführen wird.

Es sei nun (Abb. 221):

- r = Radius der Rolle D ,
 e = Entfernung der Rolle D von der Drehachse des Fahrarmes,
 f = Länge des Fahrarmes,
 β = Winkel, um welchen sich die Rolle D bei der Bewegung des Fahrarmes von $A'_1 B'_1$ nach $A'_2 B'_2$ dreht,
 $r \cdot \beta$ = Länge des hierbei von der Rolle D abgewickelten Bogens,
 γ = Winkel, um welchen sich die Rolle D bei der Bewegung des Fahrarmes von $A'_2 B'_2$ nach $A_2 B_2$ dreht,
 $r \cdot \gamma$ = Länge des hierbei von der Rolle D abgewickelten Bogens;
 so ist:

$$h = r \cdot \beta \quad (\beta \text{ mit Hilfe von } r \text{ ausgedrückt}),$$

folglich ist der Inhalt des Parallelogramms:

$$A_1 B_1 B'_2 A'_2 = f \cdot h = f \cdot r \cdot \beta = P.$$

Der Inhalt des Sektors:

$$A'_2 B'_2 B_2 = \frac{1}{2} f^2 \alpha = S \quad (\alpha \text{ im Bogenmaße ausgedrückt}).$$

Ferner ist aber:

$$r \cdot \gamma = e \cdot \alpha,$$

folglich:
$$\gamma = \frac{e \cdot \alpha}{r}.$$

Geht der Fahrarm aus der Stellung $A_1 B_1$ in die Stellung $A_2 B_2$ über, bestreicht er also die Fläche $(P + S)$, so hat sich die Rolle D um den Winkel δ gedreht; es ist demnach:

$$\delta = \beta + \gamma,$$

$$\delta = \beta + \frac{e \cdot \alpha}{r}$$

oder:
$$\beta = \delta - \frac{e \cdot \alpha}{r}.$$

Es war:
$$P = f \cdot r \cdot \beta,$$

also:
$$P = f \cdot r \cdot \left(\delta - \frac{e \cdot \alpha}{r} \right).$$

oder:
$$P = f \cdot r \cdot \delta - f \cdot e \cdot \alpha.$$

Ferner war:
$$S = \frac{1}{2} f^2 \alpha,$$

also:
$$P + S = f \cdot r \cdot \delta - f \cdot e \cdot \alpha + \frac{1}{2} f^2 \alpha$$

oder:
$$P + S = f \cdot r \cdot \delta + \frac{1}{2} \alpha \cdot (f^2 - 2f \cdot e).$$

In Wirklichkeit beschreibt der Fahrarm eine große Anzahl solcher Parallelogramme P und Sektoren S , so daß die Summe aller bestrichenen Flächenteile sein wird:

$$\Sigma(P + S) = f \cdot r \cdot \Sigma \delta + \frac{1}{2} \Sigma \alpha \cdot (f^2 - 2f \cdot e).$$

Ist nach dem Umfahren einer geschlossenen Figur der Fahrarm wieder in seine Anfangsstellung zurückgekehrt, so ist offenbar die Summe aller Drehungswinkel der Rolle

1. $\Sigma \alpha = 0$, wenn der Pol außerhalb der umfahrenen Figur liegt,
2. $\Sigma \alpha = 2\pi$, wenn der Pol innerhalb der umfahrenen Figur liegt.

Im ersten Falle wird also:

$$\Sigma(P + S) = f \cdot r \cdot \Sigma \delta = c \cdot \Sigma \delta.$$

Im zweiten Falle:

$$\Sigma(P + S) = f \cdot r \cdot \Sigma \delta + \pi \cdot (f^2 - 2f \cdot e) = c \cdot \Sigma \delta + c'.$$

Hiermit ist also bewiesen, daß die vom Fahrarme eines Polarplanimeters beim Umfahren einer geschlossenen, ebenen Figur bestrichene Fläche, gleichgültig ob der Pol des Instrumentes innerhalb oder außerhalb der umfahrenen Figur liegt, durch die Größe der Abwälzung der Rolle D bestimmt ist, denn sowohl c als auch c' in obigen Formeln sind Größen, welche lediglich von den Abmessungen des Planimeters abhängen, es sind also Konstante.

Da aber die Summe der vom Fahrarme bestrichenen Flächenteile gleich der Fläche der umfahrenen Figur ist, so ist letztere unter Zuhilfenahme einer Konstanten einfach durch die algebraische Summe aller Umdrehungen der Rolle D bestimmt, die daher den Namen Meßrolle führt.

Wenn möglich, soll man das Umfahren einer Figur mit innen liegendem Pole vermeiden. Es ist daher zu empfehlen, größere Figuren in mehrere kleine zu zerlegen und diese für sich mit außen liegendem Pole zu planimetrieren.

Die Größe der Abwälzung der Meßrolle D kann mit Hilfe des Nonius leicht bis auf Tausendstelteile des Rollenumfanges geschehen. Die Zähl-scheibe gibt die ganzen Umdrehungen von D an, die Teilung des Rollenumfanges die Zehntel- und Hundertstel- und der Nonius die Tausendstelumdrehungen. Jede Rollenablesung ergibt also eine vierstellige Zahl. In Abb. 216 ist z. B. die Ablesung von Zähl-scheibe, Rolle und Nonius = 5343, denn:

der feste Index steht zwischen dem fünften und sechsten Teilstriche der Zähl-scheibe; es ist also vom Nullpunkte der Rolle D aus erst eine volle (oder tausend Tausendstelumdrehungen) Rollenumdrehung gemacht worden.

Als erste Zahl der Ablesung ergibt sich also: 5000
Der Nullpunkt des Nonius steht zwischen den Ziffern 3 und 4 der Rolle; es sind also vom Nullpunkte der Rolle aus erst volle drei Hundertstel abgewickelt worden.

Die zweite Zahl der Ablesung heißt also: 300
Von den zwischen 3 und 4 liegenden Zehnteilstrichen der Rolle hat der vierte den Nullpunkt des Nonius überschritten;

dies ergibt als dritte Zahl der Ablesung: 40
Von den Teilstrichen des Nonius fällt der dritte mit einem Striche der Rollenteilung ($\alpha = 3$) zusammen,

so daß die letzte Zahl der Ablesung lautet: 3

Die volle Rollenablesung ist also: 5343

Da im Antriebe der Zählerseibe in geringem Maße toter Gang vorhanden ist (wegen der Leichtigkeit der Bewegung), so steht nicht immer — wenn der Nullstrich der Meßrolle D mit dem Nullstriche des Nonius korrespondiert — ein Teilstrich der Zählerseibe gerade dem festen Index gegenüber; doch sind Zweifel bezüglich der Ablesung hierbei ausgeschlossen. Man bewegt in diesem Falle die Zählerseibe leicht mit dem Finger so viel hin und her, als ihr Spielraum gestattet, und ersieht dann sofort aus der mittleren Stellung des Index, welcher Teilstrich der Zählerseibe als erste Ziffer der Ablesung genommen werden muß.

Die einfachsten, besten und daher in der Praxis am weitesten verbreiteten Polarplanimeter sind das Amslersche, das Ottische und das Coradische Planimeter.

Das Amslersche Polarplanimeter.

Für maschinentechnische Zwecke wird von den verschiedenen Amslerschen Polarplanimetern am häufigsten die Ausführung Nr. VI (großes Modell) benutzt. Dieselbe ist in Abb. 215 dargestellt.

Auf dem Fahrarme dieses Planimeters sind folgende Marken angebracht:

0,1 □ cm	200 □ cm 1:50	100 □ cm 1:40	0,05 □ cm	100 □ cm 1:50
40 □ cm 1:20	50 □ cm 1:25		500 □ cm 1:100	

Soll nun z. B. in einem Plane, der im Verhältnis von 1 : 100 gezeichnet ist, die wirkliche Größe einer durch eine unregelmäßige Kurve begrenzten Fläche bestimmt werden, so stellt man die Hülse (Abb. 216) so auf dem Fahrarme ein, daß der Index K mit derjenigen Strichmarke auf dem Fahrarme zusammenfällt, hinter welcher der Maßstab 1 : 100 angegeben ist. Hierauf stellt man das Planimeter auf die wagrecht gelagerte Zeichnung, drückt den Pol, also die Nadelspitze E , leicht in das Papier außerhalb der Figur, an beliebiger Stelle, aber so, daß man die Figur bequem mit dem Fahrstifte umfahren kann, also unter Beachtung der zu Anfang dieses Kapitels gegebenen Regel, und beschwert den Pol mit dem dem Instrumente beigegebenen Gewichtchen.

Der Fahrstift wird nun auf einen durch Eindringen der Spitze des Fahrstiftes festzulegenden Punkt der Figur gesetzt, und der Stand der Rolle D und der Zählerseibe abgelesen. Hierbei ergebe sich beispielsweise die Zahl 1324. Die Teilungen der Rolle, des Nonius und des Zählerseibchens sind auf weißes Zelluloid aufgetragen.

Es ist vielfach üblich, vor Beginn des Umfahrens die Zählerseibe und die Rolle D auf Null einzustellen, doch ist dies unnötig und auch nicht zu empfehlen, weil hierbei ein Anfassen der Meßrolle unvermeidlich ist. Jede Berührung des stählernen Meßrollenrandes mit der bloßen Hand soll aber wegen der damit verbundenen Anrostungen unterlassen werden.

Nunmehr umkreist man mit dem Fahrstifte von links nach rechts, also im Sinne des Zeigers der Uhr, die Figur, bis der Fahrstift wieder in seiner Anfangsstellung angelangt ist. Dann wird abermals

der Stand der Rolle D und des Zählscheibchens abgelesen, wobei sich die Zahl 2658 ergeben mag.

Es war also:

zweite Ablesung	2658
erste Ablesung	<u>1324</u>
	Unterschied 1334

Um nun den gesuchten Flächeninhalt zu finden, multipliziert man diesen Unterschied mit demjenigen Faktor, der auf dem Fahrarme rechts von dem zu 1:100 gehörigen Teilstriche angegeben ist, also in diesem Falle mit 500 qcm.

$$\begin{aligned} \text{Gesuchte Fläche} &= 1334 \cdot 500 \text{ qcm} \\ &= 667\,000 \text{ qcm.} \end{aligned}$$

Wäre der Plan im Verhältnisse 1 : 50 gezeichnet gewesen, so findet man auf dem Fahrarme zwei zugehörige Marken. Man wählt hiervon diejenige Einstellung, die den kürzesten Fahrarm ergibt, aber doch gestattet, daß man die Figur bei außenliegendem Pole umfahren kann. Es ist dies der mit

$$\begin{aligned} 200 \text{ qcm } 1:50, \\ 50 \text{ qcm } 1:25 \text{ bezeichnete Teilstrich.} \end{aligned}$$

Es sei:

zweite Ablesung	4009
erste Ablesung	<u>0674</u>
	Unterschied 3335

$$\begin{aligned} \text{Gesuchte Fläche} &= 3335 \cdot 200 \text{ qcm} \\ &= 667\,000 \text{ qcm.} \end{aligned}$$

Wäre in dem ersten Falle, wo der Plan im Verhältnis von 1:100 gezeichnet war, die erste Rollenablesung z. B. 8976 gewesen, so hätte sich als zweite Ablesung 0310 ergeben. Dies muß natürlich zu 10 310 ergänzt werden. Dann ist wieder der Unterschied der Rollenablesungen:

$$10\,310 - 8976 = 1334.$$

Liegt die zu bestimmende Figur in natürlicher Größe vor, was beispielsweise bei Dampfdruckdiagrammen stets der Fall ist, so ist die Hülse des Planimeters auf den Teilstrich des Fahrarmes einzustellen, hinter welchem ein besonderer Maßstab nicht angegeben ist, also entweder auf den Teilstrich 0,1 qcm oder auf den Teilstrich 0,05 qcm.

Der Unterschied der Rollenablesungen ist mit 0,1 qcm bzw. 0,05 qcm zu multiplizieren, um den Flächeninhalt der umfahrenen Figur in Quadratcentimetern zu erhalten. Dividiert man diesen Inhalt durch die Länge des Diagramms, so erhält man dessen mittlere Höhe in Zentimetern. Berücksichtigt man endlich noch den Maßstab der Indikatorfeder, mit welcher das planimetrierte Diagramm erzeugt wurde, so ist der dem Diagramme entsprechende mittlere spezifische Dampfdruck bestimmt.

Betrachtet man die allgemeine Formel, welche für die Berechnung einer beliebigen, vom Polarplanimeter umfahrenen ebenen Fläche gefunden wurde und welche für außen liegenden Pol lautete:

$$\Sigma(P + S) = f \cdot r \cdot \Sigma \delta,$$

so läßt sich die mittlere Diagrammhöhe noch einfacher bestimmen.

Der Flächeninhalt $\Sigma(P + S)$ erscheint als Rechteck, dessen eine Seite gleich der Länge f des Fahrarmes ist, während die andere Seite durch die Länge der Gesamttrollenabwicklung $r\Sigma\delta$ gebildet wird. Stellt man also den Fahrarm des Planimeters so ein, daß seine Länge zwischen dem Fahrstifte F und der Gelenkachse C (Abb. 222) gleich der Diagrammlänge ist, so ist die algebraische Summe der Rollenabwärlungen $\Sigma\delta$ ein unmittelbares Maß für die mittlere Diagrammhöhe.

Um letztere in Millimeter zu erhalten, ist $\Sigma\delta$ unter Berücksichtigung der Größe des Rollenradius r noch mit einem konstanten Faktor zu multiplizieren. Dieser wird von Amsler jedem Instrumente beigegeben. Er ist für das Planimeter Nr. VI = 0,06.

Um den Fahrarm scharf auf die Diagrammlänge einstellen zu können, trägt das Planimeter Nr. VI zwei Stahlspitzen (Abb. 222), von denen die eine Spitze U fest mit dem Fahrarme F und die andere Spitze V

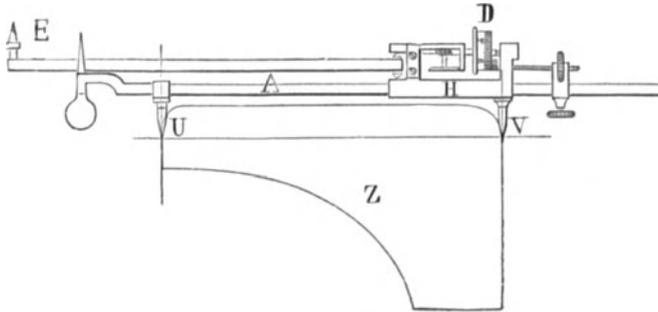


Abb. 222.

mit der Hülse H verbunden ist. Die Entfernung dieser beiden Spitzen muß nun gleich der Länge des Diagrammes gemacht werden. Zu diesem Zwecke kehrt man das zusammengeklappte Instrument um, so daß die beiden Spitzen nach unten, gegen das Diagrammblatt gerichtet sind; dann setzt man die Spitze U fest auf das eine Ende des Diagrammes, verschiebt die Hülse H und damit die Spitze V so lange, bis letztere auf das andere Ende des Diagrammes trifft; dann stellt man die Schraube fest und kann mittels der Mikrometerschraube die genaue Einstellung von V bewerkstelligen. Dann kehrt man das Instrument wieder um, setzt es in der gewöhnlichen Weise auf eine geeignete Unterlage und umfährt, wie schon angegeben, das Diagramm.

Die Teilstriche auf dem Fahrarme kommen bei dieser Art der Messung nicht in Betracht:

Es sei z. B.:

zweite Ablesung.	2307
erste Ablesung	1996
	Unterschied 311

Dann ist die mittlere Diagrammhöhe = $0,06 \cdot 311$ mm
 = 18,66 mm.

Um daraus den mittleren Dampfdruck im Zylinder der Dampfmaschine zu finden, muß man, wie schon erwähnt, den Maßstab der Indikatorfeder kennen.

Entsprechen z. B. 10 mm der Diagrammhöhe einem Dampfdrucke von 1 kg je 1 qcm, so ist der dem planimetrierten Diagramm entsprechende

$$\text{mittlere Dampfdruck} = \frac{18,66 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} \cdot 1 \text{ kg/qcm} = 1,866 \text{ kg/qcm}.$$

Zur raschen Auffindung des 0,06fachen Betrages der beim Planimetrieren von Dampfdruckdiagrammen gewöhnlich vorkommenden Rollenablesungsunterschieden dient die Zahlentafel im Anhang.

Für vorstehendes Beispiel, wo der Unterschied der Rollenablesungen 311 war, findet sich in der Horizontalreihe der Zahl 31 in Spalte 1 das 0,06fache von 311 angegeben zu 18,66.

Für alle Diagramme gleicher Länge ist die Einstellung des Fahr-

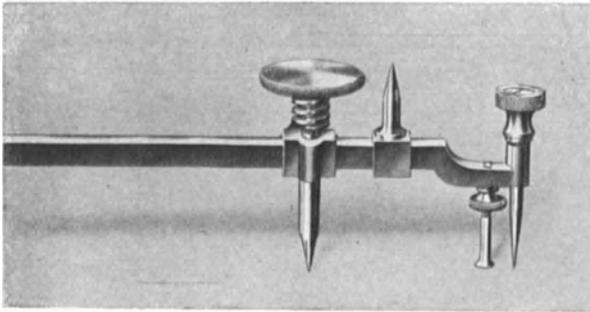


Abb. 223.

armes in seiner Hülse dieselbe; man hat daher für eine Reihe gleich langer Diagramme die Einstellung nur einmal zu machen. In diesem Falle kommt die von Amsler seinem Planimeter auf Wunsch beigegebene Hebeschraube (Abb. 223) der Einfachheit der Handhabung sehr zustatten. Während des Umfahrens eines Diagrammes wird die Hebeschraube etwas in die Höhe geschraubt, so daß ihre Spitze die Papierfläche nicht berührt. Ist das Diagramm umfahren, so schraubt man die Hebeschraube etwas nach unten. Dabei drückt ihre Spitze gegen die Papierfläche und hebt dadurch den Fahrstift vom Diagrammblatte ab. Man zieht dann das Diagrammblatt unter dem Fahrstifte hervor, ohne dessen Stellung zu ändern, und schiebt ein neues Diagrammblatt an Stelle des gemessenen, worauf man den Fahrstift wieder senkt, und die Messung des neuen Diagrammes beginnt. Beim vorsichtigen Heben und Senken des Fahrstiftes wird an der Stellung der Meßrolle nichts geändert, so daß die Ablesung nach dem Umfahren eines Diagrammes als Anfangsablesung für das folgende Diagramm benutzt werden kann. Man hat also bei Anwendung der Hebeschraube nur halb so viele Rollenablesungen zu machen als ohne dieselbe.

Die Coradischen Polarplanimeter.

Von den mehrfachen Coradischen Planimeterbauarten sei hier — weil besonders für die Bestimmung der mittleren Diagrammhöhen am geeignetsten — das Kompensationspolarplanimeter und das Präzisionsscheibenplanimeter beschrieben.

Das Kompensationspolarplanimeter. Dieses Kompensationsplanimeter unterscheidet sich von den bisher beschriebenen Planimetern durch die Verbindung des Polararmes P mit dem Fahrarme (Abb. 224). Diese erfolgt nicht durch eine stets mit dem Fahrarme in Zusammenhang bleibende Achse, sondern wird durch ein Kugelgelenk bewirkt, welches lösbar ist und sich in der Hülse des Fahrarmes befindet. Die Kugel, welche aus Stahl gefertigt und fein poliert ist, ist mit dem linken Ende des Polararmes P verbunden und wird einfach in die Öffnung d an der Fahrarmhülse eingelegt.

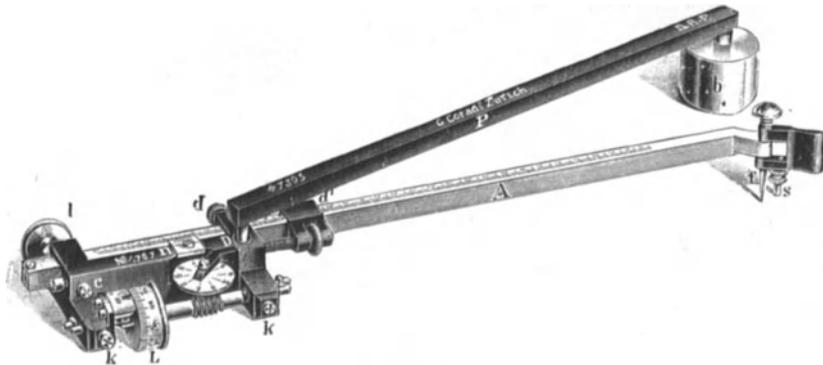


Abb. 224.

Der Pol wird durch einen am rechten Ende des Polararmes P eingeschraubten Messingzylinder p gebildet, dessen untere Fläche nicht eben, sondern giebelartig geformt ist, so daß eine zum Polararm rechtwinklig stehenden Kante entsteht, um welche sich derselbe so weit senken kann, daß sein linksseitiges Ende, die Kugel, sicher im Kugelgelenke D der Fahrarmhülse ruht. Unten, in der Achse des Messingzylinders p steckt ein kleiner Stahlstift, welcher durch eine Druckschraube gehalten wird. Beide Enden dieses Stiftes sind zu feinen Spitzen ausgebildet, von denen die untere nur ganz wenig über die Giebelkante des Messingzylinders p vorsteht. Zur Festhaltung des Poles genügt es schon, diese Spitze leicht auf das Papier aufzusetzen.

Der Fahrarm trägt eine sehr einfache Einrichtung (Abb. 225) zur bequemen Handhabung des Fahrstiftes. Neben dem Fahrstifte f befindet sich ein drehbarer Flügelgriff nebst Stütze s , welche mit Hilfe einer Schraube so eingestellt werden kann, daß die Spitze des Fahrstiftes f sich knapp über dem Papiere befindet, ohne es indessen zu berühren. Die Spitze des Fahrstiftes kann infolgedessen scharf sein und gestattet, die Umrisse einer Figur genau nachzufahren, indem sich die

Stütze um den Fahrstift dreht. Durch leichten Druck auf den Kopf des Fahrstiftes kann dessen Spitze jederzeit in das Papier gedrückt werden.

Zur Einstellung des mit Millimeterteilung versehenen Fahrarmes A in der Hülse dient ein an letzterer befestigter Nonius. Ein Mikrometerwerk m ermöglicht leicht, den Fahrarm ganz scharf auf eine bestimmte Länge einzustellen; so ist z. B. die in Abb. 226 gezeichnete Stellung des Nonius am Fahrarme durch die Ablesung 301,6 gegeben.

Die beschriebene Konstruktion des Polarmes hat den großen Vorteil, daß der Fahrarm zu beiden Seiten des Polarmes aufge-

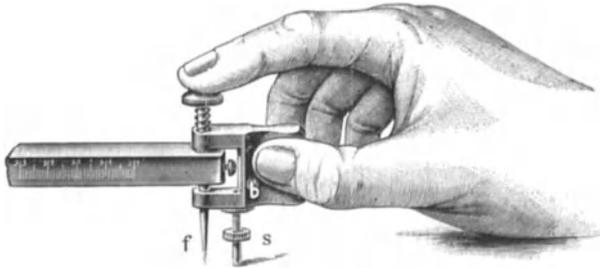


Abb. 225.

stellt werden kann. Die zu Anfang des Kapitels über Polarplanimeter auf elementarem Wege bewiesene Proportionalität zwischen der Abwicklung der Meßrolle und der vom Fahrarme bestrichenen Fläche hört sofort auf, wenn die Achse der Meßrolle nicht genau parallel dem Fahrarme ist. Umfährt man nun eine geschlossene ebene Figur zweimal, und zwar einmal mit dem Pole links, das zweitemal mit dem Pole rechts vom Fahrarme, so wird der aus der nicht genau parallelen Lage von Meßrollenachse und Fahrarm resultierende Fehler eliminiert,

indem er einmal im positiven, das andere Mal im negativen Sinne das Ergebnis beeinflußt.

Je eine symmetrische Stellung des Fahrarmes zur Figur mit Pol rechts und links vom Fahrstabe erhält man ohne weiteres, wenn man zunächst den Fahrstift in die Mitte der zu messenden Fläche bringt und den Pol so wählt,

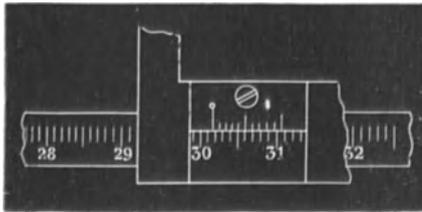


Abb. 226.

daß die verlängerte Rollenebene durch den Pol geht. Man läßt nun den Pol P an dieser Stelle, bringt den Fahrarm nach der ersten Umfahrung der Figur in die gestreckte Stellung und schiebt ihn alsdann unter dem Polarme auf die entgegengesetzte Seite.

Abb. 227 bezeichnet zwei symmetrische Lagen von Fahrarm und Figur mit Pol links und rechts vom Fahrarme aus einer Polstellung P .

Abb. 228 stellt zwei symmetrische Lagen von Fläche J und Fahrarm F vor aus zwei Polstellungen P' und P'' . Auf beide Arten kann der genannte Fehler ausgeglichen (kompensiert) werden.

Ein weiterer Vorteil der Coradischen Anordnung des Polarmes ist der, daß der Fahrarm eine Winkelbewegung von fast 180° links und rechts vom Polarme ausführen kann, daß man also mit einem Male größere Flächen umfahren kann, als es bei den früheren Bauarten möglich ist. Endlich ist der Umstand, daß das Instrument infolge der leichten Trennung von Polarm und Fahrarm in zwei Einzelteilen im Etui aufbewahrt werden kann, ebenfalls als Vorteil in bezug auf die gute Erhaltung des Instrumentes anzusehen.

Soll nun mit Hilfe eines Kompensationsplanimeters der wirkliche Inhalt einer in einem bestimmten Verhältnis gezeichneten, ebenen Figur festgestellt werden, so entnehme man zunächst der jedem Instrumente beigegebenen Zahlentafel die für dasselbe bestimmte und mit

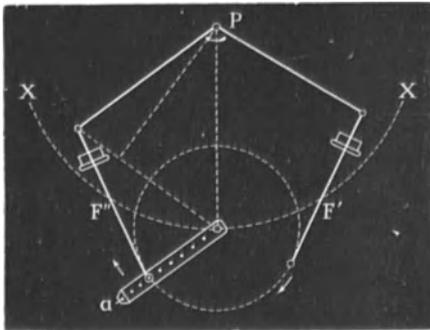


Abb. 227.

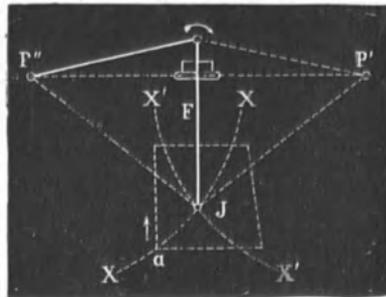


Abb. 228.

dem Zeichenmaßstabe wechselnde Fahrarmlänge. Diese Zahlentafel ist z. B. folgender Art:

Konstante	Verhältnisse	Einstellung des Nonius am Fahrarme	Wert der Noniuseinheit
23 154	1 : 1000	318,3	10 qm (1 : 1) 10 qmm
	1 : 500	255,1	2 „ (1 : 1) 8 „
	1 : 2500	203,5	40 „ (1 : 1) 6,4 „
	1 : 2000	158,8	20 „ (1 : 1) 5 „
	1 : 5000	126,9	100 „ (1 : 1) 4 „

Ist die zu umfahrende Figur also im Verhältnisse von 1 : 500 gezeichnet, so ist die Einstellung des Nonius am Fahrarme gemäß dieser Zahlentafel durch die Zahl 255,1 gegeben.

Nach einer der früher angegebenen Regeln stellt man das Planimeter in die günstigste Lage zur Figur und versucht durch angenähertes Umfahren, ob sie sich ohne Anstoß umkreisen läßt. Dann stellt man den Fahrstift auf einen zu bezeichnenden Punkt der Begrenzungslinie der Figur und notiert nun die Ablesung an Meßrolle und Zählrad. Diese ergebe z. B. die Zahl 4307. Dann führt man den Fahrstift in der Richtung des Uhrzeigers am Umfange der Figur entlang bis auf den Ausgangspunkt zurück und liest dann abermals den Stand von Meß-

rolle und Zählrad ab. Die zweite Ablesung ergebe die Zahl 4784. Es war also:

zweite Ablesung	4784
erste Ablesung	4307
	Unterschied 477

Wert der Noniuseinheit aus der Zahlentafel = 2 qm.

Folglich: Gesuchte Fläche = $477 \cdot 2 \text{ qm} = 954 \text{ qm}$.

Ist die mittlere Höhe eines Indikatordiagrammes zu bestimmen, so mißt man zunächst die genaue Länge dieses Diagrammes ab und stellt den Fahrarm des Planimeters auf diese Länge ein, unter Berücksichtigung des Umstandes, daß die Fahrarmteilung in halben Millimetern ausgeführt ist. Die Umfahrung des Diagrammes und die Ablesung der Meßrolle und der Zählscheibe erfolgt in der gewöhnlichen Weise. Multipliziert man bei dem in der Abb. 224 dargestellten Plani-

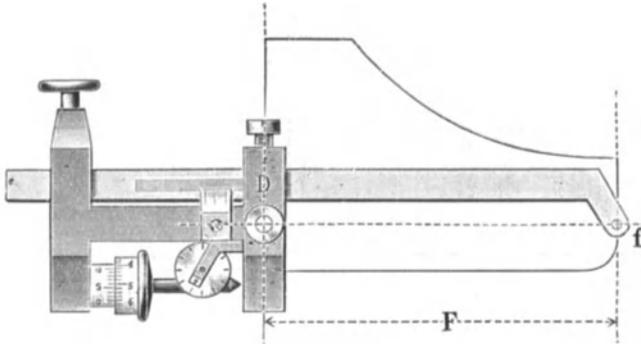


Abb. 220.

meter den Unterschied der Rollenablesungen mit 0,06, so erhält man die gesuchte mittlere Höhe des Diagrammes in Millimeter. Auch hier läßt sich also die im Anhang gegebene, beim Amslerplanimeter zuerst angeführte Zahlentafel der 0,06fachen Beträge der Ablesungsunterschiede vorteilhaft benutzen. Man kann die Einstellung der Fahrstablänge auf die Basislänge des Diagrammes auch dadurch erreichen, daß man, wie Abb. 229 zeigt, bei abgenommenem Polarme die Fahrstiftspitze f auf das eine Ende der Basis einstellt und die Hülse verschiebt, bis das andere Ende der Basis in der Mitte des kleinen Loches im Kugellager des Poles erscheint.

Mit Hilfe der in der dritten Vertikalreihe der dem Planimeter beigegebenen Zahlentafel (S. 299) angeführten Zahlen läßt sich die mittlere Diagrammhöhe auch finden, ohne daß man den Fahrarm auf die Diagrammlänge einstellt. Ist die Einstellung des Nonius am Fahrarm z. B. gleich 255,1, also dem Maßstabe 1:500 entsprechend, so gibt die Zahlentafel in der dritten Vertikalreihe an, daß für das Verhältnis 1:1, also für natürliche Größe, der Wert der Noniuseinheit 8 qmm beträgt. Ergibt sich also z. B. bei der Fahrarmeinstellung 255,1

als Unterschied der Rollenablesungen die Zahl 301, so ist der Flächeninhalt des Diagrammes

$$= 301 \cdot 8 \text{ qmm} = 2408 \text{ qmm}.$$

War die Diagrammlänge = 100 mm, so ist die mittlere Diagrammhöhe = 24,08 mm.

Für einen Indikatorfedermaßstab von 10 mm = 1 kg/qcm ergibt sich ein mittlerer, spez. Dampfdruck auf den Kolben der Dampfmaschine von 2,408 kg/qcm.

Ist die zu berechnende Figur groß, so wird der Pol des Instrumentes innerhalb der Figur gewählt. Polarm und Fahrarm führen dann eine volle Umdrehung um den Pol aus. Der Unterschied der Rollenablesungen ist dann von einer in der ersten Vertikalreihe der Zahlentafel S. 299 angegebenen Konstanten zu subtrahieren.

Ist z. B. eine in natürlicher Größe gezeichnete ebene Figur so groß, daß der Pol des Planimeters innerhalb der Figur aufgestellt werden muß, und ist der Nonius am Fahrarm auf 255,1 eingestellt, der Wert der Noniuseinheit also laut Zahlentafel gleich 8 qmm, so ist die Größe der Figur, wenn

die zweite Rollenablesung	8996
die erste Rollenablesung	2988
also der Unterschied	6008

beträgt, durch einfache Rechnung bestimmt wie folgt:

Konstante aus der Zahlentafel	23 154
+ zweite Rollenablesung	8 996
Summe	32 150
– erste Rollenablesung	2 988
Unterschied	29 162

$$\begin{aligned} \text{Gesuchte Fläche} &= 29\ 162 \cdot 8 \text{ qmm} \\ &= 233\ 296 \text{ qmm}. \end{aligned}$$

Das Präzisions­scheibenplanimeter. Dieses Planimeter (Abb. 230) besteht in der Hauptsache aus zwei getrennten Teilen, der Polscheibe *P*

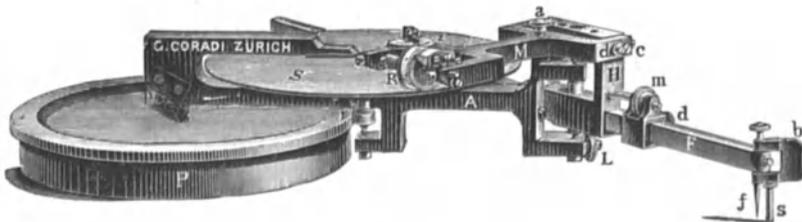


Abb. 230.

und dem eigentlichen Planimeter *FA*, welches als besonderen Teil noch eine Aluminiumscheibe *S* besitzt. Genau im Mittelpunkte von *P* ist eine kleine stählerne Kugel befestigt, die den Pol des Instrumentes darstellt. Das Lager *p* des Polarmes *A* wird durch eine halbzyllindrische polierte Stahlrinne gebildet von genau dem gleichen Durchmesser der

Kugel. Diese Rinne ist schräg angeordnet, so daß, wenn sie auf die Kugel aufgesetzt wird, der Polarm A durch sein Eigengewicht so weit nach abwärts sinkt, daß das um eine vertikale Achse drehbare und feinverzahnte Rädchen r in den ebenso gezahnten Rand der Polscheibe P eingreift. Die Achse dieses Rädchens trägt oben die Scheibe S und ist in zwei Körnern gelagert, von denen der untere einer Berichtigungsschraube angehört. Fahrarm F und Polarm A sind durch eine vertikale, ebenfalls in zwei Körnern gelagerte, oben einstellbare Achse verbunden. Das zusammengestellte Instrument ruht auf drei Punkten, dem Pole p , der Fahrspitze s und dem Laufrädchen L . Erfolgt eine Drehung des Polarmes A um p , so wickelt das Rädchen r auf dem Rande der Polscheibe P eine Strecke ab, die proportional dem Wege der Fahrarmachse ist und versetzt dabei gleichzeitig die Scheibe S in eine proportionale Bewegung.

Oberhalb der Scheibe S befindet sich der um eine Spitzenachse drehbare Rahmen M . Die Achse dieses Rahmens ist parallel dem Fahrarme in der Hülse H gelagert. Die nach dem Fahrstifte s zu gelegene Spitze dieser Achse sitzt in einem exzentrischen Körner der Schraube d , wodurch eine geringe Verstellbarkeit der Rahmenachse erzielt ist. Die Druckschraube c legt die Körnerschraube d fest.

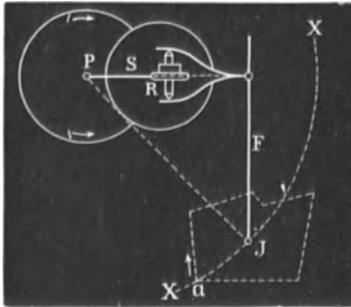


Abb. 231.

Der Rahmen M enthält die Planimeterlaufrolle R , welche während der Messung auf der Scheibe S aufliegt. Sobald das Instrument nicht mehr gebraucht wird, muß R von S abgehoben werden, was durch Niederschrauben des Schraubchens a bewirkt wird.

Der Fahrarm F ist 35 cm lang, und je nach seiner Einstellung in der Hülse H liegt der Wert der Noniuseinheit zwischen 0,5 qmm und 2 qmm.

Auf der Polscheibe P befinden sich zwei Marken mit Pfeilen, welche denjenigen Teil der Polrandverzahnung angeben, der die gleichmäßigste Abwicklung des Rädchens r ergibt. Beim Messen soll also — wie Abb. 231 angibt — die Scheibe S stets innerhalb dieser Marken bleiben. Die Scheibe S ist mit Papier beklebt. Die Abwicklung der Laufrolle R auf ihr ist proportional der vom Fahrstifte f umfahrenen Fläche.

Da nur das Laufrädchen L und der Führungstift s auf dem Papiere aufrufen, so ist das Scheibenplanimeter besonders zu Messungen auf rauher, unebener Unterlage geeignet.

Für die unmittelbare Bestimmung der mittleren Höhe von Indikator-
diagrammen ist der Fahrarm in halbe Millimeter geteilt. Der Index dieser Teilung gibt genau den Abstand der Fahrstiftspitze von der Fahrarmdrehachse, also die Fahrarmlänge in halben Millimetern an. Wird der Fahrarm auf die Länge des Diagrammes eingestellt, so ergibt sich die mittlere Diagrammhöhe einfach durch Multiplikation der Ablesung mit 0,01.

Die Ottschen Polarplanimeter.

Das **Kompensations-Polarplanimeter** ist in Abb. 232 dargestellt. Der verstellbare Fahrarm *F* ist mit einer durchlaufenden Teilung in $\frac{1}{2}$ mm und besonderen Einstellmarken für die Noniuswerte $10 \div 8 \div 6,4 \div 5$ und 4 qmm versehen. Eine im Etui untergebrachte Zahlentafel enthält Angaben über die Noniuswerte, Fahrarmeinstellungen und die Konstante beim Arbeiten mit Pol innerhalb der zu planimetrierenden Fläche. Die mit einem glasharten Laufrande versehene Meßrolle *M* liegt von oben her völlig frei, so daß sie sich gut ablesen läßt. Diese Ablesung wird noch dadurch erleichtert, daß die Teilung auf weißes Zelluloid aufgetragen ist, während der Rollenrahmen von mattschwarzer Farbe ist.

Um das Umfahren der Figur möglichst bequem zu gestalten, ist am Fahrstift *f* ein Flügelgriffchen angebracht, dessen Stützschraube *S* so

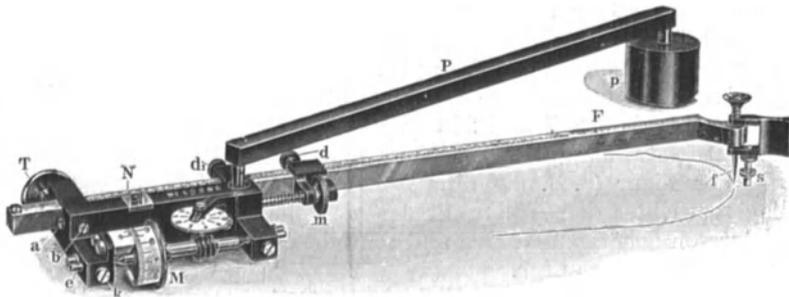


Abb. 232.

eingestellt wird, daß der Fahrstift *f* nicht auf dem Papier gleitet, sondern um Haaresbreite von diesem absteht.

Will man den Anfangspunkt der Umfahrung festlegen, so genügt ein leiser Druck auf den Knopf *l*, um die Spitze von *f* etwas in das Papier einzudrücken.

Zur genauen Einstellung des Fahrarmes *F* dient der Nonius *N* und das Mikrometerwerk *m*. Außerdem sind auf dem Fahrarme, wie schon erwähnt, besondere Strichmarken angebracht, die sich bei richtiger Einstellung des Rollenrahmens mit einer abgeschrägten Kante desselben decken müssen. So ist z. B. bei dem Teilstriche 333,3 des Fahrarmes eine solche Strichmarke zu finden, denn laut Zahlentafel ist bei Figuren, die im Maßstabe 1:1 gezeichnet sind, der Rollenrahmen auf den Teilstrich 333,3 des Fahrarmes einzustellen.

In welche Stellung der Fahrarm zur Hülse zu bringen ist, ist also von Fall zu Fall aus der jedem Instrumente beigegebenen Zahlentafel zu entnehmen. Diese lautet z. B.

Planimeter Nr.	Maßstab der Zeichnung	Wert der Noniuseinheit	Einstellung des Fahrarmes	Konstante
7244	1 : 1	0,00001 qm	333,3	20 500
	1 : 500	2 qm	266,7	
	1 : 1000	5 „	166,7	
	1 : 2000	20 „	166,7	
	1 : 5000	100 „	133,3	

Um den Inhalt einer in einem bestimmten Maßstabe, z. B. 1:1000 gezeichneten Figur mittels des Planimeters zu finden, stellt man den an der Hülse des Fahrarmes angebrachten Nonius auf den in obiger Zahlentafel angegebenen Punkt, also z. B. auf 166,7; dann fällt auch der dem Nonius gegenüberliegende Index mit einem am Fahrarme angegebenen Striche zusammen. Zur leichteren Einstellung des Nonius dient wieder eine Mikrometerschraube. Nun setzt man das Pollagergewicht A in die Nähe der zu berechnenden Figur, legt die Polkugel K in das Gesenke von A und beschwert sie durch das kleine Gewicht p . Das Instrument ruht nun auf dem Pole, der Meßrolle und dem Fahrstifte. Hierauf überzeugt man sich durch angenähertes Umfahren der Figur davon, daß die Stellung des Poles zur Figur das Umfahren derselben ermöglicht.

Zur bequemerer Handhabung und zur Erlangung des genauesten Ergebnisses wird das Instrument am günstigsten in der Weise aufgestellt, wie es in den Abb. 217 und 218 dargestellt ist.

Hierauf setzt man die Fahrstiftspitze auf einen leicht zu merkenden Punkt der Figur (z. B. auf eine Ecke), stellt durch Verschieben des Pollagergewichtes den Nullpunkt der Meßrolle auf den Nullpunkt des zur letzteren gehörigen Nonius und schreibt den Stand der Zählsscheibe auf; dieselbe stehe auf 7.

Nunmehr beginnt die eigentliche Messung, indem die Fahrstiftspitze genau auf der Grenzlinie der Figur in der Richtung des Zeigers der Uhr bis wieder genau auf den Ausgangspunkt zurückgeführt wird. Dann liest man die Stellung der Meßrolle ab. Die Zählsscheibe stehe zwischen 7 und 8, die Meßrolle stehe auf 215, so folgt daraus, daß sich die Meßrolle um 215 Noniuseinheiten vorwärts bewegt hat; diese Ablesung (215) wird mit dem in der Zahlentafel für den betreffenden Maßstab angegebenen Werte der Noniuseinheit multipliziert; bei dem angenommenen Maßstabe 1:100 ist

$$215 \cdot 5 \text{ qm} = 1075 \text{ qm}$$

der gesuchte Flächeninhalt der Figur.

Ist die zu umfahrende Figur, z. B. ein Dampfdruckdiagramm, nicht im Verhältnis von 1:1000, sondern in natürlicher Größe gezeichnet, so ist bei der in obigem Beispiele angenommenen Einstellung des Fahrarmes der Wert der Noniuseinheit nicht 5 qm, sondern

$$\frac{5 \text{ qm}}{1000 \cdot 1000} = 0,000005 \text{ qm} = 5 \text{ qmm}.$$

Der Inhalt des Diagrammes wäre also:

$$215 \cdot 5 \text{ qmm} = 1075 \text{ qmm}.$$

Ist die Diagrammlänge = 100 mm, so ist die

$$\text{mittlere Diagrammhöhe} = \frac{1075}{100} \text{ mm} = 10,75 \text{ mm}.$$

Für einen Indikatorfedermaßstab von 10 mm = 1 kg/qcm ergibt sich also ein

$$\text{mittlerer, spez. Dampfdruck von } \frac{10,75}{10} \text{ kg/qcm} = 1,075 \text{ kg/qcm}.$$

Das Ottsche Polarplanimeter wird in neuerer Zeit auch zur unmittelbaren Bestimmung der mittleren Höhe von Indikatordiagrammen eingerichtet. Zu diesem Zwecke ist, ganz so wie beim Amslerschen Planimeter, sowohl auf dem Fahrarme als auch auf der Hülse je eine Stahlspitze angebracht. Bringt man diese beiden Spitzen vor der Umfahrung des Diagrammes in einen Abstand voneinander, der

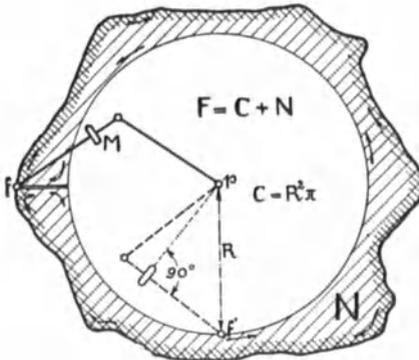


Abb. 233.

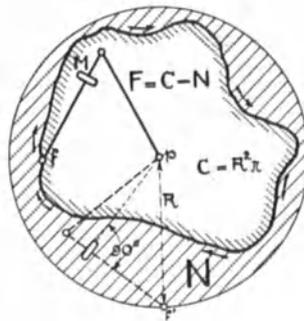


Abb. 234.

gleich der Diagrammlänge ist, so bestimmt sich die mittlere Diagrammhöhe unmittelbar aus dem Unterschied N der Rollenablesungen und einer Konstanten.

Es ist:

$$\text{mittlere Diagrammhöhe} = 0,06 N.$$

Die Konstante hat nur dann den Wert 0,06, wenn der Umfang des Rollenrades genau 60 mm beträgt. Dies ist aber bei solchen Instrumenten, welche für die Bearbeitung von Indikatordiagrammen bestimmt sind, stets der Fall.

Handelt es sich darum, große Flächen, die mit Aufstellung des Poles außerhalb nicht mehr bestrichen werden können, in einem einzigen Zuge zu umfahren, dann muß der Pol innerhalb der Figur aufgestellt werden, und es spielt nunmehr der sog. Nullkreis eine Rolle (Abb. 233 und 234).

Ist nämlich das Instrument so aufgestellt, daß die verlängert gedachte Rollenebene durch den Pol p geht und gleichzeitig der Fahrarm senkrecht auf dieser Ebene steht, so heißt derjenige Kreis, dessen

Radius R gleich dem Abstände des Poles vom Fahrstifte f' ist, der Nullkreis. In bezug auf diesen Kreis besteht die Eigenart, daß bei seiner Umfahung die Meßrolle sich nicht dreht, sondern nur in der Richtung ihrer Achse gleitet.

Handelt es sich um die Bestimmung einer Fläche F , welche größer als der Nullkreis ist, so stellt man das Planimeter so auf, wie in Abb. 233 mit ausgezogenen Linien angegeben ist. In bezug auf den zwischen der Begrenzungslinie der Figur und dem Nullkreise gelegenen Flächenstreifen, der durch Schraffur noch besonders hervorgehoben ist, ist das Instrument mit Pol außerhalb des Streifens aufgestellt. Um zunächst den Flächeninhalt dieses Streifens zu bestimmen, umfährt man, von Punkt f ausgehend, zunächst die äußere Randlinie im Sinne des Zeigers der Uhr, bis man wieder an dem Punkte f angelangt ist; dann geht man auf einer Geraden bis zum Nullkreis, umfährt diesen im entgegengesetzten Sinne des Uhrzeigers und kehrt schließlich auf der Geraden zum Punkte f zurück.

Beim Umfahren der Randlinien hat sich die Meßrolle um N Nonius-einheiten gedreht; die Umfahung des Nullkreises hat eine weitere Abwicklung der Meßrolle nicht zur Folge gehabt, sie hätte also ebenso gut unterbleiben können; d. h. mit anderen Worten: der Inhalt der schraffierten Fläche ist schon durch die Rollenabwälzung N beim Umfahren der Randlinien bestimmt.

Da nun der Inhalt $C = R^2\pi$ des Nullkreises bekannt ist (der Radius R des Nullkreises = rd. 25,5 cm), so ergibt sich der gesuchte Flächeninhalt:

$$F = C + N.$$

Wählt man nun ein für allmal beim Umfahren großer Flächen diejenige Planimeteereinstellung, bei welcher der Wert der Noniuseinheit $n = 0,1$ qcm beträgt, so gibt die Konstante in der Zahlentafel (S. 304), multipliziert mit $n = 0,1$ qcm, den Inhalt des Nullkreises, an.

Die Entscheidung darüber, ob die umfahrene Fläche größer oder kleiner als der Nullkreis ist, kann sehr leicht durch Betrachtung der Gesamtabwälzung der Meßrolle bei Umfahung im Sinne des Uhrzeigers getroffen werden. Ist diese Gesamtabwälzung positiv, so ist die umfahrene Fläche größer, ist sie negativ, so ist die Fläche kleiner als der Nullkreis.

Wie die Abb. 234 zeigt, ergibt sich in letzterem Falle der gesuchte Flächeninhalt:

$$F = C + (-N).$$

Um eine positive Rollenabwälzung zu bekommen, ist zu empfehlen, die Umfahung nicht im Uhrzeigersinn, sondern entgegengesetzt vorzunehmen; dann wird N positiv und ist stets von C zu subtrahieren, so daß sich also für Flächen, die kleiner als der Nullkreis sind, ergibt

$$F = C - N.$$

Beispiel: Es soll der Flächeninhalt einer Ellipse mit den Achsen 60 cm und 40 cm bestimmt werden.

Einstellung des Planimeters so, daß der Wert der
Noniuseinheit = 0,1 qcm .

Umfahrung entgegengesetzt dem Drehsinne des Uhrzeigers.

$$\text{Konstante } C = 20\,500$$

$$\text{Rollenabwälzung } N = 1\,660$$

$$C - N = 18\,840$$

$$\text{Inhalt der Ellipse} = 18\,840 \cdot 0,1 \text{ qcm} = 1884 \text{ qcm} .$$

Etwas einfacher gestaltet sich die Bestimmung großer Flächen, wenn man innerhalb derselben Quadrate (oder auch Dreiecke) von bestimmter Größe durch Linien abgrenzt und dann nur den Inhalt des umliegenden Flächenstreifens, der in Abb. 235 schraffiert ist, durch das Planimeter bestimmt. Dabei ist zuerst die Randlinie im Uhrzeigersinn und dann die Linie *f*, 1, 2, 3, . . . 10, 11, 1, *f* im entgegengesetzten Sinne zu umfahren.

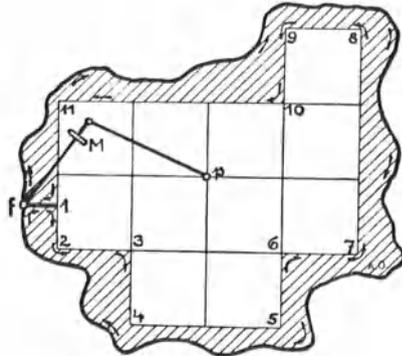


Abb. 235.

Bevor das Instrument in Benutzung genommen wird, verbindet man Polarm und Fahrgestell dadurch miteinander, daß man den Zapfen in das tiefe Gesenke des Rollenrahmens einlegt. Aus der giebelartig abgeschrägten Grundfläche des Polgewichtes *p* ragt eine feine Nadelspitze etwas vor. Diese Polnadel soll bei Aufstellung des Instrumentes nicht ins Papier eingedrückt, sondern nur leicht auf dasselbe gestellt werden, so daß das Polgewicht frei schwingen kann. Die Nadel soll stets nur in scharfem Zustande gebraucht werden. Ist sie stumpf geworden oder abgebrochen, so löst man mit Hilfe des in Form eines kleinen Stahlblechstücks *g* (Abb. 236) dem Planimeter beigegebenen Schraubenziehers das Klemmschraubchen im Polgewicht *p* und dreht den beiderseits angespitzten Nadelstift um resp. ersetzt ihn durch einen neuen. Auf der Rückseite des Schraubenziehers befindet sich eine Aussparung, die für die richtige Bemessung des vorragenden Teiles der Nadel dient, wenn die Lehre in der in Abb. 236 angedeuteten Weise an die unterste Kante des Polgewichtes gehalten wird.

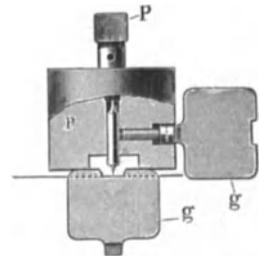


Abb. 236.

Soll der Rollenrahmen verschoben werden, so löst man zunächst die drei Schraubchen *d*₁, *d*₂ und *d*, bringt ihn von Hand annähernd in die richtige Stellung, klemmt das Schraubchen *d* fest und stellt mit der Mikrometerschraube *m* den Nonius auf die richtige Zahl ein. Dann sind die Schraubchen *d*₁ und *d*₂ leicht anzuziehen. Bei richtiger Aufstellung ruht das Fahrgestell auf der Meßrolle *M*, dem Fahrstifte *f* und dem Rädchen *T*, ist also für sich in jeder Lage im Gleichgewicht.

Für die Handhabung des Planimeters etwas bequemer ist die Ausführung des Polarmes mit Kugelpol statt mit Nadelpol. Wie Abb. 237 zeigt, liegt hier das Polgewicht p nicht unmittelbar auf dem Papier auf, sondern in einer Aussparung eines Metallprismas S . Der eigentliche Pol wird nicht durch eine Nadelspitze, sondern durch einen Kugelzapfen gebildet, der in S gelagert ist. Dieser Kugelpol hat den Vorteil, daß ein Einreißen des Papiers unmöglich gemacht ist, und daß durch einfaches Verschieben des Prismas S die Meßrolle vor Beginn der Planimetrierung bequem auf einen gewünschten Teilstrich eingestellt werden kann.

Aus praktischen Gründen, hauptsächlich um für die eingestellte Fahrarmlänge und den Rollenumfang ein ganzzahliges Verhältnis zu bekommen, werden in neuester Zeit die Fahrarme der Ott'schen Polarplanimeter nicht mehr in Abstände von $\frac{1}{2}$ mm, sondern in solche von $\frac{5}{6}$ mm eingeteilt. Dadurch ändern sich auch die Einstellungs-

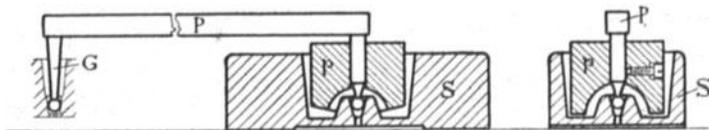


Abb. 237.

zahlen für die verschiedenen Zeichnungsmaßstäbe, ebenso wie die Werte der Noniuseinheiten. Es gilt hierfür folgende Zahlentafel:

Verhältnisse	Fahrarm-einstellung	Wert der Noniuseinheit	
		relativ	absolut
1 : 1000	200	10 qm	10 qmm
1 : 500	160	2 "	8 "
1 : 2500	128	40 "	6,4 "
1 : 2000	100	20 "	5,4 "
1 : 5000	80	100 "	4 "

Das Universalplanimeter. Das Universalplanimeter ist geeignet für Flächenmessungen und für die Bestimmungen der Mittelordinate sowohl von bandförmigen (Abb. 238) als auch von scheibenförmigen Registrierungen (Abb. 239). Der Noniuswert ist unveränderlich, und zwar für Flächenmessungen gleich 10 qmm.

Die Abb. 240—244 zeigen die einzelnen Teile des Universalplanimeters. Je nachdem man das Fahrgestell TFM in Verbindung mit dem Polarm $G P p$, der Führungswalze ABC oder dem Zentrum D bringt, erhält man ein Polarplanimeter, ein Rollplanimeter oder ein Radialplanimeter. In jeder dieser Anwendungsarten weist das Instrument kennzeichnende, besonders vorteilhafte Eigenschaften auf.

Bei Benutzung als Polarplanimeter mit dem gewöhnlich beigegebenen festen Polarm braucht kein Unterschied gemacht zu werden zwischen Stellungen mit Pol außerhalb und innerhalb der Figur. Man erhält in beiden Fällen genau dieselbe Rollenablesung, denn die Konstante für Pol innen ist gleich Null.

Dies erkennt man ohne weiteres, wenn man daran denkt, daß die Konstante dem Inhalt des Kreises entspricht, den der Fahrstift bei Drehung des Instrumentes um den Pol beschreibt, wenn es so aufgestellt ist, daß die Rollenebene in der Richtung des Radius steht. Da nun beim Universalplanimeter Fahrarm, Polarm und Abstand der Rollenebene vom Gelenk g gleich groß sind, schrumpft bei ihm dieser Kreis auf einen Punkt zusammen.

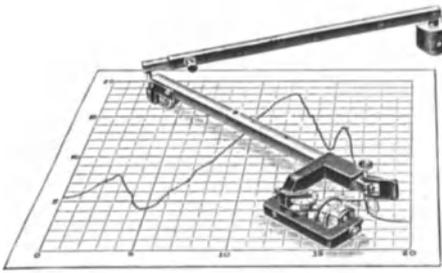


Abb. 238.

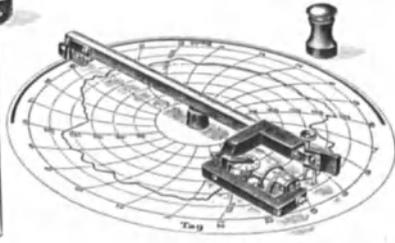


Abb. 239.

Die Rolle macht infolge ihrer Lage dicht beim Fahrstift denselben Weg wie dieser und wird daher zur Annehmlichkeit des Beobachters dauernd im Auge behalten. Abwicklungsfehler der Rolle infolge unbemerkten Gleitens über Bewegungshindernisse, wie Papierränder, Gummireste usw., sind also ausgeschlossen.

Die besondere Bewegungsart der Rolle, bei der ein reines Gleiten überhaupt nicht vorkommt, beeinflußt die Messungsgenauigkeit in

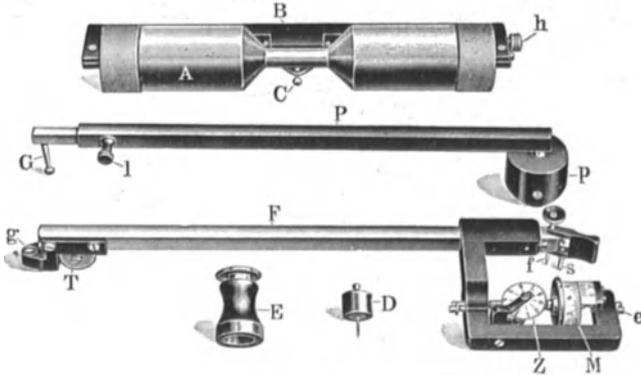


Abb. 240—244.

günstigem Maße. Bei der Benutzung als Radialplanimeter geht die Genauigkeit durch Angabe des Resultates auf fast $1/100$ mm weit über das praktische Bedürfnis hinaus.

Das Radialplanimeter kann ebensowohl bei Diagrammen mit geradlinigen wie mit bogenförmigen Ordinaten gebraucht werden, solange sie eine gleichmäßige Teilung haben. Sein Gebrauch gestaltet sich folgendermaßen:

Man legt das Diagramm auf ein Reißbrett und drückt das einem hohen Reißnagel gleichende Zentrum D (siehe Abb. 240—244) mit Hilfe der beigegebenen Eindrückvorrichtung E senkrecht in den Mittelpunkt des Diagrammes. Dann wird das Fahrgerüst so daraufgestellt, daß der kugelförmige Kopf des Zentrums in die Längsrinne auf der Unterseite des Fahrstabs eingreift, wodurch dieser eine zwangsläufige Führung in bezug auf den Mittelpunkt des Diagrammes erhält. Jetzt bringt man den Fahrstift auf den Anfangspunkt der Registrierung, schreibt den Stand der Rolle auf, folgt rechtsläufig der Kurve bis zum Endpunkt, fährt auf dessen Ordinate nach auswärts oder einwärts bis zum gleichen Mittenabstand wie beim Anfangspunkt und liest dann die Rolle wieder ab. Der Unterschied beider Ablesungen, geteilt durch 100, gibt den mittleren Radius des Diagrammes in Millimetern unter der Voraussetzung, daß die Registrierung sich genau einmal um die Scheibe erstreckt. Ist die Registrierung kürzer oder länger, so muß die erhaltene Rollenablesung auf eine ganze Scheibenumdrehung umgerechnet werden, was beispielsweise bei 24stündiger Umlaufzeit der Scheibe und 16stündiger Registrierdauer durch Multiplikation mit $\frac{24}{16}$ erreicht würde. Zum Schluß ist zur Erhaltung der mittleren Ordinatenhöhe natürlich noch der Radius des Basiskreises von dem gefundenen mittleren Radius des Diagrammes abzuziehen.

Um das Instrument zu einem Rollplanimeter zu machen, wird der Fahrarm F mit der Führungswalze AB im Punkte C der letzteren verkoppelt. Dann können Diagrammstreifen von beliebiger Länge und bis 22 cm Breite mit einem Male befahren werden.

Absoluter und relativer Wert der Noniuseinheit.

Der absolute Wert der Noniuseinheit bezieht sich unmittelbar auf die planimetrierte Fläche und ist nur von der Einstellung des Fahrarmes abhängig. Er gibt diejenige Fläche an, die man mit dem Unterschied der Rollenablesungen multiplizieren muß, um die Größe der planimetrierten Fläche zu erhalten.

Der relative Wert der Noniuseinheit dagegen bezieht sich auf diejenige Fläche, von welcher die zu planimetrierende ein in einem bestimmten Maßstabe gezeichnetes Abbild ist. Er ist von dem Zeichenmaßstabe abhängig und ergibt, mit dem Rollenablesungsunterschied multipliziert, die Größe der Fläche an, deren Abbild planimetriert worden ist. Nur für den Fall, daß der Zeichenmaßstab 1:1 vorliegt, wird der absolute und der relative Noniuswert von der gleichen Größe sein.

Soll z. B. aus der im Maßstabe 1:5000 gezeichneten Aufnahme eines Feldes die Größe dieses Feldes bestimmt werden, so stellt man beim Planimetrieren der Aufnahme den Fahrarm des Planimeters nach Zahlentafel Seite 308 auf die Zahl 80 ein; dann ist laut Zahlentafel der relative Wert der Noniuseinheit 100 qm. Beträgt nun

die 1. Ablesung	3628
„ 2. „	4357

also der Rollenablesungsunterschied 729 Noniuseinheiten;

so ist die wahre Größe des Feldes

$$729 \cdot 100 \text{ qm} = 72\,900 \text{ qm}.$$

Um die Fläche des Abbildes des Feldes zu erhalten, muß man den Unterschied der Rollenablesungen mit dem absoluten Werte der Noniuseinheit, d. i. $\frac{100}{5000^2} \text{ qm} = 0,000\,004 \text{ qm} = 4 \text{ qmm}$, multiplizieren.

Die Bildfläche ergibt sich also zu $729 \cdot 4 \text{ qmm} = 2916 \text{ qmm}$.

Abhängigkeit des Wertes der Noniuseinheit von der Fahrarmeinstellung.

Bei den beschriebenen Amslerschen Polarplanimetern besitzen die Fahrarme keine durchgehende Einteilung. Es sind auf ihnen nur die für bestimmte Zeichenmaßstäbe geltenden Einstellungsmarken angebracht.

Dagegen weisen die Fahrarme der Coradischen und der Ottischen Polarplanimeter eine bestimmte Einteilung (in $\frac{1}{2} \text{ mm}$ bzw. $\frac{1}{2} \text{ mm}$ und $\frac{5}{6} \text{ mm}$) auf.

Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, für einen innerhalb bestimmter Grenzen (gewöhnlich 2 und 10 qmm) gelegenen, beliebigen absoluten Wert der Noniuseinheit die maßgebende Einstellungszahl durch Rechnung zu finden.

Es ist z. B. ein Indikatorgramm mit 75 mm Basislänge zu planimetrieren, und zwar mit einem Ottischen Planimeter älterer Ausführung (Fahrarmeinteilung $\frac{1}{2} \text{ mm}$).

Als Unterschied der Rollenablesungen ergibt sich die Zahl N bei einer Fahrarmeinstellung auf die Zahl E und bei einem absoluten Werte der Noniuseinheit gleich ν ; dann ist:

$$\text{Diagrammfläche } F = N \cdot \nu,$$

$$\text{also mittlere Diagrammhöhe } h_m = \frac{N \cdot \nu}{75} \text{ mm}.$$

In diesem Falle wäre es praktisch, wenn ν den absoluten Wert 7,5 hätte, denn dann ergäbe sich:

$$h_m = \frac{N}{10}.$$

Nach Gleichung (3) S. 312 ist die zugehörige Einstellungszahl für den Fahrarm:

$$E = \frac{\nu}{0,03} = \frac{7,5}{0,03} = 250.$$

Es sei nun:

U = Rollenumfang in mm,

L = eingestellte Fahrarmlänge in mm,

E = zugehörige Einstellungszahl,

ν = entsprechender absoluter Wert der Noniuseinheit in qmm,

F = zu planimetrierende Fläche in qmm,

n = Zahl der Rollenabwälzungen beim Umfahren der Fläche F ,

N = Zahl der Noniuseinheiten, um welche sich die Rolle beim Umfahren der Fläche F abwälzt,

dann gilt unter Berücksichtigung der grundlegenden Tatsache, daß der Inhalt einer planimetrierten Fläche sich als Rechteck ergibt, dessen Grundlinie gleich der eingestellten Fahrarmlänge und dessen Höhe gleich der Länge der Rollenabwälzung ist,

$$F = L \cdot (n \cdot U).$$

Man drückt nun die zu messende Fläche aus als Vielfaches derjenigen Fläche, bei deren Umfahrung die Rolle sich um den 1000sten Teil ihres Umfangs abwälzt, also als Vielfaches des Wertes der Noniuseinheit.

Es ist demnach:

$$\nu = \frac{U}{1000} \cdot L \quad (1)$$

und

$$F = N \cdot \nu. \quad (2)$$

Ist der Fahrarm wie z. B. bei den Otttschen Planimetern der bisherigen Ausführung in halbe Millimeter eingeteilt, dann entspricht der

Einstellungszahl	1	die Fahrarmlänge	$\frac{1}{2}$ mm,
"	2	"	"
"	E	"	$L = \frac{1}{2} E$ usw.,

Bei einem Rollenumfang $U = 60$ mm folgt nun aus Gleichung (1) für den Wert der Noniuseinheit:

$$\nu = \frac{60}{1000} \cdot L$$

oder
$$\nu = \frac{60}{1000} \cdot \frac{1}{2} E = 0,03 E. \quad (3)$$

Der absolute Wert der Noniuseinheit ist also gleich dem 0,03fachen der Einstellungszahl.

Umgekehrt kann man aus Gleichung (3) für eine beliebig gewählte Noniuseinheit die zugehörige Einstellung E finden gemäß der Beziehung:

$$E = \frac{100}{3} \cdot \nu.$$

Ist z. B. aus praktischen Gründen für die Noniuseinheit der absolute Wert 10 qmm erwünscht, so wird die Einstellungszahl

$$E = \frac{100}{3} \cdot 10 = 333,3.$$

Die in der Zahlentafel S. 308 angegebenen Einstellungszahlen sind in dieser Weise berechnet.

Bei den neuesten Ausführungen der Otttschen Planimeter geschieht die Einteilung des Fahrarmes in Intervallen von $\frac{5}{6}$ mm. Es entspricht in diesem Falle der

Einstellungszahl	1	die Fahrarmlänge	$\frac{5}{6}$ mm,
"	2	"	$\frac{10}{6}$ "
"	E	"	$L = \frac{5}{6} \cdot E$ usw.,

Aus Gleichung (1) ergibt sich dann bei einem $\frac{1}{2}$ Rollenumfang $U = 60$ mm der Wert der Noniuseinheit:

$$\nu = \frac{60}{1000} \cdot L$$

oder:
$$\nu = \frac{60}{1000} \cdot \frac{5}{6} E = \frac{1}{20} E. \quad (4)$$

Der absolute Wert der Noniuseinheit ist also in diesem Falle gleich dem 20sten Teile der Einstellungszahl.

Aus Gleichung (4) folgt:

$$E = 20 \nu.$$

Ist z. B. eine absolute Noniuseinheit von 10 qmm erwünscht, so wird die Einstellungszahl

$$E = 20 \cdot 10 = 200,$$

wie auch in der Zahlentafel S. 308 angegeben ist.

Stellt man beim Planimetrieren eines Indikatordiagrammes das Instrument so ein, daß die Fahrarmlänge gleich der Länge der Diagrammbasis ist, so wird bei Benutzung eines Planimeters mit $\frac{1}{2}$ mm Fahrarmteilung nach Gleichung (3):

$$\nu = 0,03 E.$$

Die Diagrammfläche F ist allgemein: Diagrammlänge \times mittlere Höhe oder

$$F = l \cdot h_m.$$

Gemäß der Gleichung (2) ist:

$$F = N \cdot \nu,$$

oder: $l \cdot h_m = N \cdot \nu = N \cdot 0,03 E;$ da aber $L = \frac{1}{2} E,$
also: $E = 2L$ und
ferner: $L = l,$

so wird: $l \cdot h_m = N \cdot 0,03 \cdot (2L)$

oder: $l \cdot h_m = N \cdot 0,03 \cdot (2l),$

folglich: $h_m = 0,06 N,$

wie schon auf S. 300 angegeben worden ist.

Benutzt man aber ein Planimeter mit $\frac{5}{6}$ mm Fahrarmteilung und stellt man den Fahrarm auf diejenige Zahl ein, die der in Millimetern gemessenen Diagrammlänge l entspricht, z. B. bei $l = 100$ mm auf die Zahl 100 (die Fahrarmlänge ist dann nicht 100 mm, sondern $100 \cdot \frac{5}{6}$ mm), so wird:

Diagrammfläche: $l \cdot h_m = N \cdot \nu$ [nach Gl. (2)]

oder: $l \cdot h_m = N \cdot \frac{1}{20} E$ [nach Gl. (4)]

oder: $l \cdot h_m = N \cdot \frac{1}{20} \cdot l,$

also wird:

$$h_m = \frac{1}{20} \cdot N,$$

d. h. die mittlere Diagrammhöhe ergibt sich einfach dadurch, daß man den Rollenablesungsunterschied durch 20 dividiert.

Handhabung und Prüfung der Polarplanimeter.

Jedes Planimeter, gleichgültig, welcher Bauart es ist, ist ein zwar einfaches, aber doch sehr empfindliches Instrument. Die geringste Beschädigung eines seiner feinen Organe hat den Verlust der Genauigkeit zur Folge. Oft sind solche Beschädigungen aus der äußeren Beschaffenheit des Instrumentes gar nicht zu erkennen; deshalb ist es wohl am Platze, die allgemeinen und wichtigsten Regeln für die Handhabung und Prüfung der Polarplanimeter kurz zusammenzustellen.

I. Regeln für die Handhabung der Polarplanimeter.

1. Das Papier, auf welchem die zu planimetrierende Figur gezeichnet ist, muß glatt und auf horizontaler Unterlage ausgebreitet sein.

2. Der Rand der Meßrolle soll während des Umfahrens der Figur den Papierrand nicht überschreiten. Ist dies aber nicht zu vermeiden, so stoße man an das Papier ein Blatt von derselben Stärke.

3. Es ist stets darauf zu achten, daß das Planimeter vor dem Umfahren der Figur nach einer der früher angegebenen Regeln in die günstigste Stellung zu der zu messenden Figur gebracht wird.

4. Um beim Umfahren einer Figur seitliche Abweichungen des Fahrstiftes von der Begrenzungslinie sofort zu erkennen, ist es am besten, man beobachtet den Fahrstift fortwährend in der Richtung der Begrenzungslinie.

5. Beim Planimetrieren von geradlinig begrenzten Figuren ist es nicht empfehlenswert, zur Führung des Fahrstiftes ein Lineal zu verwenden, weil dadurch leicht ein konstanter Fehler in das Resultat kommt, indem der Fahrstift möglicherweise nur rechts oder nur links von der Begrenzungsgerade abweicht, während beim Umfahren mit freier Hand sich unwillkürlich annähernd ebenso große Abweichungen nach rechts wie nach links einstellen, die in ihrer algebraischen Summe sich gänzlich oder doch fast ganz aufheben.

6. Der Rand der Meßrolle ist auf das peinlichste vor Rost und Beschädigungen zu schützen.

7. Polarm, Fahrarm und Fahrstift dürfen nicht verbogen werden.

8. Der Lagerung von Meßrolle und Polarm hat man stets die größte Schonung angedeihen zu lassen.

9. Die Spitzen der Meßrollenachse und der Polarmachse sollen von Zeit zu Zeit mit feinem Öle ganz wenig geschmiert werden.

10. Bei sehr kleinen Figuren, ebenso wie bei Figuren, die in einem sehr kleinen Maßstabe (z. B. 1:2500) gezeichnet sind, ist der größeren Genauigkeit wegen ein mehrmaliges Umfahren zu empfehlen.

11. Um die Umfahrung einer Figur mit Pol innerhalb derselben möglichst zu vermeiden, empfiehlt es sich, größere Figuren in mehrere kleine zu zerlegen und diese mit Pol außerhalb zu planimetrieren.

II. Regeln für die Prüfung der Polarplanimeter.

1. Die Meßrolle muß sich sehr leicht drehen und darf deshalb etwas Spiel in ihren Lagern haben.

2. Zwischen Meßrolle und Nonius muß ein kleiner Zwischenraum sein.

3. Der Polarm soll sich in seinen Lagern leicht drehen, ohne jedoch Spiel zu haben.

4. Die Prüfung der Genauigkeit des Planimeters kann auf zweifache Weise geschehen:

a) Man umfährt mit einer bestimmten Einstellung des Fahrarmes eine mit scharfen Linien gezeichnete, einfache Figur, z. B. ein Dreieck, Rechteck oder Quadrat und vergleicht den durch das Planimeter gefundenen Inhalt mit dem auf geometrischem Wege ermittelten. Da aber selbst bei größter Sorgfalt Umfahrungsfehler vorkommen, so ist folgende Prüfungsmethode besser:

b) Mit jedem Planimeter kann ein kleines Lineal, Kontrolllineal genannt, bezogen werden. Dieses ist z. B. in der Coradischen Ausführung (Abb. 245) ein dünnes, mit einer Einteilung in 8 oder 10 cm versehenes Messinglineal. Im Schnittpunkte des Teilstriches 0 cm mit der Längsmittellinie des Lineals ist eine feine Nadelspitze eingesetzt, die durch den übergreifenden Kopf einer Schraube gehalten wird. In den Schnittpunkten eines jeden der übrigen Teilstriche mit der Längsmittellinie ist je eine kleine, kegelförmige Vertiefung angebracht, in welche die Spitze des Fahrstiftes des Planimeters gesetzt werden kann.

Man drückt nun die Nadelspitze so weit in das Papier ein, daß das Kontrolllineal

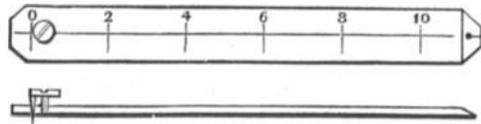


Abb. 245. ($\frac{1}{2}$ d. n. Gr.)

glatt aufliegt, schraubt die Stütze *s* (Abb. 224, 232 und 236) in die Höhe, setzt den Fahrstift in eine der kegelförmigen Vertiefungen und umfährt nun, indem man mit der einen Hand leise auf den Fahrstift drückt, die Führung desselben aber mit Hilfe des Kontrolllineals vornimmt, eine Kreisfläche von bekanntem Radius. Um hierbei genau wieder auf den Ausgangspunkt zurückkehren zu können, trägt das rechte Ende (Abb. 245) des Lineals eine abgeschrägte Fläche, auf welcher ein Strich als Index eingraviert ist. Durch Vergleichung der aus der Planimeterablesung gefundenen Kreisfläche mit der berechneten Kreisfläche läßt sich kontrollieren, ob der angegebene Wert der Noniuseinheit bei der jeweilig eingestellten Fahrarmlänge richtig ist. Fällt die Ablesung zu groß aus, so ist der Fahrarm zu verlängern; bei zu kleiner Ablesung ist eine Verkürzung desselben nötig. (Nur vom Mechaniker ausführbar.)

Für den Gebrauch des Kontrolllineals hat Coradi eine Zahlen-tafel (S. 317) berechnet, aus welcher die Unterschiede ($L_2 - L_1$) der Rollenablesungen zu entnehmen sind, welche sich ergeben, wenn man mit einem fehlerlosen Planimeter Kreise von verschiedenen Radien ($1 \div 10$ cm und $1 \div 4''$ engl.) umfährt.

Diese Tafel gibt gleichzeitig den Wert *f* an, den die Noniuseinheit hat, wenn das Planimeter auf diejenige Fahrarmlänge eingestellt ist, die dem Maßstabe des Planes oder der Figur entspricht und die auch auf der dem Planimeter beigegebenen kleinen Tafel (S. 399) zu finden ist.

Außerdem ist aus dieser Zahlentafel (S. 317) auch noch derjenige Wert f_0 zu ersehen, welcher der Noniuseinheit für die bestimmte, eingestellte Fahrarmlänge zukommt, wenn die umfahrene Figur in natürlicher Größe gezeichnet ist.

Hat man also z. B. eine im Maßstab 1:500 gezeichnete Figur zu planimetrieren, so ist laut Zahlentafel S. 299 der Fahrstab auf die Länge 255,1 einzustellen; der Wert f der Noniuseinheit ist dann nach derselben Tafel 2 qm; für eine in natürlicher Größe vorliegende Figur wäre dieser Wert 8 qmm, welche Zahlen auch aus der Tafel S. 317 zu entnehmen sind. Umfährt man nun mit Hilfe des Kontrolllineals einen Kreis von 4 cm Radius einmal, so muß sich, ein fehlerloses Planimeter vorausgesetzt, als Unterschied der Rollenablesungen die Zahl 628,3 herausstellen.

Dies ergibt für den Maßstab 1:500

$$\text{einen Kreisinhalt} = 628,3 \cdot 2 \text{ qm} = 1256,6 \text{ qm}$$

und für den Maßstab 1:1

$$\text{einen Kreisinhalt} = 628,3 \cdot 8 \text{ qmm} = 5026,4 \text{ qmm}.$$

Für solche Verhältnisse, welche in der Zahlentafel S. 317 nicht angegeben sind, läßt sich der zugehörige Wert der Noniuseinheit leicht berechnen. Ist dieser Wert für das Verhältnis $\frac{1}{n} = f$, so ist er bei der gleichen Fahrarmlänge für das Verhältnis $\frac{1}{m} \cdot \frac{1}{n} = f \cdot m^2$.

Es ist z. B.

$$\text{für } \frac{1}{1500} \text{ der Wert } f = 20 \text{ qm},$$

dann ist

$$\text{für } \frac{1}{2 \cdot 1500} = \frac{1}{3000} \text{ der Wert } f = (20 \cdot 2^2) \text{ qm} = 80 \text{ qm}.$$

5. Die wichtigste Prüfung am Planimeter ist entschieden diejenige, die Aufschluß über die Exaktheit des Rollenrandes zu geben imstande ist. Umfährt man ein und dieselbe Figur oftmals hintereinander, so müßten bei umgeänderter Fahrarmeinstellung die Ablesungsunterschiede gleich bleiben.

Am einfachsten bedient man sich bei dieser Prüfung wieder des Kontrolllineals. Man stellt das Planimeter so ein, daß ein Fahrarm die größtmögliche Länge hat. Wird also z. B. ein Amslersches Planimeter Nr. 6 angenommen, so bringt man den Fahrarm auf die Marke $0,1 \square \text{ cm}$ und umfährt unter Anwendung des Kontrolllineals einen Kreis von 100 mm Durchmesser 70 ÷ 80 mal, wobei man nach jeder Umfahrung den Ablesungsunterschied aufschreibt. Es werden sich dann geringe Schwankungen in diesen Differenzen zeigen; doch soll bei einem guten Instrumente der Unterschied zwischen der größten und der kleinsten Differenz 3 ÷ 4 Noniuseinheiten nicht überschreiten, nur dann hat man eine Gewähr für eine tadellose Beschaffenheit des

f_0 = Wert der Noniusseinheit für 1:1	Maßstab der Figur $\frac{1}{n}$	f = Wert der Noniusseinheit für den Maßstab der Figur	Differenz der Ablesungen ($L_2 - L_1$) für einmalige Umfahrung von Kreisen von 1—10 cm bzw. 1—4'									
			1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm	9 cm	10 cm
10	1 : 1000	10	0,03,14	0,12,56	0,28,27	0,50,26	0,78,54	1,13,09	1,53,93	2,01,06	2,54,47	3,14,16
7	1 : 333 $\frac{1}{3}$	100	0,03,49	0,13,96	0,31,41	0,55,85	0,87,26	1,25,66	1,71,04	2,23,40	2,82,74	3,49,06
8 $\frac{1}{9}$	1 : 1500	20	0,03,53	0,14,13	0,31,80	0,56,54	0,88,35	1,27,23	1,73,17	2,26,18	2,86,27	3,53,42
8	1 : 500	2	0,03,92	0,15,70	0,35,33	0,62,83	0,98,17	1,41,37	1,92,41	2,51,33	3,18,09	3,92,70
7,5	1 : 2000	30	0,04,18	0,16,75	0,37,69	0,67,02	1,04,72	1,50,79	2,05,24	2,68,08	3,39,29	4,18,88
200 $\frac{36}{5}$	1 : 2400	40	0,04,52	0,18,09	0,40,71	0,72,38	1,13,09	1,62,86	2,21,66	2,89,52	3,66,43	4,52,39
6,4	1 : 1250	10	0,04,90	0,19,63	0,44,18	0,78,54	1,22,71	1,76,71	2,40,51	3,14,16	3,97,61	4,90,85
6,25	1 : 4000	100	0,05,02	0,20,10	0,45,23	0,80,42	1,25,66	1,80,95	2,46,30	3,21,69	4,07,15	5,02,65
50 000 / 8281	1 : 1820	20	0,05,20	0,20,81	0,46,82	0,83,24	1,30,08	1,87,28	2,54,95	3,32,96	4,21,38	5,20,31
400 000 / 74 539	1 : 2730	40	0,05,85	0,23,41	0,52,67	0,93,64	1,46,39	2,10,69	2,86,82	3,74,57	4,74,03	5,85,35
840 / 125	1 : 6250	200	0,06,13	0,24,54	0,55,22	0,98,17	1,53,36	2,20,88	3,00,63	3,92,70	4,96,98	6,13,56
5	1 : 2000	20	0,06,28	0,25,13	0,56,54	1,00,52	1,57,08	2,26,19	3,07,86	4,02,12	5,08,89	6,28,32
3125 / 648	1 : 1440	10	0,06,51	0,26,06	0,58,62	1,04,24	1,62,86	2,31,50	3,19,18	4,16,96	5,27,63	6,51,44
4 $\frac{1}{9}$	1 : 3000	40	0,07,06	0,28,26	0,63,61	1,13,09	1,76,71	2,54,47	3,46,34	4,52,36	5,72,54	7,06,84
4	1 : 5000	100	0,07,85	0,31,41	0,70,68	1,25,66	1,99,34	2,82,74	3,84,82	5,02,66	6,36,18	7,85,40
3,2	1 : 2500	20	0,09,81	0,39,27	0,88,35	1,57,08	2,45,43	3,53,42	4,81,02	6,28,32	7,95,19	9,81,75
0,0125 □ "	Österreich. Maß 1" = 40'	20 □'	0,03,62	0,14,48	0,32,59	0,57,95	0,90,54	1,30,39	1,77,47	2,31,80	2,93,37	3,62,19
0,01 "	1" = 20'	4 "	0,04,52	0,18,11	0,40,74	0,72,44	1,13,18	1,62,09	2,21,85	2,89,76	3,66,71	4,52,75
0,0125 "	Englisches Maß 1" = 40'	20 "	0,25,13	1,00,53	2,26,19	4,02,12						
1/90	(1 : 480) 1" = 30'	10 "	0,28,27	1,13,09	2,54,47	4,52,39						
0,01	(1 : 360) 1" = 100'	100 "	0,31,41	1,25,66	2,82,74	5,02,66						
0,0144	(1 : 1200) Russisches Maß 1" = 100 Saschen ¹⁾	Defjatine ²⁾ 0,05	0,21,81	0,87,26	1,96,35	3,49,06						
0,012	1" = 100 Saschen ¹⁾	0,05	0,26,18	1,04,72	2,35,62	4,18,87						

1) 1 Saschen = 2,133 m

2) Defjatine = 2400 □ Saschen = 1,0925 ha

Zahlentafel
zum Gebrauche des Kontrollineals.

Rollenrandes. Ist dies der Fall, so werden die Ablesungsunterschiede bald größer, bald kleiner als die theoretisch richtige Differenz, die in diesem Falle 785,4 beträgt, sein; zeigen sie aber bis zu einer gewissen Stelle eine fortgesetzte Zunahme und von da ab eine ebensolche Abnahme oder umgekehrt, so ist dies ein Zeichen dafür, daß der Limbus der Meßrolle und der Rand der Meßrolle exzentrisch sind, ein Fehler, der nur vom Verfertiger des Instrumentes beseitigt werden kann. Das gleiche gilt von Unregelmäßigkeiten am Rollenrande selbst.

Für Amslersche Polarplanimeter wurde von v. Bauernfeind eine mögliche Genauigkeit der Planimetrierung von $\frac{1}{1800}$ und für gewöhnliche Fälle eine solche von $\frac{1}{600}$ (der zu bestimmenden Fläche) festgestellt. Für die übrigen, bis jetzt behandelten Planimeter ist die Genauigkeit nicht minder groß.

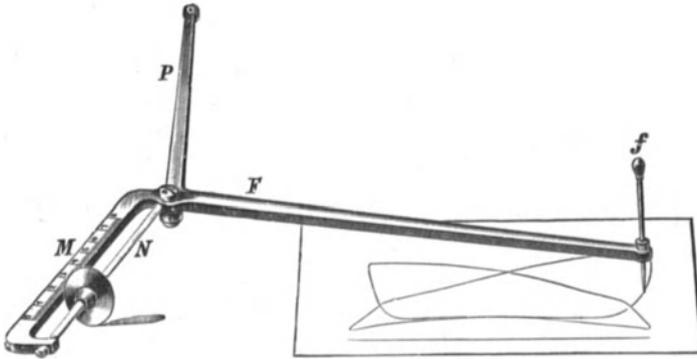


Abb. 246.

Das Schneidenradplanimeter.

In neuerer Zeit ist von Fieguth ein sowohl in der Konstruktion als auch in der Handhabung sehr einfaches Instrument erfunden worden, welches ebenfalls zur Bestimmung des Flächeninhaltes beliebig begrenzter, ebener Figuren dient und den Namen Schneidenradplanimeter trägt. Es ist in Abb. 246 perspektivisch dargestellt. *P* ist der Polarm, der am freien Ende eine Nadelspitze, den Pol, enthält. Der Fahrarm *F* ist am freien Ende mit einem Fahrstifte ausgerüstet, während er am anderen Ende winkelhebelartig umgebogen ist, derart, daß *M* senkrecht zu *F* steht. Dieser Winkelhebel *FM* ist mit *P* scharnierartig verbunden. Parallel zu *M* ist eine dünne Stange *N* angebracht, auf welcher ein kleines Rädchen, das Schneidenrad, mit möglichst geringer Reibung gleiten kann. Außerdem trägt *M* einen Maßstab von bestimmter Teilung.

An der Hand der beiden schematischen Abb. 247 und 248 soll die Handhabung und die Theorie des Instrumentes erläutert werden.

Das Schneidenradplanimeter mißt den Inhalt einer ebenen Fläche, indem beim Umfahren der Fläche mit dem Fahrstifte *f* (Abb. 246) das Schneidenrad wechselnde Stellungen auf der Stange *N* (Abb. 246)

einnimmt und das Produkt aus der Entfernung der Anfangs- und Endstellung des Schneidenrades und der Länge l des Fahrarmes gleich ist dem Inhalte der umfahrenen Fläche. Der Weg, den das Schneidenrad zurücklegt, wird an einer parallel zur Stange N (Abb. 246) angebrachten Skala M bestimmt, deren Teilung im Verhältnisse zur Länge l des Fahrarmes so gewählt ist, daß der Inhalt unmittelbar abgelesen werden kann.

An einer Fläche $abcd$ (Abb. 247 und 248) soll nachgewiesen werden, daß das Produkt aus der Verschiebung s des Schneidenrades und der Fahrarmlänge l gleich ist dem Inhalte dieser Fläche. Die Figur $abcd$ ist aus vier Kreisbögen zusammengesetzt, die im Verhältnisse zu den Abmessungen des Instrumentes so gewählt sind, daß beim Befahren des Bogens da mit dem Fahrstifte f die Stange N mit dem Polarme P stets

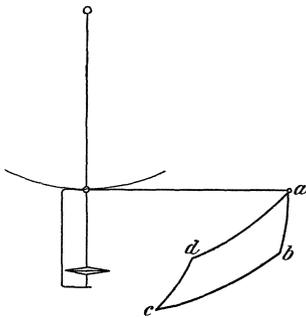


Abb. 247.

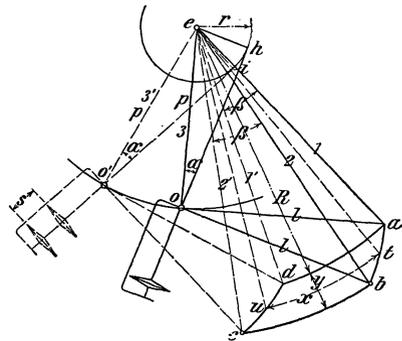


Abb. 248.

eine Gerade bildet (da ist also ein aus dem Mittelpunkte e mit ef als Radius beschriebener Kreisbogen). Die Kreisbögen ab und dc sind aus den Mittelpunkten o bzw. o' mit dem Radius l beschrieben. Beim Befahren eines jeden dieser beiden Kreisbögen wird daher der Fahrarm l nur eine Schwingung um den Drehpunkt o bzw. o' ausführen, während die jeweilige Lage des Polarms P ungeändert bleibt (nämlich eo bzw. eo').

Der vierte Kreisbogen bc ist ebenfalls aus e beschrieben, läuft also konzentrisch zum Kreisbogen ad . Wenn der Fahrstift den Kreisbogen bc durchfährt, so wird der Winkel α , den die Verlängerung der Stange N mit dem Polarme P , nachdem der Fahrstift in b angekommen ist, einschließt, konstant bleiben.

Solange bei der Bewegung des Fahrstiftes f die Stange N und der Polarm P in eine Gerade fallen, wird eine Verschiebung des Schneidenrades auf der Stange N nicht stattfinden. Dasselbe beschreibt einen Kreisbogen um den Mittelpunkt e . Eine Verschiebung des Schneidenrades auf der Stange N findet auch dann nicht statt, wenn der Fahrarm l nur eine Schwingung um den Punkt o ausführt, während der Polarm seine augenblickliche Stellung beibehält. In diesem Falle bewegt sich das Schneidenrad auf einem aus dem Punkte o beschriebenen Kreise.

Aus dem vorhergehenden folgt ohne weiteres, daß beim Umfahren der Figur $abcd$ nur beim Entlangfahren des Bogens bc eine Verschiebung des Schneidenrades auf der Stange N stattfinden wird.

Die Größe der Verschiebung soll durch folgende Betrachtung festgestellt werden.

In Abb. 248 sind zwei verschiedene Stellungen des Planimeters schematisch dargestellt. Der Fahrstift f hat, wenn die eine Stellung in die andere übergegangen ist, den Kreisbogen bc (mit e als Mittelpunkt) beschrieben. Die Verlängerung der Stange N schließt in beiden Stellungen mit dem Polarme P den Winkel α ein. Man fälle in der ersten Stellung boe vom Punkte e aus eine Senkrechte eh auf die Verlängerung der Stange N und beschreibe mit eh aus e einen Kreis, so wird in allen Stellungen des Planimeters die Verlängerung der Stange N eine Tangente an diesen Kreis sein, natürlich vorausgesetzt, daß der Fahrstift f stets auf dem aus e mit eb als Radius beschriebenen Kreise verbleibt.

Man kann sich nun die Verschiebung des Schneidenrades auf der Stange N dadurch zustande kommend denken, daß ein Faden, an welchem das Schneidenrad befestigt ist, sich auf dem Kreise h aufwickelt. Die Bahn des Schneidenrades wird also eine Kreisvolvente werden; die Größe seiner Verschiebung auf der Stange N wird gleich demjenigen Stücke des imaginären Fadens sein, welches sich beim Übergange von der ersten Planimeterstellung in die zweite auf dem Kreise h aufwickelt, also gleich dem Bogen ih .

Denkt man sich in Abb. 248 die Geraden eh, ea, eb, eo, oh, oa und ob als ein starres System von Stäben, welches durch Drehung um den Punkt e allmählich in die zweite, punktiert gezeichnete Lage $ei, ed, ec, eo', o'i, o'd$ und $o'c$ gebracht wird, so sind zweifellos alle durch den Punkt e gehenden Stäbe um denselben Winkel verdreht worden. Es wird also sein:

$$\sphericalangle aed = \sphericalangle bec = \sphericalangle hei = \sphericalangle \beta.$$

Halbiert man den Kreisbogen ab in t und beschreibt aus e mit et als Radius einen neuen Kreisbogen, so wird dieser auch den Kreisbogen cd (in u) halbieren. ut ist alsdann das arithmetische Mittel der Kreisbögen ad und bc . Denkt man sich et und eu ebenfalls zu dem vorhin angenommenen starren Stabsystem gehörend, so ist eu diejenige Lage, welche von et nach der Verdrehung des Systems angenommen wird, und es ist also

$$\sphericalangle teu = \sphericalangle \beta.$$

Nach dem Gesetze der Ähnlichkeit ergibt sich:

$$r : \left(R + \frac{y}{2} \right) = \text{arch } i^1) : \text{arct } u.$$

Ferner ist im Dreiecke eob nach dem Kosinussatze:

$$R + y = \sqrt{p^2 + l^2 - 2pl \cdot \cos(90^\circ + \alpha)}.$$

1) $\text{arch } i = \text{Bogen } hi$.

Im Dreiecke $eo\bar{h}$ ist:

$$p = \frac{r}{\sin \alpha}.$$

Im Dreiecke $eo\bar{a}$ ist:

$$p^2 = R^2 - l^2.$$

Ferner ist:

$$\cos(90^\circ + \alpha) = -\sin \alpha.$$

Folglich wird:

$$R + y = \sqrt{R^2 - l^2 + l^2 - 2 \frac{r}{\sin \alpha} \cdot l \cdot (-\sin \alpha)}$$

oder: $R + y = \sqrt{R^2 + 2rl}$

oder: $2R \cdot y + y^2 = 2rl$

oder: $y \cdot \left(R + \frac{y}{2}\right) = rl$

oder: $y : l = r : \left(R + \frac{y}{2}\right).$

Nach früherem war:

$$r : \left(R + \frac{y}{2}\right) = \operatorname{arch} i : \operatorname{arct} u.$$

Also: $y : l = \operatorname{arch} i : \operatorname{arct} u$

oder $y \cdot \operatorname{arct} u = l \cdot \operatorname{arch} i$

oder mit den zugehörigen Bezeichnungen der Abb. 248:

$$y \cdot x = l \cdot s.$$

Da das Produkt $y \cdot x$ den Flächeninhalt der Figur $abcd$ bedeutet, so ist durch die letzte Gleichung bewiesen, daß der Flächeninhalt der umfahrenen Figur gleich ist dem Produkte aus der Fahrarmlänge l und der Verschiebung s des Schneidenrades auf der Stange N .

Läge die Begrenzungslinie ad dem Pole näher oder weiter von diesem entfernt, so würde sich beim Befahren dieses Bogens auch eine Verschiebung (s_0) ergeben. Die Gesamtverschiebung S wäre alsdann $S = s + s_0$ bzw. $S = s - s_0$.

Man kann sich nun jede beliebige, krummlinig begrenzte, ebene Fläche aus einer großen Anzahl solcher Flächenstücke von der Form $abcd$, aber mit ganz minimaler Höhe y , zusammengesetzt denken.

Durch Umfahren eines jeden einzelnen dieser Flächenteile und durch Summierung der gefundenen Flächeninhalte ergibt sich der Inhalt der ganzen Figur. Man erhält aber hierdurch, wie folgende Betrachtung zeigen soll, dasselbe Resultat, welches sich auch ergibt, wenn man nur den Umfang der Figur umfährt.

In Abb. 249 sei in vergrößertem Maßstabe ein in fünf Flächenelemente der Form $abcd$ (Abb. 247) zerlegter Flächenteil dargestellt.

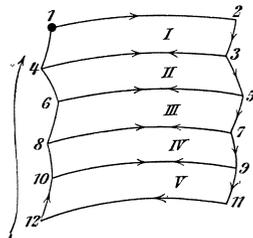


Abb. 249.

Die Umfahrung beginne im Punkte 1 und nehme folgenden Verlauf:

von 1 nach 2,	von 7 nach 8,
„ 2 „ 3,	„ 8 „ 7,
„ 3 „ 4,	„ 7 „ 9,
„ 4 „ 3,	„ 9 „ 10,
„ 3 „ 5,	„ 10 „ 9,
„ 5 „ 6,	„ 9 „ 11,
„ 6 „ 5,	„ 11 „ 12,
„ 5 „ 7,	ferner „ da über 10, 8, 6, 4 nach 1.

Dann sind die Längsseiten 3—4, 5—6, 7—8, 9—10 doppelt, und zwar einmal in der einen, das andere Mal in der entgegengesetzten Richtung befahren worden. Da nun aber das Befahren einer Strecke, hin und zurück, das Schneidenrad wieder in seine ursprüngliche Stellung zurückbringt, so ist die aus der Befahrung der Fläche in der oben angegebenen Weise entstehende Verschiebung des Schneidenrades genau dieselbe, die sich ergeben hätte, wenn nur der Umfang der Figur umfahren worden wäre.

Gebrauchsanweisung: Das Instrument gibt den Inhalt der umfahrenen Fläche in Quadratcentimetern an. Jeder Strich der 80teiligen Skala *M* (Abb. 246) gilt für 1 qcm; man kann bis auf Zehntel-Quadratcentimeter genau ablesen. Die noch meßbare Fläche kann bis zu 2500 qcm groß sein.

a) Verfahren beim Ausmessen von Indikatordiagrammen.

Man stelle das Instrument so auf, daß der Fahrstift auf einen leicht zu merkenden Punkt des Diagrammes zu stehen kommt. Das Schneidenrad bringe man auf den Nullpunkt der Skala und umfahre das Diagramm im Sinne des Zeigers der Uhr. Aus der Stellung des Schneidenrades lese man dann den Inhalt der umfahrenen Figur ab. Beträgt z. B. die Ablesung 25,7 qcm, die Länge des Diagrammes 10 cm und ist das Maß der verwendeten Indikatorfeder 10 mm = 1 kg/qcm, so berechnet sich der mittlere Dampfdruck auf den Kolben der Dampfmaschine zu

$$p_m = \frac{25,7}{10 \cdot 1} \text{ kg/qcm} = 2,57 \text{ kg/qcm.}$$

Beim Umfahren achte man darauf, daß das Schneidenrad innerhalb seiner Begrenzungen freien Spielraum behält. Man erreicht dieses fast immer, wenn man den Polarm so stellt, daß derselbe mit dem Fahrarm einen Winkel bildet, der etwas weniger als 90° beträgt, wenn der Fahrstift im Mittelpunkt der Figur steht.

b) Verfahren beim Ausmessen größerer Flächen.

Beim Umfahren von Flächen, die mehr als 80 qcm Inhalt haben, ist erforderlich, daß man, sobald das Schneidenrad am Ende der Skala, also auf 80 oder 0 qcm angelangt ist, anhält und dasselbe um eine beliebig zu wählende Anzahl von Teilstrichen zurück- bzw. vorausstellt. Bei größeren Flächen muß man dieses Verfahren mehrmals wiederholen. Man notiert dann jedesmal die Anzahl der Teilstriche mit dem Vorzeichen + oder —, je nachdem man das Schneidenrad von 80 nach 0 oder

von 0 nach 80 zu verstellt hat. Zum Schlusse addiert man diese so erhaltenen Zahlen zu der an der Skala selbst abzulesenden Anzahl Quadratcentimeter und erhält auf diese Weise den Gesamthalt der Fläche.

c) Verfahren beim Ausmessen mit innen liegendem Pole.

Beim Ausmessen von sehr großen Flächen (bis etwa 2500 qcm Inhalt) legt man den Pol des Planimeters ungefähr in die Mitte der Fläche und verfährt ganz so, wie vorstehend unter b) beschrieben. Man erhält so entweder eine positive oder negative Anzahl von Quadratcentimetern. Um nun den richtigen Inhalt der umfahrenen Figur zu erhalten, addiert man zu dieser positiven oder negativen Anzahl von Quadratcentimetern eine Konstante, die z. B. beim Planimeter Nr. 180 = +1499,9 qcm (= Inhalt desjenigen Kreises, bei welchem das Schneidenrad beim Umfahren keine seitliche Verschiebung erleidet) beträgt.

2. Der Flächen- und Diagrammesser von Wilda.

Derselbe beruht auf der Methode der Flächenberechnung durch Zerlegung in schmale Trapeze und Addition der Inhalte dieser Teiltrapeze.

Er besteht in einem auf einer durchscheinenden Tafel aufgezeichneten, an einem Lineale zu verschiebenden Liniennetze (Abb. 250 und 251).

Die Handhabung dieser sehr einfachen Einrichtung ist folgende:

Man legt den Flächenmesser derart auf die zu messende Figur, daß deren Begrenzungslinie links und rechts auf zwei der dünn gezeichneten, im übrigen aber beliebig zu wählenden Vertikalen fällt. In Abb. 250 gibt die zweite Lage von unten des diagrammähnlichen Linienzuges diese Anfangsstellung an. Bei dieser fällt also die linke Begrenzungslinie der Figur auf die erste, die rechte Begrenzung auf die zwischen 12 und 13 liegende, dünn gezeichnete Vertikale, so daß der ganze geschlossene Linienzug zwölf stark ausgezogene Vertikale, jede zweimal, schneidet. Die so entstehenden Abschnitte spielen die Rolle der Trapezmittellinien.

Nunmehr legt man ein Lineal L (Abb. 250) an den linken Rand des Flächenmessers und verschiebt diesen so lange nach oben, bis die untere Zahl 1 (in Abb. 250 mit \odot bezeichnet) auf die untere Begrenzung des Linienzuges fällt (unterste Lage in Abb. 250). Da, wo oben die durch 1 gehende, stark gezogene Vertikale geschnitten wird, liest man links am Rande den Inhalt des in Abb. 250 unten schraffierten Flächenelementes ab. Dieser beträgt also 1,05 qcm.

In der gleichen Höhe mit dem eben maßgebend gewesenen Schnittpunkte wird auf der Vertikalen durch 2 eine Nadel- oder Zirkelspitze eingesetzt und der Flächenmesser am Lineale so weit nach unten geschoben, bis die Spitze auf die untere Begrenzungslinie der zu messenden Figur fällt (Lage 2 von unten in Abb. 250). Die obere Begrenzung wird

dann von derselben Vertikalen 2 in der Höhe 2,45 geschnitten; der Inhalt des schraffierten Flächenteiles (1. Trapez + 2. Trapez) beträgt 2,45 qcm. In der gleichen Höhe wird die Spitze auf die Vertikale 3 gesetzt, der Flächenmesser so weit nach unten geschoben, bis die Spitze auf die untere Begrenzung der Fläche fällt und links am Rande der

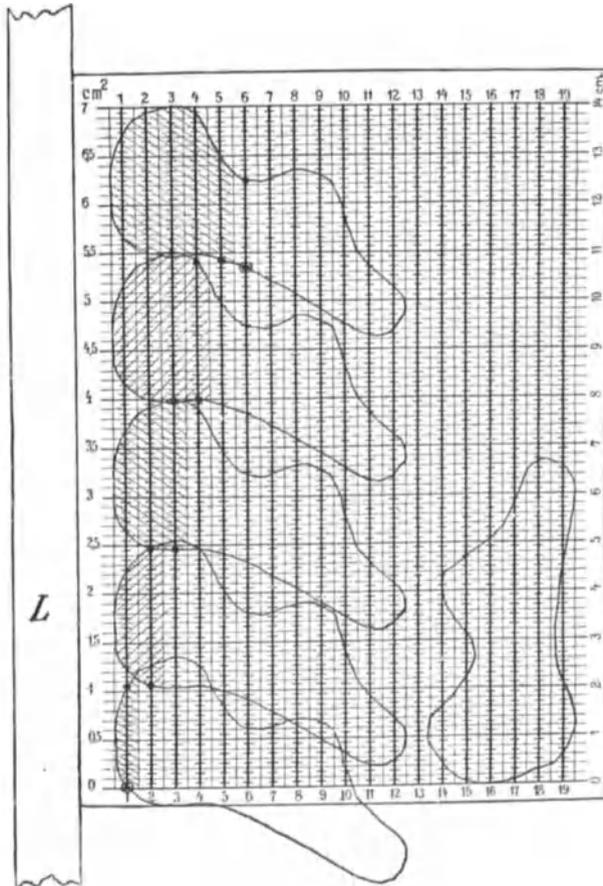


Abb. 250.

Inhalt des schraffierten Teiles (1. Trapez + 2. Trapez + 3. Trapez) zu 3,975 qcm abgelesen.

Ist in dieser Weise der Flächenmesser fünfmal verschoben (oberste Stellung in Abb. 250), so zeigt sich, daß bei einer sechsten Verschiebung die Vertikale 6 den Linienzug nicht mehr in zwei Punkten schneiden würde, denn der innerhalb der Figur liegende Abschnitt der Vertikalen 6 umfaßt nahezu 9 Teile, während der außerhalb der Figur liegende, nach oben hin noch übrigbleibende Abschnitt etwa $7\frac{1}{2}$ Teile ausmacht.

Die Vertikale 5 ergibt die Ablesung 6,5 qcm. Diese Zahl merkt man sich und verschiebt nun den Flächenmesser so weit nach oben, bis der unterste Punkt der Vertikalen 6, also die untere Zahl 6 auf den mit \odot bezeichneten Punkt der unteren Begrenzungslinie der Figur zu liegen kommt. Diese Stellung ist in Abb. 251 unten abgebildet. Ähnlich wie

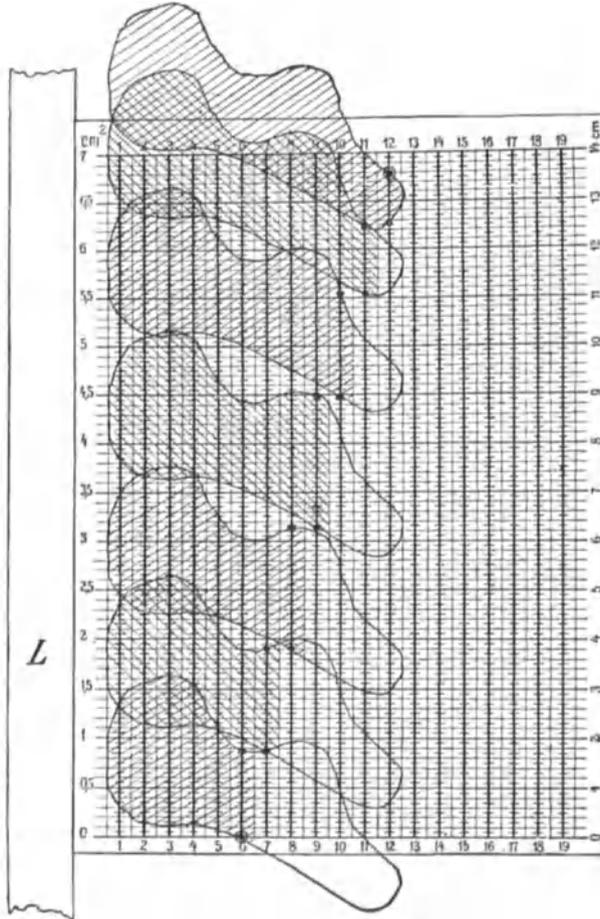


Abb. 251.

vorher setzt man die Nadelspitze nacheinander auf die Vertikalen 7, 8, 9, 10, 11 und endlich auf 12 (oberste Stellung in Abb. 251) und liest in der Höhe des oberen Schnittpunktes der Vertikalen 12 mit der Begrenzungslinie den Inhalt 6,8 qcm ab.

Der Inhalt der ganzen Figur ist dann:

$$(6,5 + 6,8) \text{ qcm} = 13,3 \text{ qcm.}$$

Natürlich brauchen die Zwischenablesungen mit Ausnahme derjenigen von 6,5 qcm nicht gemacht werden.

D. Leistungsversuche an Kolbendampfmaschinen.

1. Berechnung der Leistung einer Kolbendampfmaschine aus dem Dampfdruckdiagramme.

Angenommen ist eine liegende, einzylindrige Auspuffmaschine mit Ridersteuerung, welche bei der Indizierung die in den Abb. 252 und 253 abgebildeten Diagramme ergab.

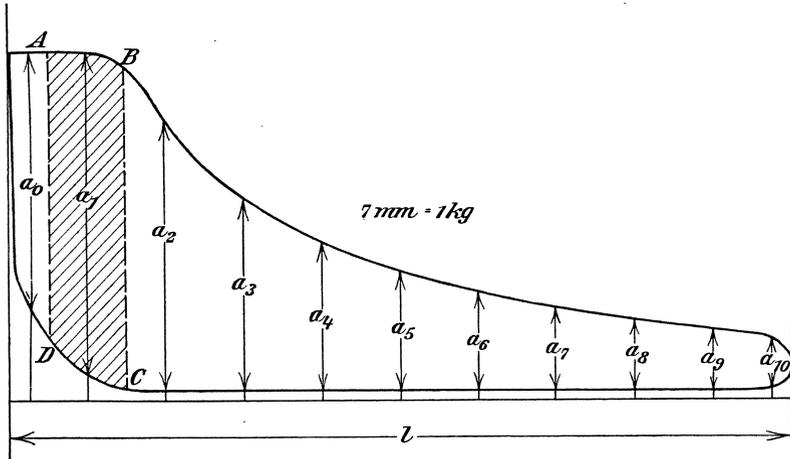


Abb. 252.

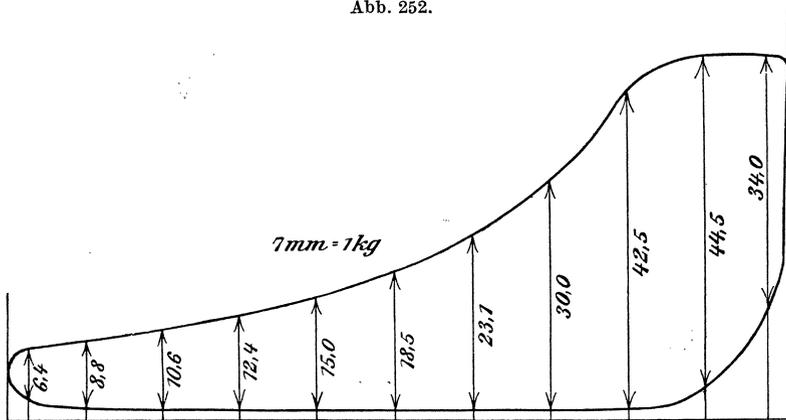


Abb. 253.

Die hier in Betracht kommenden Hauptabmessungen der Maschine sind folgende:

Zylinderdurchmesser	$D = 240$ mm
Kolbenstangendurchmesser	{ Kurbelseite $d_v = 45$ „
	{ Deckelseite $d_h = 35$ „
Hub	$s = 520$ „
Umdrehungszahl je Minute	$n = 83$

Bezeichnet man ferner noch die vom Dampfe gedrückte Kolbenfläche allgemein mit Q (qcm) und den während eines Hubes auf diese Fläche wirksamen mittleren Dampfdruck mit p_m (kg/qcm), so ist: die Arbeit während eines Hubes = Kraft \times Weg = $p_m \cdot Q \cdot s$ mkg.

Da die Hublänge s bei einer Umdrehung zweimal vom Kolben bestrichen wird, so ist der von letzterem zurückgelegte Weg bei n Umdrehungen je Minute

$$= n \cdot 2 \cdot s.$$

Also Kolbenweg je Sekunde = $\frac{n \cdot 2 \cdot s}{60} = \frac{n \cdot s}{30}$ Meter.

Also Leistung der Maschine = Arbeit in 1 Sekunde:

$$= p_m \cdot Q \cdot \frac{n \cdot s}{30} \text{ Sekundenkilogramm-Meter}$$

oder in Pferdestärken (PS)

$$= \frac{p_m \cdot Q \cdot n \cdot s}{30 \cdot 75} = N_i.$$

Da unter Q die wirksame Kolbenfläche verstanden ist, so muß bei ihrer Berechnung die Querschnittsfläche der Kolbenstange entsprechend berücksichtigt werden. Es ergibt sich demnach für die

Kurbelseite:	Deckelseite:
Querschnittsfläche des Kolbens	Querschnittsfläche des Kolbens
$= \frac{D^2 \pi}{4},$	$= \frac{D^2 \pi}{4},$
Querschnittsfläche d. Kolbenstange	Querschnittsfläche d. Kolbenstange
$= \frac{d_v^2 \cdot \pi}{4}.$	$= \frac{d_v^2 \pi}{4}.$

Wirksame Kolbenfläche:	Wirksame Kolbenfläche:
$Q_v = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_v^2),$	$Q_h = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_h^2),$
Leistung:	Leistung:
$N_i = \frac{p'_m \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_v^2) \cdot n \cdot s}{30 \cdot 75}.$	$N'_i = \frac{p''_m \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_h^2) \cdot n \cdot s}{30 \cdot 75}$

Der Faktor $\frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_v^2) \cdot s$ bzw. $\frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_h^2) \cdot s$ ist für jede Maschine eine Konstante, die ein für allemal berechnet wird. Sie sei

mit $C_{\bar{y}}$ resp. $C_{\bar{y}}$ bezeichnet, so daß sich für die indizierte Leistung ergibt:

$$\text{Kurbelseite: } N'_i = C_{\bar{y}} \cdot p'_m \cdot n, \quad | \quad \text{Deckelseite: } N''_i = C_{\bar{y}} \cdot p''_m \cdot n.$$

Das arithmetische Mittel dieser beiden Werte gibt dann die Leistung N_i der ganzen Maschine

$$N_i = \frac{N'_i + N''_i}{2}.$$

2. Bestimmung der mittleren Dampfspannung aus dem Dampfdruckdiagramme.

Die Arbeitsweise der gewöhnlichen Indikatoren ist kurz folgende:

Der Indikatorkolben und damit auch der Schreibstift wird, übereinstimmend mit dem Dampfdrucke auf der indizierten Zylinderseite, bewegt, während gleichzeitig die Papiertrommel den Weg des Dampfmaschinenkolbens (allerdings in verkleinertem Maße) mitmacht. Aus der hieraus folgenden Entstehungsweise der Dampfdruckdiagramme ist sofort zu ersehen, daß für jede Stellung des Dampfmaschinenkolbens, als Abszisse gemessen, die zugehörige Dampfspannung auf der indizierten Seite des Dampfzylinders durch die zugehörige Ordinate gemessen werden kann.

Die mittlere Höhe des Dampfdruckdiagrammes wird also auch ein Maß für die gesuchte mittlere Dampfspannung p_m sein.

Drückt man den Flächeninhalt des Diagrammes als Rechteck aus, dessen Länge gleich der Diagrammlänge ist, so ergibt die Höhe dieses Rechtecks die mittlere Diagrammhöhe.

Die mittlere Höhe des Dampfdruckdiagrammes kann gefunden werden:

a) auf rechnerischem Wege,

b) mit Hilfe des Polarplanimeters oder des Wildaschen Diagrammmessers.

Die rein rechnerische Bestimmung ist umständlich und ungenau und wird nur ausgeübt, wenn kein Planimeter zur Hand ist. Man teilt die ganze Diagrammlänge l in zehn gleiche Teile (Abb. 252) und zieht die entsprechenden Ordinaten $a_1, a_2, a_3, \dots, a_9$. Das erste und letzte Zehntel wird nochmals in vier gleiche Teile geteilt, so daß die Ordinaten a_0 und a_{10} im Abstände von $\frac{l}{40}$ von den Begrenzungsordinaten des Diagrammes zu liegen kommen.

Man kann nun jede Ordinate als Mittellinie eines Trapezes betrachten, dessen Höhe $= \frac{l}{10}$ ist, nur die Höhe des zu a_0 und a_{10} gehörigen Trapezes ist $\frac{l}{20}$. Für die Ordinate a_1 ist z. B. $ABCD$ das zugehörige Trapez.

Diagrammfläche F = Summe sämtlicher Trapeze:

$$F = a_0 \frac{l}{20} + a_1 \frac{l}{10} + a_2 \cdot \frac{l}{10} + \dots + a_9 \cdot \frac{l}{10} + a_{10} \cdot \frac{l}{20},$$

$$F = \frac{l}{10} \cdot \left(\frac{a_0}{2} + a_1 + a_2 + \dots + a_9 + \frac{a_{10}}{2} \right).$$

Berechnet man aus der für F zuletzt angegebenen Formel die mittlere Diagrammhöhe a_m , so wird diese:

$$a_m = \frac{F}{l} = \frac{1}{10} \left(\frac{a_0}{2} + a_1 + a_2 + \dots + a_9 + \frac{a_{10}}{2} \right).$$

Dividiert man diesen Wert noch durch den Maßstab der Indikatorfeder, so ist der dem Diagramm entsprechende mittlere Dampfdruck p_m gefunden.

Für das in Abb. 252 dargestellte Diagramm der Deckelseite ergibt sich:

$$a_m = \frac{1}{10} \cdot \left(\frac{34,0}{2} + 43,0 + 36,0 + 25,8 + 19,7 + 16,0 + 13,0 + 11,3 \right. \\ \left. + 9,2 + 8,1 + \frac{6,2}{2} \right) \text{ mm}$$

$$= 20,22 \text{ mm}.$$

Da der Federmaßstab $7 \text{ mm} = 1 \text{ kg/qcm}$ ist, so rechnet sich die mittlere Dampfspannung zu:

$$p'_m = \frac{20,22 \text{ mm}}{7 \text{ mm}} \cdot 1 \text{ kg/qcm} = 2,89 \text{ kg/qcm}.$$

Es wird dann weiter:

$$\text{Indizierte Leistung: } N'_i = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_b^2) \cdot s \\ \frac{30 \cdot 75}{30 \cdot 75} \cdot p'_m \cdot n = C_b \cdot p'_m \cdot n$$

$$= \frac{\pi}{4} \cdot (24^2 - 3,5 \cdot 0,52) \\ \frac{30 \cdot 75}{30 \cdot 75} \cdot 2,89 \cdot 83 \text{ PS}_i$$

$$= 0,1022 \cdot 2,89 \cdot 83 \text{ PS}_i$$

$$= 24,5 \text{ PS}_i.$$

Für das in Abb. 253 dargestellte Diagramm der Kurbelseite wird:

$$a_m = \frac{1}{10} \cdot \left(\frac{34,0}{2} + 44,5 + 42,5 + 30,0 + 23,1 + 18,5 + 15,0 + 12,4 + 10,6 \right. \\ \left. + 8,8 + \frac{6,4}{2} \right) \text{ mm}$$

$$= 22,56 \text{ mm}.$$

Also mittlere Dampfspannung:

$$p'_m = \frac{22,56 \text{ mm}}{7 \text{ mm}} \cdot 1 \text{ kg/qcm} = 3,22 \text{ kg/qcm}.$$

Es wird dann weiter:

$$\begin{aligned} \text{Indizierte Leistung: } N'_i &= \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_v^2) \cdot s \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot (24^2 - 4,5^2) \cdot 0,52 \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot (24^2 - 4,5^2) \cdot 0,52 \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot (24^2 - 4,5^2) \cdot 0,52 \\ &= 0,1008 \cdot 3,22 \cdot 83 \text{ PS}_i \\ &= 26,9 \text{ PS}_i. \end{aligned}$$

Indizierte Leistung der Maschine:

$$\begin{aligned} N_i &= \frac{N'_i + N''_i}{2} = \frac{26,9 + 24,5}{2} \text{ PS}_i \\ &= 25,7 \text{ PS}_i. \end{aligned}$$

Viel rascher führt die Planimetrierung der Diagramme zum Ziele. Angenommen, es stehe ein Coradisches Planimeter zur Verfügung, wie es auf S. 297 beschrieben worden ist. Der Nonius desselben werde auf die Marke 318,3 eingestellt, dann ist laut Zahlentafel der Wert der Noniuseinheit 10 qm (für den Maßstab 1:1000).

Für das in Abb. 252 dargestellte Diagramm der Deckelseite ergibt sich z. B.:

die Anfangsstellung der Meßrolle sei	9502
„ Endstellung „ „ wird	9707
	Unterschied 205

Fläche des Diagrammes, wenn es im Maßstabe 1:1000 gezeichnet wäre,
= 2050 qm.

Die wirkliche Größe der Diagrammfläche ist also:

$$\begin{aligned} F &= \frac{2050 \text{ qm}}{1000 \cdot 1000} = 0,002050 \text{ qm} \\ &= 2050 \text{ qmm}. \end{aligned}$$

Länge des Diagrammes:

$$l = 102,5 \text{ mm}.$$

Also mittlere Höhe:

$$\begin{aligned} a_m &= \frac{F}{l} = \frac{2050}{102,5} \text{ mm} \\ &= 20,0 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Folglich mittlere Spannung:

$$p''_m = \frac{20,0 \text{ mm}}{7 \text{ mm}} \cdot 1 \text{ kg/qcm} = 2,86 \text{ kg/qcm}.$$

Indizierte Leistung:

$$\begin{aligned} N''_i &= 0,1022 \cdot 2,86 \cdot 83 \text{ PS}_i \\ &= 24,26 \text{ PS}_i. \end{aligned}$$

Für das in Abb. 253 dargestellte Diagramm der Kurbelseite ergibt sich z. B.:

die Anfangsstellung der Meßrolle sei	1018
„ Endstellung „ „ „ wird	1247
Unterschied 229	

Fläche des Diagrammes, wenn es im Maßstabe 1:1000 gezeichnet wäre,
= 2290 qm.

Die wirkliche Größe der Diagrammfläche ist also:

$$F = \frac{2290 \text{ qm}}{1000 \cdot 1000} = 0,002 \text{ 290 qm}$$

$$= 2290 \text{ qmm}.$$

Länge des Diagrammes:

$$l = 102,2 \text{ mm}.$$

Also mittlere Höhe:

$$a_m = \frac{F}{l} = \frac{2290}{102,2} \text{ mm}$$

$$= 22,40 \text{ mm}.$$

Folglich mittlere Spannung:

$$p'_m = \frac{22,40 \text{ mm}}{7 \text{ mm}} \cdot 1 \text{ kg/qcm} = 3,20 \text{ kg/qcm}.$$

Indizierte Leistung:

$$N'_i = 0,1008 \cdot 3,20 \cdot 83 \text{ PS}_i$$

$$= 26,77 \text{ PS}_i.$$

Indizierte Leistung der Maschine:

$$N_i = \frac{N'_i + N''_i}{2} = \frac{24,26 + 26,77}{2} \text{ PS}_i$$

$$= 25,5 \text{ PS}_i.$$

Die rein rechnerische Auswertung der Diagramme ergab 25,7 PS_i, ein Resultat, welches gut mit dem Ergebnisse der planimetrischen Behandlung der Diagramme übereinstimmt.

Noch etwas einfacher wird die Planimetrierung, wenn man dieselbe mit einem Instrumente vornimmt, welches besonders für Diagramme eingerichtet ist, wie es z. B. bei dem auf S. 293 beschriebenen Amslerschen Planimeter der Fall ist. Man macht den Spitzenabstand gleich der Diagrammlänge und erhält z. B. für das Diagramm der Deckelseite:

die Anfangsstellung der Meßrolle sei	8649
„ Endstellung „ „ „ wird	9982
Unterschied 333	

Da die Konstante des Instrumentes = 0,06 ist, so wird die mittlere Diagrammhöhe aus der Zahlentafel im Anhange:

$$a_m = 19,98 \text{ mm}.$$

Für das Diagramm der Kurbelseite werde z. B.:

die Anfangsstellung der Meßrolle sei	1742
„ Endstellung „ „ wird	2115
Unterschied 373	

Folglich (aus der Zahlentafel im Anhang)

$$a_m = 22,38 \text{ mm.}$$

Nicht selten werden Diagramme erhalten, bei denen sich einzelne Kurven überschneiden, wie es z. B. in den Abb. 254 und 255 der Fall ist. Dies sind die Leerlaufdiagramme einer liegenden Einzylindermaschine ohne Kondensation mit Allan-Steiner-Steuerung.

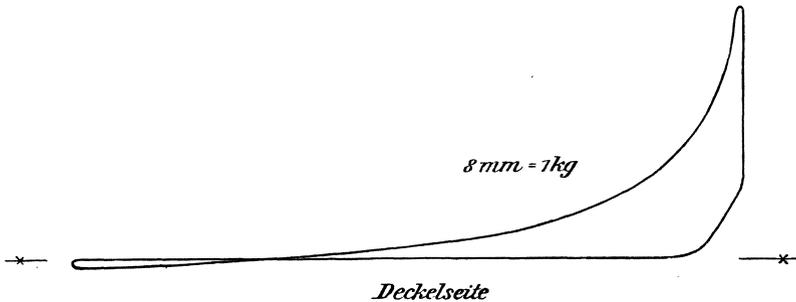


Abb. 254.

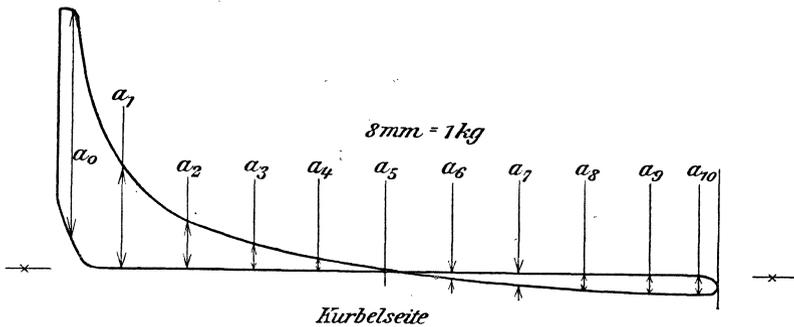


Abb. 255.

Um den Verlauf der Kurven deutlich erkennen zu können, sind die Atmosphärenlinien nicht durchgezogen, sondern nur außerhalb der Diagramme durch kurze Striche angedeutet.

Wie Abb. 255, das Diagramm der Kurbelseite, besonders deutlich zeigt, ist während der zweiten Hälfte des Hubes der Druck des expandierenden Dampfes kleiner als der Gegendruck. (Die Expansionskurve liegt rechts von der Ordinate a_5 ab unterhalb der Gegendrucklinie.) Die Schleife rechts von der Ordinate a_5 stellt daher keine positive Arbeit der Dampfmaschine vor, sondern einen Arbeitsverbrauch derselben, der zur Überwindung des Gegendruckes aufgewendet werden muß, und den die Maschine aus dem im Schwungrade angesammelten Arbeitsvorrat deckt. Diese Schleife ist daher negativ in Rechnung

zu ziehen, so daß sich für die mittlere Höhe des Diagrammes in Abb. 255 ergibt:

$$a_m = \frac{1}{10} \cdot \left(\frac{30}{2} + 13,9 + 6,2 + 2,9 + 1,1 \pm 0,0 - 1,1 - 1,8 - 2,3 - 2,6 - \frac{2,2}{2} \right) \text{ mm}$$

$$= 3,02 \text{ mm.}$$

Da der Federmaßstab $8 \text{ mm} = 1 \text{ kg/qcm}$ ist, so wird der mittlere Druck:

$$p'_m = 0,377 \text{ kg/qcm.}$$

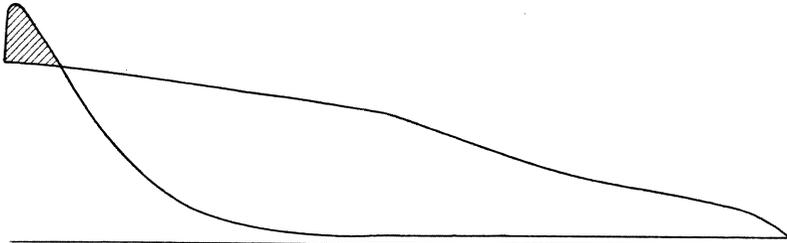


Abb. 256.

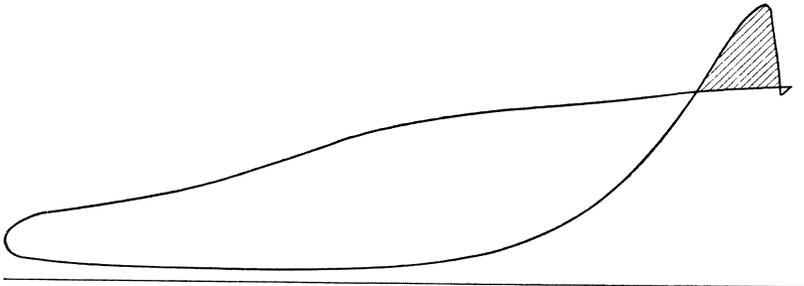


Abb. 257.

Ähnlich sind die Verhältnisse beim Diagramme der Deckelseite (Abb. 254).

Die Abb. 256 und 257 zeigen die Diagramme einer Einzylinder-Auspuffmaschine mit Kulissensteuerung, bei welcher die Kompression zu hoch getrieben ist, so daß der Kompressionsenddruck höher ist als der Druck des in den Zylinder eintretenden Frischdampfes. Die schraffierten Flächen sind wieder negative Leistungen der Dampfmaschine. Sie sind in ähnlicher Weise zu berücksichtigen, wie es bei den Schleifen der Diagramme Abb. 254 und 255 der Fall war.

Werden Diagramme mit derartigen Überschneidungen, wie sie in den Abb. 254–258 dargestellt sind, mit dem Planimeter bearbeitet, so subtrahieren sich die im vorigen als negativ bezeichneten Schleifen von selbst, vorausgesetzt, daß die Umfahrung der Diagramme in der richtigen Weise geschieht, indem bei den Überschneidungspunkten der Fahrstift des Planimeters den befahrenen Kurvenzug (Kompressionslinie, Expansionslinie usw.) nicht verläßt.

3. Ausgeführte Leistungsversuche an Dampfanlagen.

a) Leistungsversuch zum Zwecke der Bestimmung des Dampfverbrauches einer liegenden Verbund-Auspuffmaschine.

Dampf- maschine:	{	Hochdruckzylinder: $\Phi = 240$ mm; Hub = 520 mm,
		Kolbenstangendurchmesser: vorn 45 mm,
		hinten 35 mm,
		wirksame Kolbenfläche: vorn $Q_v = 436,4$ qcm,
		hinten $Q_h = 442,69$ qcm,
		Steuerung: Doppelschiebersteuerung (Rider),
		Leistung: vorn $N_i = \frac{Q_v \cdot s \cdot p'_m \cdot n}{30 \cdot 75} = C_v \cdot n \cdot p'_m$
		$= 0,1008 \cdot n \cdot p'_m,$
		„ hinten $N_i = \frac{Q_h \cdot s \cdot p''_m \cdot n}{30 \cdot 75} = C_h \cdot n \cdot p''_m$
		$= 0,1023 \cdot n \cdot p''_m,$
Dampf- kessel:	{	Niederdruckzylinder: $\Phi = 360$ mm; Hub = 520 mm,
		Kolbenstangendurchmesser: vorn 45 mm,
		hinten 35 mm,
		wirksame Kolbenfläche: vorn 1001,46 qcm,
		hinten 1007,74 qcm,
		Steuerung: einfache Flachschiebersteuerung,
		Leistung: vorn $N_i = \frac{Q_v \cdot s \cdot p'_m \cdot n}{30 \cdot 75} = C_v \cdot n \cdot p'_m$
		$= 0,2314 \cdot n \cdot p'_m,$
		„ hinten $N_i = \frac{Q_h \cdot s \cdot p''_m \cdot n}{30 \cdot 75} = C_h \cdot n \cdot p''_m$
		$= 0,2329 \cdot n \cdot p''_m,$
Einrich- tung des Ver- suches:	{	Einflammrohrkessel (Seitrohrkessel) mit Dampfsammler,
		Heizfläche 35,8 qm; Rostfläche 1,14 qm.
		Speisewasser: gewogen.
		Speisung: mittels Worthingtonpumpe stetig.
		Speisewasser durch Vorwärmer gedrückt.
		Kohle: westfälischen Ursprungs.
		Kondensate wurden abgefangen von:
		der Hauptdampfleitung, der Speisepumpe,
		vom Mantel des Hochdruckzylinders,
		„ „ „ Niederdruckzylinders und des Auf- nehmers.
		Sämtliche Beobachtungen, ebenso die Aufnahmen der Indikatordiagramme erfolgten viertelstündlich.

Zusammenstellung der Versuchsergebnisse.

Nr.			
1	Dauer des Versuches	Std.	8
2	Speisewasserverbrauch im ganzen	kg	4725,5
3	Temperatur des Speisewassers		
	a) vor dem Vorwärmer	°C	8,4
	b) hinter dem Vorwärmer	°C	94,8
4	Speisewasserverbrauch in 1 Stunde auf 1 qm Heizfläche.	kg	16,5
5	Spannung des Dampfes	Überdruck at	6,0
6	Kohlenverbrauch im ganzen	kg	629,0
7	Kohlenverbrauch je Stunde und qm des Rostes	„	69,0
8	Gesamtrückstände	„	79,0
9	Rückstände in Proz. der verfeuerten Kohle	%	12,6
10	1 kg Kohle verdampfte Wasser	kg	7,51
11	1 kg Kohle verwandelt Wasser von 0° in Dampf von 100°	„	6,62
12	Zugstärke in mm Wassersäule	mm	9,6
13	Kohlensäuregehalt der Rauchgase im Fuchs	Vol.-%	9,86
14	Sauerstoffgehalt „ „ „ „	„	8,76
15	Vielfaches der theoretischen Luftmenge	„	1,68
16	Fuchstemperatur	°C	222,0
17	Kesselhaustemperatur	°C	23,8
18	Differenz dieser beiden Temperaturen	°C	198,2
19	Schornsteinverluste in Proz. der erzeugten Wärmemenge	%	15,2
20	Aufgefangene Kondensationswassermengen		
	a) aus dem Mantel des Hochdruckzylinders	kg	146,81
	b) „ „ „ „ Niederdruckzylinders	„	135,37
	c) „ „ „ „ Aufnehmers	„	136,65
	d) „ „ „ „ Aufnehmer	„	38,25
	e) „ „ der Hauptdampfleitung	„	86,0
	f) „ „ Auspuffleitung der Dampfpumpe	„	287,9
	Summe der beiden letzten	„	373,9
21	Dampfverbrauch der Maschine in 8 Stunden	„	4351,6
22	„ „ „ „ 1 Stunde	„	544,0
23	Mittlere Dampfspannung		
	im Hochdruckzylinder { a) vorn kg/qcm		1,88
	b) hinten „		1,80
	im Niederdruckzylinder { a) vorn „		0,72
	b) hinten „		0,76
24	Minutliche Umdrehungszahl der Maschine		121,0
25	Leistung der Maschine (als Mittel der in der Hilfstabelle angegebenen Einzellasten gerechnet)		
	Hochdruckzylinder { a) vorn 23,42 PS _i		22,9
	b) hinten 22,35 „		
	Niederdruckzylinder { a) vorn 20,11 „		20,7
	b) hinten 21,38 „		
26	Gesamtleistung in PS _i		43,6
27	„ „ Watt	Watt	20692
28	Effektive Leistung (aus der elektrischen Leistung berechnet mit $\eta_\delta = 0,85$)	PS _e	33,0
29	Dampfverbrauch je Stunde und PS _i	kg	12,5
30	„ „ „ „ PS _e	„	16,5
31	Mech. Wirkungsgrad der Dampfmaschine (der der Dynamomaschine zu $\eta_\delta = 0,85$ angenommen)	%	75,9

Diagramme,
welche der während des ganzen
Versuches festgestellten, mittleren
Maschinenleistung entsprechen
(Abb. 258—261).

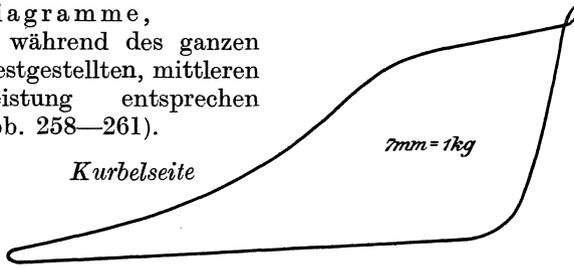


Abb. 258.

Hochdruckzylinder

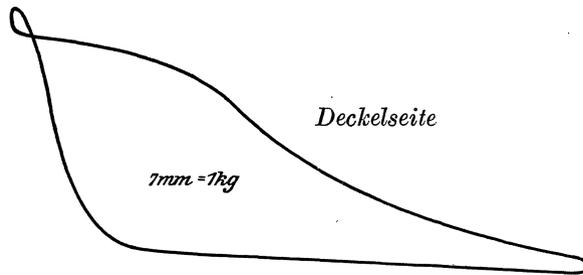
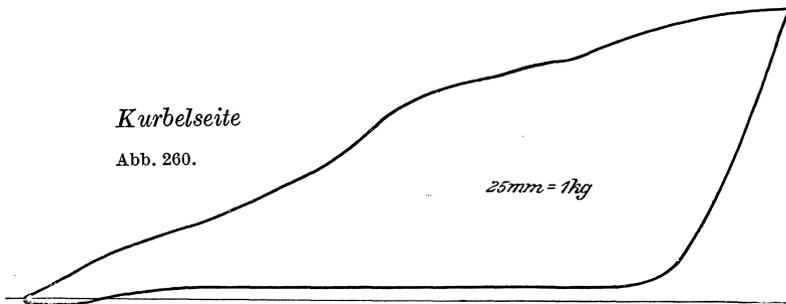


Abb. 259.

Kurbelseite

Abb. 260.



Niederdruckzylinder

Deckelseite

Abb. 261.

25mm = 1kg

Hilftafel zur Berechnung der Maschinenleistung.

Nr.	Hochdruckzylinder				Niederdruckzylinder				Gesamtleistung						
	Minutl. Drehzahl	p_m vorn	N_i vorn	p_m hinten	N_i hinten	Gesamtleistung	p_m vorn	N_i vorn	p_m hinten	N_i hinten	Gesamtleistung	N_i	Volt	Ampere	Watt
1	122	1,83	25,05	1,79	22,34	23,69	0,76	21,46	0,77	21,88	21,67	45,36	130	157	20 410
2	123	1,90	23,56	1,87	23,52	23,54	0,73	20,75	0,72	20,63	20,70	44,24	130	155	20 150
3	119	1,85	22,00	1,76	21,42	21,71	0,75	20,66	0,74	20,51	20,58	42,29	129	158	20 482
4	123	1,79	22,39	1,78	22,39	22,29	0,74	21,07	0,73	20,90	20,99	43,28	127	158	20 166
5	121	2,08	25,37	2,00	24,76	25,06	0,77	21,57	0,77	21,70	21,63	46,69	127	164	20 928
6	120	1,90	22,92	1,84	22,60	22,76	0,76	21,11	0,79	20,08	20,59	43,35	130,8	162	21 190
7	119	1,89	22,68	1,89	24,95	23,81	0,75	20,66	0,76	21,06	20,86	44,37	131	162	21 222
8	124	1,90	25,71	1,76	22,33	24,02	0,72	20,67	0,73	21,08	20,87	44,89	131	156	20 436
9	121	1,90	23,13	1,85	22,90	23,01	0,71	19,89	0,76	21,42	20,87	43,88	131	156	20 436
10	121	1,81	22,02	1,77	21,91	21,96	0,76	21,29	0,79	22,26	21,77	43,73	130	161	20 930
11	121	1,91	23,35	1,77	21,91	22,63	0,73	20,45	0,76	21,41	20,39	43,56	130	160	20 800
12	122	1,78	21,89	1,75	21,84	21,86	0,74	20,90	0,75	21,31	21,10	42,96	130	156	20 280
13	121	1,78	21,72	1,83	22,66	22,19	0,71	19,89	0,73	20,57	20,23	42,42	130	157	20 410
14	121	1,78	21,72	1,76	21,79	21,75	0,71	19,89	0,78	21,86	20,97	42,72	131	160	20 960
15	119	1,85	21,08	1,69	20,57	20,82	0,71	19,56	0,83	23,00	21,28	42,10	130	156	20 280
16	123	1,82	22,61	1,67	21,01	21,81	0,64	18,21	0,78	22,35	20,28	42,09	131	148	19 388
17	121	1,83	22,23	1,73	21,42	21,82	0,73	20,45	0,81	22,83	21,64	43,46	131	156	20 416
18	121	1,81	22,08	1,71	21,17	21,62	0,74	20,73	0,85	23,95	22,34	43,96	131	162	21 222
19	119	1,90	22,80	1,72	20,93	21,86	0,68	18,53	0,83	23,00	20,76	42,02	132	160	21 120
20	123	1,92	23,81	1,87	23,52	23,36	0,75	20,53	0,79	22,64	22,60	45,26	132	162	21 384
21	121	1,92	23,42	1,85	22,90	23,10	0,77	21,57	0,79	22,26	21,91	45,01	132	162	21 384
22	121	2,02	24,64	1,87	23,15	23,89	0,74	20,73	0,78	21,98	21,35	45,24	131	160	20 960
23	119	2,01	24,12	1,90	23,12	23,62	0,74	20,39	0,87	22,17	21,28	44,90	131	162	21 222
24	123	1,94	24,06	1,77	22,27	23,16	0,76	21,64	0,76	21,77	21,70	44,86	130	162	21 060
25	120	1,93	23,35	1,81	22,23	22,79	0,64	17,78	0,72	17,79	17,78	40,57	130	160	20 800
26	120	1,96	23,62	1,79	21,98	22,80	0,65	18,06	0,71	19,85	18,95	41,75	130	153	19 890
27	120	1,95	23,60	1,82	22,35	22,97	0,66	18,61	0,69	19,29	18,95	41,92	130	159	20 670
28	121	1,91	23,30	1,88	23,27	23,28	0,71	19,89	0,78	21,97	20,93	44,21	130	162	21 080
29	120	1,90	22,90	1,81	22,23	22,61	0,65	18,06	0,75	20,96	19,01	41,62	130	159	20 670
30	120	1,83	22,14	1,76	21,61	21,87	0,71	19,72	0,73	20,40	20,06	41,93	130	160	20 800
31	119	1,87	22,44	1,82	22,15	22,29	0,72	19,84	0,74	20,51	20,17	42,46	131	160	20 960
32	123	1,96	24,56	1,72	21,64	23,10	0,65	18,51	0,68	19,48	18,99	42,09	130	159	19 630
33	122	1,86	22,88	1,82	22,71	22,79	0,73	20,62	0,77	22,64	21,63	44,42	132	160	21 120
Mittel:	121	1,887	23,425	1,80	22,35	22,9	0,72	20,117	0,76	21,38	20,7	43,62	130,36	158,91	20 692

Gesamtleistung der Maschine: $N_i = 43,6$ PS.

b) Garantieversuche zum Zwecke der Bestimmung des Dampfverbrauches einer 3000 pferdigen Dreifach-Expansionsmaschine.

Bestimmung der Konstanten für die Maschinenleistung.

Die Maschine ist eine stehende, vierzylindrige Dreifach-Expansionsmaschine mit Ventilsteuerung. Hoch- und Mitteldruckzylinder sind über den beiden Niederdruckzylindern angeordnet (siehe Abb. 262). Letztere haben Kondensation.

Durchmesser des Hochdruckzylinders . . .	865 mm = 86,5 cm
„ „ Mitteldruckzylinders . . .	1250 „ = 125 „
„ „ Niederdruckzylinders je .	1550 „ = 155 „
Gemeinsamer Hub	1300 „ = 1,3 m

Die Durchmesser der Kolbenstangen sind:

beim Hochdruckzylinder (einseitig)	unten 150 mm = 15 cm
„ Mitteldruckzylinder (einseitig)	„ 150 „ = 15 „
bei jedem Niederdruckzylinder (zweiseitig)	oben 150 „ = 15 „
	unten 200 „ = 20 „

Bei einer Eintrittsspannung des Dampfes in den Hochdruckzylinder von 12 Atmosphären und bei 85 minutlichen Umdrehungen sollen die Leistungen der Maschine sein:

bei 11 %	18 %	25 %	35 %	50 %	Füllung
ca. 1740	2270	2800	3330	3860	PS _i
ca. 1500	2000	2500	3000	3500	PS _e

Da die Maschine für überhitzten Dampf gebaut ist, so ist beim Hochdruckzylinder der Dampfmantel weggelassen, während der Mitteldruckzylinder und die beiden Niederdruckzylinder Dampfmäntel besitzen.

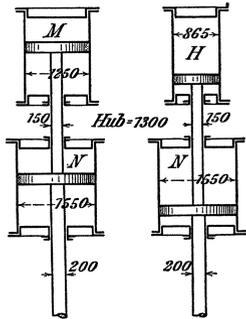


Abb. 262.

In Anbetracht der großen Abmessungen der Dampfzylinder und der hauptsächlich im Hochdruckzylinder herrschenden hohen Temperaturen ist es nötig, bei der Berechnung der Zylinderkonstanten (siehe auch S. 327) für Hoch- und Mitteldruckzylinder die durch die Wärme verursachten Vergrößerungen der Zylinderdurchmesser zu berücksichtigen.

Der Einfachheit halber sind diese Konstanten für $n = 100$ minutliche Umdrehungen berechnet.

Bestimmung der Konstanten.

a) Für den Hochdruckzylinder:

Zylinderbohrung	$D = 865,1$ mm (Stichmaß),
Kolbenstangen-	} Kurbelseite $d_u = 150$ mm,
durchmesser	
Hub	$s = 1,3$ m.

Kurbelseite (unten):
Zylinderfläche

$$= \frac{D^2 \pi}{4} = 5877,9 \text{ qcm.}$$

Kolbenstangenfläche

$$= \frac{d_u^2 \pi}{4} = 176,7 \text{ qcm.}$$

Deckelseite (oben):
Zylinderfläche

$$= \frac{D^2 \pi}{4} = 5877,9 \text{ qcm.}$$

Kolbenstangenfläche

$$= \frac{d_o^2 \pi}{4} = 0 \text{ qcm.}$$

Wirksame Kolbenfläche

$$= \frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d_u^2 \pi}{4} = 5701,2 \text{ qcm.}$$

Indizierte Leistung

$$N'_i = \frac{\left(\frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d_u^2 \pi}{4} \right) \cdot s}{30 \cdot 75} \cdot n \cdot p'_m$$

$$= \frac{5701,2 \cdot 1,3}{30 \cdot 75} \cdot 100 \cdot p'_m$$

$$= 329,4 \cdot p'_m.$$

Wirksame Kolbenfläche

$$= \frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d_o^2 \pi}{4} = 5877,9 \text{ qcm.}$$

Indizierte Leistung

$$N''_i = \frac{\left(\frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d_o^2 \pi}{4} \right) \cdot s}{30 \cdot 75} \cdot n \cdot p''_m$$

$$= \frac{5877,9 \cdot 1,3}{30 \cdot 75} \cdot 100 \cdot p''_m$$

$$= 339,6 \cdot p''_m.$$

Die Zahlen 329,4 und 339,6 sind die Konstanten ohne Berücksichtigung der Wärmeausdehnung.

Ausdehnungskoeffizient für Gußeisen = 0,000111.

Also Durchmesservergrößerung bei 300° (überhitzter Dampf)

$$= 0,000111 \cdot 300 \cdot 865,1 \text{ mm} = 2,88 \text{ mm.}$$

Folglich ist die für überhitzten Dampf von 300° in Rechnung zu ziehende Zylinderbohrung:

$$D' = (865,1 + 2,88) \text{ mm} = \approx 868 \text{ mm.}$$

Es wird nun für die

Kurbelseite (unten):
Berichtigte Zylinderfläche

$$= \frac{D'^2 \pi}{4} = 5917,4 \text{ qcm.}$$

Kolbenstangenfläche

$$= \frac{d_u^2 \pi}{4} = 176,7 \text{ qcm.}$$

Deckelseite (oben):
Berichtigte Zylinderfläche

$$= \frac{D'^2 \pi}{4} = 5917,4 \text{ qcm.}$$

Kolbenstangenfläche

$$= \frac{d_o^2 \pi}{4} = 0 \text{ qcm.}$$

Wirksame berichtigte Kolbenfläche

$$= \frac{D'^2 \pi}{4} - \frac{d_u^2 \pi}{4} = 5740,7 \text{ qcm.}$$

Indizierte Leistung

$$N'_i = \frac{\left(\frac{D'^2 \pi}{4} - \frac{d_u^2 \pi}{4} \right) \cdot s}{30 \cdot 75} \cdot n \cdot p'_m$$

$$= \frac{5740,7 \cdot 1,3}{30 \cdot 75} \cdot 100 \cdot p'_m$$

$$= 331,7 \cdot p'_m. \quad (\text{Ia})$$

Wirksame berichtigte Kolbenfläche

$$= \frac{D'^2 \pi}{4} - \frac{d_o^2 \pi}{4} = 5917,4 \text{ qcm.}$$

Indizierte Leistung

$$N''_i = \frac{\left(\frac{D'^2 \pi}{4} - \frac{d_o^2 \pi}{4} \right) \cdot s}{30 \cdot 75} \cdot n \cdot p''_m$$

$$= \frac{5917,4 \cdot 1,3}{30 \cdot 75} \cdot 100 \cdot p''_m$$

$$= 341,9 \cdot p''_m. \quad (\text{Ib})$$

Die Konstanten für überhitzten Dampf von 300° und für 100 minutliche Umdrehungen sind also 331,7 bzw. 341,9.

Für gesättigten Dampf von 12 Atmosphären Spannung ($190,57^\circ$) und für $n = 100$ minutliche Umdrehungen rechnen sich die Konstanten wie folgt:

Durchmesservergrößerung

$$= 0,0000111 \cdot 190,57 \cdot 865,1 \text{ mm} = 1,83 \text{ mm}.$$

Berichtigte Zylinderbohrung:

$$D' = (865,1 + 1,83) \text{ mm} = \approx 867 \text{ mm}.$$

Kurbelseite (unten):
Berichtigte Zylinderfläche

$$= \frac{D'^2 \pi}{4} = 5903,8 \text{ qcm}.$$

Kolbenstangenfläche

$$= \frac{d_u^2 \pi}{4} = 176,7 \text{ qcm}.$$

Deckelseite (oben):
Berichtigte Zylinderfläche

$$= \frac{D'^2 \pi}{4} = 5903,8 \text{ qcm}.$$

Kolbenstangenfläche

$$= \frac{d_o^2 \pi}{4} = 0 \text{ qcm}.$$

Wirksame berichtigte Kolbenfläche

$$= \frac{D'^2 \pi}{4} - \frac{d_u^2 \pi}{4} = 5727,1 \text{ qcm}.$$

Indizierte Leistung

$$N'_i = \frac{\left(\frac{D'^2 \pi}{4} - \frac{d_u^2 \pi}{4} \right) \cdot s}{30 \cdot 75} \cdot n \cdot p'_m$$

$$= \frac{5727,1 \cdot 1,3}{30 \cdot 75} \cdot 100 \cdot p'_m$$

$$= 330,9 \cdot p'_m. \quad (\text{II a})$$

Wirksame berichtigte Kolbenfläche

$$= \frac{D'^2 \pi}{4} - \frac{d_o^2 \pi}{4} = 5903,8 \text{ qcm}.$$

Indizierte Leistung

$$N''_i = \frac{\left(\frac{D'^2 \pi}{4} - \frac{d_o^2 \pi}{4} \right) \cdot s}{30 \cdot 75} \cdot n \cdot p''_m$$

$$= \frac{5903,8 \cdot 1,3}{30 \cdot 75} \cdot 100 \cdot p''_m$$

$$= 341,1 \cdot p''_m. \quad (\text{II b})$$

b) Für den Mitteldruckzylinder:

Zylinderbohrung $D = 1249,1 \text{ mm}$ (Stichmaß),
 Kolbenstangen- { Kurbelseite $d_u = 150 \text{ mm}$,
 durchmesser { Deckelseite $d_o = 0 \text{ mm}$,
 Hub $s = 1,3 \text{ m}$.

Kurbelseite (unten):
Zylinderfläche

$$= \frac{D^2 \pi}{4} = 12\,254,21 \text{ qcm}.$$

Kolbenstangenfläche

$$= \frac{d_u^2 \pi}{4} = 176,7 \text{ qcm}.$$

Deckelseite (oben):
Zylinderfläche

$$= \frac{D^2 \pi}{4} = 12\,254,21 \text{ qcm}.$$

Kolbenstangenfläche

$$= \frac{d_o^2 \pi}{4} = 0 \text{ qcm}.$$

$$\begin{aligned} & \text{Wirksame Kolbenfläche} \\ & = \frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d_u^2 \pi}{4} = 12\,077,51 \text{ qcm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Indizierte Leistung} \\ N'_i &= \frac{\left(\frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d_u^2 \pi}{4}\right) \cdot s}{30 \cdot 75} \cdot n \cdot p'_m \\ &= \frac{12\,077,51 \cdot 1,3}{30 \cdot 75} \cdot 100 \cdot p'_m \\ &= 697,81 \cdot p'_m. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Wirksame Kolbenfläche} \\ & = \frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d_o^2 \pi}{4} = 12\,254,21 \text{ qcm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Indizierte Leistung} \\ N''_i &= \frac{\left(\frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d_o^2 \pi}{4}\right) \cdot s}{30 \cdot 75} \cdot n \cdot p''_m \\ &= \frac{12\,254,21 \cdot 1,3}{30 \cdot 75} \cdot 100 \cdot p''_m \\ &= 708,02 \cdot p''_m. \end{aligned}$$

Die Zahlen 697,81 und 708,02 sind die Konstanten ohne Berücksichtigung der Wärmeausdehnung.

In der Annahme, daß der in den Mitteldruckzylinder eintretende, gesättigte Dampf noch eine Spannung von 3,5 Atmosphären, also eine Temperatur von 147° besitzt, ist die in Rechnung zu ziehende Durchmesservergrößerung

$$= 0,0000111 \cdot 147 \cdot 1249,1 \text{ mm} = \infty 2,04 \text{ mm.}$$

Berichtigte Zylinderbohrung:

$$D' = (1249,1 + 2,04) \text{ mm} = 1251,14 \text{ mm.}$$

Es wird nun für die

$$\begin{aligned} & \text{Kurbelseite (unten):} \\ & \text{Berichtigte Zylinderfläche} \\ & = \frac{D'^2 \pi}{4} = 12\,294,27 \text{ qcm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Kolbenstangenfläche} \\ & = \frac{d_u^2 \pi}{4} = 176,7 \text{ qcm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Deckelseite (oben):} \\ & \text{Berichtigte Zylinderfläche} \\ & = \frac{D'^2 \pi}{4} = 12\,294,27 \text{ qcm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Kolbenstangenfläche} \\ & = \frac{d_o^2 \pi}{4} = 0 \text{ qcm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Wirksame berichtigte Kolbenfläche} \\ & = \frac{D'^2 \pi}{4} - \frac{d_u^2 \pi}{4} = 12\,117,57 \text{ qcm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Indizierte Leistung} \\ N'_i &= \frac{\left(\frac{D'^2 \pi}{4} - \frac{d_u^2 \pi}{4}\right) \cdot s}{30 \cdot 75} \cdot n \cdot p'_m \\ &= \frac{12\,117,57 \cdot 1,3}{30 \cdot 75} \cdot 100 \cdot p'_m \\ &= 700,126 \cdot p'_m. \quad (\text{III a}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Wirksame berichtigte Kolbenfläche} \\ & = \frac{D'^2 \pi}{4} - \frac{d_o^2 \pi}{4} = 12\,294,27 \text{ qcm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Indizierte Leistung} \\ N''_i &= \frac{\left(\frac{D'^2 \pi}{4} - \frac{d_o^2 \pi}{4}\right) \cdot s}{30 \cdot 75} \cdot n \cdot p''_m \\ &= \frac{12\,294,27 \cdot 1,3}{30 \cdot 75} \cdot 100 \cdot p''_m \\ &= 710,335 \cdot p''_m. \quad (\text{III b}) \end{aligned}$$

c) Für die Niederdruckzylinder:

Zylinderbohrung $D = 1550,2 \text{ mm}$ (Stichmaß),
 Kolbenstangen- { Kurbelseite $d_u = 200 \text{ mm}$,
 durchmesser { Deckelseite $d_o = 150 \text{ mm}$,
 Hub $s = 1,3 \text{ m}$.

<p>Kurbelseite (unten):</p> <p>Zylinderfläche</p> $= \frac{D^2 \pi}{4} = 18\,874,1 \text{ qcm.}$ <p>Kolbenstangenfläche</p> $= \frac{d_u^2 \pi}{4} = 314,16 \text{ qcm.}$	<p>Deckelseite (oben):</p> <p>Zylinderfläche</p> $= \frac{D^2 \pi}{4} = 18\,874,1 \text{ qcm.}$ <p>Kolbenstangenfläche</p> $= \frac{d_o^2 \pi}{4} = 176,71 \text{ qcm.}$
<p>Wirksame Kolbenfläche</p> $= \frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d_u^2 \pi}{4} = 18\,559,94 \text{ qcm.}$ <p>Indizierte Leistung</p> $N'_i = \frac{\left(\frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d_u^2 \pi}{4} \right) \cdot s}{30 \cdot 75} \cdot n \cdot p'_m$ $= \frac{18\,559,94 \cdot 1,3}{30 \cdot 75} \cdot 100 \cdot p'_m$ $= 1072,35 \cdot p'_m. \quad (\text{IV a})$	<p>Wirksame Kolbenfläche</p> $= \frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d_o^2 \pi}{4} = 18\,697,39 \text{ qcm.}$ <p>Indizierte Leistung</p> $N''_m = \frac{\left(\frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d_o^2 \pi}{4} \right) \cdot s}{30 \cdot 75} \cdot n \cdot p''_m$ $= \frac{18\,697,39 \cdot 1,3}{30 \cdot 75} \cdot 100 \cdot p''_m$ $= 1080,29 \cdot p''_m. \quad (\text{IV b})$

Laut Garantie soll der Dampfverbrauch der Maschine für 1 PS_i-Std. innerhalb der Leistungsgrenzen von 2000 ÷ 3000 indizierten Pferdestärken bei einem Anfangsdrucke von 12 Atmosphären und gesättigtem Dampfe

$$5\frac{1}{4} \text{ kg}$$

nicht übersteigen, und zwar verstanden nach Abzug des Kondenswassers aus der Dampfzuleitung, aber einschließlich desjenigen aus den Dampfmänteln.

Bei überhitztem Dampfe von mindestens 300°, beim Eintritte in den Hochdruckzylinder gemessen, garantiert die Erbauerin einen Dampfverbrauch von nicht über

$$4\frac{1}{4} \text{ kg,}$$

innerhalb derselben Leistungsgrenzen wie oben verstanden.

Festzustellen, ob diese Garantien erfüllt werden, ist der Zweck dieser Versuche.

Zur Klarstellung der herrschenden Betriebsverhältnisse und zur Prüfung der Versuchseinrichtungen wurden drei Vorversuche ausgeführt, von denen jeder 4 Stunden dauerte, deren Ergebnisse hier aber nicht aufgenommen sind.

Untersuchung der Beobachtungsinstrumente.

Eichung des Speisewasserbehälters. Diejenigen Betriebskessel, welche den Dampf ausschließlich für die zu untersuchende Dampfmaschine lieferten, erhielten ihr Speisewasser aus einem hochgelegenen,

großen, schmiedeeisernen Behälter, der vor den Versuchen geeicht worden war.

Diese Eichung fand in der üblichen Weise statt. Mit dem Behälter in Verbindung stand ein langes Wasserstandsglas. Unmittelbar hinter diesem war ein schmales, mit Zeichenpapier beklebtes Brett unverrückbar angebracht. Der Behälter war hoch gefüllt; der Wasserstand wurde auf das Zeichenpapier projiziert und der Abstand der Projektion von einer festen Marke am unteren Ende des Zeichenpapieres festgestellt. Hierauf ließ man in ein tariertes Gefäß Wasser aus dem Behälter fließen und durch Projektion des neuen Wasserstandes der Höhenunterschied ermittelt (das tarierte Gefäß faßte genau 189 kg Wasser). Dies wurde so lange fortgesetzt, bis der Wasserspiegel gerade noch im Wasserstandsglase zu sehen war. Dabei ergaben sich folgende Zahlen:

Stand des Wasserspiegels über dem Festpunkte am		Höhendifferenz mm	Entsprechendes Wassergewicht kg	Wasser-temperatur °C
Anfang mm	Ende mm			
1879,5	1849,5	30,0	189,0	14,0
1849,5	1820,0	29,5	189,0	14,0
1820,0	1791,0	29,0	189,0	14,0
1791,0	1761,0	30,0	189,0	14,0
1761,0	1731,0	30,0	189,0	14,0
1731,0	1701,5	29,5	189,0	14,0
1701,5	1672,0	29,5	189,0	14,0
1672,0	1641,5	30,5	189,0	14,0
1641,5	1612,5	29,0	189,0	14,0
1612,5	1583,5	29,0	189,0	14,0
1583,5	1554,0	29,5	189,0	14,0
1554,0	1524,0	30,0	189,0	14,0
1524,0	1494,0	30,0	189,0	14,0
1494,0	1465,5	28,5	189,0	14,0
1465,5	1436,5	29,0	189,0	14,0
1436,5	1408,5	28,5	189,0	14,0
1408,5	1378,0	30,0	189,0	14,0
1378,0	1348,0	30,0	189,0	14,0
1348,0	1317,5	30,5	189,0	14,0
1317,5	1287,5	30,0	189,0	14,0
1287,5	1257,5	30,0	189,0	14,0
1257,5	1228,5	29,0	189,0	14,0
1228,5	1198,8	29,7	189,0	14,0
1198,8	1168,8	30,0	189,0	14,0
1168,8	1138,8	30,0	189,0	14,0
1138,8	1108,8	30,0	189,0	14,0
1108,8	1078,8	30,0	189,0	14,0
1078,8	1049,3	29,5	189,0	14,0
1049,3	1019,8	29,5	189,0	14,0
1019,8	989,8	30,0	189,0	14,0
989,8	959,8	30,0	189,0	14,0
		919,7	5859,0	

Es entsprechen also:

919,7 mm Höhenunterschied = 5859 kg Wasser von 14°
 oder 100 „ „ „ = 637,055 „ „ „ 14°.

Für jede andere Wassertemperatur als die beim Eichen des Behälters vorhanden gewesene ist eine Berichtigung des gemessenen Wasservolumens bzw. Wassergewichtes vorzunehmen.

Es sei:

t = Eichtemperatur des Speisewassers,
 T = mittlere Wassertemperatur, während eines Versuches gefunden,
 V = Volumen des Wassers bei der Versuchstemperatur T ,
 v = entsprechendes Volumen des Wassers bei der Eichtemperatur t ,
 α = kubischer Ausdehnungskoeffizient von Wasser,
 β = kubischer Ausdehnungskoeffizient des Behälterbleches (Schmiedeeisen).

Eine Erhöhung der Wassertemperatur hat auch eine Erhöhung der Temperatur der Gefäßwandungen zur Folge. Steigenden Temperaturen werden daher relative Volumenvergrößerungen des Wassers entsprechen, d. h. es kommt die scheinbare Ausdehnung von Wasser in Schmiedeeisen in Betracht.

Die kubischen Ausdehnungen der festen Körper sind im allgemeinen wesentlich geringer als diejenigen der Flüssigkeiten.

Es ist:

scheinbare Volumenzunahme $E = v \cdot [1 + \alpha(T - t)] - v \cdot [1 + \beta \cdot (T - t)]$.

Für die Volumeneinheit, also $v = 1$, wird die scheinbare Volumenzunahme:

$$\begin{aligned} e &= 1 + \alpha(T - t) - [1 + \beta \cdot (T - t)] \\ &= \alpha(T - t) - \beta(T - t). \end{aligned}$$

Es ist daher:

$$\begin{aligned} V &= v + E \\ &= v + v \cdot [1 + \alpha(T - t)] - v[1 + \beta(T - t)] \\ &= v \cdot \{1 + 1 + \alpha(T - t) - 1 - \beta(T - t)\} \\ &= v \cdot \{1 + \alpha \cdot (T - t) - \beta \cdot (T - t)\}, \end{aligned}$$

hieraus findet sich:

$$v = \frac{V}{1 + \alpha(T - t) - \beta(T - t)}.$$

Da die Ausdehnung des Wassers in den einzelnen Temperaturintervallen eine verschiedene ist, so müßten für α ebenso viele Werte bekannt sein als Intervalle auftreten. Es ist deshalb einfacher, man faßt den Ausdruck $\alpha(T - t)$ in obiger Formel auf als die Volumenvergrößerung, welche die Einheit des Volumens bei der Erhöhung der Temperatur von t° auf T° erfährt, und bezeichnet in diesem Sinne $\alpha(T - t)$ mit z ; dann findet man das der Eichtemperatur entsprechende Volumen bzw. Gewicht aus:

$$v = \frac{V}{1 + z - \beta \cdot (T - t)}.$$

Der Wert von z kann für verschiedene Temperaturintervalle aus folgender Zahlentafel gerechnet werden.

Volumen des Wassers (bei $4^\circ = 1$).

Temperatur	Volumen	Temperatur	Volumen	Temperatur	Volumen
0	1,000 123	10	1,000 267	20	1,001 769
1	1,000 068	11	1,000 361	21	1,001 984
2	1,000 030	12	1,000 468	22	1,002 208
3	1,000 007	13	1,000 588	23	1,002 442
4	1,000 000	14	1,000 721	24	1,002 683
5	1,000 008	15	1,000 866	25	1,002 940
6	1,000 031	16	1,001 023	26	1,003 204
7	1,000 068	17	1,001 193	27	1,003 477
8	1,000 121	18	1,001 374	28	1,003 758
9	1,000 187	19	1,001 566	29	1,004 048
				30	1,004 346

Würden z. B. während eines zehnstündigen Versuches 341 850 Liter Wasser von 25° Durchschnittstemperatur gemessen, während die Eichtemperatur 14° war, so ist das berichtigte Wassergewicht:

$$= \frac{341\,850}{1 + (1,002940 - 1,000721) - 0,0000363(25 - 14)} \text{ kg}$$

$$= 341\,228 \text{ kg.}$$

Der kubische Ausdehnungskoeffizient von Schmiedeeisen ist dabei zu 0,0000363 angenommen.

$$\text{Unterschied} = (341\,850 - 341\,228) \text{ kg} = 622 \text{ kg.}$$

Prüfung der Indikatorenfedern. Die Verteilung der Indikatoren an der zu untersuchenden Dampfmaschine war folgende:

Hochdruckzylinder	oben Nr. 3219, unten Nr. 3220
Mitteldruckzylinder	„ „ 3860, „ „ 3861
Rechter Niederdruckzylinder	„ „ 3942, „ „ 3943
Linker „	„ „ 4298, „ „ 4299

Die vor dem Versuche durchgeführte Prüfung der Federn geschah bei einer Zimmertemperatur von 20° durch Belastung mit Gewichten, die so gewählt waren, daß jedes Gewicht bei einem Indikatorkolbendurchmesser von 20 mm einem Drucke von 1 kg pro 1 qcm entsprach.

Die bei derselben Temperatur (20°) vorgenommene genaue Messung der Indikatorkolbendurchmesser ergab:

Indikator Nr.	Kolbendurchmesser mm	Indikator Nr.	Kolbendurchmesser mm
3219	20,10	3220	20,00
3860	20,05	3861	19,95
3942	20,00	3943	20,25
4298	20,01	4299	20,01

Infolge der Erwärmung der Indikatorzylinder während des Indi- zierens erfahren die Kolbendurchmesser eine Vergrößerung, die bei der Bestimmung des Federmaßstabes zu beachten ist.

Die mittlere, für die einzelnen Indikatoren in Rechnung zu bringenden Temperaturen betragen nach Schätzung:

Wattmeter Nr. 24 783	Normalinstrument	Differenz
1800 Kilowatt	1855 Kilowatt	+55 Kilowatt
1825 „	1880 „	+55 „
1850 „	1910 „	+60 „
1875 „	1950 „	+75 „
1900 „	1990 „	+90 „
1925 „	2015 „	+90 „
2000 „	2090 „	+90 „
2100 „	2190 „	+90 „

Untersuchung der Thermometer. Die Temperatur des Dampfes unmittelbar vor dem Eintritte in den Hochdruckzylinder wurde durch ein Stabthermometer gemessen, welches sowohl vor als auch nach dem Versuche durch Vergleichung mit einem geeichten Normalinstrumente geprüft wurde.

Für den nur in Betracht kommenden Skalenpunkt bei $+300^{\circ}$ ergaben sich folgende Abweichungen:

Das Instrument zeigte zu wenig:	
vor dem Versuche	nach dem Versuche
um $2,6^{\circ}$	um $2,6^{\circ}$.

Diese Temperatur ist zu den abgelesenen Temperaturen hinzuzufügen.

Versuchsergebnisse.

Versuch mit gesättigtem Dampfe. Sämtliche Beobachtungen und die Abnahme der Diagramme geschahen viertelstündlich.

Anfang des Versuches 7 Uhr 50 Min. Vormittag,
 Ende des Versuches 5 „ 40 „ Nachmittags.

Versuchsdauer: $9\frac{5}{6}$ Stunden.

Anfangsstellung des Hubzählers 000321 um 8 Uhr vormittags,
 Endstellung des Hubzählers 045422 „ 5 „ nachmittags.

Insgesamt: 45101 Doppelhübe in 9 Stdn.,

also Umdrehungszahl je Minute: $n = 83,52$.

Die Vorgänge bzw. Beobachtungen am Speisewasserbehälter sind in folgender Zahlentafel zusammengestellt:

Anfang	Ende	Unterschied	$t = ^{\circ}\text{C}$
1800	260	1620	28,0
1840	225	1615	28,0
1900	210	1690	29,0
1870	190	1680	30,0
1842	190	1652	30,0
1890	150	1740	30,0
1880	180	1700	29,0
1820	170	1650	29,5
1910	210	1700	29,5
1875	200	1675	29,0
1880	240	1640	29,0
1865	190	1675	28,5
1890	180	1710	28,5
1890	170	1720	29,0
1800	1519	281	29,0
		Sa. 23 748	i. M. 29,0

Gemäß den auf S. 343 angegebenen Eichungsergebnissen entsprechen:
100 mm Höhenunterschied = 637,155 kg Wasser von 14° (Eichungstemperatur), also

23 748 mm Höhenunterschied = 151 287,821 kg Wasser von 14°
(Eichungstemperatur).

Diese Wassermenge auf 29° (Versuchstemperatur) umgerechnet, ergibt nach der Formel auf S. 344:

$$\begin{aligned} v &= \frac{V}{1 + z - \beta \cdot (T - t)} \\ &= \frac{151\,287,821}{1 + (1,004048 - 1,000721) - 0,0000363(29 - 14)} \text{ kg} \\ &= 150\,868,030 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Es wurde abgefangen:

$$\begin{aligned} \text{Schlabberwasser} &= 25,000 \text{ kg} \\ \text{Kondenswasser aus der Dampfleitung} &= 140,000 \text{ „} \\ \text{Insgesamt:} &= 165,000 \text{ kg} \end{aligned}$$

Demnach ist das Gewicht der der Dampfmaschine innerhalb $9\frac{5}{6}$ Stunden zugeführten Dampfmenge

$$\begin{aligned} &= (150\,868,030 + 165,000) \text{ kg,} \\ &= 150\,703,030 \text{ kg.} \end{aligned}$$

In 1 Stunde zugeführt: **15 325,732 kg Dampf.**

Kohlenverbrauch:

$$\begin{aligned} 155 \text{ Karren zu je } 150 \text{ kg} &= 23\,250 \text{ kg} \\ + 1 \text{ Karre zu } 261,5 \text{ „} &= 261,5 \text{ „} \\ \text{Insgesamt:} &= 23\,511,5 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Die Belastung der Dampfmaschine wurde während der ganzen Versuchsdauer tunlichst gleichmäßig gehalten. Die aufgenommenen Diagramme wurden mittels eines Amslerschen Polarplanimeters ausgewertet, wobei sich für die mittleren Höhen die in folgender Zahlentafel zusammengestellten Werte ergaben.

Hieraus berechnet sich die Leistung der einzelnen Zylinder wie folgt:

Hochdruckzylinder.

Nach Gleichung (IIa) S. 340 $N'_i = 330,9 \cdot p'_m$ unten } für $n = 100$ Um-
für „ „ „ (IIb) „ „ $340 N''_i = 341,1 \cdot p''_m$ oben } drehungen je Min.
für $n = 83,52$:

$$\begin{aligned} N'_i &= 0,8352 \cdot 330,9 \cdot 3,98 \text{ PS}_i = 1099,9 \text{ PS}_i \\ N''_i &= 0,8352 \cdot 341,1 \cdot 4,20 \text{ „} = 1196,5 \text{ „} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Leistung des Hochdruckzylinders} &= \dot{N}_i = \frac{N'_i + N''_i}{2} \\ &= \frac{1099,9 + 1196,5}{2} \text{ PS}_i \\ &= 1148,2 \text{ PS}_i \end{aligned}$$

Diagrammsatz Nr.	Zeit der Ab- nahme	Mittlere Diagrammhöhe in mm								Span- nung am Hoch- druck- zylinder Atm.	Vaku- um cm Hg
		Hochdruck- zylinder		Mitteldruck- zylinder		Rechter Niederdruck- zylinder		Linker Niederdruck- zylinder			
		unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben		
1	8 ⁰⁰	15,98	16,75	14,00	13,81	11,41	11,90	11,75	11,47	12,8	69,5
2	8 ¹⁵	15,74	16,73	14,03	13,76	11,40	11,89	11,74	11,46	12,7	69,5
3	8 ³⁰	15,44	16,69	14,01	13,80	11,33	11,81	11,66	11,39	12,8	69,3
4	8 ⁴⁵	15,49	16,66	14,00	13,72	11,30	11,78	11,63	11,36	12,8	69,3
5	9 ⁰⁰	15,88	16,60	14,08	13,74	11,29	11,78	11,64	11,35	12,8	69,2
6	9 ¹⁵	16,01	16,63	14,06	13,74	11,32	11,80	11,74	11,44	13,0	69,0
7	9 ³⁰	16,02	16,70	14,03	13,75	11,31	11,79	11,65	11,36	13,0	69,2
8	9 ⁴⁵	15,94	16,72	14,02	13,74	11,30	11,79	11,66	11,36	12,8	69,2
9	10 ⁰⁰	15,92	16,70	14,00	13,80	11,32	11,80	11,65	11,37	12,8	69,3
10	10 ¹⁵	15,46	16,69	14,01	13,79	11,36	11,83	11,68	11,40	12,8	70,0
11	10 ³⁰	15,56	16,69	13,99	13,75	11,33	11,80	11,65	11,38	12,7	70,0
12	10 ⁴⁵	15,90	16,65	14,03	13,72	11,35	11,83	11,68	11,40	12,8	69,8
13	11 ⁰⁰	15,64	16,66	14,04	13,72	11,31	11,80	11,66	11,38	12,6	69,8
14	11 ¹⁵	15,89	16,68	14,03	13,74	11,32	11,81	11,66	11,38	12,8	69,7
15	11 ³⁰	15,89	16,68	14,05	13,75	11,28	11,76	11,61	11,34	12,8	69,7
16	11 ⁴⁵	15,86	16,69	14,07	13,75	11,29	11,77	11,62	11,35	12,8	69,8
17	12 ⁰⁰	15,88	16,62	14,03	13,78	11,32	11,81	11,66	11,38	12,9	70,0
18	12 ¹⁵	15,83	16,69	14,01	13,81	11,33	11,81	11,67	11,39	12,5	69,8
19	12 ³⁰	15,89	16,73	14,00	13,76	11,33	11,80	11,65	11,38	12,8	69,8
20	12 ⁴⁵	15,89	16,70	14,02	13,75	11,34	11,82	11,67	11,40	12,9	70,0
21	1 ⁰⁰	15,89	16,72	14,03	13,80	11,37	11,85	11,70	11,43	12,8	69,7
22	1 ¹⁵	15,42	16,72	14,08	13,75	11,34	11,81	11,66	11,39	13,0	69,8
23	1 ³⁰	15,44	16,69	14,06	13,73	11,33	11,81	11,67	11,39	13,0	69,8
24	1 ⁴⁵	15,88	16,70	14,03	13,74	11,30	11,78	11,62	11,36	12,8	69,8
25	2 ⁰⁰	15,89	16,69	14,01	13,74	11,34	11,82	11,67	11,40	12,8	69,8
26	2 ¹⁵	15,86	16,68	14,02	13,73	11,33	11,81	11,66	11,39	12,7	70,0
27	2 ³⁰	15,88	16,69	14,02	13,75	11,33	11,80	11,65	11,39	12,7	69,8
28	2 ⁴⁵	15,84	16,70	14,03	13,74	11,34	11,82	11,67	11,40	12,5	69,8
29	3 ⁰⁰	15,82	16,67	14,04	13,72	11,32	11,80	11,66	11,38	12,6	69,8
30	3 ¹⁵	15,89	16,69	14,03	13,75	11,32	11,80	11,65	11,38	12,6	69,5
31	3 ³⁰	15,88	16,69	14,02	13,76	11,35	11,83	11,67	11,41	12,6	69,8
32	3 ⁴⁵	15,68	16,72	14,03	13,78	11,35	11,83	11,67	11,42	12,8	69,9
33	4 ⁰⁰	15,88	16,71	14,03	13,74	11,33	11,80	11,66	11,39	12,8	69,8
34	4 ¹⁵	15,88	16,71	14,04	13,73	11,36	11,84	11,69	11,41	13,0	70,0
35	4 ³⁰	15,86	16,70	14,07	13,72	11,35	11,83	11,69	11,41	13,0	69,8
36	4 ⁴⁵	15,88	16,69	14,03	13,72	11,33	11,81	11,65	11,39	12,6	69,7
37	5 ⁰⁰	15,82	16,69	14,06	13,72	11,32	11,80	11,65	11,38	12,8	69,7
38	5 ¹⁵	15,86	16,70	14,09	13,73	11,33	11,81	11,66	11,39	12,6	69,6
39	5 ³⁰	15,87	16,69	14,03	13,75	11,32	11,79	11,64	11,38	12,8	96,8
Mittel =		15,81	16,69	14,03	13,75	11,33	11,81	11,66	11,39	12,7	69,6
Mittl. p_m =		3,98	4,20	1,43	1,46	0,51	0,53	0,52	0,52		

Mitteldruckzylinder.

Nach Gleichung (III a) S. 341 $N'_i = 700,126 \cdot p'_m$ unten } für $n = 100$ Um-
 „ „ (III b) „ 341 $N''_i = 710,335 \cdot p''_m$ oben } drehung. je Min.
 für $n = 83,52$:

$$\begin{aligned} N'_i &= 0,8352 \cdot 700,126 \cdot 1,43 \text{ PS}_i = 836,1 \text{ PS}_i \\ N''_i &= 0,8352 \cdot 710,335 \cdot 1,46 \text{ „} = 866,1 \text{ „} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Leistung des Mitteldruckzylinders} &= N_i = \frac{N'_i + N''_i}{2} \\ &= \frac{836,2 + 866,2}{2} \text{ PS}_i \\ &= 851,2 \text{ PS}_i. \end{aligned}$$

Niederdruckzylinder rechts.

Nach Gleichung (IV a) S. 342 $N'_i = 1072,35 \cdot p'_m$ unten } für $n = 100$ Um-
 „ „ (IV b) „ 342 $N''_i = 1080,29 \cdot p''_m$ oben } drehung. je Min.
 für $n = 83,52$:

$$\begin{aligned} N'_i &= 0,8352 \cdot 1072,35 \cdot 0,51 \text{ PS}_i = 456,8 \text{ PS}_i \\ N''_i &= 0,8352 \cdot 1080,29 \cdot 0,53 \text{ „} = 478,2 \text{ „} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Leistung des rechten Niederdruckzylinders} &= N_i = \frac{N'_i + N''_i}{2} \\ &= \frac{456,8 + 478,2}{2} \text{ PS}_i \\ &= 467,5 \text{ PS}_i. \end{aligned}$$

Niederdruckzylinder links.

Nach Gleichung (IV a) S. 342 $N'_i = 1072,35 \cdot p'_m$ unten } für $n = 100$ Um-
 „ „ (IV b) „ 342 $N''_i = 1080,29 \cdot p''_m$ oben } drehung. je Min.
 für $n = 83,52$:

$$\begin{aligned} N'_i &= 0,8352 \cdot 1072,35 \cdot 0,52 \text{ PS}_i = 465,7 \text{ PS}_i \\ N''_i &= 0,8352 \cdot 1080,29 \cdot 0,52 \text{ „} = 469,2 \text{ „} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Leistung des linken Niederdruckzylinders} &= N_i = \frac{N'_i + N''_i}{2} \\ &= \frac{465,7 + 469,2}{2} \text{ PS}_i \\ &= 467,5 \text{ PS}_i. \end{aligned}$$

Gesamtleistung der Maschine.

Hochdruckzylinder	1148,2 PS _i
Mitteldruckzylinder	851,2 „
Rechter Niederdruckzylinder	467,5 „
Linker Niederdruckzylinder	467,5 „
	Sa. 2934,4 PS _i
	= ∞ 2934 PS _i .

Dampfverbrauch für 1 PS₁-Std. bei gesättigtem Dampf

$$= \frac{15\,325,732}{2934} \text{ kg}$$

$$= 5,22 \text{ kg.}$$

Die Garantie ist also erfüllt.

Die Kesselanlage.

Zur Erzeugung des Dampfes dienten Wasserröhrenkessel mit schwach geneigten Röhren, je zwei Wasserkammern und einem Oberkessel.

Um jede Überanstrengung und damit die Gefahr des Mitreißen von Wasser durch den Dampf zu vermeiden, waren vier solcher Kessel für die Versuchsmaschine in Betrieb, während ein fünfter Kessel derselben Bauart lediglich den Dampf für die Speisepumpe lieferte.

Heizfläche eines Kessels	303	qm
Gesamtheizfläche	1212	„
Rostfläche eines Kessels (Planrost)	6,4	„
Gesamtrostfläche	25,6	„

Die wichtigsten in bezug auf die Dampfkesselanlage gemachten Beobachtungen sind in folgender Zahlentafel zusammengestellt.

Verdampfungsversuch.

Kohlensorte: Schlesische Steinkohle mit 6350 WE Heizwert.

Versuchsdauer	Std.	9 ⁵ / ₈
Kohlen verfeuert: Im ganzen	kg	23 511,5
In 1 Stunde auf 1 qm Rostfläche	„	93,4
Herdrückstände: Im ganzen	„	2 069,9
In Proz. der verfeuerten Kohle	%	8,8
Verbrenliches in denselben	%	15,15
Speisewasser verdampft: Im ganzen	kg	150 860,0
In 1 Stunde auf 1 qm Heizfläche	„	12,6
Temperatur	°C	29,0
Dampfspannung	at Übr.	13,25
Heizgase ¹⁾ : CO ₂ -Gehalt am Kesselende	Vol.-%	7,49
O-Gehalt am Kesselende	„	12,61
Vielfaches der theoretischen Luftmenge		2,51
Temperatur am Kesselende	°C	240,0
Temperatur der Verbrennungsluft	°C	25,0
Unterschied dieser beiden Temperaturen	°C	215,0
Zugstärke am Kesselende in mm Wassersäule		16,4
Zugstärke über dem Roste in mm Wassersäule		5,2
1 kg Kohle verdampft Wasser bei den Versuchsbedingungen	kg	6,411
1 „ Kohle erzeugt aus Wasser von 0° Dampf von 100°	„	6,412

Wärmebilanz.		WE	%
Nutzbar gemacht zur Dampfbildung		4086	64,35
Verloren in den Herdrückständen		82	1,30
„ „ Heizgasen		1203	18,94
„ durch Strahlung, Leitung, Ruß (als Rest berechnet)		979	15,41
	Sa.	6350	100%

1) Untersucht im Fuchse des dem Schornsteine zunächst liegenden Kessels.

Versuch mit überhitztem Dampf. Die wichtigsten, hierauf bezüglichen Ergebnisse sind folgende:

Dauer des Versuches	Stdn.	10 ¹ / ₄	
Der Maschine in 1 Stunde zugeführte Dampfmenge	kg	12 184,9	
Dampfspannung im Ventilkasten des Hochdruckzylinders . at Übr.		12,75	
Entsprechende Temperatur des gesättigten Dampfes	°C	193,2	
Mittlere Dampftemperatur im Ventilkasten	°C	304,0	
Also Überhitzung des Dampfes	°C	110,8	
Leistung der Maschine:	Hochdruckzylinder	PS _i	1 089,4
	Mitteldruckzylinder	"	799,9
	rechter Niederdruckzylinder	"	502,2
	linker Niederdruckzylinder	"	494,8
Insgesamt	PS _i	2 886,3	
Dampfverbrauch für 1 PS _i -Std.	kg	4,22	

Die Garantie ist also erfüllt.

4. Fehlerhafte und richtige Diagramme.

Zur Beurteilung der Vorgänge im Zylinder einer Dampfmaschine, ebenso wie zur Berechnung der Leistung des Dampfes im Zylinder dient das vom Indikator geschriebene Dampfdruckdiagramm, auch Indikator diagramm genannt. Sollen die Schlüsse, die man aus demselben zieht, ein den Vorgängen in der Maschine wirklich entsprechendes Bild geben, so ist erforderlich, daß die Aufzeichnungen des Indikators fehlerlos geschehen, d. h. nur unter der Einwirkung des im Zylinder herrschenden Dampfdruckes auf den von der Maschine in richtiger Weise betätigten Indikator zustande kommen.

Die Umstände, durch welche die Angaben des Indikators fehlerhaft werden können, sind verschiedener Art. Sie liegen entweder

- a) in der Art der Anbringung des Indikators an der Maschine oder
- b) im Indikator selbst.

Es soll daher auf beide Punkte näher eingegangen werden.

Die Art der Anbringung des Indikators an der zu indizierenden Maschine beeinflußt die Form der Diagramme. Mehrfach ist noch die Anordnung zu finden, daß von den Anbohrungen der Zylinderenden Rohrleitungen nach einem in der Mitte der Zylinderlänge befindlichen Dreiweghahne führen (Abb. 177), der zur Aufnahme eines Indikators eingerichtet ist. Durch entsprechende Umstellung des Hahnes können dann die Diagramme beider Zylinderseiten auf ein einziges Diagrammblatt gezeichnet werden. Abgesehen davon, daß hiermit die Übersichtlichkeit über den Verlauf der einzelnen Diagrammlinien etwas leidet, kommen durch diese Anordnung der Rohrleitung zum Indikator — auch wenn diese Leitung noch so gut isoliert ist — Fehler in das Diagramm, die leicht zu Trugschlüssen Veranlassung geben können.

In den Abb. 263, 264 und 265 sind die Diagramme der Dreifach-Expansionsmaschine eines Ozeandampfers mit den Hauptdaten wiedergegeben. Sie sind aufgenommen mit der zuletzt beschriebenen Art der Rohrleitung zum Indikator.

Dampfschiff: *Westphalia*. 9^{te} Hamburg-Reise den 4. Mai 1901. Diagramm Nr. 6.

H. D. Zylind. Durchm.: 610 mm

Feder: 5 mm/at

Hub: 1140 mm

Kohlenverbrauch für 1-PS_i-Std. 0,76 kg

Umdrehungen je Minute: 60 PS_i: 486

Luftverdünnung im Kondensator: 0,9 at

Dampfdruck im Kessel: 10 at

Füllung in Proz.: 75

Gesamtleistung der Maschine 1406 PS_i

Kohlenverbrauch je Stunde: 1075 kg

oben:

$$p_m = 2,79$$

unten:

$$p_m = 2,69$$

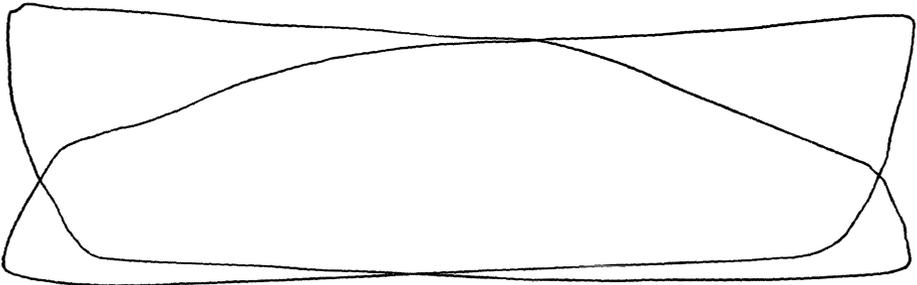


Abb. 263.

Dampfschiff: *Westphalia*. 9^{te} Hamburg-Reise den 4. Mai 1901. Diagramm Nr. 6.

M. D. Zylind. Durchm.: 990 mm

Dampfdruck im Aufnehmer: 2,5 at

Hub: 1140 mm

Feder: 11,3 mm/at

Umdrehungen je Minute: 60 PS_i: 42

Kohlenverbrauch für 1-PS_i-Std. 0,76 kg

Dampfdruck im Kessel: 10 at

Luftverdünnung im Kondensator: 0,9 at

Gesamtleistung der Maschine 1406 PS_i

Füllung in Proz.: 80

Kohlenverbrauch je Stunde: 1075 kg

oben:

$$p_m = 1,02$$

unten:

$$p_m = 1,04$$

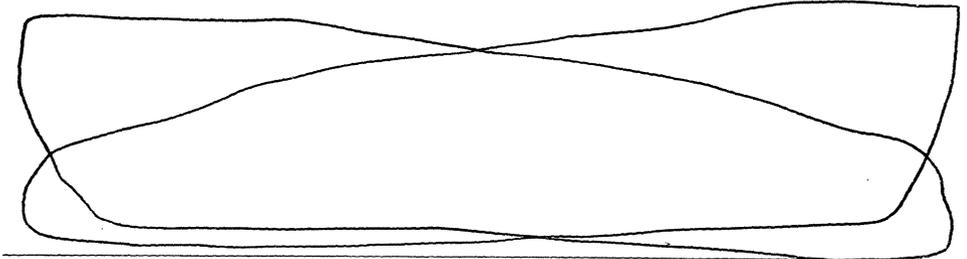


Abb. 264.

Dampfschiff: *Westphalia*. 9^{te} Hamburg-Reise den 4. Mai 1901. Diagramm Nr. 6

N. D. Zylind. Durchm.: 1620 mm

Hub: 1140 mm

Umdrehungen je Minute: 60 PS₁: 438

Dampfdruck im Kessel: 10 at

Gesamtleistung der Maschine 1406 PS₁

Dampfdruck im Aufnehmer: 0,3 at

Feder: 30 mm/at

Kohlenverbrauch für 1-PS₁-Std. 0,76 kg

Luftverdünnung im Kondensator: 0,9 at

Füllung in Proz.: 75

Kohlenverbrauch je Stunde 1075 kg

oben:

$$p_m = 0,34$$

unten:

$$p_m = 0,36$$

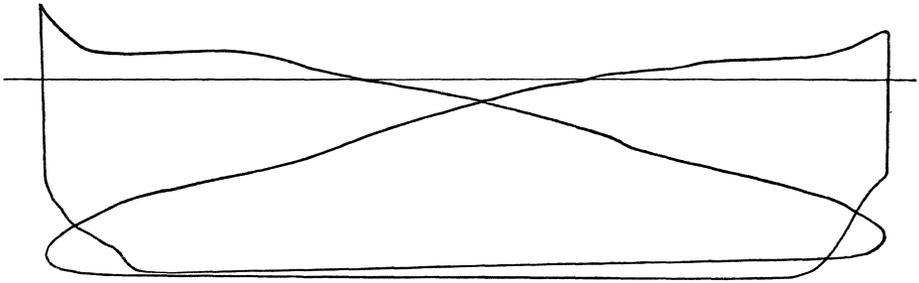


Abb. 265.

Um den Einfluß dieser Art der Rohrleitung auf die Form der Diagramme kennenzulernen, wurde beim Niederdruckzylinder einer stehenden 1200 pferdigen Verbundmaschine die Rohrleitung beseitigt, so daß auf jeder Zylinderseite ein Indikator unmittelbar in die Zylinderwandung eingeschraubt werden konnte. Das bei genau derselben Füllung und derselben Kesselspannung erhaltene Diagramm wurde über das im ersten Falle erhaltene gezeichnet. Abb. 266 zeigt die beiden Diagramme. Das mit Rohrleitung erhaltene Diagramm ist punktiert, während das nach Abnahme der Rohrleitung sich ergebende Diagramm ausgezogen gezeichnet ist.

Mittlerer Druck aus dem punktierten Diagramme = 0,97 kg/qcm.

Mittlerer Druck aus dem ausgezogenen Diagramme = 0,91 kg/qcm.

Die lichte Weite der Indikatorbohrung in der Wandung des Dampfzylinders soll 10 mm, keinesfalls unter 8 mm sein. Nachdem der Indikator angeschraubt ist, öffnet man, noch bevor der Indikator Kolben und das Schreibzeug eingesetzt sind, den Indikatorhahn und läßt kurze Zeit Dampf ausblasen. Man kann sich auf diese Weise leicht überzeugen, ob die Anbohrungen im Zylinder und die Hahnbohrungen selbst vollständig frei sind.

Daß eine zu enge Indikatorbohrung oder eine zum Teil verstopfte Anbohrung die Aufzeichnungen des Indikators vollständig unbrauchbar machen kann, zeigt das in Abb. 267 abgebildete Diagramm. Es stammt von einer liegenden, einzylindrigen Auspuffmaschine her. Das ausgezogene Diagramm ist bei teilweise verstopfter Bohrung, das

punktiert gezeichnete bei derselben Belastung und der gleichen Eintrittsspannung, aber bei vollständig freier Indikatorbohrung aufgenommen.

Die zum Antriebe der Papiertrommel dienende Schnur, kurz Indikatorschnur genannt, kann leicht zu Verzerrungen der Diagramme Veranlassung geben. Wenn sie sehr lang ist, so gerät sie während des Indizierens in peitschende Bewegung, die sich im Diagramme in der aus Abb. 268 ersichtlichen Weise bemerkbar macht.

Neue Indikatorschnüre haben oft die Eigenschaft, sich während des Indizierens zu längen. Dadurch ändern sich auch die Längen

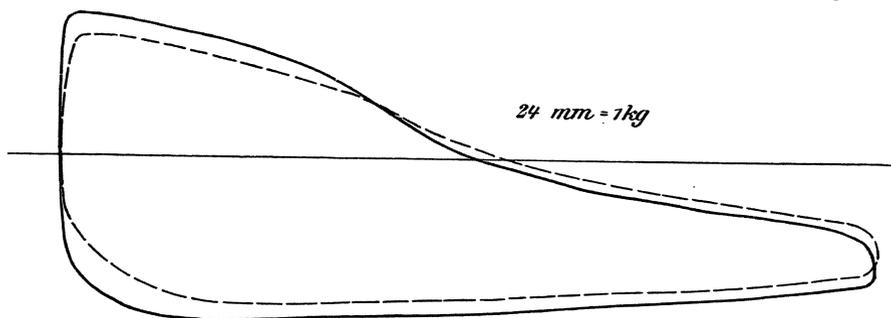


Abb. 266.

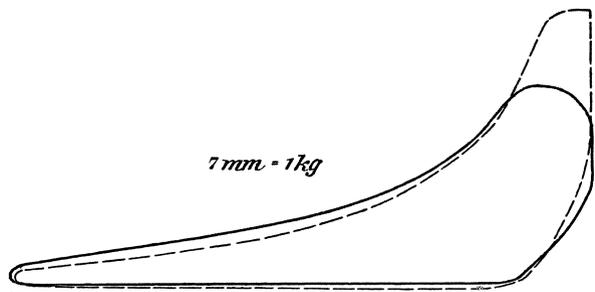


Abb. 267.

der Diagramme, wie solches aus den in Abb. 269 abgebildeten Diagrammen deutlich zu ersehen ist. Sie stammen von einer liegenden Fördermaschine her. Aufgenommen sind zehn Diagramme während einer Förderung.

Wenn die Länge der Indikatorschnur zu groß ist, so kommt die Papiertrommel eher an ihren Umkehrpunkt als der Mitnehmer und bleibt kurze Zeit still stehen, wodurch die Diagramme, wie die Abb. 270 und 271 zeigen, nicht vollständig ausgeschrieben werden.

Die Indikationspapiertrommel stößt an, bevor der Mitnehmer an seinem toten Punkte angekommen ist. Das punktiert umranderte Stück der Diagrammfläche wird nicht aufgezeichnet. (Abb. 270 bzw. 271.)

Inhalt der vom Indikator gezeichneten Diagrammfläche = 2020 qmm,
Inhalt des fehlerlosen Diagrammes = 2140 qmm.

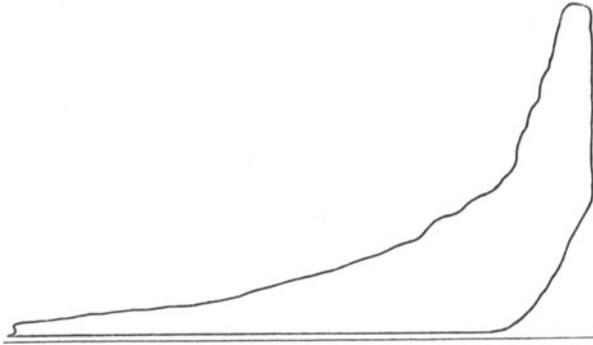


Abb. 268.



Abb. 269.

Einzylindrige, liegende Auspuffmaschine

$$D = 240 \text{ mm,}$$

$$H = 520 \text{ mm,}$$

$$n = 84.$$

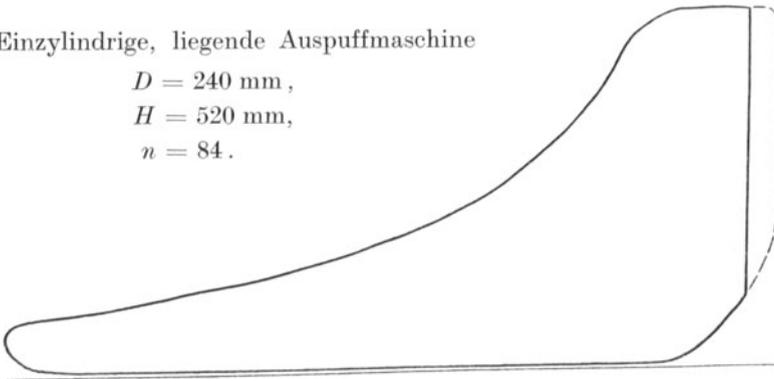


Abb. 270.

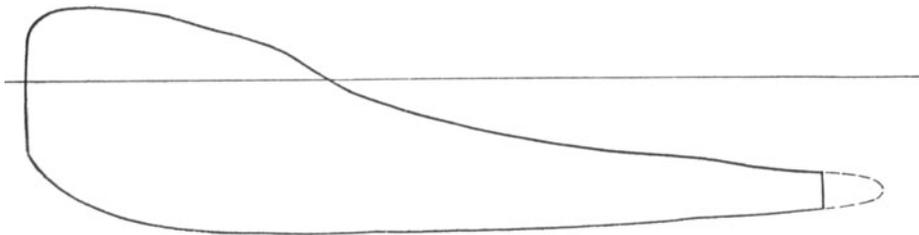


Abb. 271.

Abb. 271 ist das Diagramm des Niederdruckzylinders einer 1200-pferdigen, stehenden Verbundmaschine mit Kondensation und Corlißhahnsteuerung. Es liegt derselbe Fehler wie in Abb. 270 vor.

Inhalt der vom Indikator gezeichneten Diagrammfläche = 1720 qmm,
 Inhalt des fehlerlosen Diagrammes = 1750 qmm.

Fehler am Indikator selbst und Einfluß derselben auf die Form der Diagramme. In den Bemerkungen, welche den nachfolgenden Diagrammen beigegeben sind, bedeutet D bzw. D_1 = Zylinderdurchmesser, s bzw. s_1 = Hub, n = minutliche Drehzahl, N_i = indizierte Leistung in Pferdestärken.

Einzyldrige, liegende Auspuffmaschine.

$D = 240$ mm,

$s = 520$ mm,

$n = 80$,

$N_i = 20$ PS_i Normalleistung.

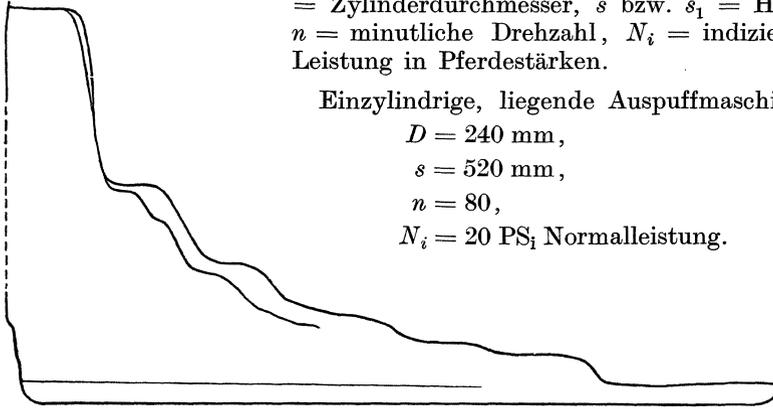


Abb. 272.

Abb. 272: Infolge eingedrungenen, in der Maschine rückständig gebliebenen Formsandes reibt der Indikator Kolben sehr stark.

Einzyldrige, liegende Auspuffmaschine.

$D = 240$ mm,

$s = 520$ mm,

$n = 80$,

$N_i = 20$ PS_i.

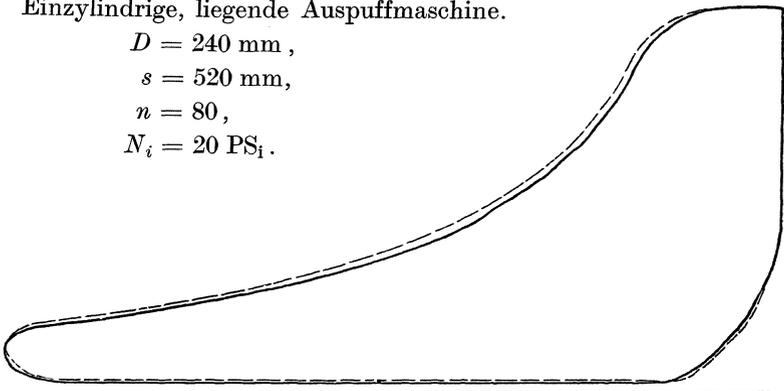


Abb. 273.

Abb. 273: Das punktiert gezeichnete Diagramm ergab sich bei starkem Drücken des Indikatorschreibstiftes gegen die Papiertrommel; das mit glattem Striche geschriebene Diagramm wurde bei zartem Andrücken des Schreibstiftes erhalten.

Abb. 274: Zweizylindrige liegende Kondensationsmaschine. Der Schreibstift steht zu weit nach hinten vor und stößt deshalb an einen Gelenkarm des Schreibzeuges. Die Folge hiervon ist die Stufe in der Expansions- und in der Kompressionslinie.

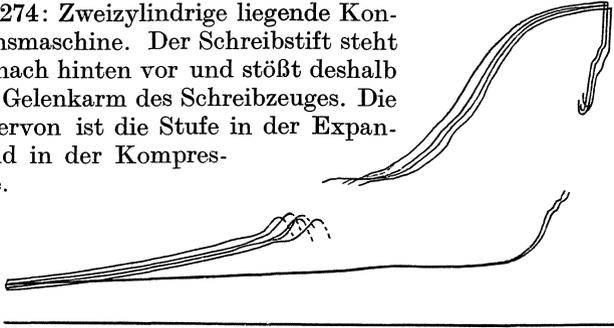


Abb. 274.

Abb. 275: Diagramm des Niederdruckzylinders einer liegenden Verbundmaschine ohne Kondensation.

$D = 240 \text{ mm}$, $D_1 = 360 \text{ mm}$,

$s = 520 \text{ mm}$, $n = 120$,

$N = 40 \text{ PS}_i$.

Federmaßstab: 25 mm

$= 1 \text{ kg/qcm}$.

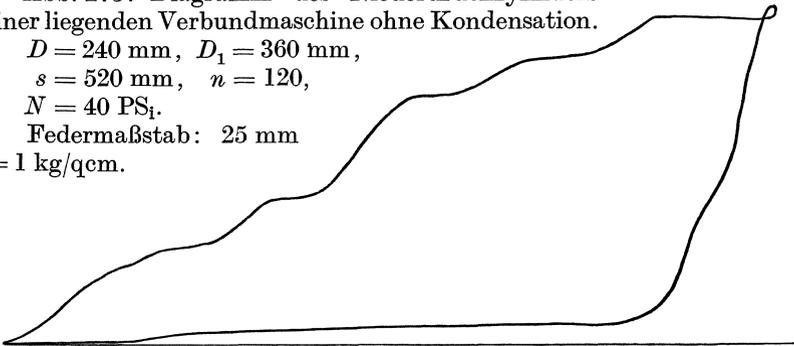


Abb. 275.

Schwache Indikatorfedern geraten in Schwingungen, die sich besonders in der Expansionslinie des Diagrammes bemerkbar machen.

Diese Schwingungen zeigen sich noch stärker, wenn sich oberhalb des Indikatorkolbens Wasser gebildet hat, wie Abb. 276, das Leerlaufdiagramm des Niederdruckzylinders der zuletzt gekennzeichneten Maschine zeigt.

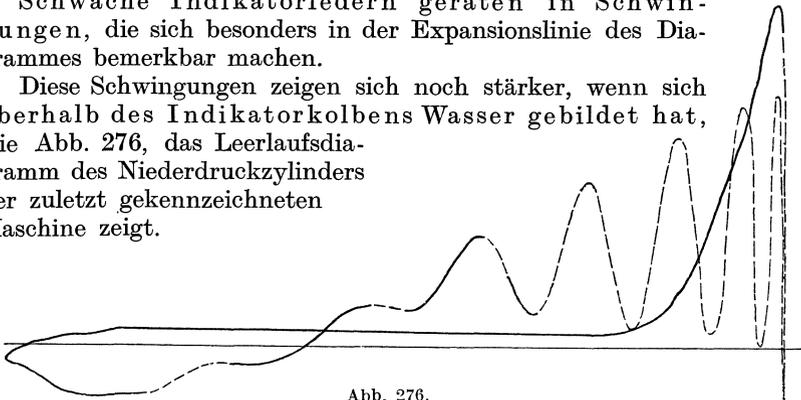


Abb. 276.

Fehler an der Dampfmaschine. Das Indikatordiagramm wird nicht nur zur Berechnung der indizierten Leistung einer Dampfmaschine benutzt, sondern es fällt ihm noch die sehr wichtige Aufgabe zu, Aufschluß über den Zustand der Maschine, besonders ihrer Steuerung zu geben. Da es nicht immer leicht ist, aus dem Verlaufe der Diagrammkurven die richtigen Schlüsse zu ziehen, so sind im folgenden noch verschiedene, der Praxis entnommene Diagramme zusammengestellt, die durch ihre Form auf beachtenswerte Fehler an der Maschine schließen lassen. Wo es möglich war, sind auch die nach Beseitigung der festgestellten Mängel erhaltenen (Normal-)Diagramme wiedergegeben.

Abb. 277: Einzylindrige, liegende Auspuffmaschine mit Ridersteuerung.

$$\begin{aligned} D &= 240 \text{ mm,} \\ s &= 520 \text{ mm,} \\ n &= 80, \\ N_i &= 20 \text{ PS}_i \end{aligned}$$

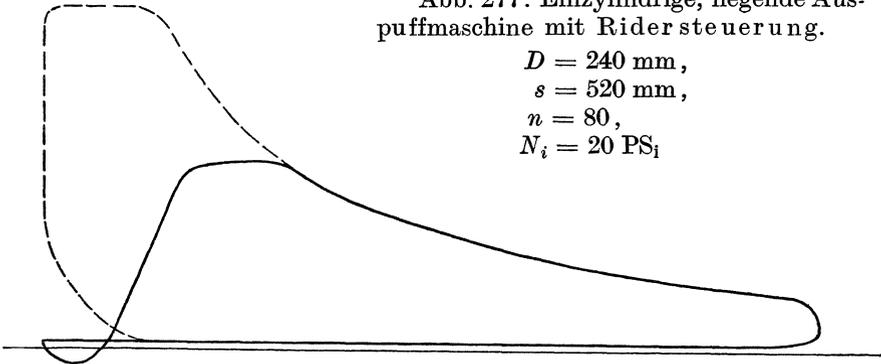


Abb. 277.

Der Grundschieber ist falsch eingestellt. Die Grundschieberstange muß verkürzt werden. Das punktiert ergänzte Diagramm ergab sich nach Abstellung des Fehlers.

Abb. 278: Einzylindrige, liegende Kondensationsmaschine.

$$\begin{aligned} D &= 250 \text{ mm,} \\ s &= 650 \text{ mm,} \\ n &= 60, \\ N_i &= 20 \text{ PS}_i. \end{aligned}$$

Die Kondensation ist sehr mangelhaft. Arbeitsverlust rd. 22%.

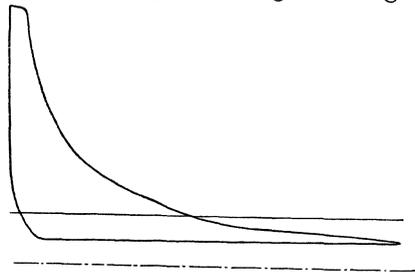


Abb. 278.

Abb. 279: Einzylindrige, liegende Auspuffmaschine.

$$\begin{aligned} D &= 220 \text{ mm,} \\ s &= 458 \text{ mm,} \\ n &= 55. \end{aligned}$$

Der Dampf tritt erst bei 0,3 des Hubes ein; verspäteter Dampfaustritt; Mangel jeder Expansion.

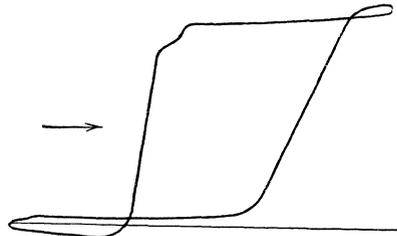


Abb. 279.

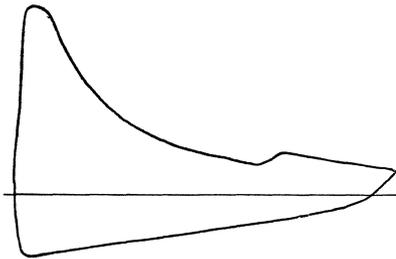


Abb. 280.

gerter Dampfaustritt nach dem Kondensator. Arbeitsverlust rd. 70%.

Abb. 280: Einzylindrige, liegende Kondensationsmaschine.

$$\begin{aligned} D &= 566 \text{ mm,} \\ s &= 850 \text{ mm,} \\ n &= 65, \\ N_i &= 66 \text{ PS}_i. \end{aligned}$$

Verspäteter Dampfeintritt; gegen Ende der Expansion strömt nochmals frischer Dampf ein; verzögert dem Kondensator. Arbeitsverlust

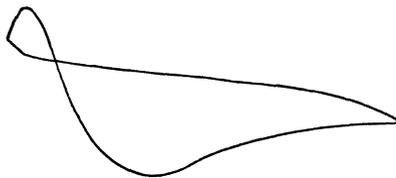


Abb. 281.

Abb. 281: Einzylindrige, liegende Auspuffmaschine.

$$\begin{aligned} D &= 670 \text{ mm,} \\ s &= 1440 \text{ mm,} \\ n &= 36, \\ N_i &= 87 \text{ PS}_i. \end{aligned}$$

Expansion fehlt; ganz mangelhafter Dampfaustritt; Kompression tritt zu früh ein.

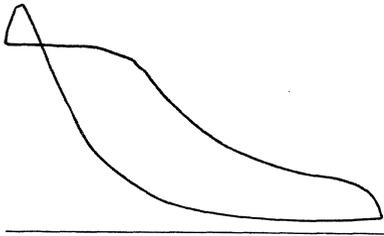


Abb. 282.

Abb. 282: Einzylindrige, liegende Auspuffmaschine.

$$\begin{aligned} D &= 350 \text{ mm,} \\ s &= 650 \text{ mm,} \\ n &= 78, \\ N_i &= 28 \text{ PS}_i. \end{aligned}$$

Die Kompression erfolgt zu früh.

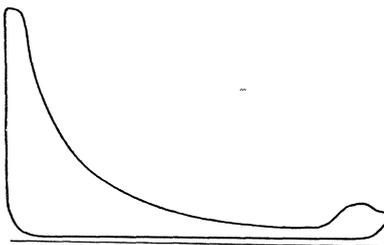


Abb. 283.

Abb. 283: Einzylindrige, liegende Auspuffmaschine.

$$\begin{aligned} D &= 270 \text{ mm,} \\ s &= 520 \text{ mm,} \\ n &= 38, \\ N_i &= 4 \text{ PS}_i. \end{aligned}$$

Der Expansionschieber läßt gegen Ende des Kolbenhubes nochmals Dampf einströmen. Arbeitsverlust rd. 67%.

Abb. 284: Einzylindrige, liegende
Kondensationsmaschine.

$$\begin{aligned} D &= 480 \text{ mm,} \\ s &= 1000 \text{ mm,} \\ n &= 48, \\ N_i &= 75 \text{ PS}_i. \end{aligned}$$

Der Dampfeintritt erfolgt
zu spät. Arbeitsverlust rd. 10%.

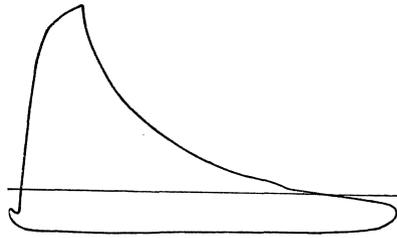


Abb. 284.

Nach Abstellung des Fehlers ergab sich untenstehendes Diagramm
(Abb. 285).

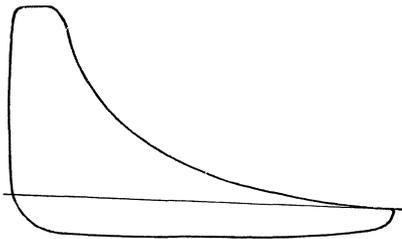


Abb. 285.

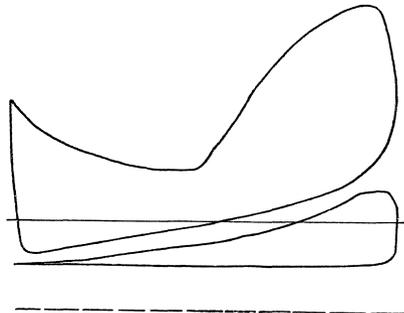


Abb. 286.

Abb. 286: Woolfsche Maschine.

$$\begin{aligned} D &= 235 \text{ mm,} \\ D_1 &= 415 \text{ mm,} \\ s &= 713 \text{ mm,} \\ s_1 &= 1022 \text{ mm,} \\ n &= 40. \end{aligned}$$

Die Steuerung ist vollständig in Unordnung. Der Dampfeintritt erfolgt erst in der Mitte des Hubes. Arbeitsverlust rd. 40%.

Abb. 287: Einzylindrige, liegende Auspuffmaschine mit Ridersteuerung.

$$\begin{aligned} D &= 240 \text{ mm,} \\ s &= 520 \text{ mm,} \\ n &= 80, \\ N_i &= 20 \text{ PS}_i. \end{aligned}$$

Der Dampfkolben ist stark undicht.

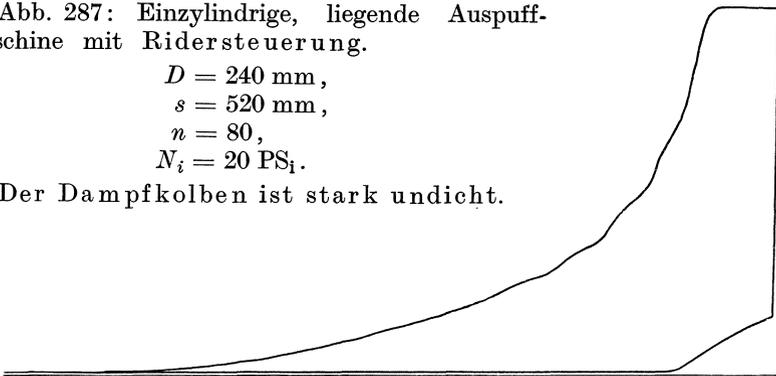


Abb. 287.

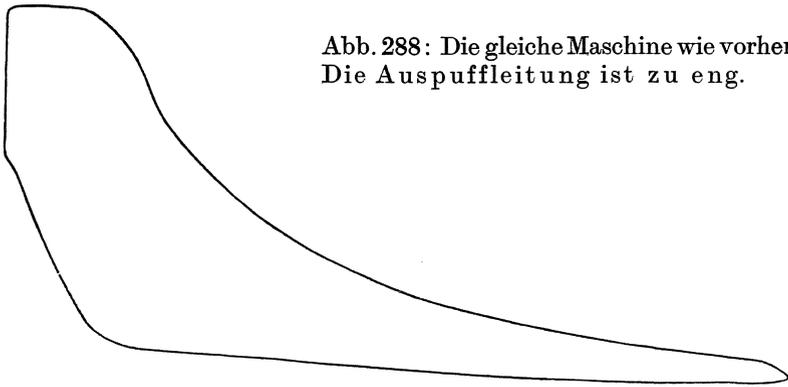


Abb. 288: Die gleiche Maschine wie vorher.
Die Auspuffleitung ist zu eng.

Abb. 288.

Abb. 289: Die gleiche Maschine wie vorher.
Die Schieber sind sehr stark undicht.

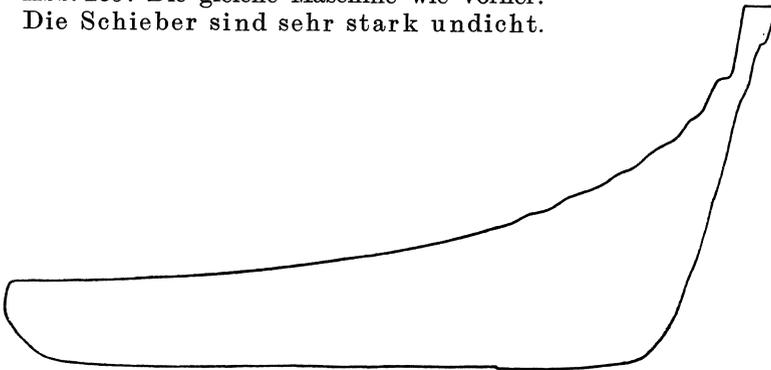


Abb. 289.

Abb. 290: Die gleiche Maschine wie vorher.
Der Dampfeintritt erfolgt zu spät.

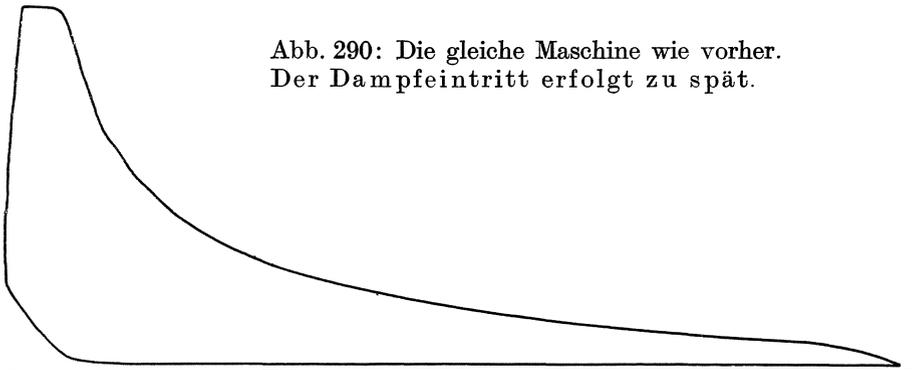
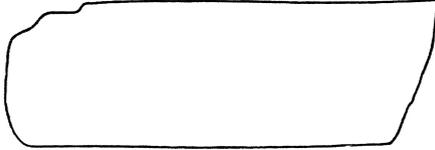


Abb. 290.

Abb. 291: Einzylindrige, liegende Auspuffmaschine.

$$\begin{aligned}
 D &= 120 \text{ mm,} \\
 s &= 260 \text{ mm,} \\
 n &= 100, \\
 N_i &= 15 \text{ PS}_i.
 \end{aligned}$$



atm. ————— Linie

Abb. 291.

Federmaßstab: 7 mm = 1 kg/qcm.

Der Gegendruck beträgt 2 Atmosphären, ist also sehr hoch. Die Maschine muß deshalb mit nahezu voller Füllung arbeiten. Ursache des hohen Gegendruckes: Der Auspuffdampf geht durch einen Röhrenvorwärmer, dessen Rohre sehr stark undicht sind, so daß Wasser in den Dampfraum des Vorwärmers eintritt. Dieses Wasser setzte im Innern der Rohre viel Kesselstein ab, wodurch der dem Auspuffdampf zur Verfügung stehende freie Querschnitt verengt wurde.

Abb. 292: Einzylindrige, liegende Auspuffmaschine.

$$\begin{aligned}
 D &= 600 \text{ mm,} \\
 s &= 1270 \text{ mm,} \\
 n &= 67, \\
 N_i &= 75 \text{ PS}_i.
 \end{aligned}$$

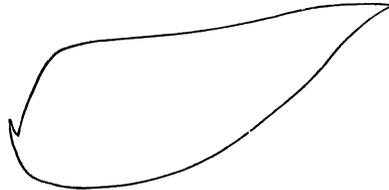


Abb. 292.

Die Dampfeinströmung erfolgt zu spät. Expansion fehlt. Der Dampfaustritt erfolgt ebenfalls zu spät und zu langsam.

Abb. 293: Liegende, einzylindrige Auspuffmaschine.

Kompression fehlt vollständig. Der Dampfeintritt erfolgt verzögert.

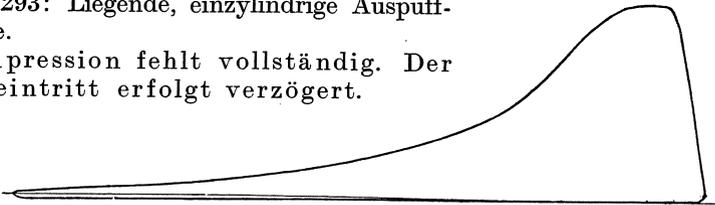


Abb. 293.

Abb. 294: Liegende, einzylindrige Auspuffmaschine.

$D = 240 \text{ mm}$,
 $s = 520 \text{ mm}$,
 $n = 80$,
 $N_i = 20 \text{ PS}_i$.

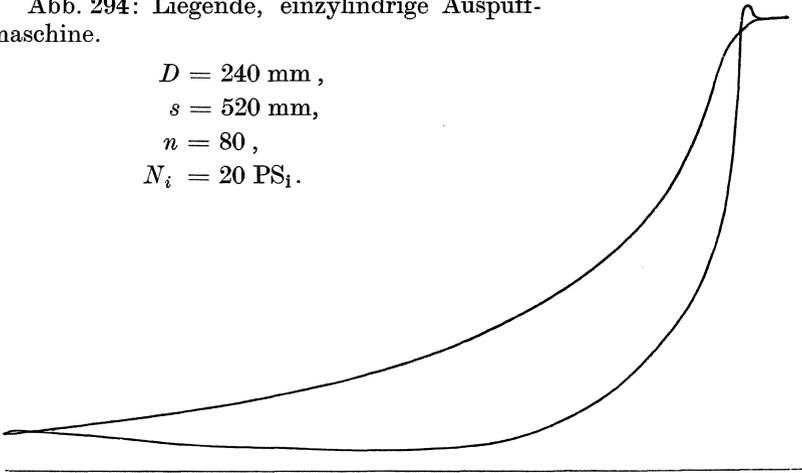


Abb. 294.

Falsch eingestellter Riderschieber. Der Dampfeintritt erfolgt zu früh; der Dampfaustritt erfolgt zu spät; der Gegendruck ist zu hoch.

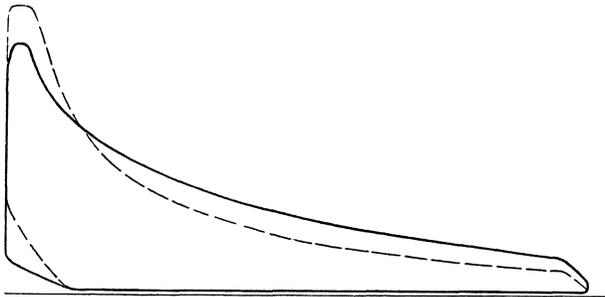
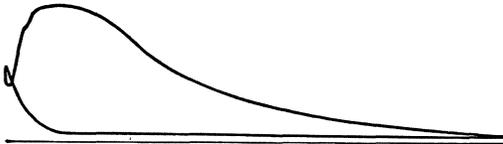


Abb. 295.

Abb. 295: Dieselbe Maschine wie vorher. Das punktiert gezeichnete Diagramm ist das normale. Das ausgezogene Diagramm ergab sich, nachdem der schädliche Raum künstlich vergrößert worden ist.

Abb. 296: Diagramm einer liegenden Auspuffmaschine von



$D = 360 \text{ mm}$,
 $s = 600 \text{ mm}$,
 $n = 114$,
 $N_i = 40 \text{ PS}_i$.

Abb. 296.

Ventilsteuerung mit Achsenregulator Pröll-Schwabe.

Die Schleife auf der linken Seite kann zwei Ursachen haben:

1. Verspäteten Dampfeintritt oder
2. Überschleifen des Maschinenkolbens über die Ausmündung der Indikatorbohrung im Dampfzylinder. Gleichzeitig muß in beiden Fällen noch Undichtheit des Indikatorkolbens vorliegen.

Um herauszufinden, welche von diesen beiden Ursachen die zutreffende ist, wurden während des Indizierens Papierstreifen zwischen Einlaßventil-Anhebedaumen und Antriebsrolle gelegt, wodurch der Dampfeintritt früher erfolgen mußte. Dabei ergab sich ein normales Diagramm ohne Schleifenbildung, womit der Beweis geliefert war, daß der unter 1. angegebene Fehler vorlag.

5. Das Rankinisieren der Diagramme.

Dieses Verfahren der Umzeichnung der Diagramme zum Zwecke der Prüfung der Vorgänge in der Dampfmaschine wurde zuerst von Rankine angegeben, und zwar für Woolfsche Maschinen. Es ist jedoch auf alle Dampfmaschinen mit mehrstufiger Expansion anwendbar.

Der Gedanke, der dem Rankineschen Verfahren zugrunde liegt, ist folgender:

Zu Anfang der Expansionsperiode ist im Hochdruckzylinder ein Dampfvolumen vorhanden, welches gleich ist dem Füllungsvolumen plus dem (ebenfalls mit Dampf ausgefüllten) schädlichen Raume des Zylinders. Das Dampfvolumen, welches am Ende der Expansionsperiode im Niederdruckzylinder vorhanden ist, setzt sich zusammen aus dem Volumen des Niederdruckzylinders plus dem schädlichen Raume desselben.

Die Leistung der in den Hochdruckzylinder eingetretenen Dampfmenge könnte theoretisch dieselbe sein, die sich ergeben würde, wenn die gleiche Dampfmenge mit der Eintrittsspannung des Hochdruckzylinders unmittelbar in den Niederdruckzylinder eingetreten wäre und darin ihre Gesamtexpansion vollführt hätte.

Es bezeichne:

$$\left. \begin{array}{l} v = \text{Volumen des Hochdruckzylinders} \\ q = \text{Kolbenfläche des Hochdruckzylinders} \\ V = \text{Volumen des Niederdruckzylinders} \\ Q = \text{Kolbenfläche des Niederdruckzylinders} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{einer Verbund-} \\ \text{maschine mit} \\ \text{dem Hube} = h. \end{array}$$

Dann ist:

$$\begin{aligned} v &= q \cdot h = \text{Volumen des Hochdruckzylinders,} \\ V &= Q \cdot h = \text{Volumen des Niederdruckzylinders.} \end{aligned}$$

Denkt man sich den Durchmesser des Niederdruckzylinders auf denjenigen des Hochdruckzylinders zurückgeführt, so müßte bei ungeändert bleibendem Volumen der Hub des Niederdruckzylinders sich umändern in H .

Es wäre dann:

$$V = q \cdot H.$$

Es war: $v = q \cdot h$.

Also: $V : v = H : h$.

Oder: $H = h \cdot \frac{V}{v}$. (1)

Man denke sich nun ferner den auf Hochdruckzylinder-Durchmesser umgerechneten Niederdruckzylinder unmittelbar an den Hochdruckzylinder angegliedert (wie in Abb. 297 gezeichnet).

Zur Erzielung einer bestimmten Maschinenleistung muß der Hochdruckzylinder bei der Anfangsspannung p_1 die Füllung s empfangen. Am Ende der Expansionsperiode im Hochdruckzylinder hat dieser Dampf noch die Spannung p .

Das theoretische Diagramm ist in Abb. 297 über den Hochdruckzylinder gezeichnet.

Tritt nun dieses Dampfgewicht mit der Spannung p in den angesetzten, verminderten Niederdruckzylinder, so bringt es offenbar die Füllung h hervor und expandiert dann, wie das über dem Niederdruckzylinder gezeichnete, theoretische Diagramm zeigt, bis auf die Spannung p_0 .

Für die Punkte A und B des Hochdruckdiagrammes gilt dann:

$$p_1 \cdot s = p \cdot h^1).$$

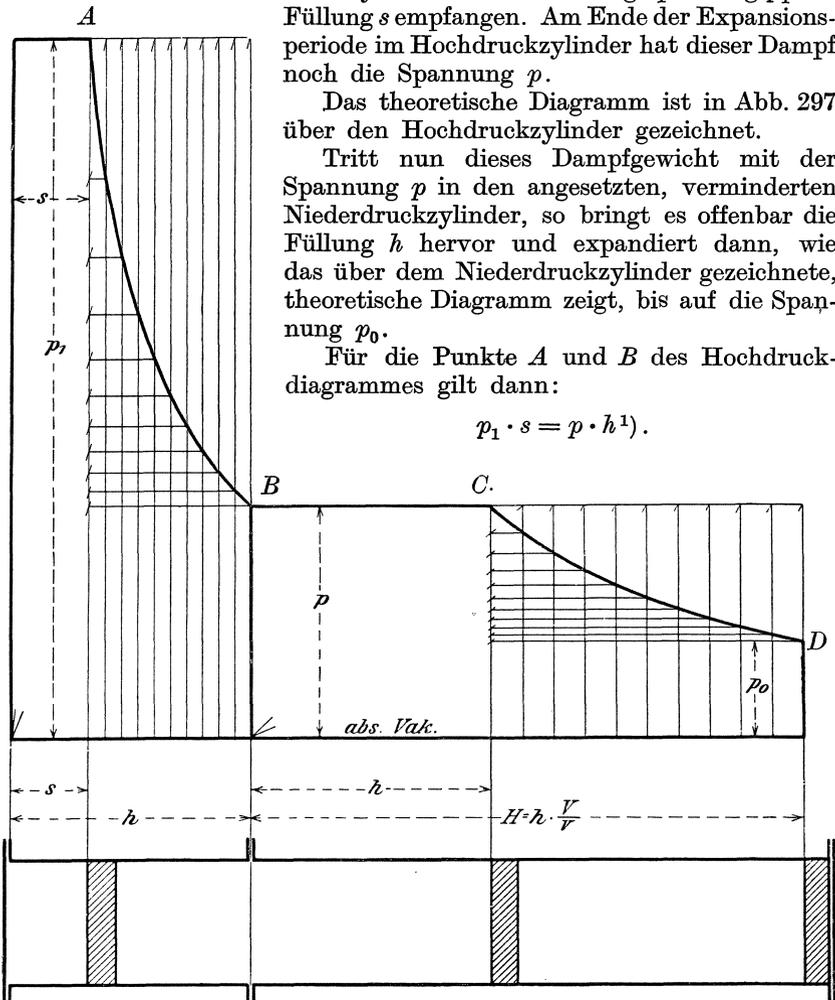


Abb. 297.

1) Vorausgesetzt, daß die Expansionskurve eine gleichseitige Hyperbel ist.

Für die Punkte *C* und *D* des Niederdruckdiagrammes (Abb. 297) gilt:

$$p \cdot h = p_0 \cdot H = p_0 \cdot h \cdot \frac{V}{v}.$$

Folglich:

$$p_1 \cdot s = p_0 \cdot h \cdot \frac{V}{v}. \tag{2}$$

Diese Gleichung (2) ist sofort anwendbar auf das Diagramm einer Dampfmaschine, bei welcher der Dampf bei der Füllung *s* mit der Spannung *p*₁ in den Zylinder eintritt, und bei welcher er am Ende des Hubes $h \cdot \frac{V}{v}$ den Zylinder mit der Spannung *p*₀ verläßt. Abb. 298 stellt dieses theoretische Diagramm dar.

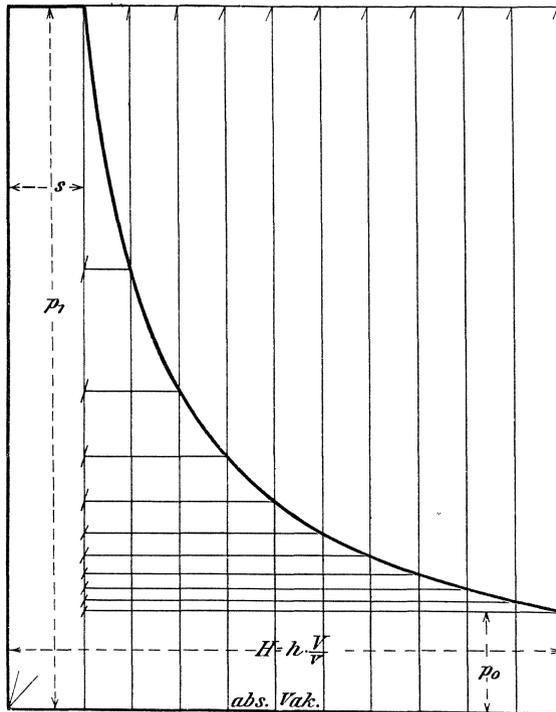


Abb. 298.

Die Wirkung einer bestimmten, in den Hochdruckzylinder einer Verbundmaschine eintretenden Dampfmenge ist also (theoretisch) genau dieselbe, als wenn das gleiche Dampfgewicht mit derselben Spannung direkt in den Niederdruckzylinder (dessen Hub *h* bei gleichbleibendem Zylinderdurchmesser allerdings im Verhältnisse der Zylinder volumina $\frac{V}{v}$ vergrößert gedacht ist) eingetreten wäre.

Auf Grund dieser theoretischen Betrachtung sind verschiedene Methoden der Rankinisierung von Diagrammen aufgebaut worden, von denen die bekannteste die im nachfolgenden erläuterte ist.

Zur Rankinisierung können nur die Diagramme derjenigen Zylinderseiten kommen, die der Dampf unmittelbar hintereinander durchströmt, also z. B. bei einer Verbundmaschine mit um 180° versetzten Kurbeln die Diagramme der:

Deckelseite des Hochdruckzylinders und der Kurbelseite des Niederdruckzylinders, ebenso wie diejenigen der

Kurbelseite des Hochdruckzylinders und der Deckelseite des Niederdruckzylinders.

Die zusammengehörigen Diagramme müssen zunächst auf gleiche Länge l (die im übrigen beliebig ist) gebracht werden. Diese Bedingung ist in der Ableitung der Gleichung (1) begründet.

Beide Diagramme sind im gleichen Maßstabe zu zeichnen (und zwar wählt man stets den Maßstab des Niederdruckdiagrammes). Diese Bedingung ist in Gleichung (2) begründet.

Die Länge l des Niederdruckdiagrammes wird im Verhältnisse $\frac{V}{v}$ der Zylindervolumina vergrößert. Auch diese Forderung ist in Gleichung (2) begründet.

In den Abb. 299 bis 302 sind die Diagramme einer 1500 pferdigen, stehenden Verbundmaschine mit Corliß - Bonjoursteuerung abgebildet.

Die hier in Betracht kommenden Hauptabmessungen der Maschine sind:

Hochdruckzylinder:	Niederdruckzylinder:
Zylinderdurchmesser 800 mm	Zylinderdurchmesser 1450 mm
Schädlicher Raum 2 %	Schädlicher Raum 5 %
Hub 1100 mm	Hub 1100 mm
Federmaßstab: 1 kg/qcm 6 „	Federmaßstab: 1 kg/qcm 24 „

Die Länge l , auf welche sämtliche vier Diagramme, deren Rankinisierung beabsichtigt ist, zu bringen sind, sei hier zu 60 mm angenommen. Als gemeinsamer Druckmaßstab werde derjenige des Niederdruckdiagrammes, also $24 \text{ mm} = 1 \text{ kg/qcm}$ gewählt.

Der Arbeitsdampf strömt von der Hochdruckdeckelseite (oben) nach der Niederdruckdeckelseite (unten), und von der Hochdruckkurbelseite (unten) nach der Niederdruckdeckelseite (oben), woraus ja die Zusammengehörigkeit der entsprechenden Diagramme folgt.

Für Betriebe mit großen Dampfmaschinen, die regelmäßig indiziert werden und deren Diagramme öfters zur Rankinisierung kommen, ist es sehr empfehlenswert, sich durch Druck ein Liniennetz herstellen zu lassen, welches die sonst ziemlich zeitraubende Arbeit des Rankinisierens wesentlich erleichtert.

Auf der Tafel im Anhang sind die obigen Diagramme mit Hilfe eines solchen Liniennetzes rankinisiert. Die linke Seite gibt die Diagramme nur punktweise an, um das Liniennetz deutlicher erkennen zu lassen.

In einem rechtwinkligen Koordinatensystem $x x$, $y y$ zieht man zu beiden Seiten der y -Achse je eine Parallele zu dieser, deren Abstand von der y -Achse dem schädlichen Raume des Hochdruckzylinders entspricht. Diese Gerade ist auf der linken Seite des Liniennetzes mit θ bezeichnet; sie ist von der y -Achse um $\frac{6}{100} \cdot 2 \text{ mm}$ (entsprechend 2% schädlichem Raume) abgerückt.

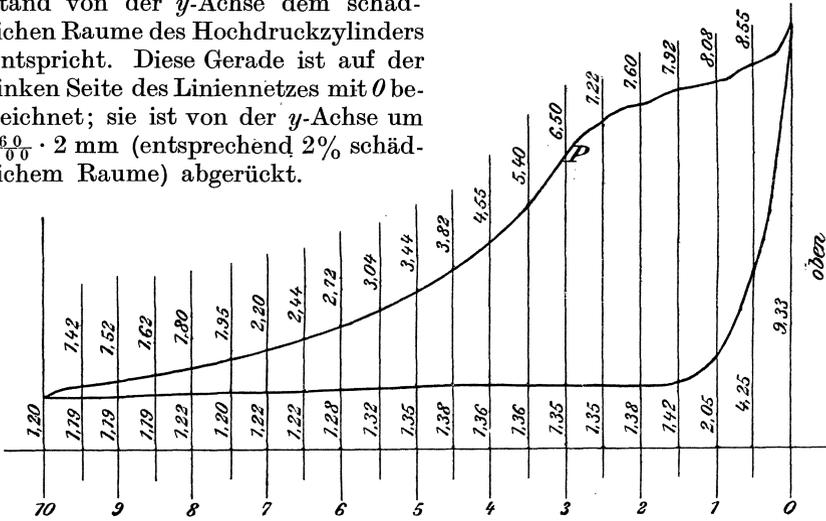


Abb. 299.

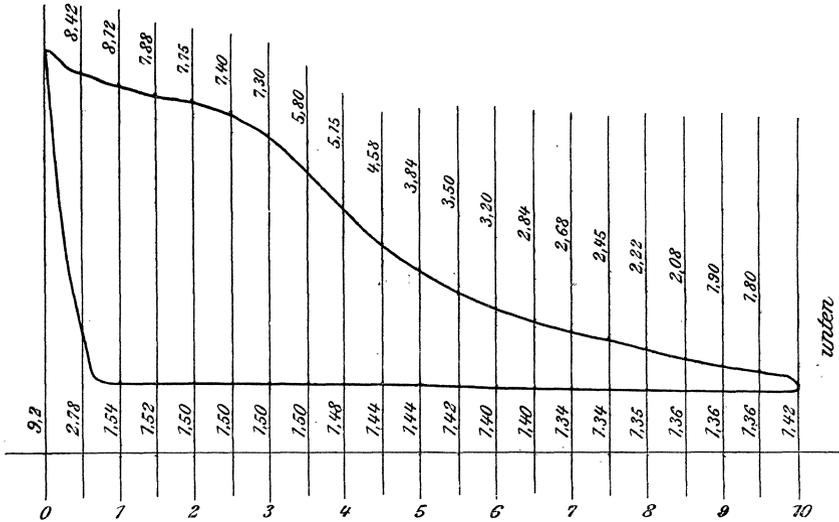


Abb. 300.

Die x -Achse gilt als Linie des absoluten Vakuums. Von ihr aus trägt man den Maßstab des Niederdruckdiagrammes, also 24 mm, so oftmals auf der y -Achse ab, daß man den höchsten im Hochdruckzylinder auftretenden Dampfdruck noch in das Netz bekommt, und zieht durch die Teilpunkte Parallelen zur x -Achse. Die der letzteren zunächstliegende Parallele entspricht der Atmosphärenlinie der Original-

diagramme; sie ist mit AL bezeichnet, während die übrigen Parallelen die römischen Ziffern $I, II, III, \dots X$ tragen.

Die Länge l des Niederdruckdiagrammes ist $\frac{V}{v}$ mal zu vergrößern; sie wird also

$$\frac{V}{v} \cdot l = 3,28 \cdot 60 \text{ mm} = 196,8 \text{ mm}.$$

Der schädliche Raum des Niederdruckzylinders in bezug auf die neue Länge beträgt:

$$\frac{196,8}{100} \cdot 5 \text{ mm} = 9,84 \text{ mm}.$$

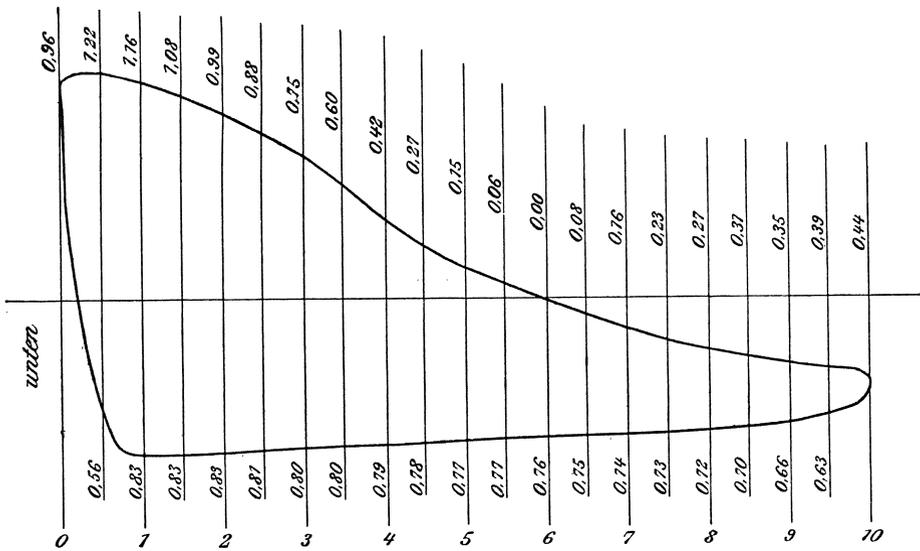


Abb. 301.

Man zieht daher auf beiden Seiten der y -Achse, von der Linie des absoluten Vakuums ausgehend, je eine Parallele zur y -Achse in dem Abstände von 9,84 mm von dieser. Auf der linken Seite des Liniennetzes ist diese Parallele mit O' bezeichnet.

Die rankinisierten Diagramme sind also um den Betrag der schädlichen Räume von der y -Achse abgerückt.

Nun trägt man von den Linien der schädlichen Räume aus die Diagrammlängen, also 60 mm für das Hochdruckdiagramm und 196,8 mm für das Niederdruckdiagramm, nach links und rechts abteilt jede Länge in 10 gleiche Teile und zieht durch die so erhaltenen Teilpunkte Parallelen zur y -Achse. Diese sind mit $1, 2, 3, \dots 10$ bzw. mit $1', 2', 3', \dots 10'$ bezeichnet.

Die Abstände der Horizontalen: abs. Vak., $AL, I, II, III, \dots X$ teilt man wieder in je 10 Unterteile und zieht die entsprechenden Parallelen zur x -Achse.

Die Originaldiagramme (Abb. 299 bis 302) teilt man ebenfalls in 10 oder besser in 20 gleiche Vertikalstreifen. Auf jede Teilungslinie, mit Ausnahme der ersten und letzten, fallen dann zwei Diagrammpunkte. Man bestimmt die diesen Punkten entsprechenden Dampfspannungen und schreibt dieselben auf die zugehörige Teillinie.

Es hat z. B. der Punkt *P* des Hochdruckdiagrammes (Abb. 299) einen Abstand von der Atmosphärenlinie = 39 mm, der entsprechende Druck ist also $\frac{3,9}{6} \text{ kg} = 6,5 \text{ kg}$.

Punkt *P* liegt auf der mit 3 bezeichneten vertikalen Teillinie des Originaldiagrammes.

Um seine Lage im Liniennetze zu finden, geht man auf der durch 3 gehenden Parallelen zur *y*-Achse von der Atmosphärenlinie *AL* aus $6\frac{5}{10}$ Teilstriche nach oben; also gerade auf den Halbierungspunkt

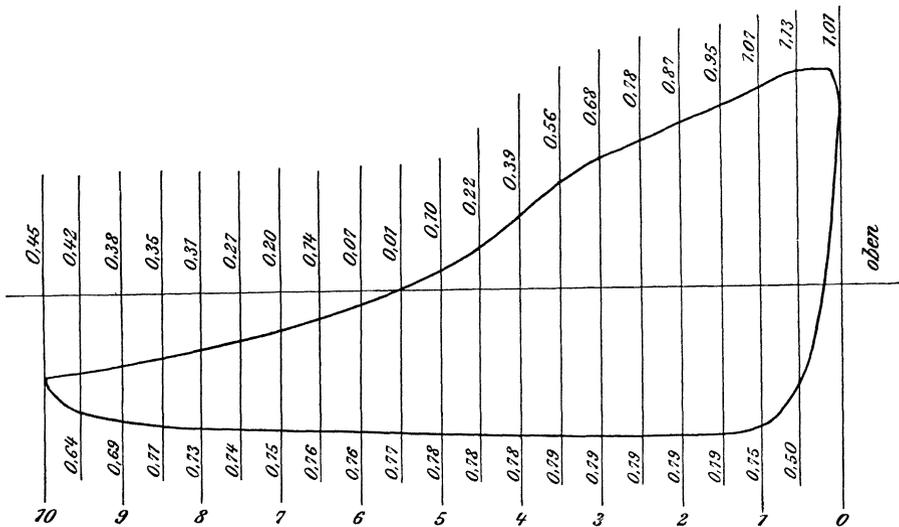


Abb. 302.

des Intervalles *VI*–*VII*, und erhält so den Punkt *P* des rankinisierten Diagrammes.

Genau so bestimmen sich die übrigen Punkte der Diagramme.

Legt man nun durch einen Punkt *a* der Expansionskurve des Hochdruckdiagrammes die gleichseitige Hyperbel, so ist die von dieser und den Koordinatenachsen eingeschlossene Fläche *F* ein Maß für die theoretische Arbeit, welche das in den Hochdruckzylinder eingetretene Dampfgewicht zu leisten imstande wäre, wenn alle Bedingungen der Theorie in Wirklichkeit umgesetzt werden könnten.

Die Summe $F_1 + F_2$ der Flächen der rankinisierten Diagramme gibt ein Maß für die wirklich geleistete Arbeit.

Das Verhältnis:

$$\frac{F_1 + F_2}{F}$$

heißt der Völligkeitsgrad.

In dem durchgeführten Beispiele ist:

$$\left. \begin{array}{l} F_1 = 3960 \text{ qmm} \\ F_2 = 4440 \text{ ,,} \\ F = 13450 \text{ ,,} \end{array} \right\} F_1 + F_2 = 8400 \text{ qmm ,}$$

also

$$\text{Völligkeitsgrad} = \frac{8400}{13450} = \mathbf{0,624} .$$

Der Völligkeitsgrad ist jedoch kein zuverlässiges Maß für die Ausnützung des Dampfes in der Maschine.

E. Leistungsversuche an Dampfturbinen.

Die Untersuchung einer Dampfturbine umfaßt folgende Arbeiten:

1. Messung der Belastung,
2. Messung des Dampfzustandes vor und am Austritt der Turbine und in den Zwischenstufen,
3. Messung des Dampfverbrauchs.

1. Messung der Belastung.

Diese erstrebt ganz allgemein als ideales Ziel bei Kraftmaschinen die Feststellung der Leistung, welche vom Betriebsstoff, dem Energieträger, auf das Arbeit aufnehmende Organ der Kraftmaschinen, also den Kolben bei Kolbenkraftmaschinen, das Schaufelrad bei Turbinen, übertragen wird, sowie die Feststellung derjenigen Leistung, welche an der Welle, dem Arbeit abgebenden Organ der Kraftmaschinen, vorhanden ist. Die erste Forderung ist nur bei den Kolbenkraftmaschinen erreichbar, welche dem Betriebsstoff die potentielle Energie abnehmen. Als Meßapparat für diese Leistung dient der Indikator. Es gibt jedoch keinen Meßapparat, welcher die Arbeit messen oder aufzeichnen kann, die in Form von kinetischer Energie vom Betriebsstoff an Schaufelräder abgegeben wird. Nach dem bei Kolbenkraftmaschinen verwendeten Meßapparat, dem Indikator, wird die auf den Kolben übertragene Leistung die „indizierte Leistung“ genannt. Sinngemäß muß daher — auch zum Vergleich — die auf das Schaufelrad übertragene Leistung dieselbe Benennung erhalten.

Die Messung der an der Welle abgebbaren Leistung, effektive Leistung oder Nutzleistung genannt, ist bei dem heutigen Stande der Meßtechnik bei beiden Gruppen der Kraftmaschinen durchführbar.

Messung der Nutzleistung. In den weitaus meisten Fällen sind Dampfturbinen unmittelbar mit elektrischen Maschinen gekuppelt, man bestimmt daher die elektrische Nutzleistung, d. h. die an den Hauptklemmen des Generators abgegebene elektrische Energie. Mit Rücksicht darauf werden von den Baufirmen die Dampfverbrauchszahlen für die Schalttafel-kW-Std. garantiert. Bei Leistungsversuchen wird die elektrische Energie vielfach in Wasser- oder Drahtwiderständen vernichtet.

Die an der Welle der Dampfturbine abgegebene Leistung kann ermittelt werden:

Mittelbar: Aus der elektrischen Nutzleistung. Hierzu muß der Gesamtwirkungsgrad η_g des Generators ermittelt werden. Bezeichnet N_g die Nutzleistung des Generators, so ergibt sich die an der Welle der Dampfturbine abgegebene effektive Leistung:

$$N_e = \frac{1}{\eta_g} \cdot N_g.$$

Unmittelbar: Durch Bremsung oder mittels Torsionsdynamometer. Infolge der hohen Umdrehungszahlen der Dampfturbinen wendet man zur Leistungsmessung besondere Bremsen an. In Abb. 210 ist eine Flüssigkeitsbremse dargestellt, wie sie in Laboratorien und auf Dampfturbinen-Prüfständen Verwendung findet. Abb. 211 zeigt eine elektrodynamische Leistungswage, wie sie von der Firma Dr. Max Levy gebaut wird.

Das Torsionsdynamometer, auch Torsionsindikator genannt, wird gleichfalls zur unmittelbaren Leistungsmessung angewendet. Im Gegensatz zu den Bremsen, welche die Leistung gleichzeitig vernichten, d. h. in Wärme oder elektrische Energie umsetzen, ist das Torsionsdynamometer lediglich ein Meßapparat. Zwischen die Welle der Dampfturbine und der von ihr angetriebenen Maschine eingebaut, ermöglicht der Apparat das von der Turbine abgegebene Drehmoment bzw. die Umfangskraft in bestimmtem Maße abzulesen oder aufzuzeichnen (Drehkraftdiagramm, siehe Abschnitt: Torsionsindikator).

Indizierte Leistung. Eine unmittelbare Messung derselben ist bei Dampfturbinen nicht möglich. Ihre Feststellung erfordert besondere Versuche und Rechnungen. Wie am Anfange dieses Abschnittes gesagt wurde, ist die Bezeichnung „indizierte Leistung“ von den Kolbenkraftmaschinen auf die Schaukelradkraftmaschinen übertragen worden. Es muß sich demnach diese Bezeichnung auf vergleichbare Begriffe beider Gruppen von Kraftmaschinen beziehen. Daher umfaßt die indizierte Leistung bei Turbinen die gesamte an die Schaufeln abgegebene Energie. Hierzu gehören außer der Nutzleistung sämtliche Verlustleistungen, wie Ventilations- und Radreibungsarbeit, Lagerreibungs-, Regler- und Ölpumpenarbeit usw. Vielfach wird die Ventilations- und Radreibungsarbeit, welche unter dem Gesamtbegriff Dampfreibungsarbeit zusammengefaßt werden kann, nicht zur indizierten Leistung gerechnet, sondern zu den hydraulischen Verlusten der Turbine. Im Hinblick auf den festliegenden übernommenen Begriff der indizierten Leistung ist dies nicht berechtigt. Es wird auch zur Bestreitung dieser Verlustarbeit Dampf verbraucht, welcher einen Teil des Arbeit an die Schaufeln abgebenden Dampfes (Arbeitsdampfes) bildet und daher auch in dem gemessenen Dampfverbrauch steckt. Es sind hauptsächlich Zweckmäßigkeitsgründe, die zu der verschiedenen Definition oder Auslegung des Begriffes der indizierten Leistung bei Dampfturbinen geführt haben, wobei unter diesen Begriff dann nur die Arbeiten fallen, deren Umsetzung in Dampfwärme unmöglich ist.

Die Dampfreibungsarbeit wird ja sofort wieder in Dampfwärme umgesetzt, so daß in mehrstufigen Turbinen den nachfolgenden Stufen die Dampfreibungswärme der Vorstufen teilweise zugute kommt. Vielfach ist es auch nicht möglich, die Größe der Dampfreibungsarbeit einwandfrei festzustellen.

In gewissem Umfange kann man sich ohne umständliche Versuche und Rechnungen ein Bild von der Größe der indizierten Leistung und der des indizierten Wirkungsgrades verschaffen. Hierzu muß der Dampfzustand vor dem 1. Leitrade und im Abdampfstutzen sowie der Dampfverbrauch gemessen werden. Voraussetzung ist, daß der Dampf im Abdampfstutzen noch überhitzt ist. Mit den Werten p_1 und t_1 für

Druck und Temperatur kann der Wärmeinhalt i_1 vor dem 1. Leitrade, mit p_2 und t_2 der Wärmeinhalt i_2 im Abdampfstutzen sowie auch i_2 derjenigen der verlustlosen adiabatischen Expansion entsprechende aus der Molliertafel oder durch Rechnung ermittelt werden (siehe Abb. 303). Nehmen wir an, daß die vor dem 1. Leitrade vorhandene Zuflußenergie gleich der Abflußenergie im Abdampfstutzen ist, so daß diese Beträge einander aufheben, so wird i_2 um das Maß der für 1 kg Dampf beim Durchgang durch die Dampfturbine ausgestrahlten Wärme geringer sein, der

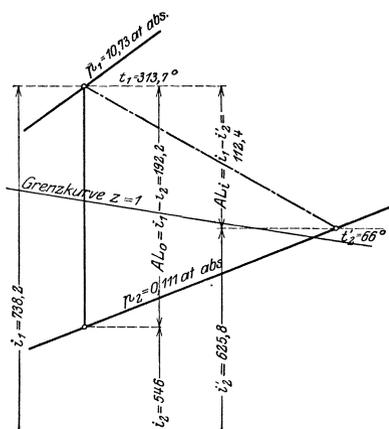


Abb. 303.

Wert $i_1 - i_2$ wird diese also einschließen. Da ferner die Dampfreibungsarbeit sich sofort wieder in Dampfwärme umsetzt, wird i_2 in gleichwertigem Maße vergrößert, in $i_1 - i_2$ ist also die Dampfreibungsarbeit nicht mehr enthalten. Es werde daher mit Rücksicht hierauf mit:

$$AL_{i_0} = i_1 - i_2' \text{ WE/kg}$$

die von 1 kg Dampf an die Schaufeln übertragene Leistung bezeichnet (mit Einschluß der Wärmestrahlung), soweit sie nicht mehr in Dampfwärme umgesetzt werden kann. Hierin bedeutet L_{i_0} den Arbeitswert in mkg/kg, $A = \frac{1}{4} \frac{1}{2} \tau$ WE/mkg das mechanische Wärmeäquivalent. Durchströmen in der Stunde G kg Dampf die Turbine unter Abgabe von Arbeit an die Schaufeln, so erhält man die indizierte Leistung in bekannter Weise aus der Beziehung:

$$N_{in} \cdot \frac{75 \cdot 3600}{427} = (i_1 - i_2') \cdot G$$

$$N_{in} = \frac{(i_1 - i_2') \cdot G}{632,3} \text{ PS.}$$

N_{in} wird als Bezeichnung für die so ermittelte indizierte Leistung gewählt, weil es sich um einen Näherungswert handelt. Er umfaßt

im gemessenen Dampfgewicht G den Einfluß der Dampfreibungsarbeit und den der Wärmestrahlung, im gemessenen Wärmegefälle ($i_1 - i_2'$) dagegen nur die Wärmestrahlung, die Dampfreibungsarbeit aber nicht. Der Betrag der Wärmestrahlung erscheint also in seinem vollen Umfange.

Der indizierte Wirkungsgrad ist das Verhältnis der indizierten Leistung AL_i zur theoretischen Leistung $AL_0 = i_1 - i_2$ bei adiabatischer Expansion vom Anfangszustande p_1, t_1 vor dem 1. Leitrade auf den Enddruck p_2 im Abdampfstutzen (richtiger Kondensator-
druck). Unter Benutzung der aus den Dampfzuständen ermittelten Werte setzen wir für den indizierten Wirkungsgrad ohne Einschluß der Dampfreibungsarbeit:

$$\eta_{i_0} = \frac{L_{i_0}}{L_0} = \frac{i_2 - i_2'}{i_1 - i_2}$$

In den folgenden zwei Beispielen werden nach diesen Formeln N_{i_n} und η_{i_0} rechnerisch ermittelt, die dazu notwendigen Versuchswerte sind den angezogenen Abhandlungen entnommen und beziehen sich auf die normale Belastung der Maschinen. Es wurden diese Versuchsergebnisse zugrunde gelegt, weil sie einen Vergleich ermöglichen mit entsprechenden Werten, die durch besondere Versuche ermittelt wurden.

1) A. E. G.-Curtis-Turbine 200 kW.

2 Druckstufen mit je 2 Geschwindigkeitsstufen.

(Z. ges. Turbw. 1911, Untersuchung einer 200-kW-A. E. G.-Turbine. Versuch Nr. 9.)

Dem Versuchsbericht entnommen	{	$p_1 = 10,73$ at abs. $t_1 = 313,7^\circ$ C vor dem 1. Leitrade (gemessen);
		$p_2 = 0,111$ at abs. $t_2' = 66^\circ$ C Austritt Turbine (gemessen).
		Stündliche Gesamtdampfmenge = 1672 kg (gemessen).
		Stündliche Arbeitsdampfmenge = 1595 kg (durch Versuch ermittelt).
		Indizierte Leistung:
		a) Mit Einschluß der Dampfreibungsarbeit: $N_i = 279,1$ PS (durch Versuch ermittelt),
		b) ohne Einschluß der Dampfreibungsarbeit: $N_{i_0} = 271,5$ PS (durch Versuch ermittelt).
		$\eta_{i_0} = 0,534$ Indizierte Leistung N_{i_0} bezogen auf die theoretische Leistung der Gesamtdampfmenge und den Dampfzustand vor dem 1. Leitrade.
		$\eta_{i_0} = 0,570$ Indizierte Leistung N_{i_0} bezogen auf die theoretische Leistung der Arbeitsdampfmenge und den Dampfzustand vor dem 1. Leitrade.
		$\eta_i = 0,586$ Indizierte Leistung N_i bezogen auf die theoretische Leistung der Arbeitsdampfmenge und den Dampfzustand vor dem 1. Leitrade.

$i_1 = 738,2$ WE/kg Wärmeinhalt vor 1. Leitrade (gemessen);

$i_2' = 625,8$ WE/kg Wärmeinhalt Austritt Turbine (gemessen);

$i_2 = 546,0$ WE/kg Wärmeinhalt Austritt Turbine bei verlustloser adiabatischer Expansion;

$i_1 - i_2 = 112,4$ WE/kg; $i_1 - i_2 = 192,2$ WE/kg .

$$N_{i_n} = \frac{(i_2 - i_2') \cdot G}{632,3} \text{ PS};$$

$$1. N_{i_n} = \frac{112,4 \cdot 1672}{632,2} = 297,2 \text{ PS (Gesamtdampfmenge)};$$

$$2. N_{i_n} = \frac{112,4 \cdot 1595}{632,3} = 283,5 \text{ PS (Arbeitsdampfmenge)};$$

$$3. \eta_{i_0} = \frac{i_1 - i_2'}{i_1 - i_2} = \frac{112,4}{192,2} = 0,585 \text{ (aus den Dampfzuständen).}$$

Unterschied gegenüber den durch Versuch ermittelten Werten:

$$\text{Zu 1: a) } \frac{297,2 - 279,1}{279,1} \cdot 100 = 6,4\%;$$

$$\text{b) } \frac{297,2 - 271,5}{271,5} \cdot 100 = 9,5\% .$$

$$\text{Zu 2: a) } \frac{283,5 - 279,1}{279,1} \cdot 100 = 1,6\%;$$

$$\text{b) } \frac{283,5 - 271,5}{271,5} \cdot 100 = 4,4\% .$$

$$\text{Zu 3: } \frac{0,585 - 0,570}{0,570} \cdot 100 = 2,6\% .$$

2) Parsons-Turbine 300 kW.

65 Stufen.

(Z. ges. Turbw. 1909. Untersuchung einer 300-kW-Parsons-Turbine von Gensecke. Versuch Nr. 20.)

Dem Versuchsbericht entnommen

{	$p_1 = 7,89 \text{ at abs. } t_1 = 294^\circ \text{ C vor dem 1. Leitrade (gemessen);}$
	$p_2 = 0,096 \text{ at abs. } t_2' = 64,2^\circ \text{ C Austritt Turbine (gemessen).}$
	Stündliche Gesamtdampfmenge = 3135 kg (gemessen).
	Stündliche Arbeitsdampfmenge = 2834 kg (durch Versuch ermittelt).
	Indizierte Leistung:
	ohne Einschluß der Dampfreibungsarbeit: $N_{i_0} = 446,7 \text{ PS (durch Versuch ermittelt).}$
	$\eta_{i_0} = 0,496$ Indizierte Leistung N_{i_0} bezogen auf die theoretische Leistung der Gesamtdampfmenge und den Dampfzustand vor dem 1. Leitrade.
	$\eta_{i_0} = 0,549$ Indizierte Leistung N_{i_0} bezogen auf die theoretische Leistung der Arbeitsdampfmenge und den Dampfzustand vor dem 1. Leitrade.

$i_1 = 729,5 \text{ WE/kg}$ Wärmeinhalt vor dem 1. Leitrade;

$i_2' = 625,8 \text{ WE/kg}$ Wärmeinhalt Austritt Turbine;

$i_2 = 547,2 \text{ WE/kg}$ Wärmeinhalt Austritt Turbine bei verlustloser adiabatischer Expansion;

$i_1 - i_2' = 104,6 \text{ WE/kg}; i_1 - i_2 = 182,3 \text{ WE/kg.}$

$$N_{in} = \frac{(i_1 - i_2') \cdot G}{632,3} \text{ PS};$$

1. $N_{in} = \frac{104,6 \cdot 3135}{632,2} = 518,6 \text{ PS (Gesamtdampfmenge);}$
2. $N_{in} = \frac{104,6 \cdot 2834}{532,2} = 468,8 \text{ PS (Arbeitsdampfmenge);}$
3. $\eta_{i_0} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_2'} = \frac{104,6}{182,3} = 0,574.$

Unterschied gegenüber den durch Versuch ermittelten Werten:

$$\text{Zu 1: } \frac{518,6 - 446,7}{446,7} \cdot 100 = 16\%.$$

$$\text{Zu 2: } \frac{468,8 - 446,7}{446,7} \cdot 100 = 4,9\%.$$

$$\text{Zu 3: } \frac{0,574 - 0,549}{0,549} \cdot 100 = 4,5\%.$$

Der Vergleich der Werte N_{in} , die mit der Arbeitsdampfmenge berechnet wurden, mit den durch Versuch ermittelten N_{i_0} , zeigt, daß letztere Werte etwa 4÷5% kleiner sind als N_{in} . Der Unterschied setzt sich zusammen aus der gesamten Wärmestrahlung, die in N_{in} zum Ausdruck kommt und einen Teil der Dampfreibungsarbeit. — Im 1. Beispiel zeigt der Vergleich von $N_{in} = 283,5 \text{ PS}$ mit dem vorhandenen $N_i = 279,1 \text{ PS}$ einen Unterschied von 1,6%, der den größten Teil der Wärmestrahlung einschließt.

Vergleichen wir die mit der Gesamtdampfmenge ermittelten N_{in} mit den N_{i_0} , so ergeben sich Unterschiede von 9,5% und 16%. Diese Unterschiede sind eine Folge der in die Rechnung einbezogenen Verlustdampfmenngen, welche 4,5% und 9,5% des Gesamtdampfverbrauchs betragen. Diese relativ hohen Zahlen gelten für kleine Einheiten, wie sie 200 kW und 300 kW bei Dampfturbinen darstellen, und werden bei größeren Einheiten prozentual geringer ausfallen. Besonders ungünstig stellt sich die Verlustdampfmenge mit fast 10% bei kleinen Parsons-Turbinen infolge der Ausgleichkolbendampfverluste. — Im 1. Beispiel kann wieder die indizierte Leistung $N_i = 279,1 \text{ PS}$ dem Werte $N_{in} = 297,2 \text{ PS}$ gegenübergestellt werden, der Unterschied beträgt 6,4%. Dieser Betrag umfaßt Wärmestrahlung und Einfluß der Verlustdampfmenge (mit der Einschränkung, daß in N_{in} nicht die gesamte Dampfreibungsarbeit zum Ausdruck kommt) und dürfte bei größeren Turbinen kleiner werden. — Für Beispiel 2 liegt der Versuchswert N_i nicht vor, so daß ein Vergleich mit N_{in} nicht möglich ist, es dürfte sich sonst der Unterschied von 16% etwas ermäßigen.

Die indizierten Wirkungsgrade zeigen, verglichen mit den aus den gemessenen Dampfzuständen ermittelten, in vorliegenden Beispielen eine Annäherung von etwa 2,5÷4,5%. Der Unterschied ist bedingt

durch Wärmestrahlung und ein Fehlerglied, welches bei dem größeren Werte etwa 2% beträgt und etwa der Dampfreibungsarbeit entspricht. — Im 1. Beispiele ist die gute Übereinstimmung des Wertes $\eta_i = 0,586$ (durch Versuch ermittelt) mit dem aus den Dampfzuständen errechneten $\eta_i = 0,585$ eine mehr zufällige. In η_i ist die Dampfreibungsarbeit enthalten, die Wärmestrahlung nicht; in $\eta_{i_0} = 0,58$ ist dagegen nur die Wärmestrahlung enthalten. Dasselbe zeigt sich beim Versuch der Wirkungsgrade verschiedener Belastungen.

Die vorhergehende Untersuchung zeigt, daß man unter Benutzung der Formel für N_{i_n} zu einer befriedigenden Annäherung an die indizierte Leistung N_i nur kommen kann, wenn man die Arbeitsdampfmenge ermittelt. Der so berechnete Wert ist dann annähernd um den Betrag der Wärmestrahlung zu groß, und zwar nach bisherigen Veröffentlichungen um etwa $1,5 \div 2,5\%$, bezogen auf den berechneten Wert N_{i_n} . — Wird die Gesamtdampfmenge zur Berechnung von N_{i_n} benutzt, so ergeben sich Fehler von 6,4% und 16%, wie Beispiel 1 und 2 zeigen. Der letzte Wert bezieht sich jedoch auf eine reine Parsons-Turbine geringer Größe, bei welcher die Verlustdampfmenge infolge der Ausgleichkolben im Verhältnis zur Arbeitsdampfmenge recht hoch ist. Solche Maschinen werden heute nicht mehr gebaut. Es liegt also die Fehlergröße neuzeitlicher Maschinen in der Nähe der kleineren Zahl, wird sie vielleicht unterschreiten. Über genauere Werte müßten noch Versuche entscheiden. — Gut brauchbar ist jedenfalls die Formel zur näherungsweise Berechnung des Wertes η_{i_0} .

2. Messung des Dampfzustandes vor und am Austritt der Turbine und in den Zwischenstufen.

Im allgemeinen wird sich eine betriebsmäßige Untersuchung von Dampfturbinen auf die Messung von Druck und Temperatur vor und hinter dem Regulierventil und hinter dem letzten Laufrade bzw. im Abdampfstutzen beschränken. Da, wo Meßstellen dazu angebracht sind, wird man diese Messungen auch auf etwa vorhandene Zwischenstufen der Turbine ausdehnen.

Die Messung von Drücken über Atmosphärenspannung erfolgt mit Federmanometern oder Indikatoren. Erstere werden entweder durch direkten Vergleich mit Quecksilbersäulen geeicht oder mit denselben Einrichtungen, die man zur Eichung der Indikatoren verwendet (siehe Kapitel: Prüfung der Indikatorfedern). Druck unter Atmosphärenspannung — Vakuum — mißt man mit Quecksilber- oder Federinstrumenten — Vakuummeter genannt —, man kann jedoch auch Indikatoren verwenden. Dabei ist zu beachten, daß diese Instrumente in der Regel den Druckunterschied gegenüber dem Druck der umgebenden Luft anzeigen. Zur Feststellung des absoluten Druckes ist gleichzeitige Ablesung des Barometerstandes nötig. Oft wendet man aber auch zum Messen von Unterdruck ein abgekürztes Quecksilberbarometer an, dieses zeigt dann, ebenso wie das Barometer selbst, den

absoluten Druck an. Die Druckmessungen am Quecksilberinstrument sind auf 0° umzurechnen, da bei nur 0° $1 \text{ kg/qcm} = 735,51 \text{ mm}$ Quecksilbersäule beträgt, bzw. $1,033 \text{ kg/qcm} = 760 \text{ mm}$ (siehe Kapitel: Fadenberichtigung).

Die Temperaturmessung (siehe Kapitel: Temperaturmessungen) erfordert ganz besondere Sorgfalt hinsichtlich der Wahl der Meßstelle, wenn es sich um Messung von Heißdampftemperaturen handelt, oder auch von Gasen. Beim Heißdampf besteht bekanntlich nicht, wie beim Sattedampf, eine feste Beziehung zwischen Druck und Temperatur. Es kann in einem Raume von bestimmtem gleichbleibenden Druck Heißdampf von verschiedener Temperatur bestehen. Der Überhitzer kann hierfür als Beispiel gelten. Umgekehrt kann auch, wenn es die räumlichen Verhältnisse erlauben, die Abkühlung des Heißdampfes an verschiedenen Stellen in verschiedenem Maße vor sich gehen. Befinden sich z. B. in einer Dampfleitung Stellen, tote Winkel, die nicht im eigentlichen Hauptdampfstrom liegen, so kann der darin stehende Dampf eine stärkere Abkühlung erfahren, weil er nicht genügend rasch erneuert wird. Man muß vermeiden, Meßstellen in solche tote Winkel zu legen und man darf dieselben nur in dem Hauptdampfstrom anordnen, um die mittlere Dampftemperatur mit Sicherheit zu messen. Eine selbstverständliche Forderung ist, daß der Meßstutzen so weit ins Dampfrohr hineinragt, daß die Quecksilberkugel des Thermometers in der Mitte des Dampfstromes sitzt (Abb. 77). Bei Verwendung von Thermoelementen gilt diese Forderung für die Lötstelle (siehe Kapitel: Elektrische Pyrometer), hier wird man auch die Lötstelle ohne Schutzkappe anwenden. Wird die Temperaturmessung mittels Quecksilberthermometer vorgenommen, so muß das aus dem Meßstutzen herausragende Stück des Quecksilberfadens, dessen Temperatur man am zweckmäßigsten durch ein daneben aufgehängtes Thermometer mißt, auf die Dampftemperatur umgerechnet werden. Denn die Heißdampfthermometer sind, abgesehen davon, wenn es an ihnen besonders vermerkt ist, in der Weise geeicht, daß jeweils der ganze Faden die Eichtemperatur besitzt.

Wie groß der Unterschied der Dampftemperaturen infolge fehlerhaft angeordneter Meßstellen werden kann, darüber berichtet W. Gensecke in der Z. f. d. ges. Turbw. 1909, S. 6 (Untersuchung einer 300-kW-Parons-Turbine). An dem von der Baufirma der dort untersuchten Dampfturbine am Ventilgehäuse angebrachten Meßstutzen wurde die Temperatur des Eintrittsdampfes um etwa 25° zu niedrig gemessen gegenüber der tatsächlichen Frischdampftemperatur in der Zudampfleitung, weil der Meßstutzen an einer Stelle ins Gehäuse ragt, die einen toten Winkel darstellt. Der an dieser Stelle befindliche Dampf wird anscheinend vom Hauptdampfstrom nicht in dem Maße erneuert, wie er zuströmt und kühlt daher ab. Praktisch genommen würde also eine betriebsmäßige Untersuchung der Turbine hinsichtlich des Dampfverbrauches (z. B. ein Garantiever such) ein falsches Bild ergeben, falls die Beobachtungen der Temperatur an diesem sozusagen offiziellen Meßstutzen der Feststellung des Dampfzustandes vor der Turbine zu-

grundegelegt würden. Es ergäbe sich im angeführten Falle unter gleichen Temperaturverhältnissen ein um $3 \div 4\%$ günstiger erscheinender Dampfverbrauch, als den tatsächlichen Verhältnissen entspricht. Allerdings darf angenommen werden, daß derart große Temperaturunterschiede bei größeren Turbineneinheiten gleicher Bauart infolge gedrängterer Konstruktion der Ventilgehäuse nicht auftreten.

Auf ähnliche, durch unsachgemäße Anbringung einer Meßstelle, hervorgerufenen Verhältnisse wird in der Z. f. d. ges. Turbw. 1911, S. 36 (Untersuchung einer 200-kW-A. E. G.-Turbine) von M. Riepe (Verfasser des angezogenen Berichtes) hingewiesen. Es dient dort die Meßstelle zur Feststellung der Dampftemperatur hinter der 1. Druckstufe einer 2stufigen Curtis-Turbine; sie sitzt jedoch anscheinend nicht im Hauptdampfstrom, der von der Beaufschlagungsstelle des 1. Laufrades zum Leitrade der 2. Stufe führt. Hier würden Temperaturmessungen im Verwendungsfalle zu einem falschen Bilde der Arbeitsverteilung des Dampfes in der Turbine führen.

Die Temperaturmessung im Abdampfstutzen ermöglicht die genaue Ermittlung des Wärmeinhaltes des aus der Turbine abströmenden Dampfes, falls dieser noch überhitzt ist. Im andern Falle kann die Temperaturmessung zur Feststellung des Anteils dienen, den der Dampfdruck an dem mittels Vakuummeter gemessenen Gesamtdruck an der Meßstelle hat. Der Unterschied beider Drücke ist der Anteil des Luftdruckes.

Temperaturmessungen an Stellen, wo größere Dampfgeschwindigkeiten auftreten, ergeben in der Regel falsche, d. h. zu große Werte. Am Thermometer stößt und reibt sich der strömende Dampf, es findet ein Umsatz von Strömungsenergie in Dampfwärme statt. Dieser Betrag tritt bei der Temperaturmessung in Erscheinung, was sich durch Berechnung des Wärmeinhaltes aus den Messungen nachprüfen läßt. Strenggenommen kann man die Temperatur eines Dampfstromes, bzw. ganz allgemein einer strömenden elastischen Flüssigkeit nur mit einem Thermometer messen, welches sich, in seiner gesamten Ausdehnung im Dampfstrom schwimmend, mit derselben Geschwindigkeit bewegt, die der Dampfstrom besitzt. Nur in diesem Falle würde man nämlich die Strömungsenergie des Dampfes nicht mitmessen, weil sie nicht infolge von Dampfstoß und Reibung in Dampfwärme zurückverwandelt werden könnte. Da eine solche Temperaturmessung praktisch unmöglich ist, wird man beim strömenden Dampf die Geschwindigkeit als Strömungsenergie stets mitmessen. Je nach der absoluten Größe der Geschwindigkeit wird dies mehr oder weniger störend in die Erscheinung treten, und daher müssen Temperaturmessungen in strömenden Dämpfen oder Gasen stets mit Rücksicht hierauf bewertet werden.

3. Messung des Dampfverbrauchs.

Die Feststellung des Dampfverbrauchs erfolgt entweder durch Messung des verbrauchten Kesselspeisewassers oder des Kondensats, falls die Dampfturbine mit Oberflächenkondensation

arbeitet. Im ersten Falle gelten für die Speisewassermessung alle für Versuche und Versuchsdauer an Kesseln üblichen Regeln. Ermöglicht dagegen Oberflächenkondensation die Messung des Kondensates, so kann man dasselbe entweder wiegen oder in geeichten Behältern auffangen. Bei Messung mit geeichten Gefäßen muß man die Kondensatmenge auf die Eichtemperatur des Meßgefäßes umrechnen, um ihr Gewicht zu ermitteln (siehe Eichung des Speisewasserbehälters S. 342). Bei Kondensatmessung muß dem eigentlichen Dampfverbrauchsversuch eine Untersuchung des Kondensators auf etwaige Undichtheit vorangehen. Man läßt bei abgestellter Turbine die gesamte Kondensationsanlage laufen. Die nach eingetretenem Beharrungszustand von der Kondensatpumpe stündlich geförderte Wassermenge stellt das durch Undichtheit des Kondensators aus dem Kühlwasserraum eingedrungene Wasser dar. Dieser Betrag ist beim Hauptversuch von der gemessenen Kondensatmenge abzuziehen, um das niedergeschlagene Dampfgewicht zu erhalten.

Als Versuchsdauer genügt für Dampfverbrauchsversuche mit Kondensatmessung 1 Stunde vollständig, wenn der Beharrungszustand ein guter ist.

4. Ausgeführte Leistungsversuche an Dampfturbinen.

Für das Verhalten der Dampfturbinen bei verschiedenen Belastungs- und Betriebsverhältnissen haben folgende Beziehungen angenähert Gültigkeit und bieten daher ein gutes Hilfsmittel zur Beurteilung ausgeführter Versuche:

1. Das durch die Dampfturbine stündlich hindurchströmende Dampfgewicht ist proportional dem absoluten Dampfdruck vor dem ersten Leitrade.

2. Das durch den Raum zwischen dem Regulierventil und dem ersten Leitrade stündlich hindurchfließende Dampfvolumen ist bei allen Belastungsverhältnissen konstant.

Diese beiden Sätze gelten nur für die von der Turbine aufgenommene Dampfmenge, ohne die Hilfsdampfmenge, die ihren Weg nicht durch das Drosselventil nehmen, wie z. B. Stopfbüchensperrdampf. Irgendwelche Veränderung der Querschnitte darf bei Belastungsänderungen nicht vorgenommen werden, etwa durch Veränderung der Düsenzahl oder durch Zuschalten von Überlastungsventilen. Gleichgültig ist es dagegen, ob die Turbine sich dreht oder festgebremst ist. Diese Tatsache benutzt man, um bei Schiffsdampfturbinen oder solchen Turbinen, die von der bauenden Fabrik ohne Generator geliefert werden, auf dem Prüfstande die Dampfverbrauchskurven festzustellen. Die Gültigkeit beider Sätze besteht so lange, als der absolute Druck am Austritt der Turbine den kritischen Gegendruck nicht überschreitet.

Leistungsversuch an einer 300 kW-Parsonsturbine. (Z. f. d. ges. Turbw. 1909, Untersuchung einer 300-kW-Parsonsturbine von W. Gensecke.)

Die Regulierung der Turbine ist eine reine Drosselregulierung.

Nummer des Versuchs	20	21	22	17
Drehzahl in der Minute	2380	2380	2380	2380
Elektrische Nutzleistung kW	294,5	200,0	99,8	nicht erregt.
Dampfdruck:				
Vor Regulierventil p kg/qcm abs.	12,08	12,43	12,53	12,80
„ 1. Leitrad p_1 „ „	7,89	5,90	3,53	0,804
Austritt Turbine p_2 „ „	0,096	0,095	0,096	0,096
Dampf Temperatur:				
Vor Regulierventil t °C	298	301	298	—
„ 1. Leitrad t_1 °C	294	293,5	286	261
Austritt Turbine t_2 °C	64,2	76,6	91,9	114
Spezifisches Dampf volumen:				
Vor 1. Leitrad v_1 cbm/kg	0,332	0,446	0,738	3,115
Stündliche Dampfmenge:				
Gesamtdampfmenge kg/St.	3135	2320	1480	429
Arbeitsdampfmenge „	2834	2075	1284	287
Stündlicher Dampfverbrauch:				
Gesamtverbrauch für 1 KW „	10,64	11,60	14,83	∞
Stündliches Dampf volumen bezogen auf:				
Gesamtdampfmenge vor 1. Leitrad . . cbm/St.	1043	1035	1093	1337
Arbeitsdampfmenge vor 1. Leitrad . . „	940	926	947	894

Die in vorstehender Zahlentafel zusammengestellten Versuche umfassen eine Reihe von Dampfverbrauchsversuchen, die bei annähernd gleichbleibendem Dampfzustande vor der Turbine, 12 at abs. Druck und 300° Dampf Temperatur, sowie gleichbleibendem Druck von etwa

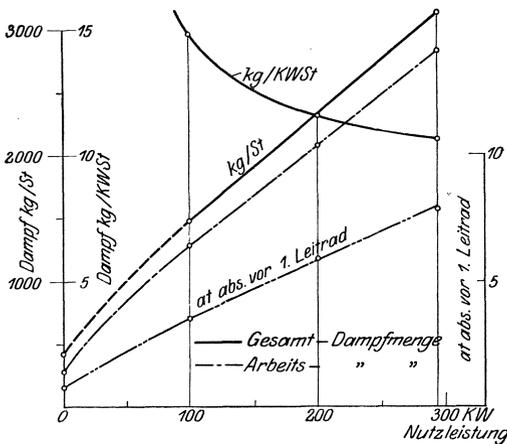


Abb. 304.

0,1 at abs. am Austritt der Turbine, mit wechselnder Belastung durchgeführt wurden. Die Versuchsverhältnisse entsprechen denen eines normalen Betriebes, und es wurden die Versuche als Beispiel gewählt, weil sie auch die Arbeitsdampf mengen enthalten.

Um ein anschauliches Bild vom Verhalten der Turbine bei verschiedenen Belastungen zu bekommen, trägt man auf der wage-rechten Achse eines recht-winkligen Achsenkreuzes die Belastungen auf und auf der senkrechten die entsprechenden Werte der gemessenen Gesamt- und Arbeitsdampf mengen sowie die daraus berechneten Dampf-verbrauchszahlen für die Nutz-kW-Stunde (Abb. 304). Dieser letzte Wert wurde nur auf die Gesamtdampfmenge bezogen. Außerdem wurde der bei der betreffenden Belastung vor dem 1. Leitrade gemessene

absolute Dampfdruck eingetragen. Verbindet man die so eingezeichneten Punkte gleicher Bedeutung durch Linienzüge, so stellen diese Kurven dar, die ein Gesamtbild vom Verhalten der Maschine unter bestimmten Betriebsverhältnissen geben. Man kann mit ihrer Hilfe für jede Zwischenbelastung die Dampfverbrauchszahlen, sowie den Dampfdruck, der sich vor dem 1. Leitrad einstellen wird, für den gleichen Dampfzustand vor der Turbine ermitteln. Die Kurven der stündlichen Dampfmen- gen zeigen annähernd geradlinigen Verlauf. Daß dieser im unteren Teile

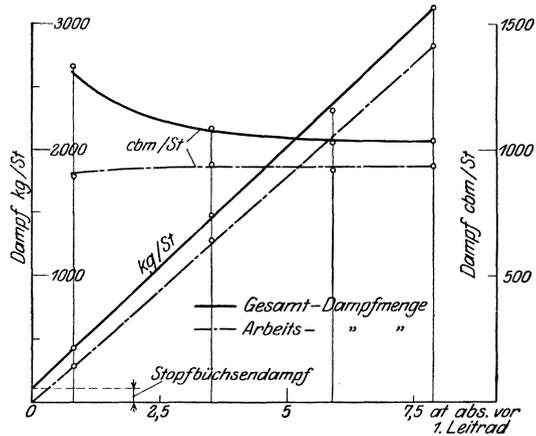


Abb. 305.

etwas mehr von der Geraden abweicht, rührt daher, daß der vorliegende Leerlaufversuch bei nicht erregter Maschine, statt bei normal erregter, ausgeführt wurde. Es ist daher der untere Teil der Gesamtdampfver-

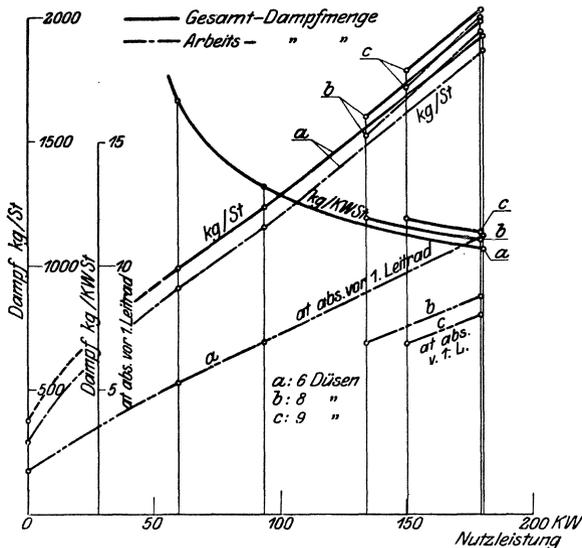


Abb. 306.

brauchskurve gestrichelt gezeichnet. Aus der Kurve des spezifischen Dampfverbrauchs ersieht man, daß bei geringer Belastung die Maschine sehr unwirtschaftlich arbeitet. Im 2. Kurvenbilde (Abb. 305) sind auf

der wagerechten Achse die absoluten Drücke vor 1. Leitrad aufgetragen und senkrecht dazu die zugehörigen Werte für stündliches Dampfgewicht und -volumen. Wie der Verlauf der Kurven zeigt, kommen hier die im 1. und 2. Satze ausgesprochenen Beziehungen für die Arbeitsdampfmen gen gut zum Ausdruck, nicht aber für die Gesamtdampfmen gen.

Leistungsversuch an einer 200 kW-A. E. G.-Turbine. (Z. f. d. ges. Turbw. 1911, Untersuchung einer 200-kW-A. E. G.-Turbine. Mitteilung aus dem Maschinenbau-Laboratorium der Techn. Hochschule Charlottenburg.)

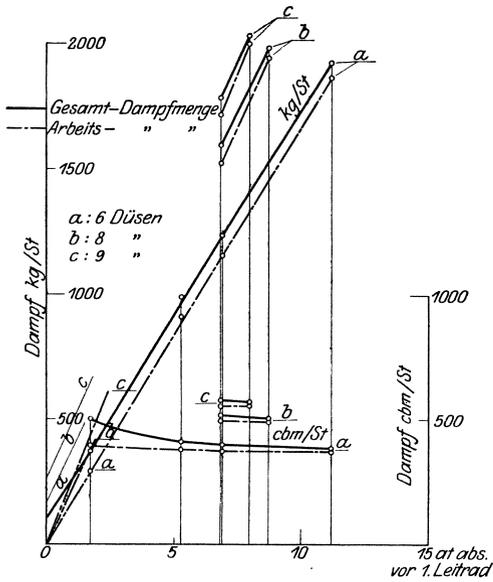


Abb. 307.

Die Zahlentafel S. 385 enthält die Versuchsergebnisse, die an einer Turbine einer anderen Bauart gewonnen wurden. Die Turbine arbeitet mit 2 Druckstufen, jede Stufe mit 2 Geschwindigkeitsstufen. Es wurde dieses Beispiel einmal aus diesem Grunde als Gegenstück zum ersten gewählt, ferner weil auch die Werte für die Arbeitsdampfmen gen vorliegen.

Diese Turbine teilt, wie ein Vergleich der spezifischen Dampfverbrauchszahlen zeigt, eine bei derartig kleinen Leistungen wirtschaftlicher arbeitende Maschine dar. Gleichzeitig kann sie als ein Vorläufer für Turbinen mit kombinierter Regulierung (Füllungs-

regulierung mit teilweiser Drosselregulierung) angesehen werden. Sie arbeitet normal mit 6 Düsen und Drosselregulierung. Es sind jedoch außerdem 2 Düsengruppen von 2 und 3 Düsen als Überlastungsdüsen vorhanden, die von Hand zugeschaltet werden können. Dem angezogenen Versuchsbericht wurden 8 Versuche entnommen, die, normalen Betriebsverhältnissen entsprechend, bei gleichem Anfangszustande des Dampfes sowie gleichbleibendem Kondensatordruck mit veränderlicher Belastung durchgeführt wurden. Die Zahl der arbeitenden Düsen war hierbei verschieden, so daß sich 3 Versuchsgruppen *a*, *b* und *c* ergeben. Die Zusammenstellung der Versuchsergebnisse in Kurvenform zeigen die Abb. 306 und 307. Es ergeben sich 3 Kurvenscharen *a*, *b* und *c* von gleichem Charakter. Das im ersten Beispiel über ihren Verlauf Gesagte trifft auch für sie zu. Das Bild, welches die Kurven *a*, *b*, *c* zeigen, ist, allerdings nur in unvollkommener Form, dasjenige einer Dampfturbine mit kombinierter Regulierung. Bei Tur-

binen, die mit einer derartigen Regulierung ausgestattet sind, fallen die Dampfverbrauchszahlen bei geringeren Teilbelastungen günstiger aus als die mit reiner Drosselregulierung erzielten.

Versuchsgruppe	a				b		c	
	6				8		9	
Anzahl der geöffneten Düsen	6				8		9	
Nummer des Versuchs	27	26	7	8	28	25	29	24
Drehzahl in der Minute	2792	2793	2795	2795	2796	2794	2795	2794
Elektrische Nutzleistung . . . kW	180,2	93,8	59,9	nicht erregt.	179,3	134,3	179,1	150,1
Dampfdruck:								
Vor-Regulierventil p kg/qcm abs.	12,40	12,46	12,59	12,56	12,53	12,21	12,28	12,07
„ 1. Leitrad p_1 „ „	11,20	6,91	5,28	1,71	8,75	6,89	8,01	6,89
Austritt Turbine p_2 „ „	0,104	0,114	0,107	0,104	0,104	0,103	0,104	0,105
Dampftemperatur:								
Vor Regulierventil t °C	225,4	228,5	221,5	239,8	225,0	227,7	227,4	227,1
„ 1. Leitrad t_1 °C	221,8	215,8	204,2	213,6	216,1	215,7	217,6	215,2
Austritt Turbine t_2 °C	47	48,4	47,8	83,3	46,9	46,4	47,2	47,0
Spezifisches Dampfvolumen:								
Vor 1. Leitrad v_1 . . . cbm/kg .	0,198	0,323	0,414	1,327	0,253	0,324	0,278	0,321
Stündliche Dampfmenge:								
Gesamtdampfmenge . . . kg/St.	1925	1236	991	377	1987	1599	2032	1788
Arbeitsdampfmenge . . . „	1866	1155	910	292	1946	1523	2000	1717
Stündlicher Dampfverbrauch:								
Gesamtdampfverbrauch für 1 kW kg/St.	10,68	13,18	16,66	∞	11,09	11,91	11,34	11,90
Stündliches Dampfvolumen bezogen auf:								
Gesamtdampfmenge vor 1. Leitrad cbm/St.	381,7	398,9	410,4	500,4	502,7	517,4	565,3	574,4
Arbeitsdampfmenge vor 1. Leitrad „	370,0	372,7	376,8	387,6	492,3	492,8	556,4	551,6

IV. Messung von strömenden Dampf-, Luft- und Gasmengen.

Bei den großen, hier in Betracht kommenden Mengen und teilweise hohen Drücken ist es nicht möglich, unmittelbare Messungen, wie sie beispielsweise in kleineren Leitungen mit Gasuhren oder vereinzelt auch für größere Leitungsdurchmesser mit sehr großen Gasbehältern¹⁾ ausgeführt werden, vorzunehmen. Auch Messungen der Strömungsgeschwindigkeit mit den in Bergwerken gebräuchlichen Anemometern lassen sich hier kaum anwenden. Man ist vielmehr gezwungen, entweder die Strömungsgeschwindigkeit durch Messung des dynamischen Druckes oder den durch eine besonders eingesetzte Verengung erzeugten Druckabfall zu ermitteln und aus diesem die durchfließende Menge zu berechnen. Im ersten Falle wird ein Staurohr, im zweiten Falle ein Staurand, eine Düse oder ein Venturirohr angewandt.

A. Theoretische Grundlagen.

Wenn ein unter Druck stehendes Gas in einer Rohrleitung in Bewegung gesetzt werden soll, so ist ein bestimmter Überdruck p kg/qm erforderlich, der die Bewegung erzeugt und dynamischer Druck genannt wird. Diesem Überdruck entspricht eine Gassäule von der Höhe h , die denselben Druck p ausübt, wenn

$$h \gamma = p$$

ist, wobei γ das mittlere spez. Gewicht des Gases in kg/cbm ist. Der Druck p kg/qm hat, in mm Wassersäule gemessen gedacht, denselben Zahlenwert, weil

$$1 \text{ kg/qm} = 1 \text{ mm Wasserhöhe}$$

ist. Demnach läßt sich der Druck p mittels eines mit Wasser gefüllten U-Rohres unmittelbar messen. Bei größeren Drücken p würde dieses U-Rohr eine zu große Länge erhalten. In diesem Falle wird das U-Rohr mit Quecksilber gefüllt und der in mm Quecksilbersäule gemessene Druck durch Multiplikation mit dem spez. Gewicht 13,6 kg/cdm des Quecksilbers in mm Wassersäule umgerechnet. Die Rechnungsgrundlage bildet die bekannte Ausflußformel

$$w = \sqrt{2g h} \quad \text{oder} \quad h = \frac{w^2}{2g}.$$

¹⁾ S.: Seufert, Anleitung zur Durchführung von Versuchen usw. 7. Aufl. S. 160. Berlin: Julius Springer, 1926.

Hierin ist

w = Gasgeschwindigkeit in m/sek ,

$g = 9,81$ m/sek² ,

h = dynamische Druckhöhe.

Da

$$h = \frac{p}{\gamma}$$

ist, so wird

$$w = \sqrt{\frac{2g p}{\gamma}} \text{ m/sek.}$$

Wird p unmittelbar gemessen, dann läßt sich mit Hilfe des bekannten Röhrenquerschnittes F die durchströmende Gasmenge ohne weiteres berechnen; also

$$V = F \cdot w = F \sqrt{\frac{2g p}{\gamma}} \text{ cbm/sek}$$

oder

$$G = F w \gamma = F \sqrt{2g p \gamma} \text{ kg/sek.}$$

Diese Formeln nehmen eine etwas andere Gestalt an, wenn man bei der Berechnung von dem in mm Wassersäule gemessenen Druckabfall ausgeht, den ein in die Leitung eingebautes Hindernis erzeugt.

Staurand. Setzt man nach Abb. 308 einen scharfkantigen Staurand, dessen Öffnung unter 45° kegelförmig ausgedreht und mit

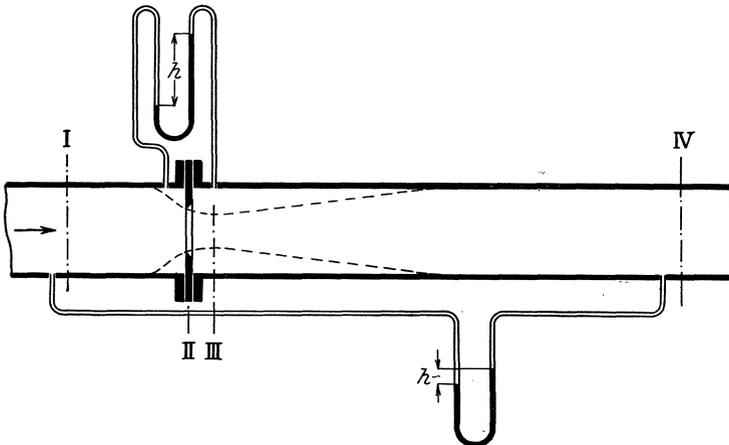


Abb. 308.

der scharfen Kante gegen die Strömung gerichtet ist, in eine Rohrleitung ein, dann nimmt der Gasstrahl etwa die gestrichelte Form an und erleidet hinter dem Staurand eine Verengung, so daß sein kleinster Querschnitt f qm beträgt.

Die statischen Gasdrücke, Geschwindigkeiten und Querschnitte seien an den vier in Abb. 308 angegebenen, in der Strömungsrichtung aufeinanderfolgenden Querschnitten wie folgt bezeichnet:

Querschnitt I:	Gasdruck	= p_1 mmW.-S.	}	vor dem Staurand
	Geschwindigkeit	= w_1 m/sek		
	Querschnitt	= F_1 qm		
Querschnitt II:	Geschwindigkeit	= w_0 m/sek	}	in der Staurand- ebene.
	Querschnitt	= f_0 qm		
Querschnitt III:	Gasdruck	= p mmW.-S.	}	an der engsten Stelle des Gasstrahles.
	Geschwindigkeit	= w m/sek		
	Querschnitt	= f qm		
Querschnitt IV:	Gasdruck	= p_2 mmW.-S.	}	an der Stelle, an der der Strahl das Rohr voll ausfüllt.
	Geschwindigkeit	= w_2 m/sek		
	Querschnitt	= F_2 qm		

Das Verhältnis $\mu = \frac{f}{f_0}$ bezeichnet man als Einschnürungszahl¹⁾; mit dieser Bezeichnung wird auch $w_0 = \mu \cdot w$. Die Einschnürungszahl μ ist vom Querschnittsverhältnis $m = \frac{f_0}{F_1}$ abhängig und aus der Zahlen-
tafel S. 390 zu entnehmen. Wenn man von der Reibung absieht, dann muß in jedem Querschnitt die Summe aus der statischen und dynamischen Druckhöhe konstant sein. Es ist im

$$\text{Querschnitt I: die statische Druckhöhe} = \frac{p_1}{\gamma},$$

$$\text{die dynamische Druckhöhe} = \frac{w_1^2}{2g};$$

$$\text{Querschnitt III: die statische Druckhöhe} = \frac{p}{\gamma},$$

$$\text{die dynamische Druckhöhe} = \frac{w^2}{2g};$$

$$\text{Querschnitt IV: die statische Druckhöhe} = \frac{p_2}{\gamma},$$

$$\text{die dynamische Druckhöhe} = \frac{w_2^2}{2g},$$

also

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g} = \frac{p}{\gamma} + \frac{w^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{w_2^2}{2g} + \frac{(w - w_2)^2}{2g}. \quad (1)$$

Das Glied $\frac{(w - w_2)^2}{2g}$ ist der sog. Carnotsche Stoßverlust, der bei der

¹⁾ Streng genommen ist $\mu = \alpha \cdot \varphi$ zu setzen, worin α die eigentliche Einschnürungszahl und φ die Reibungszahl ist.

Zunahme des Gasdruckes von p auf p_2 auftritt. Durch Gleichsetzung¹⁾ von

$$V = F_1 w_1 = F_2 w_2 = f_0 \mu w$$

ergibt sich
$$w_1 = \frac{f_0}{F_1} \mu w = m_1 \mu w$$

und
$$w_2 = \frac{f_0}{F_2} \mu w = m_2 \mu w.$$

Nach Einsetzung der Werte geht Gleichung (1) über in

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{(m_1 \mu w)^2}{2g} = \frac{p}{\gamma} + \frac{w^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{w^2}{2g} (1 - 2m_2 \mu + 2m_2^2 \mu^2). \quad (2)$$

Man kann nun die beiden zum Druckmeßgerät führenden Rohre α) unmittelbar vor und hinter dem Staurand anbringen, also den Druckunterschied $p_1 - p$ messen, oder

β) in größerer Entfernung vor und hinter dem Staurand anbringen, also den Druckunterschied $p_1 - p_2$ messen.

Je nach der Art dieser Messungen verwendet man eine der aus Gleichung (2) sich ergebenden Gleichungen:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{(m_1 \mu w)^2}{2g} = \frac{p}{\gamma} + \frac{w^2}{2g}. \quad \alpha)$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{(m_1 \mu w)^2}{2g} = \frac{p^2}{\gamma} + \frac{w^2}{2g} (1 - 2m_2 \mu + 2m_2^2 \mu^2). \quad \beta)$$

Aus Gleichung (α) entsteht:

$$w = \frac{1}{\sqrt{1 - m_1^2 \mu^2}} \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_1 - p)} \text{ m/sek}$$

und

$$V = f_0 \mu w = f_0 \frac{\mu}{\sqrt{1 - m_1^2 \mu^2}} \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_1 - p)} \text{ cbm/sek.}$$

Aus Gleichung (β) entsteht:

$$w = \frac{1}{\sqrt{1 - m_1^2 \mu^2 - 2m_2 \mu + 2m_2^2 \mu^2}} \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_1 - p_2)} \text{ m/sek}$$

und

$$V = f_0 \mu w = f_0 \frac{\mu}{\sqrt{1 - m_1^2 \mu^2 - 2m_2 \mu + 2m_2^2 \mu^2}} \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_1 - p_2)} \text{ cbm/sek.}$$

Gewöhnlich ist die lichte Rohrweite vor und hinter dem Staurand dieselbe, also $F_1 = F_2$; damit ist auch $m_1 = m_2 = m$, und es wird

$$V = f_0 \frac{\mu}{\sqrt{1 - m^2 \mu^2}} \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_1 - p)} \text{ cbm/sek.} \quad \alpha)$$

$$V = f_0 \frac{\mu}{1 - m \mu} \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_1 - p_2)} \text{ cbm/sek.} \quad \beta)$$

¹⁾ Die geringe Expansion des Gases beim Druckabfall sei vernachlässigt.

Die Werte für μ können der folgenden Zahlentafel entnommen werden:

Einschnürungszahl μ^1).

$m = \frac{f_0}{F_1}$	$\sqrt{m} = \frac{d}{D}$	für Wasser	für Luft
0,0	0,0	0,615	0,635
0,1	0,316	0,620	0,637
0,2	0,447	0,635	0,642
0,3	0,548	0,650	0,653
0,4	0,632	0,665	0,668
0,5	0,707	0,690	0,689
0,6	0,774	0,735	0,717
0,7	0,836	0,785	0,756
0,8	0,894	0,855	0,808
0,9	0,948	0,925	0,883
1,0	1,000	1,000	1,000

Vergleicht man die zahlenmäßigen Ergebnisse der beiden Formeln (α) und (β), so kommt man zu dem Schluß, daß für die gleiche Gasmenge V der Druckunterschied $p_1 - p$ der ersten Formel größer ist als der Druckunterschied $p_1 - p_2$ der zweiten Formel. Wegen größerer Meßgenauigkeit ist demnach die Messung nach (α) vorzuziehen. Da die Zahl μ eine noch etwas umstrittene Größe ist, sei die Gleichung (α) wie folgt geschrieben:

$$V = f_0 \cdot k \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_1 - p)} \text{ cbm/sek.}$$

oder

$$V = f_0 \cdot k \sqrt{2g\gamma (p_1 - p)} \text{ kg/sek.}$$

Nach den neuesten Untersuchungen ist für Gase der jeweils für k gültige Wert²⁾ der folgenden Zahlentafel zu entnehmen:

Beiwert k .

$m = \frac{f_0}{F_1}$	$\sqrt{m} = \frac{d}{D}$	k
0,15	0,387	0,610
0,2	0,447	0,617
0,25	0,500	0,625
0,3	0,548	0,634
0,35	0,592	0,645
0,4	0,632	0,660
0,45	0,671	0,680
0,5	0,707	0,700
0,55	0,741	0,725
0,6	0,774	0,755
0,65	0,806	0,795
0,7	0,836	0,845
0,75	0,866	0,910

¹⁾ Müller, A. O.: Forschungsarbeiten Heft 49 (V. d. I.). — Weißbach: Ingenieurmechanik, 5. Aufl., S. 1046. Mitteilung Nr. 40 der Wärmestelle Düsseldorf (Dr. Langen).

²⁾ Mitteilung Nr. 76 der Wärmestelle Düsseldorf (Kretschmer u. Jakob).

Diese Zahlentafel ist in Abb. 309 zeichnerisch dargestellt. Bei mäßigen Druckunterschieden $p_1 - p$ bis etwa 2 m Wassersäule oder 150 mm Quecksilbersäule kann, wie oben schon gesagt, die Expansion vernachlässigt werden. Bei größeren Druckunterschieden ist der Wert

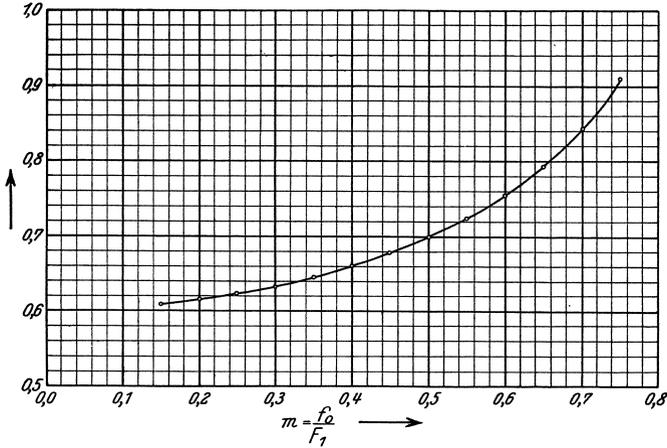


Abb. 309.

für V noch mit einem Beiwert ε zu multiplizieren, der vom statischen Druck p_1 und vom Differenzdruck $p_1 - p$ abhängt und für Dampf und Preßluft verschieden ist. Es wird dann

$$V = f_0 \cdot k \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{2 g \gamma (p_1 - p)} \text{ kg/sek.}$$

Die Werte ε sind in folgenden Zahlentafeln enthalten:

Beiwerte ε .

mm Hg	Atmosphären Überdruck									
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12

1. Für Dampf.

0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
40	0,984	0,989	0,992	0,994	0,995	0,996	0,996	0,996	0,997	0,998
80	0,967	0,978	0,983	0,987	0,989	0,991	0,992	0,993	0,994	0,995
120	0,950	0,967	0,976	0,981	0,984	0,987	0,988	0,989	0,991	0,993
160	0,934	0,956	0,967	0,974	0,978	0,982	0,984	0,986	0,988	0,990
200	0,918	0,945	0,958	0,968	0,973	0,978	0,980	0,982	0,985	0,988
240	0,901	0,934	0,950	0,961	0,967	0,973	0,976	0,978	0,982	0,985
280	0,884	0,923	0,942	0,955	0,962	0,969	0,972	0,974	0,979	0,982
320	0,868	0,912	0,934	0,948	0,956	0,964	0,968	0,971	0,976	0,980
360	—	0,900	0,926	0,941	0,951	0,959	0,964	0,967	0,973	0,977
400	—	0,891	0,918	0,934	0,945	0,954	0,959	0,963	0,970	0,975

mm Hg	Atmosphären Überdruck									
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12
	2. Für Preßluft.									
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
40	0,983	0,990	0,992	0,994	0,995	0,996	0,996	0,997	0,998	0,998
80	0,966	0,979	0,984	0,987	0,989	0,991	0,992	0,994	0,995	0,995
120	0,949	0,968	0,977	0,981	0,984	0,987	0,988	0,991	0,993	0,993
160	0,932	0,958	0,969	0,974	0,978	0,982	0,984	0,987	0,990	0,991
200	0,915	0,947	0,961	0,968	0,973	0,978	0,980	0,984	0,988	0,988
240	0,989	0,936	0,953	0,961	0,967	0,973	0,976	0,980	0,985	0,986
280	0,881	0,926	0,945	0,954	0,962	0,969	0,972	0,977	0,983	0,984
320	0,864	0,915	0,937	0,948	0,956	0,964	0,968	0,973	0,980	0,982
360	—	0,904	0,929	0,942	0,951	0,960	0,964	0,969	0,977	0,980
400	—	0,893	0,922	0,936	0,946	0,955	0,961	0,966	0,975	0,977

Bei Dampfmessungen steht über den beiden Quecksilberspiegeln des U-Rohres stets eine Wassersäule bis zur Mitte des Meßrohres.

Deshalb ist bei der Umrechnung des in mm Hg gemessenen Druckunterschiedes auf mm Wassersäule nicht mit 13,6, sondern mit 12,6 zu multiplizieren.

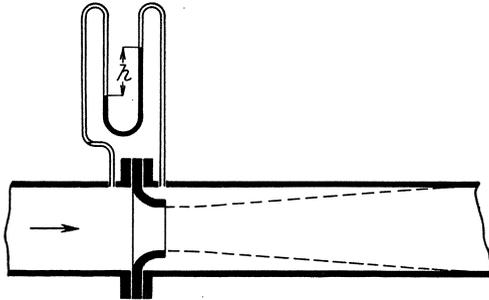


Abb. 310.

Düse. Die Meßeinrichtung ist in Abb. 310 schematisch dargestellt. Bei richtiger Ausführung tritt keine Einschnürung des Strahles ein, so daß bei

Vernachlässigung der Reibung die Einschnürungszahl μ in Gleichung (α) verschwindet, d. h. $\mu = 1$ zu setzen ist. Es wird dann das Gasvolumen

$$v = f_0 \frac{1}{\sqrt{1-m^2}} \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_1 - p)} \text{ cbm/sek.}$$

Hierin bedeutet f_0 den Mündungsquerschnitt der Düse und m ist wie früher

$$m = \frac{f_0}{F_1}.$$

Eine Düse, für welche das Durchmesser Verhältnis

$$\frac{d}{D} = 0,4,$$

also das Querschnittsverhältnis

$$m = 0,16$$

ist, wird Normaldüse genannt. Für diese ist in dem Ausdruck für V der Faktor $\frac{1}{\sqrt{1-m^2}}$ mit Einschluß der Reibung zu $\varepsilon = 0,96$ ermittelt worden¹⁾.

¹⁾ Forschungsarbeiten, Heft 267 (Jakob & Erk).

Da die Normaldüsen wegen ihres kleinen Querschnittsverhältnisses m zwar sehr genaue Messungen gestatten, jedoch einen verhältnismäßig großen Spannungsabfall verursachen, empfiehlt es sich in den Fällen, in denen der große Spannungsabfall nicht erwünscht ist, Düsen mit größerem Querschnittsverhältnis zu benutzen und in erster Annäherung mit der obigen Formel für V zu rechnen.

Venturirohr. Eine schematische Darstellung zeigt Abb. 311. Das eine Verbindungsrohr des U-Rohres wird an den Anfang des sich verengenden Kegels, das zweite an die engste Stelle beider Kegel angeschlossen. Zu diesem Zwecke sind an beiden Meßstellen Ringwulste

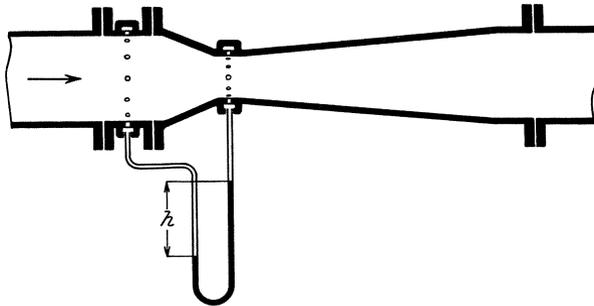


Abb. 311.

angegossen, die mit dem Rohrrinnern durch eine Anzahl von Löchern verbunden sind. Das sekundliche Gasvolumen beträgt

$$v = f_0 \frac{C}{\sqrt{1-m^2}} \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_1 - p)} \text{ cbm/sek,}$$

worin C eine durch Eichung festzustellende, von m und γ abhängige Konstante ist. Besonders gut eignet sich das Venturirohr zur Wassermessung, weil sich wegen des konstanten Wertes von γ für jeden bestimmten Fall die durchfließende Wassermenge bei der Eichung in Form einer von $(p_1 - p)$ abhängigen Kurve darstellen läßt. Diese Kurve wird von den Apparatefirmen meistens mitgeliefert, und man ist durch Verbindung mit der obigen Formel imstande, den Beiwert C nachzurechnen, der zwischen 0,95 und 1,0, jedoch näher an 1,0 liegen soll.

B. Ausführung der Staegeräte.

1. Das Staurohr.

Die Ausführung nach Prandtl ist in Abb. 312 dargestellt. Es besteht aus einem in Tropfenform ausgeführten Hohlkörper, der in die Rohrleitung entgegen der Strömungsrichtung eingesetzt wird, und einem Doppelrohr mit 2 Schlauchtüllen. Die innere Bohrung des Hohlkörpers ist dem Strom entgegengerichtet und erhält deshalb die

Summe aus statischem und dynamischem Druck. Der die innere Bohrung konzentrisch umgebende Ringraum steht mit der Rohrleitung durch einen Ringschlitz in Verbindung, an dem das Gas vorbeiströmt, und erhält deshalb nur den statischen Druck. Schließt man mittels zweier Gummischläuche ein Mikro-Manometer an, dann stellt sich dieses auf den dynamischen Druck $p = \frac{w^2}{2g}$ ein, woraus die in der Mitte des Staurohres vorhandene Gasgeschwindigkeit $w = \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \cdot p}$ berechnet werden kann. Um die Gasmenge zu ermitteln, muß man

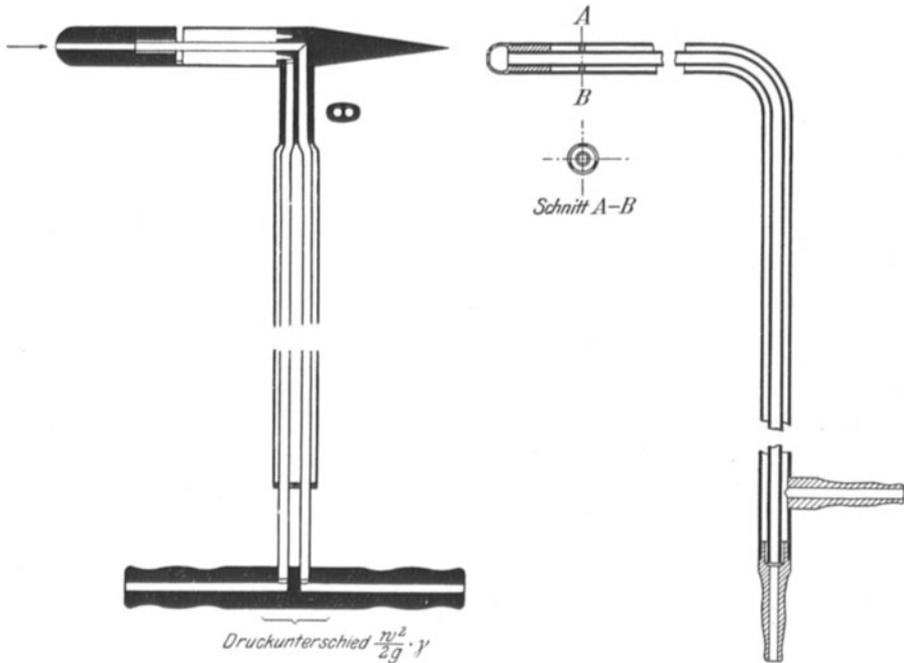


Abb. 312.

Abb. 313.

durch einen Vorversuch die Geschwindigkeit an möglichst vielen Punkten eines Rohrdurchmessers (Abtasten des Querschnittes) ermitteln und hiernach die Stelle der mittleren Geschwindigkeit herausfinden. An dieser Stelle ist dann für die weiteren Versuche das Staurohr einzusetzen.

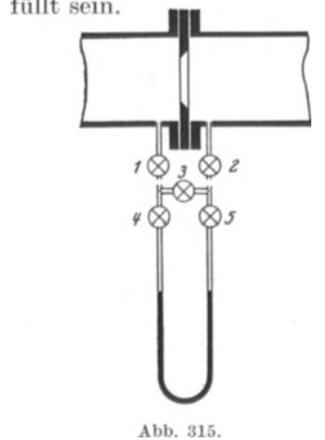
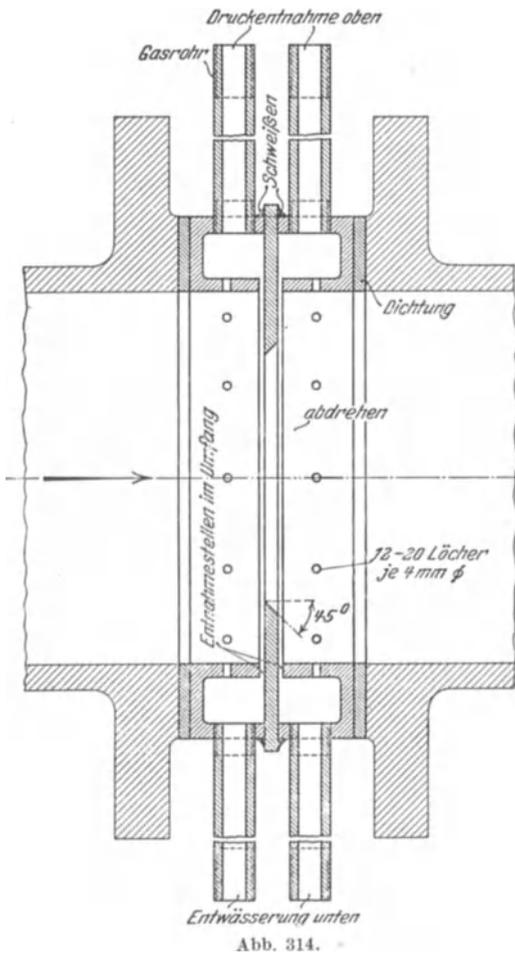
Das nach Abb. 312 ausgeführte Staurohr kann beim Einbringen Schwierigkeiten verursachen, wenn die Öffnung im Gasrohr nicht die erforderliche Weite erhalten kann. In diesem Falle verwendet man zweckmäßig das Hydro - Staurohr, dessen Einrichtung aus Abb. 313 ohne weiteres ersichtlich ist. Die im Gasrohr erforderliche Öffnung braucht nur wenig größer zu sein als der äußere Durchmesser des Stau-

rohres; letzteres wird dann mit einem, der Länge nach aufgeschnittenen Stopfen abgedichtet.

Stauröhre eignen sich nur zur Messung von staub- und teerfreien Gasen, weil sich die feinen Öffnungen in unreinen Gasen leicht verstopfen.

2. Der Staurand.

Die in Abb. 308 wiedergegebene einfache Form des Staurandes kann zu ungenauen Messungen führen, wenn Strömungsunregelmäßigkeiten vorhanden sind. Deshalb entnimmt man entweder die Drücke an mehreren Stellen des Umfanges und vereinigt die einzelnen Entnahmestellen jeder Staurandseite, oder man führt den Staurand nach der Angabe der Wärmestelle Düsseldorf¹⁾ in der in Abb. 314 wiedergegebenen Form aus. Für Gas- und Preßluftmessungen sind Entwässerungen zweckmäßig; bei Dampfmessungen müssen die Verbindungsrohre zum Meßapparat wagerecht abzweigen und mit Wasser gefüllt sein.



Um bei höheren Drücken Stöße auf den Meßapparat oder ein Herausschleudern der Meßflüssigkeit zu vermeiden, ist die Anbringung der Verbindungsrohre nach Abb. 315 zu empfehlen. 1 und 2 sind die beiden

¹⁾ Mitteilung Nr. 76 vom 25. August 1925.

Hauptabsperren, 3 ein Ausgleichventil, 4 und 5 die Absperren des Meßapparates. Beim Ansetzen des Meßapparates ist zunächst 1 und 2 geschlossen, damit der Apparat ohne Betriebsstörung eingerichtet werden kann; hierauf werden 3, 1 und 2 geöffnet, dann erst 4 und 5. Der Meßapparat steht jetzt unter Druck, zeigt jedoch wegen des offenen Ventiles 3 noch keinen Druckunterschied an. Zuletzt wird 3 geschlossen und der Apparat ist betriebsfertig. Beim Abstellen wird zuerst 3 geöffnet, dann 4, 5, 1 und 2 geschlossen. Im Dauerbetrieb kann 1 und 2 geöffnet bleiben.

3. Die Düse.

Die Normaldüse ist in Abb. 316 dargestellt¹⁾. Die zugehörigen Abmessungen enthält folgende Zahlentafel (S. 397).

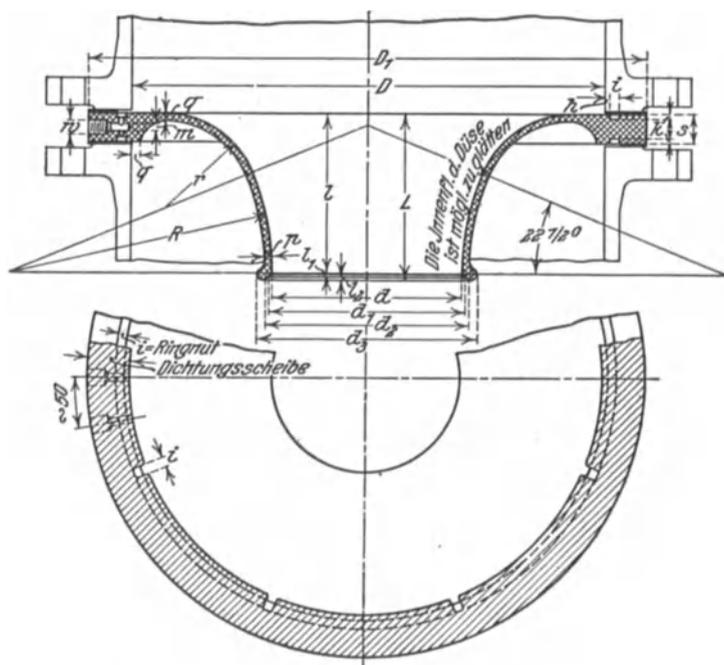


Abb. 316.

An Stelle der Normaldüse verwendet die Firma Siemens & Halske bei ihren Dampfessern die in Abb. 317 dargestellte Düse besonders an Stellen, an denen auch der Einbau eines Venturirohres nicht erwünscht ist. Sie hat den Vorteil geringer Baulänge und niedriger Kosten; ihre Meßgenauigkeit genügt den Betriebsansprüchen ($k \cong 0,97$).

¹⁾ Mitteilung Nr. 76 der Wärmestelle Düsseldorf.

Abmessungen der Normaldüsen.

d	D	l	l_1	l_2	L	R	r	d_1	d_2	d_3	D_1	S	p	q	h	z	k	n
10	25	9	1	16	26	14	5	14	22	—	80	26	—	—	3	5	4	3
12	30	10	1	15	26	17	6	16	26	—	85	26	—	—	3	5	4	3
14	35	12	1	13	26	20	7	18	30	—	90	26	—	—	3	5	4	3
17	42	14	1	11	26	24	9	22	34	—	97	26	—	—	3	5	4	3
20	50	17	1	8	26	28	10	26	36	—	105	26	—	—	3	5	4	3
24	60	20	1	5	26	34	12	30	36	—	115	26	—	—	3	5	4	3
28	70	24	1	3	28	39	14	34	38	—	125	28	—	—	3	5	5	3
34	85	29	1	3	33	48	17	40	44	54	140	28	—	—	3	5	5	3
40	100	34	1	3	38	56	20	46	50	60	158	28	—	—	3	5	5	3
45	112	38	1	3	42	63	22	52	56	66	172	28	—	—	3	6	5	3
50	125	42	1	3	46	70	25	58	62	72	188	28	—	—	3	6	5	3
60	150	51	1	3	55	84	30	68	72	82	215	28	6	—	3	6	5	3
70	175	59	1	3	63	95	35	78	82	94	245	29	6	—	4	5	5	3
80	200	68	1	3	72	112	40	88	92	104	270	29	6	7	4	5	5	3
90	225	76	1	3	80	126	45	98	102	115	295	29	6	7	4	5	5	3
100	250	84	1	3	88	140	50	108	112	126	320	29	6	8	4	7	5	3
120	300	101	2	4	107	168	60	128	132	146	375	29	6	8	4	7	5	3
140	350	118	2	4	124	196	70	148	152	168	435	30	6	8	4	8	5	4
170	425	144	2	4	150	238	85	178	182	200	515	30	6	8	4	8	5	4
200	500	169	2	4	175	280	100	210	216	232	590	30	7	9	4	10	5	4
240	600	203	3	5	211	336	120	250	256	275	690	30	7	9	5	10	5	4
280	700	236	3	5	244	392	140	290	296	315	795	30	7	9	5	10	5	4
340	850	287	3	5	295	476	170	350	356	375	950	30	7	9	5	10	5	4
400	1000	338	3	5	346	560	200	410	416	440	1100	30	8	10	6	11	5	5

4. Das Venturirohr.

Abb. 318 stellt die Bauart von Siemens & Halske dar. An den beiden Ansatzstellen der Meßrohre ist je eine ringförmige Druckkammer angeordnet, damit die Messung möglichst frei von zufälligen Störungen in der Strömung wird. Um die Stelle der Entnahme des höheren Druckes (beim Einlauf) vor etwaiger Verschmutzung zu schützen, ist die zylindrische Wand zwischen Rohr und Druckkammer als Sieb ausgebildet.

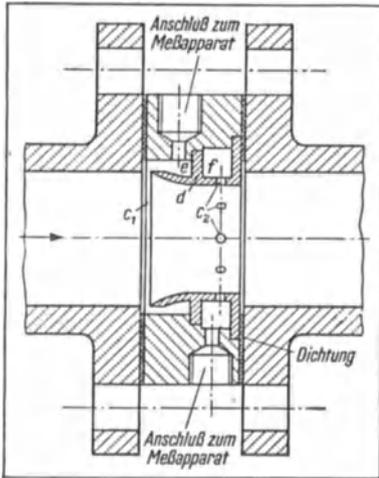


Abb. 317.

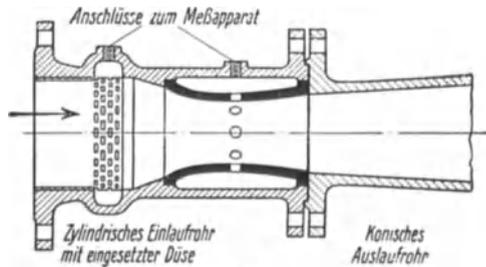


Abb. 318.

Eine Verbindung von Düse und Venturirohr ist die in Abb. 319 wiedergegebene Bauart von Bopp & Reuther, die aus einer parabolischen Düse und aus einem konischen Venturir-Auslaufrohr besteht.

Die düsenförmigen Einsätze beider Bauarten werden der Glätte und der Haltbarkeit wegen aus Bronze hergestellt.

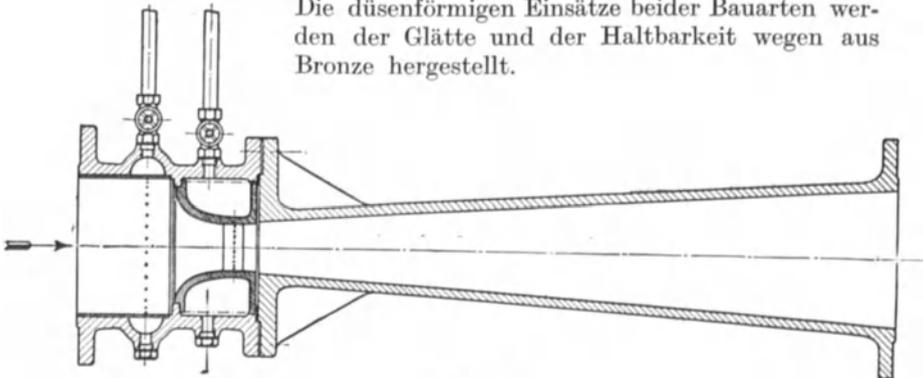


Abb. 319.

C. Ausführung der Anzeige- und Schreibgeräte.

Diese Apparate erfahren eine verschiedenartige Ausbildung, je nachdem sie für Wasser, Dampf, Luft, Gas oder für niedrige oder hohe Drücke anzuwenden sind. Ferner unterscheidet man Ableseapparate, zählende und schreibende Apparate.

Im folgenden seien zunächst einige Geräte der Firma Dr. Martin Böhme (früher Gehre-Dampfmesser-Gesellschaft) kurz behandelt. Abb. 320 zeigt das gewöhnliche Quecksilber-U-Rohr mit Wasserfüllung in den Zuleitungsrohren. Die Skala ist in mm Höhe oder kg/st eingeteilt. In letzterem Falle ist

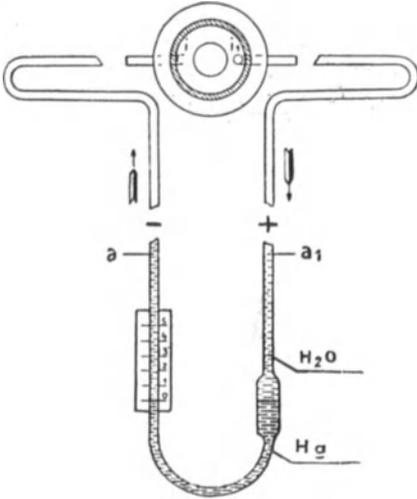


Abb. 320.

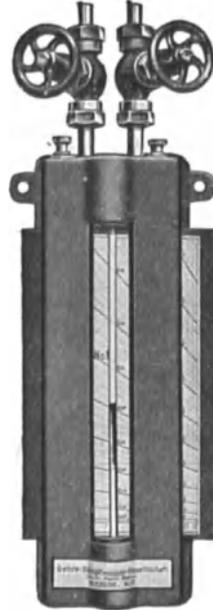


Abb. 321.

das Gerät natürlich nur in Verbindung mit einem Staugerät von bestimmten Abmessungen verwendbar. Abb. 321 gibt dasselbe Gerät in etwas handlicherer Form wieder. Es besitzt mehrere, in Kurvenform angeordnete, seitlich verschiebbare Skalen für die einzelnen Dampfdrücke, so daß der Stand der Quecksilbersäule an der dem jeweils vorhandenen Dampfdruck entsprechenden Skala abgelesen werden kann. In Abb. 322 ist eine sog. Dampfuhre dargestellt.

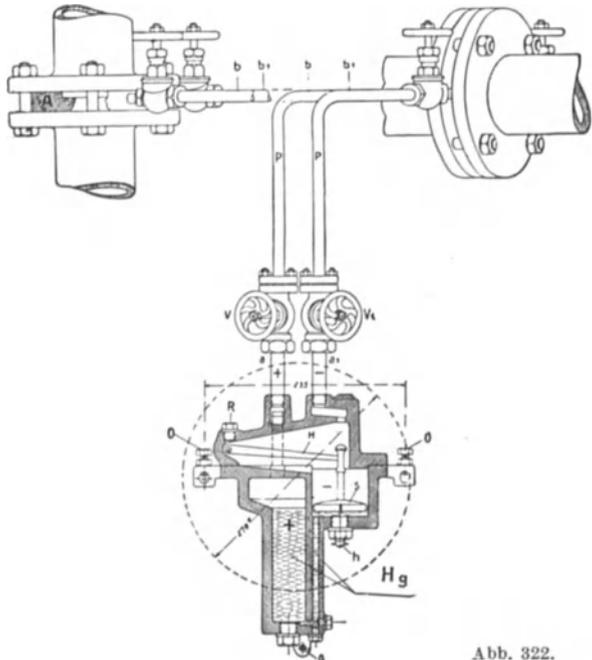


Abb. 322.

Der Druckunterschied wirkt auf zwei Quecksilbergefäße, die unten durch einen Kanal verbunden sind. Das Fallen und Steigen des Quecksilbers betätigt den Schwimmer *S*, welcher durch einen Hebel *H* den Stand der Quecksilbersäule durch eine Achse nach außen auf Segmente und Zeiger überträgt. Dieser Apparat zeigt ebenfalls die augenblickliche Durchflußmenge an, nur ist die Skala erheblich größer geteilt

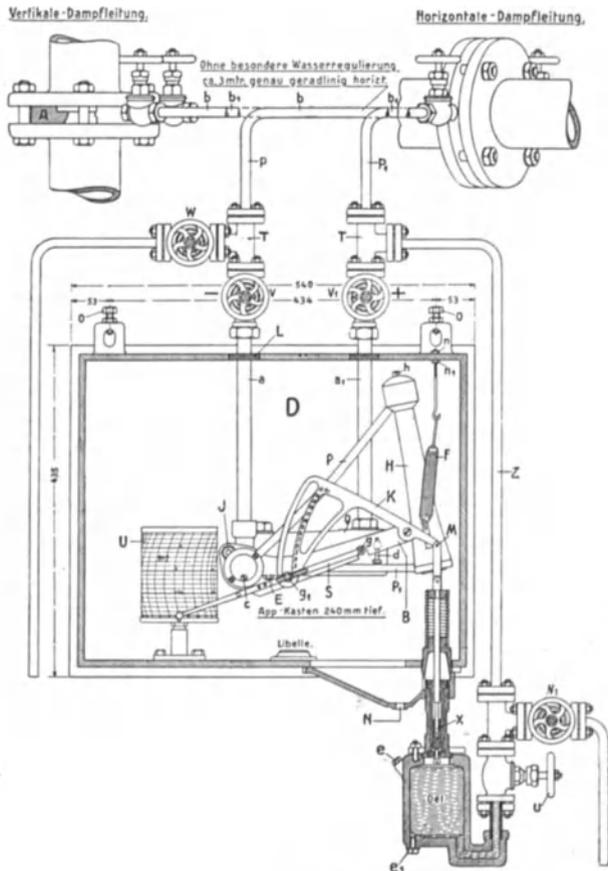


Abb. 323.

und gestattet eine weithin sichtbare genaue Ablesung. Die Skala kann in kg/sek, kg/st oder kg/st und qm Heizfläche geteilt werden. Bei der Teilung wird ein mittlerer Druck und, wenn nötig, eine mittlere Temperatur in Rechnung gezogen.

Eine andere Ausführung besteht darin, daß der Zeiger auf mehreren Skalen spielt, die verschiedenen Dampfdrücken entsprechen.

Die Wirkungsweise des schreibenden Gehr-Dampfmessers geht aus Abb. 323 hervor. Der Druckunterschied vor und hinter dem Drossel-

organ bewirkt das Überfließen von Quecksilber aus dem Quecksilberkasten Q durch eine Hohlachse in das Rohrdreieck PHP_1 . Dieses Rohrdreieck hängt in geeichten Federn F und senkt oder hebt sich je nach der eingeschlossenen oder zurückgeströmten Quecksilbermenge. Die Verbindungsrohre bis zum Dampfrohr sind stets mit Wasser gefüllt. Durch die Bewegungen des Rohrdreiecks wird der Schreibhebel mitgenommen, dessen Drehpunkt g_1 in einer Kulisse gelagert ist. Ein

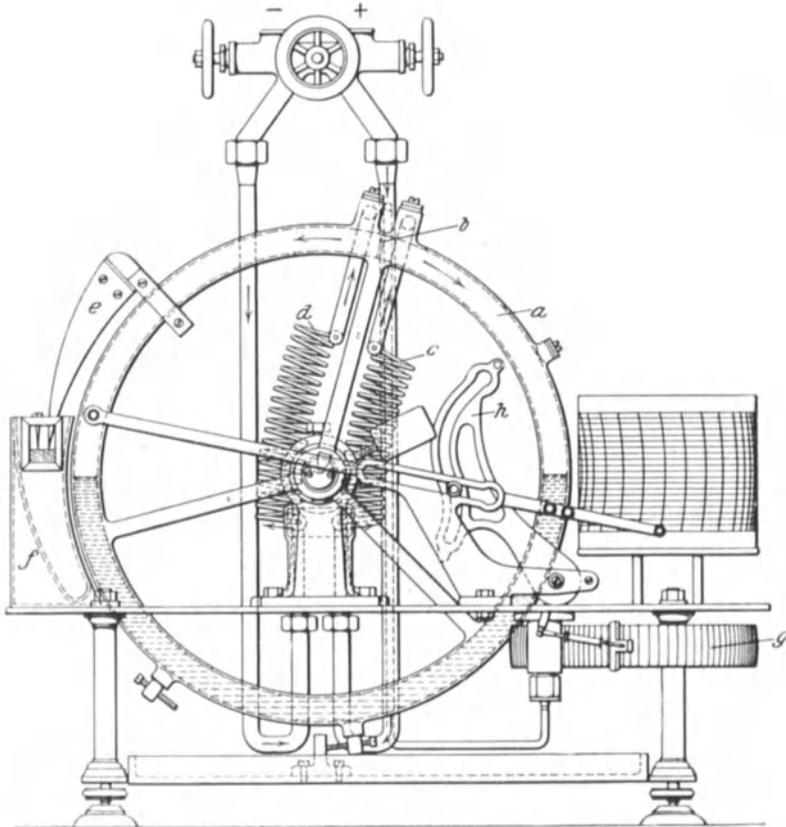


Abb. 324.

Kolbenmanometer X stellt die Kurve dieser Kulisse auf die verschiedenen Drücke ein, und zwar dadurch, daß auf die Unterseite mittels des Ölgefäßes der von Z kommende Dampfdruck, auf die Oberseite eine Feder einwirkt. Bei annähernd gleichem Dampfdruck kann diese Druckberichtigung wegfallen. Der Stift des Schreibhebels zeichnet die durchfließende Dampfmenge in der üblichen Weise in Form einer Kurve auf. Die Umlaufzeit beträgt bei Tag- und Nachtbetrieb 24 Stunden und bei Tagbetrieb 12 Stunden; bei sehr schwankender Dampfleitung empfiehlt es sich, ein 6-Stunden-Werk einzubauen.

Der Apparat wird auch mit Zählwerk geliefert; er ist auch ebenso wie der folgende zur Messung von Luft-, Gas- und Wassermengen geeignet, wenn nur der zu seiner Betätigung notwendige Druckunterschied vorhanden ist.

Abb. 324 zeigt den Debro-Dampfmesser der Apparate-Bauanstalt Paul de Bruyn (Düsseldorf). Sein wesentlicher Bestandteil ist ein kreisringförmiger Drehkörper, der aus seiner Nulllage, je nach der

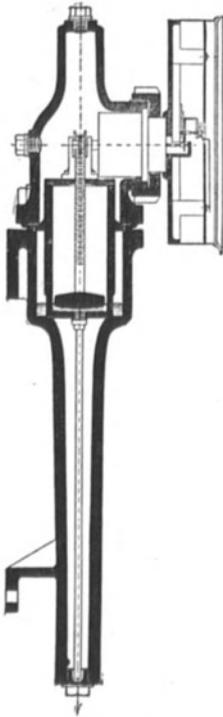


Abb. 325.

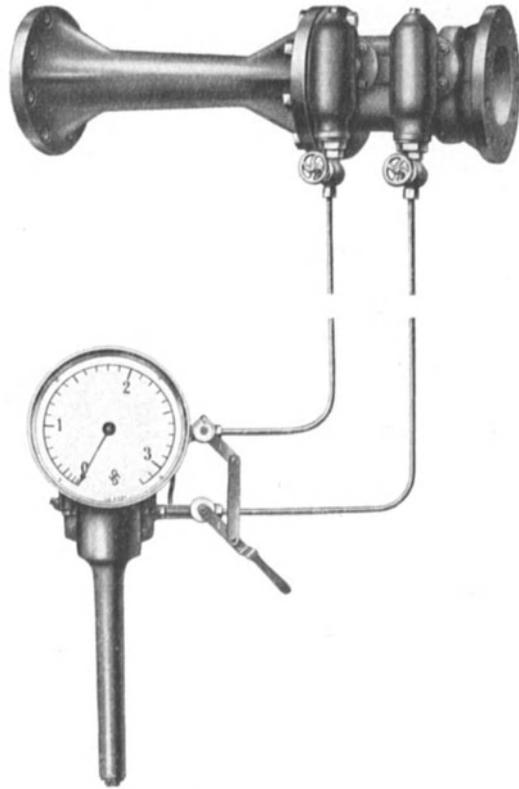


Abb. 326.

Höhe des sich einstellenden Druckunterschiedes, mehr oder weniger große Ausschläge entgegen dem Uhrzeigersinne macht. Der Drehkörper *a*, auf einer Schneide reibungslos gelagert, besteht aus einem nahtlos geschweißten Stahlrohr, das am Scheitel mit einer Scheidewand *b* versehen ist und in der unteren Hälfte mit Quecksilber gefüllt wird. Dadurch werden im Drehkörper zwei Hohlräume geschaffen. Diese Hohlräume stehen durch leicht bewegliche dünne, aus Tombak hergestellte und schraubenförmig gewundene Röhrchen *c* und *d* mit den Zuleitungen von der Meßstelle her in Verbindung. An der linken Seite des Körpers ist ein sichelförmiger Tauchkörper *e* angebracht, der bei

Drehung des Körpers in einen Quecksilberbehälter f eintaucht und in seinem der Drehbewegung entgegenwirkenden Auftrieb letztere so regelt, daß einem bestimmten Druckunterschied ein bestimmter Drehweg entspricht. Ein zweiarmiger Hebelarm überträgt diese Drehung auf die Schreibtrommel. Der Drehpunkt des Hebels ruht verschiebbar auf einer Gleitbahn und steht durch die Druckausgleichsteuerung in Abhängigkeit von der jeweiligen Dampfspannung. Selbst bei schwankender Dampfspannung zeichnet daher die Schreibkurve die Dampfmenge in Kilogrammen auf. Die Ausgleichsteuerung besteht aus einer Bourdonfeder g , die durch Verstellung der Kullisse h die richtige Schreibhöhe einstellt. Auch eine Dampfuhre wird von derselben Firma hergestellt.

Die Apparate der Firma Siemens & Halske arbeiten meistens in Verbindung mit Venturirohren. Wie aus Abb. 325 hervorgeht erhalten sie ihren Antrieb durch ein Quecksilber-Differentialmanometer, dessen beide Gefäße einanderliegen. Der innere Behälter steht mit dem äußeren durch ein unten offenes Tauchrohr in Verbindung. Die Ausschläge der Quecksilbersäule im inneren Gefäß sind infolge der parabolischen Gefäßwandung

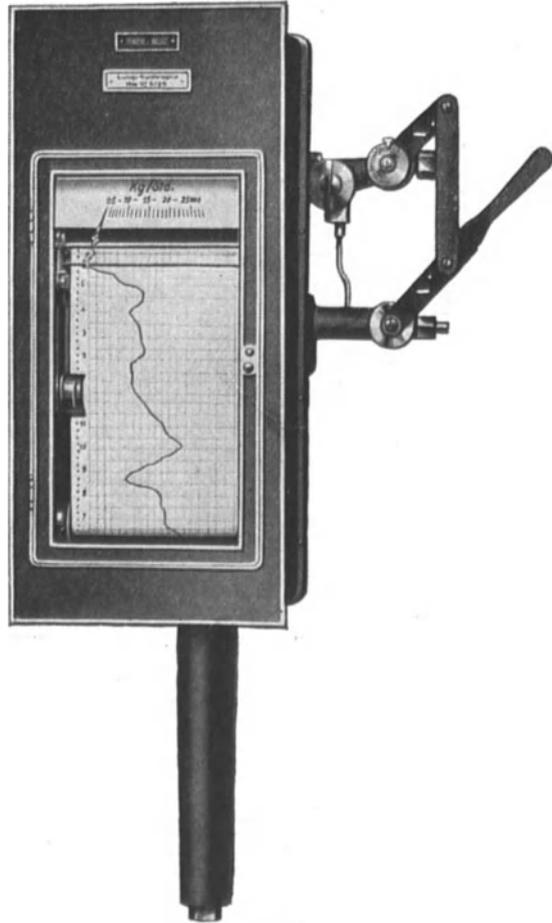


Abb. 327.

den durchströmenden Dampfgewichtsmengen proportional und werden durch einen auf dem Quecksilberspiegel ruhenden Schwimmer reibungsfrei auf das äußere Anzeige- oder Schreibwerk übertragen. Zu diesem Zwecke hat der Schwimmer an seinem oberen Ende eine Zahnstange aus Bronze, die in ein Zahnrad eingreift und die senkrechten Ausschläge in Drehbewegungen umsetzt. Die Verbindung zwischen der Zahnradachse und der Achse des Anzeige- bzw. Schreibwerkes erfolgt durch eine magnetische Kupplung.

Abb. 326 zeigt das Anzeigewerk in Verbindung mit einem Venturirohr. Die Skala kann auch doppelt ausgeführt werden. Die eine Skala gibt dann die jeweils durchströmende Dampfmenge in kg oder t/st, die zweite Skala die jeweilige Kesselbelastung in kg/st/qm Heizfläche an. Zur Außerbetriebsetzung des Apparates sind 2 Hähne mit Hebelverbindung vorhanden.

Aus Abb. 327 geht die äußere Form desselben Apparates hervor, wenn er mit einer Schreibvorrichtung versehen ist. Die Apparate werden auch mit elektrischen Fernanzeigern, Fernschreibern und Fernzählern

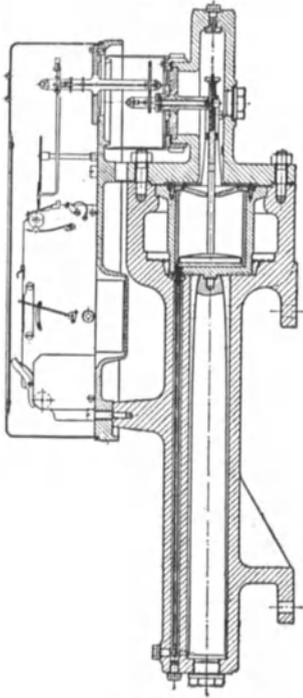


Abb. 328.

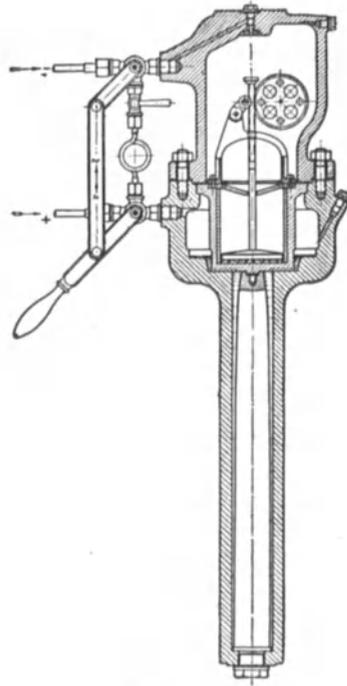


Abb. 329.

ausgeführt. Letztere haben in ihrer äußeren Form Ähnlichkeit mit kWst-Zählern.

Ähnlich gebaut ist der Anzeige- und Schreibapparat von Bopp & Reuther (Mannheim), von dem Abb. 328 und 329 zwei Längsschnitte zeigen. Die Verbindung des von der Schwimmer-Zahnstange angetriebenen Zahnrades mit der Achse der Anzeige- bzw. Schreibvorrichtung erfolgt durch einen kleinen Metallbund, der durch den inneren Überdruck gegen die Stirnwand des Lagers gedrückt wird, das den Innenraum des Apparates gegen die Atmosphäre abschließt. Dadurch entsteht eine geringe Flächenreibung, die durch axiale Stellschrauben so eingestellt wird, daß nur der gerade zur Abdichtung erforder-

liche Flächendruck entsteht. Der darüber hinausgehende axiale Druck wird durch ein vorderes Achatlager aufgenommen. Auf dem, aus dem erstgenannten Lager herausragenden Teil der Achse sitzt das Zahnrad zur Übertragung der Schwimmerbewegung auf den Anzeiger. Die äußere Ansicht des letzteren nebst Schreibvorrichtung ist in Abb. 330 wiedergegeben.

Für ganz kleine Drücke (Luft, Gas) sowie für geringe Unterdrücke (angesaugte Luft) eignen sich Schwimmerapparate mit Wasserfüllung.

Die Ausführung der Hydro-Apparate-Bauanstalt Düsseldorf ist in Abb. 331 dargestellt.

Der Hydro-Volumenmesser in der meist gebräuchlichen Ausführung besteht aus einem geschlossenen Gehäuse *I* aus starkem Messingblech, dessen Deckel mittels eines Gummiringes dicht aufgeschraubt ist. Der Behälter ist bis zur Höhe des Füllstutzens *I* mit Wasser gefüllt (in besonderen Fällen wird auch andere Flüssigkeit verwandt). Auf der Füllung schwimmt eine Tauchglocke *D*, die an einer mittleren Stange *S* geführt wird und durch einen seitlichen Führungsdraht *H* an der Drehung gehindert ist. Die Tauchglocke enthält einen Tragkörper von bestimmter Querschnittsgröße, der die Tauchglocke in der Schwimmlage erhält und als Meßglied beim Ein- und Austausch unter der Einwirkung eines Druckunterschiedes dient. Die beiden Drucke, deren Unterschied gemessen

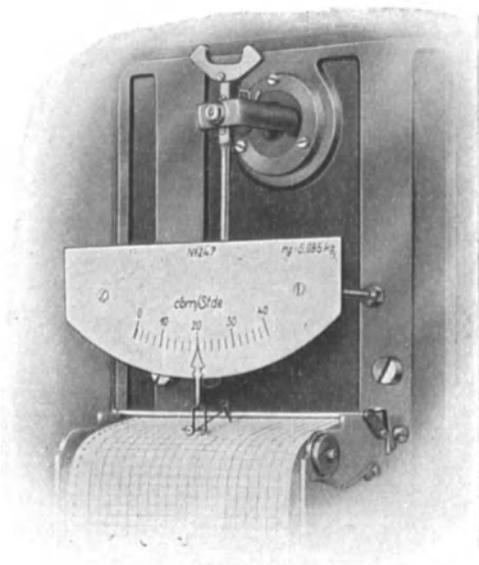


Abb. 330.

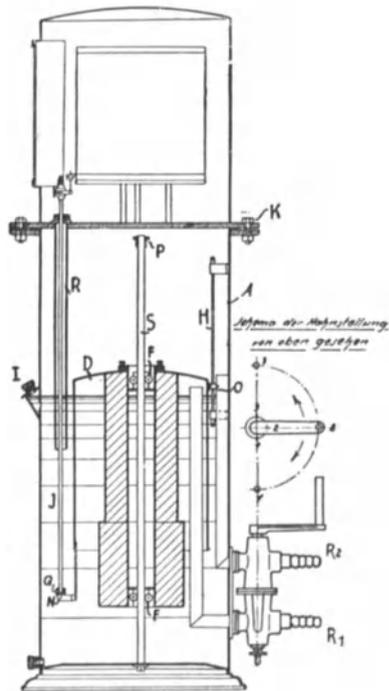


Abb. 331.

werden soll, werden durch Rohre R_1 und R_2 in den Raum unterhalb der Tauchglocke und in den Raum oberhalb der Tauchglocke geleitet. Die Bewegung der Tauchglocke wird durch eine Schreibstange J unmittelbar auf das Schreibzeug übertragen, das den Druckunterschied bzw. die Gasgeschwindigkeit oder die Gasmenge in einer fortlaufenden Kurve auf dem Schreibblatt verzeichnet, das durch ein Uhrwerk gedreht wird. Um die Schreibstange aus dem luftdicht abgeschlossenen Innenraum des Apparates reibungsfrei herausführen zu können, ist sie von einem am Deckel befestigten Rohr R umgeben, das bis in die Füllung des Apparates hineinragt. Das Schreibwerk ist frei zugänglich und wird durch eine leicht abnehmbare Metallhaube vor Staub und unbefugten Eingriffen geschützt. Die Haube hat ein großes Beobachtungsfenster. Zur Erzielung eines in den Ordinaten gleichmäßig geteilten (planimetrierbaren) Diagrammes wird der Schwimmerkörper parabolisch geformt.

Anhang.

Regeln für Abnahmeversuche an Dampfanlagen.

Aufgestellt von dem hierfür vom Verein deutscher Ingenieure gebildeten Ausschuß.

Einleitung.

Allgemeines.

1. Die Abnahmeversuche dienen zum Nachweis von Gewährleistungen und sind unter möglicher Einhaltung der vereinbarten Umstände und des Beharrungszustandes auszuführen. Wenn nichts anderes erwähnt wird, gelten die vorliegenden Bestimmungen.

2. Art, Zahl und Dauer der Versuche haben sich nach dem Zwecke der Untersuchung zu richten. Sie sind unter Berücksichtigung etwaiger besonderer Bestimmungen des Lieferungsvertrages vor den Versuchen zu vereinbaren.

3. Um die zu untersuchende Anlage im Betriebe kennenzulernen, die zur Verwendung kommenden Vorrichtungen zu prüfen, etwaige Mängel zu beseitigen und die Beobachter und Hilfskräfte anzuweisen, darf der Lieferer Vorversuche anstellen, und zwar möglichst unmittelbar vor dem Hauptversuch; sie können jedoch kürzer sein als dieser.

Es ist zulässig, einen Vorversuch, der alle für einen Hauptversuch geltenden Bestimmungen erfüllt, mit Einverständnis der Beteiligten als Hauptversuch anzusehen. Die Hauptversuche sollen erst nach entsprechender Betriebszeit vorgenommen werden. Vereinbarung der Frist wird empfohlen.

4. Für die Abnahme sind nur solche Untersuchungen maßgebend, die zum Nachweis der gegebenen Zusicherungen unbedingt erforderlich sind.

Maßeinheiten und Grundwerte.

5. Alle Abmessungen sind in metrischen Maßen, die Gewinde nach den Dinormen anzugeben.

6. Die gesetzliche Temperaturskala ist die thermo-dynamische Skala mit der Maßgabe, daß die normale Schmelztemperatur des Eises mit 0° und die normale Siedetemperatur des Wassers mit 100° bezeichnet wird. Die gesetzlichen Einheiten für die Messung von Wärmemengen sind die Kilokalorie (kcal), gleich derjenigen Wärmemenge, durch welche ein Kilogramm Wasser bei Atmosphärendruck von $14,5^{\circ}$ auf $15,5^{\circ}$ erwärmt wird. (Reichsgesetzblatt vom 12. August 1924, Teil I, S. 679.)

7. Drücke sind in kg/cm^2 ($1 \text{ kg/cm}^2 = 1$ technische Atmosphäre = 1 at) anzugeben, und zwar als Überdrücke (atü), Unterdrücke (atu) oder als absolute Drücke (ata) zu bezeichnen. Angaben ohne nähere Bezeichnung gelten als Überdruck. Geringere Drücke werden auch in mm W.-S. (kg/m^2) oder in mm Q.-S., und zwar als Überdruck oder als Unterdruck angegeben.

Stets ist der jeweilige Barometerstand anzugeben.

8. Für die Leistung einer Kraftmaschine gelten als Maßeinheiten: das Kilowatt und die Kilowattstunde, gleichwertig dem Tausendfachen der Wärmemenge, die ein Gleichstrom von 1 gesetzlichen Ampere in einem Widerstande von 1 gesetzlichen Ohm während einer Stunde entwickelt; ebenso das Kilowatt (kW) =

102 Meterkilogramm in der Sekunde (mkg(s) und die Pferdestärke (PS) = 75 Meterkilogramm in der Sekunde (1 kW = 1,36 PS, 1 PS = 0,736 kW).

Zu empfehlen ist die möglichst allgemeine Benutzung der Einheit kW in der Form von ind. kW, eff. kW, el. kW für indizierte, effektive und elektrische Leistungen.

Als Arbeitseinheiten gelten die Kilowattstunden (kWh) und die Pferdekraftstunde (PSh).

9. Als mechanisches Wärmeäquivalent gilt der Wert $427 \text{ mkg} = 1 \text{ kcal}$ entspr. $1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$ und $1 \text{ PSh} = 632,3 \text{ kcal}$.

Der Wärmeinhalt des Dampfes ist nach anerkannten Dampf tafeln z. B. von Mollier oder Knoblauch, Raisch und Hausen, zu berechnen oder Entropietafeln zu entnehmen. Die Rechnungsweise ist durch den entsprechenden Zusatz, z. B. „nach Knoblauch 1923“, anzugeben.

Meßgeräte.

10. Alle verwendeten Meßgeräte müssen zuverlässig sein.

Schreibende Meßgeräte sind zu wichtigen Untersuchungen nur insofern zulässig, als ihre Angaben zu jeder Zeit, auch im Betriebe nachgeprüft werden können.

11. Feste und flüssige Brennstoffe werden gewogen, gasförmige werden gemessen.

Wassermengen werden entweder gewogen oder in geeichten Gefäßen gemessen; im letzten Falle sind die Gefäße entweder bei der Temperatur des zu messenden Wassers zu eichen oder ihr Inhalt ist nach dieser Temperatur zu berichtigen.

Für besonders große Wassermengen, bei denen sich eines der vorerwähnten Verfahren wegen der erforderlichen Größe der Gefäße nicht anwenden läßt, wird das Kondensat durch Ausflußdüsen gemessen. Woltmann-Flügel und Wehrüberlauf sind für Abnahmemessungen unzulässig.

Wassermesser sind im allgemeinen für Abnahmeversuche nicht zuverlässig, jedoch empfiehlt es sich, sie zur Sicherung gegen Aufschreibfehler regelmäßig zu beobachten, vorausgesetzt, daß sie geeicht und ausreichend verläßlich befunden worden sind.

Wassermessung durch Ausflußdüsen ist nur zulässig bei hinreichend gleichmäßigem Wasserzu- und -abfluß und unter der Bedingung, daß die Meßvorrichtung für die in Betracht kommende Ausflußmenge bei der entsprechenden Temperatur geeicht wird. Für Dampfmessungen sind vorläufig¹⁾ nur geeichte Düsen zulässig.

12. Temperaturen werden mit Quecksilberthermometern, elektrischen Widerstandsthermometern oder Thermoelementen gemessen.

Alle Temperaturmeßeinrichtungen sind vor den Versuchen mit geeichten Einrichtungen zu vergleichen. Dem Einbau der Meßinstrumente ist besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden mit Rücksicht auf Beeinflussung durch Wärmeab- und -zuführung.

Ragt bei Quecksilberthermometern ein Teil der Säule aus der Flüssigkeit, deren Temperatur zu messen ist, oder der in dieser eingebauten Hülse heraus, so ist die Fadenberichtigung vorzunehmen²⁾.

Eingebaute Hülsen (Thermometertauchrohre) sollen dünnwandig sein und in der Bohrung nur so weit, daß das Thermometer eben noch eingeführt werden kann. Der verbleibende Zwischenraum ist mit hochsiedendem Zylinderöl oder am besten mit Quecksilber (jedoch nur für Meßtemperaturen unter 350° , weil es bei 357° verdampft) auszufüllen, außerdem ist das Thermometer mit einer Asbestwicklung oder einem Asbestdeckel am Tauchrohrende abzudichten, damit keine Luft-

¹⁾ Mit Rücksicht auf die in der Ausbildung begriffenen Meßmethoden mit Düsen und Staurand werden im später erscheinenden Anhang Hilfstafeln aufgenommen.

²⁾ Die Temperatur des außen befindlichen Teiles des Thermometers wird durch ein eigens hierzu daneben angebrachtes Thermometer gemessen mit t' ° C. Beträgt die Länge des freien Quecksilberfadens n ° (gemessen an der Skala) und ist t die abgelesene Temperatur, so ist die berichtigte Temperatur T

$$T = t + n \alpha (t - t'),$$

$$\alpha = 0,000135 \text{ für Glasthermometer.}$$

zirkulation stattfinden kann. Einzuschraubende Thermometertauchrohre sind mit $\frac{3}{4}$ " Whitworth-Rohrgewinde zu versehen. Metallhülsen dürfen nicht herausragen, da sie zu falschen Meßergebnissen führen.

Temperaturmeßgeräte sind vor Strahlung (wärmerer oder kälterer Körper) zu schützen.

Bei Messungen in Gasen oder überhitztem Dampf soll wegen der schlechten Leitfähigkeit das Temperaturmeßgerät in die Rohrleitung möglichst axial eingeführt und mit seinem wärmeempfindlichen Teil dem Dampfstrom entgegengerichtet werden. Die Messung darf nur an gut isolierten Stellen erfolgen.

In Rauchgasen darf nur an Stellen gemessen werden, an denen die Thermometer der Abstrahlung an kältere Flächen (Kessel, Vorwärmer) nicht ausgesetzt sind. Im Notfalle ist das Thermometer gegen Ausstrahlung zu sichern (vgl. Z. bayr. Rev.-V. 1914).

In größeren Querschnitten (Heizgaskanälen) sind mehrere Meßgeräte an verschiedenen Stellen des Querschnittes einzusetzen.

13. Drücke (mit Ausnahme von Zugstärken) sind entweder mit geprüften Federmanometern (zweckmäßig Doppelmanometern) oder mit Quecksilbermanometern zu messen. Es wird empfohlen, sämtliche Druckmesser mit Prüfflanschen auszurüsten.

14. Indikatoren sollen an den Zylinderenden ohne lange oder scharfgekrümmte Zwischenleitungen angebracht werden. Die Bohrung für den Indikatorhahn hat $\frac{3}{4}$ " Whitworth-Gewinde. Bei der Hubverminderung sind lange Schnüre zu vermeiden. Die Schreibstifte sind scharf und zentrisch zu spitzen.

Die Diagrammflächen werden mit Hilfe eines Polarplanimeters oder in anderer zuverlässiger Weise ausgewertet. Die Auswertung ist zur Sicherheit in demselben Sinne zu wiederholen.

15. Die Indikatoren und ihre Federn sind in üblicher Weise mit Gewichtsbelastung ohne Kolben zu eichen, Manometer mindestens mit geeichten Manometern oder Indikatoren zu vergleichen und hiernach zu berichtigen. Alle elektrischen Meßgeräte, die zur Bestimmung der Leistung dienen, sollen Feinmeßgeräte der Klasse E nach den Regeln für Meßgeräte 1923 des Verbandes Deutscher Elektrotechniker sein und sind erforderlichenfalls zu eichen.

Dampferzeugeranlagen.

Benennungen und Vergleichswerte.

16. Unter Rostfläche versteht man die gesamte mit Brennstoff bedeckte und mit Öffnungen für den Luftzutritt versehene Fläche des Rostes. Als Heizfläche gilt bei Kesseln und Vorwärmern die auf der Feuerseite gemessene Fläche auf der einen Seite von den Heizgasen, auf der andern Seite von Wasser bespülte Wandungen. Sind bei einem Kessel auch dampfbespülte Wandungen mit dem Heizgasen in Berührung, so sind sie besonders anzugeben, jedoch nicht zur Heizfläche zu rechnen. Die Grenze zwischen Vorwärmer und Kessel ist durch das Rückschlagventil gegeben.

17. Bei Überhitzern gilt als Heizfläche die auf der Feuerseite gemessene Fläche der auf der einen Seite von den Heizgasen und auf der andern Seite vom Dampf berührten Wandungen.

18. Als Maß für die Leistung einer Dampferzeugeranlage gilt die in einer Stunde verdampfte Wassermenge in kg Dampf von 640 kcal (Normaldampf). Die spezifische Leistung ist die stündlich auf 1 m² Heizfläche erzeugte Anzahl kg Normaldampf.

19. Als Heizwert kommt wissenschaftlich nur der obere, d. h. auf 0° Endtemperatur und flüssiges Wasser bezogene Heizwert in Betracht. Mit Rücksicht auf die notwendige Anpassung an den bisherigen Gebrauch sowie den erheblichen Unterschied, der sich bezüglich der Wirkungsgrade ergibt zwischen unterem und oberem Heizwert bei wasser- und wasserstoffreichen Brennstoffen, empfiehlt es sich, auch den unteren Heizwert, bezogen auf Kohlensäure und dampfförmiges Wasser, vorläufig mitanzugeben und zu berücksichtigen.

Der Heizwert wird bezogen
bei festen und flüssigen Brennstoffen auf 1 kg des beim Versuch abgewogenen
Brennstoffes (ohne Abzug von Asche, Wasser usw.);
bei gasförmigen Brennstoffen auf 1 m³ bei 0° C und 760 mm Q.-S.

Abnahmeversuche.

Bei der Bestellung ist zu vereinbaren, welche Abnahmeversuche zu machen sind. Gegenstand der Abnahmeversuche können sein:

20. Bei einer Dampferzeugeranlage

- a) die Menge des stündlich verheizten Brennstoffes (Brennstoffverbrauch) oder diese Menge bezogen auf 1 m² Rostfläche (Rostleistung) und ihr Wärmewert,
- b) die Menge des stündlich aus Speisewasser von bestimmter Temperatur erzeugten Dampfes von gewisser Spannung und Temperatur und die stündlich nutzbar gemachte Wärmemenge oder diese Menge bezogen auf 1 m² Kesselheizfläche, ausgedrückt in kcal,
- c) die Verdampfungszahl, d. h. das Verhältnis der verdampften Wassermenge (b) zum verheizten Brennstoff (a),
- d) der Wirkungsgrad der Dampfkesselanlage, d. h. das Verhältnis der nutzbar gemachten Wärme zum Heizwert des Brennstoffes (bzw. die Anteile des Vorwärmers, des Überhitzers und des Kessels an der nutzbar gemachten Wärme) mit oder ohne Unterteilung der Wärmeverluste (Abgas-, Rückstands-, Durchfallsverluste u. a.),
- e) die Zug- und Druckverhältnisse der Verbrennungsluft und der Heizgase an einzelnen Stellen der Dampferzeugungsanlage,
- f) die Zusammensetzung und Temperatur der Heizgase und die Temperatur der Luft,
- g) die einzelnen in der Dampfkesselanlage auftretenden Verluste und der zusätzliche Verbrauch der Nebeneinrichtungen (z. B. mechanische Zugerzeugung, Rostantrieb),
- h) das Verhalten der Armaturen,
- i) bei vorheriger Vereinbarung im Lieferungsvertrage auch das Verhalten des Kessels im Betriebe in bezug auf Wasserumlauf und Elastizität.

21. Bei einer Feuerungsanlage

- a) die Menge des stündlich verheizten Brennstoffes (Brennstoffverbrauch) oder diese Menge bezogen auf 1 m² Rostfläche (Rostleistung, Brenngeschwindigkeit) und ihr Wärmewert,
- b) die Zug- und Druckverhältnisse der Verbrennungsluft und der Heizgase einzelnen Stellen der Feuerzüge,
- c) die Zusammensetzung und Temperatur der Heizgase und die Temperatur der Luft,
- d) die einzelnen in der Feuerungsanlage auftretenden Verluste und der zusätzliche Verbrauch der Nebeneinrichtungen (z. B. mechanische Zugerzeugung, Rostantrieb),
- e) Bildung der Brennschicht, Durchfall der Kohle, Beschaffenheit der Rückstände, Verhalten der Einmauerung, Bedienungsarbeit.

22. Bei einer Überhitzeranlage

- a) bei unmittelbar geheiztem Überhitzer die Menge des stündlich verheizten Brennstoffes (Brennstoffverbrauch) bzw. diese Menge, bezogen auf 1 m² Rostfläche (Rostleistung) und ihr Wärmewert,
- b) bei mittelbar geheiztem Überhitzer die Zusammensetzung, Anfangs- und Endtemperatur der durch den Überhitzer strömenden Heizgase und die Menge und der Heizwert des verfeuerten Brennstoffes, dem die Heizgase entstammen,
- c) Menge, Druck, Anfangs- und Endtemperatur des durch den Überhitzer strömenden Dampfes,
- d) bei unmittelbar gefeuertem Überhitzer der Wirkungsgrad, d. h. das Verhältnis der nutzbar gemachten Wärme zum Heizwert des Brennstoffes,

- e) bei mittelbar geheiztem Überhitzer der Anteil am Gesamtwirkungsgrad, d. h. das Verhältnis der im Überhitzer nutzbar gemachten Wärme zum Heizwert des Brennstoffes,
- f) der Druckverlust des Dampfes beim Durchgang durch den Überhitzer,
- g) der durch den Überhitzer verursachte Zeitverlust,

23. Bei einer Rauchgasvorwärmanlage

- a) Zusammensetzung, Anfang- und Endtemperatur der durch den Vorwärmer strömenden Heizgase, ferner die Menge und der Heizwert des Brennstoffes, dem die Heizgase entstammen,
- b) Menge, Anfangs- und Endtemperatur, Anfangs- und Enddruck des durch den Vorwärmer strömenden Wassers,
- c) der Wirkungsgrad der Vorwärmanlage für sich, d. h. das Verhältnis der im Vorwärmer nutzbar gemachten Wärme zu der in den zuströmenden Heizgasen enthaltenen Wärme und der Anteil am Gesamtwirkungsgrad, d. h. das Verhältnis der nutzbar gemachten Wärme zum Heizwert des Brennstoffes,
- d) die Zug- und Druckverhältnisse der Heizgase an einzelnen Stellen der Vorwärmanlage.

24. Bei einer mechanischen Zuanlage neben den sonstigen Messungen 20 bis 23:

- a) bei Unterwind: Überdruck am Ventilatorstutzen, Überdruck am Ende der Druckleitung,
- b) bei Saugzug: Unterdruck am Ventilatorstutzen, Unterdruck am Anfang der Saugleitung,
- c) Größe des Reglerquerschnittes des Ventilators im Verhältnis zum Gesamtquerschnitt,
- d) bei Dampfstrahlgebläsen: Dampfüberdruck vor der Blende oder Düse unter Angabe des Düsenquerschnittes,
- e) Kraft- und Dampfbedarf der Zugeinrichtung.

25. Bei einer Rohrleitungsanlage

- a) der Druckverlust im Zusammenhang mit Druck, Temperatur, Dampfgeschwindigkeit (Dampfmenge) und Länge der Leitung,
- b) der Niederschlagsverlust oder der Temperaturverlust im Zusammenhang mit Druck, Temperatur, Dampfgeschwindigkeit (Dampfmenge), Länge der Leitung und Art des Wärmeschutzes,
- c) der Anteil, den Ventile und Krümmungen am Druckverlust haben,
- d) die Dehnung des Rohrstranges durch die Wärme, wie die Güte der Ausgleichsvorrichtungen,
- e) die Lagerung und Beweglichkeit der Rohrleitung,
- f) Wärmeverluste in Kondensat- und Speiseleitungen.

Ausführung der Abnahmeversuche.

Allgemeine Bestimmungen.

26. Vor Abnahmeversuchen ist die Dampfkesselanlage innerlich und äußerlich zu reinigen, auf ihre Dichtigkeit zu untersuchen und in ordnungsmäßigen Zustand zu bringen; eine Wasserdruckprobe ist nicht unbedingt notwendig.

27. Um den Beharrungszustand herbeizuführen, ist die Versuchsanlage je nach ihrer Beschaffenheit einen oder mehrere Tage unmittelbar vor dem Versuch in laufendem Betrieb zu halten, und zwar tunlichst mit demselben Brennstoff und derselben Beanspruchung wie während des Versuches.

Am Versuchstage haben Messungen schon vor Beginn des Abnahmeversuches zu erfolgen, um den Zustand der Anlage beurteilen zu können.

Alle Ablesungen sollen in gleichen Zeitabständen (15 Minuten, nach Bedarf weniger) gemacht werden.

Dauer und Gleichmäßigkeit der Versuche.

28. Ein Versuch zur Bestimmung der Leistung (Rost- oder Dampfleistung) sowie der Verdampfungszahl oder des Wirkungsgrades einer Dampfkesselanlage muß fortlaufend mindestens 6 Stunden dauern.

Handelt es sich lediglich um die Untersuchung der Heizgase, Zugverhältnisse u. dgl., so sind kürzere Versuche zulässig. Wenn nichts anderes vereinbart, genügt zum Nachweis der vorübergehenden Höchstleistung ein einstündiger Versuch.

29. Bei Abnahmeversuchen soll die Belastung (Dampfleistung) möglichst gleichmäßig gehalten und erforderlichenfalls künstlich hergestellt werden.

Im allgemeinen dürfen keine größeren Schwankungen in der Belastung als $\pm 15\%$ vom Mittelwert auftreten. Die Schwankungen werden nach dem bei den stündlichen Abschlüssen sich ergebenden Wasserverbrauch ermittelt.

Ermittlung des Brennstoffverbrauches.

30. Zur richtigen Ermittlung des Brennstoffverbrauches ist es erforderlich, daß alle Feuerungsverhältnisse, insbesondere die auf dem Rost befindliche Brennstoffschicht, ihr Wärmeinhalt, die Brenngeschwindigkeit (Zugstärke, Heizgastemperatur) bei Beginn und bei Abschluß des Versuches übereinstimmen.

Bei nicht selbsttätig und fortlaufend abschlackenden Feuerungen ist zu diesem Zweck in gleichen Zeiträumen vor dem beabsichtigten Beginn und vor dem Abschluß des Versuches das Feuer zu reinigen und wieder in ordnungsmäßigen Zustand zu bringen.

Bei selbsttätigen Feuerungen ist während einer genügenden Zeit vor Beginn und vor Abschluß des Versuches oder nach der Reinigung des Feuers mit derselben (Rostnachschieb-) Geschwindigkeit, derselben Schichthöhe, Zugstärke usw. zu fahren.

Während des Versuches ist die Zugstärke am Austritt der Gase aus dem Kessel vor dem Zugregler, wenn möglich auch noch über und unter dem Rost regelmäßig zu vermerken.

31. Der während des Versuches zur Verwendung kommende Brennstoff ist zu wiegen, dabei sind Proben zu entnehmen. Der Zweck der Probenahme ist, Heizwert und chemische Zusammensetzung des Brennstoffes in richtigem Durchschnitt zu ermitteln und gleichzeitig den Feuchtigkeitsgrad festzustellen, den der Brennstoff im Augenblick der Wägung hat. Hierzu sind unter Umständen reichlich ($1\div 2\%$ der verfeuerten Brennstoffmenge) bemessene Probenmengen erforderlich, da neben der Durchschnittsprobe entnommene kleine sog. Feuchtigkeitsprobenmengen leicht irreführend sind.

Man verfährt in der Probeentnahme in der Weise, daß man von den praktisch sich ergebenden Einheiten, Transportgefäßen, tarierten Wiegegefäßen usw. jeweils eine oder mehrere Schaufeln voll nimmt und diese Einzelmengen in einem mit Deckel versehenen Behälter sammelt. Bei feuchtem Brennstoff ist eine mit Blech ausgekleidete Kiste mit kleiner Öffnung und dicht schließendem Deckel zu verwenden.

Bei ungleichmäßig sortierten Kohlen ist darauf zu achten, daß das Verhältnis zwischen Stück- und Feinkohle in der Probe möglichst das gleiche ist wie in der Gesamtmenge des Brennstoffes.

Die Probe wird durch wiederholtes Zerkleinern, Mischen und Teilen auf sauberer, harter Unterlage aufbereitet. Bei der letzten Zerkleinerung dürfen die Stücke nicht größer als nußgroß sein. Die Probenmenge wird ausgebreitet und in bekannter Weise durch Vierteln eines Quadrates oder sonstige Unterteilung die Durchschnittsmenge entnommen.

Bei Mischungen aus festen Brennstoffen muß von jedem Brennstoff eine eigene Probe gezogen werden. Enthält ein Brennstoff Schiefer in deutlich erkennbarer Menge, so sind die Schieferstücke bei der Aufbereitung der Probe auszusondern, fein zu zerkleinern und sodann über die ganze Probe zu zerstreuen. Bei Briketts schlägt man Stücke ab, und zwar gleichmäßig aus inneren und äußeren Teilen.

Die Proben (mindestens 5 kg) sind in verlöteten Blechbüchsen oder anderen geeigneten Gefäßen, die ein Verdunsten der Feuchtigkeit oder Entweichen der flüchtigen Bestandteile verhindern, bis zur Vornahme der Analyse aufzubewahren.

Bei flüssigen und gasförmigen Brennstoffen ist, wenn irgendmöglich, die ununterbrochene Probenahme anzuwenden.

Um die während des Versuches angefallene Asche und Schlacke bestimmen und untersuchen zu können, ist der Aschenfall vor dem Versuch zu entleeren; ist dies nicht möglich, so sind die Rückstände darin vor und nach dem Versuch abzugleichen.

Die gezogene Aschen- und Schlackenmenge wird, gegebenenfalls getrennt, gewogen; es wird je eine Durchschnittsprobe nach vorstehender Anleitung entnommen. Die Rückstände sind trocken zu wiegen, Glühendes ist hierauf sofort abzulöschen.

Ermittlung des verdampften Wassers bzw. des erzeugten Dampfes.

32. Der Wasserstand und der Dampfdruck (bzw. der Wärmewert des Inhaltes bei Vorwärmern) sollen beim Beginn und beim Abschluß des Versuches gleich sein.

Geringe Abweichungen des Wasserstandes oder des Dampfdruckes am Ende des Versuches sind, falls sie sich nicht vermeiden lassen, nach ihrem Wärmewert, entsprechend den Drücken (bzw. den Temperaturen bei Vorwärmern) bei Beginn und Abschluß des Versuches, in Rechnung zu ziehen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß, wenn Berichtigungen nicht zu vermeiden sind, diese für den Wasserstand gemacht werden sollen, während besonders auf Gleichhaltung des Dampfdruckes und des Feuerzustandes, d. h. der Brenngeschwindigkeit, beim Beginn und Abschluß des Versuches zu achten ist, auch wenn nicht gleichzeitig der Brennstoffverbrauch bestimmt wird.

Besondere Sorgfalt verlangen in dieser Beziehung die Wasserrohrkessel und ähnliche Kessel mit stark schwankendem Wasserspiegel, bei denen außerdem während der Dampfentwicklung die Wassermasse durch die im Wasser enthaltenen Dampfblasen scheinbar erheblich vergrößert wird.

Es ist deshalb, wenn beim Versuch ununterbrochen gespeist werden kann, was ohnehin bei Kleinwasserraumkesseln sehr erwünscht ist, bei Beginn und Abschluß normal weiter zu speisen. Bei unterbrochener Speisung ist möglichst lange vor Beginn und vor Abschluß des Versuches die Speisung einzustellen.

33. Das Speisewasser wird entweder gewogen oder in anderer zuverlässiger Weise gemessen (siehe 10 und 11).

Es ist Sorge zu tragen, daß das gemessene Wasser richtig in den oder die Versuchskessel gelangt; alle nicht zum Versuch nötigen Wasserrohrleitungen und Abzweigungen sind mit Blindflanschen abzusperren.

Alles Leckwasser an den Ausrüstungsstellen ist aufzufangen und in Rechnung zu bringen.

Bei Abnahmeversuchen ist es unzulässig, zur Speisung Dampfpumpen, Injektoren oder andere Vorrichtungen zu verwenden, deren Betriebsdampf mit dem Speisewasser in Berührung kommt.

Blasen der Sicherheitsventile soll vermieden werden¹⁾.

34. Versuche, bei denen erhebliche Wassermengen durch den Dampf in die Rohrleitung mitgerissen werden, sind als ungenau zu bezeichnen, wenn diese Wassermengen nicht ermittelt und berücksichtigt werden²⁾.

Liegen berechnete Zweifel über Wassermitreißen vor, so ist ein Wasserabscheider einzuschalten, und zwar möglichst nahe am Dampfkessel vor dem Überhitzer.

35. Es muß regelmäßig, womöglich ununterbrochen gespeist werden, und zwar so, daß Wasserstand und Dampfdruck während des Versuches möglichst auf gleicher Höhe erhalten werden.

36. Wasserstand und Dampfdruck sind während des Versuches regelmäßig zu vermerken, ersterer ist stündlich zu Zwischenabschlüssen zu verwenden.

¹⁾ Der Betriebsdruck soll deshalb 5÷10% unter dem genehmigten liegen.

²⁾ Sattdampf, der durch einen wirksamen Wasserabscheider, z. B. 2 hintereinander angeordnete, mit Wasserablauf versehene, exzentrisch gebohrte Drosselflansche — siehe Mitteilungen über Forschungsarbeiten des V. d. I. Heft 98/99 — durchgeleitet worden ist, wird im allgemeinen nicht mehr als 0,5÷1% Wassergehalt aufweisen und darf als technisch trockener Dampf gelten.

Die Temperatur des Speisewassers ist an einer Stelle zu messen, wo sie dem Eintritt in den Dampfkessel entspricht.

Das Mittel der Speisewassertemperatur kann nur dann richtig bestimmt werden, wenn die Speisung gleichmäßig ist.

Ist ein Überhitzer vorhanden, so sind Temperatur und Druck des Dampfes dicht hinter dem Überhitzer zu messen.

Bei Vorwärmern ist die Temperatur des Wassers dicht hinter dem Vorwärmer zu messen. (Bei allen diesen Messungen beachte man die Angaben unter Meßgeräte 12.)

Untersuchung der Heizgase.

37. Die Temperatur ist an der Stelle, wo die Heizgase den Kessel verlassen, möglichst aber vor dem Zugregler zu messen.

Die Thermometer sind mit sorgfältiger Abdichtung in die Rauchkanäle einzusetzen, bei größeren Querschnitten ist an mehreren Stellen zu messen; die Anbringung ist für die Brauchbarkeit der Ergebnisse entscheidend, Meßfehler durch Abstrahlung kommen ungemein häufig vor. Letzteres gilt in erhöhtem Maß auch von Messungen der Gastemperaturen vor und hinter Überhitzern und Vorwärmern (vgl. 12).

Die Temperatur der in die Feuerung tretenden Luft wird nahe der Feuerung gemessen, wobei das Thermometer vor Wärmestrahlung zu schützen ist.

38. Während des Versuches werden entweder ununterbrochen oder in gleichmäßigen, mindestens viertelstündigen Abständen durch ein luftdicht neben dem Temperaturmesser eingesetztes Rohr, dessen Mündung in den Gasstrom reicht, Gasproben entnommen und auf ihre Zusammensetzung untersucht.

Für die Berechnung der Wärmemenge, die in den abziehenden Gasen verloren geht, ist die Zusammensetzung derjenigen Heizgase maßgebend, die am Ende der Heizfläche neben dem zugehörigen Temperaturmesser entnommen sind.

Auswertung der Ergebnisse und Berichterstattung.

39. Bauart und Betriebsverhältnisse der Kesselanlage sind im Bericht möglichst vollständig anzugeben und so zu erläutern, daß alles zur Beurteilung und Auswertung der Versuchsergebnisse Erforderliche im Bericht enthalten ist.

Bei Schwankungen sind im Bericht neben den Mittelwerten die höchsten und die niedrigsten Werte der hauptsächlichsten Ablesungen und Feststellungen anzuführen.

40. Weicht bei einem Abnahmeversuch die sich ergebende mittlere Belastung oder Beanspruchung von einem der vertragsmäßig bestimmten Werte ab, so muß das Versuchsergebnis mit den Zusicherungen über Wirkungsgrad oder Verdampfungszahl auf Grund einer Interpolation verglichen werden. Sind im Verträge die Zusicherungen nur für einen Belastungswert angegeben, so wird angenommen, daß die zugesicherte Zahl auch für einen Mittelwert gilt, der um $\pm 7,5\%$ von dem genannten abweicht.

41. Ob und wieviel das Versuchsergebnis von der Zusage abweichen darf, soll im Lieferungsvertrage festgelegt sein. Ist hierüber keine besondere Vereinbarung getroffen, so gelten, um unvermeidlichen Beobachtungsfehlern und Schwankungen während des Versuches Rechnung zu tragen, die Zusagen noch als erfüllt, wenn die erzielten Werte (Ausnutzung Dampfdruck und Überhitzungstemperatur) um nicht mehr als 5% des gewährleisteten Wertes von diesem abweichen.

Die zugesagte Dampfleistung muß, wenn die vereinbarten Umstände vorliegen, stets voll erreicht werden.

Kolbendampfmaschinen.

Benennungen und Vergleichswerte.

42. Unter Leistung einer Dampfmaschine versteht man, wenn keine andere Bezeichnung angegeben ist, stets die Nutzleistung an der Welle. Der Arbeitsaufwand für anderweitig angetriebene Hilfsmaschinen ist getrennt anzugeben. Soll die indizierte oder die elektrische Leistung einer Kolbendampfmaschine gemeint sein, so ist dies ausdrücklich auszusprechen.

43. Die Angabe des Dampfverbrauches für die Pferdekraftstunde bezieht sich bei Kolbendampfmaschinen, wenn nichts anderes gesagt wird, auf die indizierte Leistung.

44. Der Dampfverbrauch für die Kilowattstunde bei Kolbendampfmaschinen, die elektrische Generatoren antreiben, bezieht sich auf die elektrische Leistung an den Klemmen. Die Leistung einer unmittelbar angetriebenen Erregermaschine ist nicht als Nutzleistung anzusehen. Bei Fremderregung ist die Erregerleistung wenn nichts anderes vereinbart ist, von der elektrischen Leistung an den Klemmen in Abzug zu bringen.

45. Der mechanische Wirkungsgrad ist das Verhältnis der Nutzleistung zur indizierten.

Wenn die Nutzleistung nicht unmittelbar durch Torsionsdynamometer, Bremsung oder aus der elektrischen Leistung mit Berücksichtigung der elektrischen und mechanischen Verluste des Generators (zu den gemessenen elektrischen Verlusten sind 2% der elektrischen Leistung als Abgeltung der mechanischen Verluste zuzuschlagen)¹⁾ bestimmt werden kann, so gilt als ihr Maß der Unterschied zwischen der indizierten Leistung (N_1) bei der jeweiligen Belastung und der indizierten Leistung des Leerlaufes (N_0) und als Maß für den mechanischen Wirkungsgrad das Verhältnis $\frac{N_1 - N_0}{N_1}$.

46. Die Leerlaufleistung ist im betriebswarmen Zustand der Maschine, d. h. nach mehrstündigem Betrieb mit Belastung, zu messen. Hierbei ist besonders darauf zu achten, daß während der Indizierung die Drehzahl gleichbleibt.

Abnahmeversuch.

47. Bei Bestellung ist zu vereinbaren, welche Abnahmeversuche zu machen sind. Gegenstand der Abnahmeversuche können sein:

- a) die Leistung (indizierte, Nutzleistung, elektrische Leistung),
- b) der Dampfverbrauch für die Arbeitseinheit und sein Wärmewert bei bestimmten Dampf-, Kühlwasser- und Belastungsverhältnissen,
- c) die Schwankungen der Umlaufzahl bei Belastungsänderungen, die Ungleichförmigkeit innerhalb einer Umdrehung, die Regelung, z. B. der Unempfindlichkeitsgrad des Fliehkraftreglers für sich und die Regelung im ganzen,
- d) der Kraftbedarf im Leerlauf und der mechanische Wirkungsgrad,
- e) der Arbeits- oder Dampfverbrauch nicht unmittelbar von der Maschine angetriebener Hilfsmaschinen,
- f) die Dampf- und Luftzustände und die Wasserverhältnisse in den Kondensationseinrichtungen und der Rückkühlanlage,
- g) der Ölverbrauch.

Ausführung der Abnahmeversuche.

Versuchsdauer und Versuchsbedingungen.

48. Ein Versuch zur Bestimmung des Dampfverbrauches soll bei Speisewassermessung im allgemeinen 6 Stunden, bei durchaus gleichförmiger Leistung 4 Stunden dauern.

49. Wird die Menge des verbrauchten Dampfes durch Kondensatmessung festgestellt, so kann der Versuch auf eine Stunde beschränkt werden.

50. Für die Feststellung der Leistung und des mechanischen Wirkungsgrades sowie der vorübergehenden Höchstleistung genügen kürzere Versuche, diese sollen mindestens $\frac{1}{4}$ Stunde durchgehalten werden.

51. Alle Ablesungen — Dampfdrücke und Temperaturen vor der Maschine, an Zylindern und Aufnehmern, Kondensatordruck und sonstige zur Beurteilung nötige Werte — sind in bestimmten Zeitabständen zu machen, die nach Bedarf zu wählen sind.

Bei Verbrauchsversuchen sind die Ablesungen und Aufnahme von Indikator diagrammen alle 15 Minuten, bei schwankender Belastung alle 10 Minuten oder in noch kürzeren Zeiten vorzunehmen.

¹⁾ Siehe auch § 55, 4 der Regeln für elektrische Maschinen 1923 des Verbandes Deutscher Elektrotechniker.

52. Bei Leistungsbestimmungen sind mindestens zwei Sätze von Indikator-
diagrammen abzunehmen.

53. Versuche sollen nicht eher beginnen, bis in der Maschine und den Meß-
geräten Beharrungszustand bezüglich Kräfte und Temperaturen eingetreten ist.

54. Findet ein Verbrauchsversuch während des regelmäßigen Fabrikbetriebes
statt, so sind mindestens die erste ganze und die letzte halbe Stunde des Arbeits-
tages von der eigentlichen Versuchszeit auszuschließen, ebenso möglichst die
Tage vor und nach Feierschichten.

55. Belastung, Dampfspannung und Temperatur sollen bei einem Abnahme-
versuch während der Versuchsdauer möglichst gleichmäßig gehalten werden.
Erforderlichenfalls ist die Gleichmäßigkeit der Belastung künstlich herzustellen.

56. Als äußerste, in ungünstigen Betrieben noch zulässige Grenze der Schwan-
kungen gelten bei der Leistung $\pm 15\%$, bei Druck und Temperatur $\pm 7,5\%$ gegen
den Mittelwert. Größere Schwankungen begründen Anspruch auf ein Spiel, das
über die in Punkt 73 angegebenen Werte hinausgeht und vorkommendenfalls zu
vereinbaren ist.

Bestimmungen über die Durchführung der Versuche.

57. Alle mit den Versuchskesseln in Verbindung stehenden Leistungen, die
nicht zum Versuche dienen, ebenso alle Abzweigungen von den letzteren sind,
soweit sie sich der Beobachtung entziehen, durch Blindflansche abzusperrern.

58. Die für die Beurteilung der Kolbendampfmaschine maßgebende Spannung
und Temperatur des einströmenden Dampfes ist unmittelbar vor der Maschine
zu messen; der Druck beim Eintritt der Dampfleitung in den Wasserabscheider
vor der Maschine ist ebenfalls zu messen und anzugeben, er dient zur Beurteilung
des Druckverlustes in der Leitung.

59. Bei Maschinen mit Drosselregulierung gilt der Dampfzustand vor dem
Drosselorgan als Druck vor der Maschine.

60. Als Gegendruck gilt der Druck des ausströmenden Dampfes im Auspuff-
rohr. Bei Kondensationsmaschinen erfolgt die Messung an der Eintrittsstelle in
den Kondensator. Der Druckverlust durch eingeschaltete Entöler oder Vor-
wärmer ist zu messen und im Einklang mit dem Vertrag gegebenenfalls zu berück-
sichtigen.

61. Der Barometerstand (absoluter Luftdruck) ist einmal, nötigenfalls mehr-
mals festzustellen.

62. Die Umlaufzahl wird durch Hubzähler gemessen, die in regelmäßigen
Zeitabständen abzulesen sind. Bei stark schwankender Belastung werden außer-
dem Tachometer oder Tachographen zu benutzen sein.

63. Der Dampfverbrauch kann ermittelt werden:

1. durch Messung oder Wägung mit geeichten Gefäßen oder Vorrichtungen:
a) des Speisewassers,
b) des im Oberflächenkondensator niedergeschlagenen Dampfes (hierbei ist
auf Dichtheit und auf den Wasserverlust der Abdampfentöler ganz besonders zu
achten),

2. durch geeichte Düsen für die Entnahme-Dampfmengen, falls Niederschlagen
nicht möglich ist.

64. Das Niederschlagswasser aus der Dampfleitung ist durch Wasserabscheider
auszuscheiden, zu messen und von der gemessenen Speisewassermenge abzu-
ziehen. Es fällt der Maschine nicht zur Last.

65. Niederschlagswässer aus Mantel-, Deckel- und Aufnehmerheizungen, bzw.
die dem Arbeitsdampf zugeführten Wärmemengen, sind tunlichst gesondert zu
bestimmen. Sie gehören zum Verbrauch der Maschine. Die Meßeinrichtungen
müssen so beschaffen sein, daß Verluste durch Wiederverdampfung ausgeschlossen
sind. (Geschlossene Gefäße mit Wasserstandsglas, oder Abkühlung des aus-
fließenden Niederschlagswassers auf etwa 40° .)

66. Der Dampfverbrauch von Hilfsmaschinen mit Dampftrieb ist zu be-
stimmen und getrennt anzugeben. Er zählt zum Verbrauch, wenn dieser auf die
Nutzleistung bezogen wird.

67. Zur Bestimmung des Wärmewertes der der Maschine für die Arbeitseinheit
(vgl. 8) zugeführten Dampfmenge bildet man das Produkt aus dem Verbrauch

in kg mit dem Wärmehalt des Dampfes, bezogen auf dessen Zustand vor der Maschine (vgl. 58). Der Wärmehalt des in Mänteln und anderen Heizungen der Maschine verbrauchten Dampfes bezieht sich auf den Zustand des Heißdampfes, der von jenem des in den Zylinder gelangten Arbeitsdampfes verschieden sein kann; er ist getrennt anzugeben.

Auswertung der Ergebnisse und Berichterstattung.

68. Bauart und Betriebsverhältnisse sowie die für die Berechnung maßgebenden Abmessungen sind anzugeben. Die Durchmesser der Dampfzylinder und der Kolbenstangen sowie der Kolbenhub sind bei gewöhnlicher Temperatur zu messen. Von einer Berücksichtigung der Erwärmung ist abzusehen. Alles zur Beurteilung und Auswertung Erforderliche muß im Bericht enthalten sein.

69. Bei Schwankungen sind im Bericht neben den hauptsächlichsten Ablesungen und Feststellungen auch die höchsten und niedrigsten Werte anzuführen.

70. Weichen die Dampfzustände (Druck und Temperatur) oder die Kühlwassertemperatur von den der Gewährleistung zugrunde gelegten ab, so sind die Meßergebnisse auf die Bedingungen der Gewährleistung umzurechnen. Das Umrechnungsverfahren ist im Vertrag oder vor den Versuchen zu vereinbaren.

71. Sind Verbrauchsgarantien für mehrere Leistungen oder Dampfzustände abgegeben worden, so ist der für die gemessene Leistung der in Betracht kommende Verbrauch aus den verschiedenen Garantiepunkten zu interpolieren.

72. Weicht bei einem Abnahmeversuch die sich ergebende mittlere Belastung von einem der vertragsmäßig bestimmten Werte ab, so muß interpoliert werden. Sind im Vertrag die Zusicherungen nur für einen Belastungswert gegeben, so wird angenommen, daß die zugesicherte Zahl auch für einen Mittelwert gilt, der $\pm 7,5\%$ von dem genannten abweicht.

73. Ob und wieviel das Versuchsergebnis von der Zusage abweichen darf, soll im Lieferungsvertrage festgesetzt werden. Ist hierüber keine besondere Vereinbarung getroffen worden, so gelten, um unvermeidlichen Fehlern Rechnung zu tragen, die Zusagen noch als erfüllt, wenn der Versuch bei Speisewassermessung und mindestens 5stündiger Versuchsdauer um $2,5\%$ von dem zugesicherten Wert abweicht. Bei kürzeren Versuchen erhöht sich das Spiel (Toleranz) umgekehrt proportional zur Versuchsdauer. Schwanken Dampfdruck und Dampftemperatur über insgesamt $7,5\%$ vom Mittelwert, so erhöht sich das Spiel um $0,5\%$ für je 1% des arithmetischen Mittels aller Abweichungen (nach unten oder oben) vom Mittelwert. Sollte die Temperatur des überhitzten Dampfes infolge von Schwankungen um weniger als 50° von der Sattedampftemperatur entfernt sein, so dürfen besondere Toleranzen beansprucht werden.

74. Versuche mit Messung des Kondensats bei Oberflächenkondensation haben keinen Anspruch auf Toleranz bezüglich Speisewasser und Versuchsdauer, dagegen bleibt das Spiel bezüglich Schwankungen von Dampfdruck und Dampftemperatur in Kraft.

75. Dampfmesser, Drosselscheiben und Düsen mit geringem Druckunterschied, wie solche nach 63 oder zufolge Vereinbarung angewendet werden, sind unter Versuchsbedingungen zu eichen. Ihre Angaben gelten mit 5% Spiel.

Dampfturbinenanlagen.

Benennungen und Vergleichswerte.

76. Nutzleistung einer Turbodynamo ist die Leistung an den Klemmen mit folgenden Einschränkungen:

a) bei elektrisch angetriebenen Hilfsmaschinen ist der Strombedarf dieser von der Nutzleistung abzuziehen, sofern nichts anderes vereinbart ist;

b) handelt es sich um dampfangetriebene Hilfsmaschinen, deren Abdampf in der Hauptturbine weiter ausgenutzt wird, so ist die vereinbarte Nutzleistung einschließlich der Nutzleistung des Abdampfes verstanden;

c) falls der Abdampf der Hilfsmaschinen für andere Zwecke entnommen wird, ist es genau so zu behandeln, wie der entnommene Dampf bei Hauptmaschinen;

d) die Leistung einer unmittelbar gekuppelten Erregermaschine ist nicht als Nutzleistung anzusehen;

e) bei Fremderregung ist die Erregerleistung bei Fehlen einer gegenteiligen Vereinbarung von der Klemmenleistung der Turbodynamo in Abzug zu bringen.

77. Sind mehrere Lieferer an einem Maschinensatz beteiligt oder dient die Turbine zum Antrieb eines Zahnradvorgeleges, einer von anderer Seite gelieferten Dynamo, eines Kompressors o. dgl., so ist unter Nutzleistung der Turbine die Leistung an der Kupplung, an welche die zu treibende Maschine anschließt, verstanden. In solchen Fällen oder auch bei Lieferung von Hilfsmaschinen durch einen anderen Lieferer hat der Vertrag festzustellen, wie und auf wessen Kosten der Nachweis der Leistung erfolgen soll, oder es hat einer der Lieferer die Gesamtgewährleistung zu übernehmen.

Abnahmeversuche.

78. Bei Bestellung ist zu vereinbaren, welche Abnahmeversuche zu machen sind. Gegenstand der Abnahmeversuche können sein:

- a) die Nutzleistung,
- b) der Dampfverbrauch für die Arbeitseinheit bei bestimmten Dampf-Kühlwasser- und Belastungsverhältnissen,
- c) die Schwankungen der Umlaufzahl bei Belastungsänderungen,
- d) die Zuverlässigkeit des Sicherheitsreglers,
- e) der Arbeitsverbrauch der Hilfsmaschinen (Luft-, Kondensat- und Kühlwasserpumpen), sofern er nicht in die Gesamtdampfgewähr für den Maschinensatz eingeschlossen ist,
- f) die Dampf- und Luftzustände und die Wasserverhältnisse in der Kondensationseinrichtung, sofern nicht der Dampfverbrauch für den Maschinensatz gewährleistet ist. In diesem Falle ist die Kühlwassertemperatur maßgebend, welche kurz vor dem Eintritt in den Kondensator zu messen ist,
- g) Messung der Öl- und Kühlwassertemperatur vor und hinter dem Kühler und der Kühlwassermenge.

Ausführung der Abnahmeversuche.

Allgemeine Bestimmungen für die Versuche.

79. Belastung, Dampfspannung und Dampftemperatur sollen bei einem Abnahmeversuch während der Versuchsdauer möglichst gleichmäßig gehalten werden; erforderlichenfalls ist die Gleichmäßigkeit der Belastung künstlich herzustellen.

80. Bei Kondensatmessungen und bei Messung der Dampfmenge mittels Düsen genügt bei eingetretenem Beharrungszustand eine Versuchsdauer von $\frac{1}{2}$ –1 Stunde. Bei Messung mittels Düsen und gleichzeitiger Kondensatmessung kann nach Vereinbarung unter Umständen der Versuch auf 5 aufeinanderfolgende Ablesungen vermindert werden.

81. Für die Feststellung der Leistung bzw. der vorübergehenden Höchstleistung sind Versuche von kürzerer Dauer genügend.

82. Alle Ablesungen sind in Zeitabständen von je 5 Minuten zu machen. Kühlwassertemperatur, Öltemperatur und Barometerstand können unter Umständen in einem Vielfachen der Zeitfolge gemessen werden.

83. Die Umlaufzahl der Maschine ist festzustellen.

84. Der für die Beurteilung der Turbine maßgebende Druck und die Temperatur des einströmenden Dampfes sind unmittelbar vor dem Hauptabsperrventil zu messen. Dies gilt auch bei Maschinen mit Drosselregler.

85. Ist bei Lieferung der Kondensation durch einen anderen Hersteller dem gewährleisteten Dampfverbrauch ein bestimmtes Vakuum zugrunde gelegt, so ist letzteres am Flansch des Dampfaustrittsstutzens der Turbine zu messen.

86. Möglichst nahe an der Turbine, aber vor dem Hauptabsperrventil soll eine wirksame Entwässerungsvorrichtung in der Dampfzuleitung angeordnet sein, und zwar auch dann, wenn schon an entfernterer Stelle ein Wasserabscheider angeordnet ist.

87. Bei Dampfverbrauchsgarantien für Satttdampf ist, sofern nichts anderes festgelegt ist, trocken gesättigter Dampf verstanden. Der Satttdampfverbrauch wird durch Extrapolieren aus der Verbrauchskurve für Heißdampf festgestellt. Ist dies nicht möglich, so ist selbst bei bester Entwässerung hierfür eine besondere Toleranz von 3% zu gewähren.

88. Die für Satttdampf zugesagte Leistung und Überlastungsfähigkeit muß auch noch erreicht werden, wenn der Dampf bis zu 5% Wasser enthält.

89. Der Versuch darf erst beginnen, sobald in der Maschine und den Meßgeräten Beharrungszustand bezüglich Leistung, Druck und Temperaturen eingetreten ist.

90. Bei Abnahmeversuchen während des regelmäßigen Fabrikbetriebes sind mindestens die erste ganze und die letzte halbe Stunde des Arbeitstages von der Versuchszeit auszuschließen; ebenso möglichst die Tage vor und nach Ruhetagen.

91. Der Dampfverbrauch ist zu ermitteln:

a) durch das Gewicht des im Oberflächen-Kondensator niedergeschlagenen Dampfes oder

b) falls ein solcher nicht vorhanden ist, möglichst durch Düsenmessung des Dampfes oder

c) falls Düsenmessung und Kondensatwägung unmöglich, durch Wägen des Speisewassers oder durch Messung des Kondensats mittels abgerundeter Ausflußdüsen.

Düsenmessung nach b) kommt auch in Betracht für Turbinen, denen Dampf entnommen wird, falls keine Möglichkeit besteht, den entnommenen Dampf in einem Oberflächenkühler niederzuschlagen.

92. Oberflächenkondensatoren sind vor den Versuchen gründlich zu reinigen und auf Dichtheit zu untersuchen. Zur Feststellung von Undichtheiten muß der Wasserraum des Kondensators während mindestens 1 Stunde unter einen Probedruck gesetzt werden, der gleich dem normalen Wasserdruck im Kondensator zuzüglich des dem Vakuum entsprechenden Druckes ist.

93. Nötigenfalls ist vor den Versuchen auch die Turbinenbeschauflung zu reinigen.

94. Dampfverluste in der Maschine (Stopfbüchsen), die nicht als Kondensat gemessen werden, und Dampfverluste in der Kondensation (Luftpumpe) sind möglichst zu vermeiden oder zu bestimmen und zu berücksichtigen.

95. Mit der Luft werden aus dem Kondensator unter Umständen erhebliche Wasser- und Dampfmengen abgesaugt. Es ist daher zu verlangen, daß die Möglichkeit geboten wird, ihren Betrag festzustellen und nötigenfalls während des Versuches zu messen.

96. Der aus der Turbinenwellen-Hochdruckstopfbüchse austretende Dampf wird in der Regel zwecks Abdichtung der Niederdruckstopfbüchse nach dieser geleitet und der Überschuß in den Kondensator bzw. in einen Vorwärmer o. dgl. geführt. Der in einem Vorwärmer o. dgl. niedergeschlagene Dampf muß besonders gemessen und dem aus der Kondensatmessung ermittelten Dampfverbrauch der Turbine zugeschlagen werden.

97. Dampfmengen, die in der Turbine Arbeit verrichtet haben und für Vorwärmung des Speisewassers o. dgl. entnommen werden, also in der gemessenen Kondensatmenge nicht enthalten sind, müssen entsprechend berücksichtigt werden. Dies gilt auch für den Dampfverbrauch von Dampfstrahlluftpumpen, wenn deren Verbrauch nicht getrennt gewährleistet ist.

Auswertung der Ergebnisse und Bericht.

98. Alles zur Beurteilung und Auswertung der Versuchsergebnisse Erforderliche muß im Bericht enthalten sein.

99. Bei Schwankungen sind im Bericht neben den hauptsächlichsten Ablesungen und Feststellungen auch die höchsten und niedrigsten Werte anzuführen.

100. Weichen die beobachteten mittleren Belastungswerte von den den Zugsicherungen zugrunde gelegten Werten ab, so sind die Versuchsergebnisse mit den zugesicherten Werten auf Grund einer Interpolation zu vergleichen.

Sind im Vertrage die Zusicherungen nur für eine Belastung gegeben, so wird mangels anderer Bestimmungen angenommen, daß der zugesicherte Dampfverbrauch auch für Belastungen gilt, die um 5% von den genannten abweichen. Bei größeren Abweichungen, Gegendruck- und Anzapfturbinen ist eine freie Vereinbarung über die Abänderungen der Zusicherung erforderlich.

101. Weichen die bei dem Versuch beobachteten Dampfzustände (Druck und Temperatur) bzw. die Kühlwassertemperatur (bei Mitlieferung der Kondensation durch den Lieferer der Dampfkraftmaschine kommt die Kühlwassertemperatur statt des Vakuums in Betracht) von den den Zusicherungen zugrunde gelegten ab, so sind die Meßwerte auf die der Zusage zugrunde gelegten Verhältnisse umzurechnen. Wie diese Umrechnungen zu erfolgen haben, ist möglichst vor den Versuchen unter Berücksichtigung aller Verhältnisse und unter Zugrundelegung bewährter Erfahrungswerte zu vereinbaren¹⁾.

102. Als prozentuale Abweichung vom zugesagten Dampfverbrauch gilt, falls keine andere Vereinbarung besteht, das arithmetische Mittel aus den prozentualen Abweichungen der einzelnen Meßwerte von den zugesagten Verbrauchszahlen.

103. Ob und wieviel das Versuchsergebnis von der Zusage abweichen darf, soll im Liefervertrage festgelegt sein. Ist hierüber keine besondere Vereinbarung getroffen, so gelten bei Kondensatmessungen durch Wägung, mit geeichten Gefäßen oder bei Messungen durch geeichte Düsen die Dampfverbrauchszusagen bei gleichmäßiger Belastung ohne Spiel: bei einer bis plus/minus 5%, d. h. insgesamt um 10% schwankenden Belastung mit einem Spiel gleich der Hälfte des arithmetischen Mittels aller Abweichungen (nach unten oder nach oben) der Belastung vom Mittelwert.

Bei allen Dampfmeßverfahren (z. B. Dampfmesser, Messungen mit Drosselscheiben oder Düsen mit geringen Druckunterschieden) gelten die Zusagen mit 5% Spiel, bei Speisewassermessungen und 5 Stunden Versuchsdauer mit 2,5% Spiel, bei kürzeren Versuchen erhöht sich das Spiel umgekehrt proportional zur Versuchsdauer.

Schmieröluntersuchungen²⁾.

Der größte Teil der heute verwendeten Maschinenschmieröle sind Mineralöle.

Das Ausgangsprodukt für die Gewinnung dieser Mineralöle ist das Rohpetroleum (Erdöl).

Das Rohöl tritt entweder in Form von Springquellen zutage, oder es wird durch Bohrlöcher abgezapft (Erdöl). Rohpetroleum kommt fast in allen zivilisierten Ländern vor, allerdings in sehr verschiedenen Mengen. An der Spitze aller ölerzeugenden Länder stehen die Vereinigten Staaten. In Deutschland kommt Holstein (Heide), die Provinz Hannover (Wietze) und Tegernsee in Betracht; doch reicht die Produktion dieser Distrikte für die Deckung des inländischen Ölbedarfes nicht aus.

In der Hauptsache bestehen die rohen Erdöle, gleichgültig welcher Herkunft sie sind, aus hochsiedenden Kohlenwasserstoffen; außerdem enthalten sie je nach ihrer Herkunft aromatische Kohlenwasserstoffe (C_6H_6 = Benzol, C_7H_8 = Toluol, C_8H_{10} = Xylol), Paraffin, Naphtha, Asphalt, Stickstoffverbindungen und Schwefelverbindungen.

Die Gewinnung der Mineralschmieröle aus den Rohölen geschieht meistens durch fraktionelle Destillation, indem das Rohöl stetig durch eine Batterie von Destillationskesseln geführt wird, derart, daß es im ersten seine leichtesten und in den folgenden Kesseln immer schwerere Kohlenwasserstoffe abgibt. Den letzten Kessel verläßt es als Masut.

Die Aufgabe der Schmierstoffe im allgemeinen, also auch der Schmieröle im besonderen, besteht darin, die unmittelbare Berührung aufeinanderglei-

¹⁾ Anhaltspunkte bieten sich in Stodola, Dampf- und Gasturbinen, V. Aufl. 1922, und V. D. I.-Z. 1922, S. 955 nach Forner.

²⁾ Ausführliches siehe „Richtlinien für den Einkauf und die Prüfung von Schmiermitteln“, 3. Aufl., Verlag Stahleisen G. m. b. H., Düsseldorf.

tender Metallflächen zu verhindern und die Reibungswiderstände an den Gleitflächen möglichst zu verringern.

Die Prüfung der Schmieröle wird sich nach den Anforderungen richten müssen, die an das Öl während des Betriebes gestellt sind. Diese Anforderungen sind sehr verschiedener Art.

Bei Dampfzylindern, besonders bei Heißdampfmaschinen ist das Öl einer hohen Temperatur (bis 300° und darüber) ausgesetzt. Zum Schmieren dieser Teile können daher nur solche Öle Verwendung finden, deren Verdampfungstemperatur hoch liegt;

bei den Achsen der Eisenbahnfahrzeuge, ebenso wie bei den zu ölenden Teilen der Eismaschinen können (bei ersteren wenigstens im Winter) nur Öle Verwendung finden, deren Erstarrungspunkt bei 15÷20° unter Null liegt; die Spindeln der Spinnereimaschinen verlangen ein sehr leichtflüssiges Öl;

für leichte Transmissionen und solche Maschinenteile, bei denen die gleitenden Flächen unter nur mäßigem Drucke gegeneinandergepreßt werden, wird ein zähflüssiges Öl das geeignetste sein;

schwere Transmissionen und unter hohem Flächendruck aufeinandergleitende Maschinenteile beanspruchen ein Öl mit großer Zähflüssigkeit.

Die chemische Prüfung der Schmieröle hat meist den Zweck, fremde, schädliche oder minderwertige Stoffe nachzuweisen, und erstreckt sich in der Hauptsache auf die Feststellung des Gehaltes an Harz, Säuren, Wasser, Asche, Seife, fettem Öl.

Die physikalische Prüfung dagegen stellt das spezifische Gewicht, den Ausdehnungskoeffizienten, das Verhalten in der Kälte, den Gehalt an mechanischen Verunreinigungen, die Zähflüssigkeit (Viskosität), die Entflammbarkeit und den Reibungswert fest.

Die für die Praxis wichtigsten Untersuchungen sind die auf die Zähflüssigkeit, die Entflammbarkeit und den Reibungswert bezüglichen.

1. Prüfung auf die Zähflüssigkeit¹⁾.

Zur Bestimmung der Zähflüssigkeit bedient man sich allgemein des Viskosimeters nach Engler. Dieses besteht, wie Abb. 332 zeigt, aus einem innen vergoldeten Ölbehälter *A* mit Deckel *A*₁ und Platinausflußröhrchen *a*, einem diesen Ölbehälter umgebenden Messinggefäße *B* als Erwärmungsbad, einem Thermometer *t* zur Bestimmung der Öltemperatur, einem zweiten Thermometer (in Abb. 332 nicht gezeichnet) zur Bestimmung der Temperatur des Erwärmungsbades, einem Meßkolben *C*, einem Dreifuß *D* mit Gasheizung *d*.

Als Maß der Zähflüssigkeit dient das Verhältnis der Ausflußzeit von 200 ccm Öl bei der Versuchstemperatur zur Ausflußzeit desselben Volumens Wasser bei 20°.

Da die mit verschiedenen Apparaten gewonnenen Ausflußzeiten nur dann einen Vergleich zulassen, wenn die Abmessungen der Apparate die gleichen sind, hat das Staatliche Materialprüfungsamt für die Hauptdimensionen folgende Fehlergrenzen als zulässig erklärt:

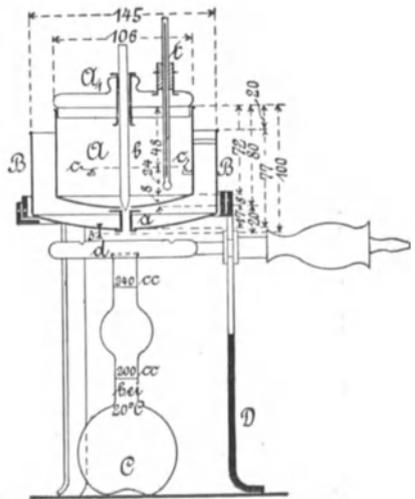


Abb. 332.

¹⁾ Nach Holde, Untersuchung der Mineralöle und Fette. Verlag von J. Springer, Berlin.

	Zulässige Fehlergrenze
l. Weite des Ausflußröhrchens oben 2,4 mm, unten 2,8 mm.	± 0,01 mm,
Länge des Ausflußröhrchens 20 mm	± 0,1 „
Höhe der Markenspitzen über der oberen Ausflußöffnung 32 mm.	± 0,3 „
l. Weite des Ölgefäßes 105 mm	± 1 „
Höhe des zylindrischen Teiles des Ölgefäßes bis zu den Markenspitzen 24 mm	± 1 „
Inhalt des Ölgefäßes bis zu den Markenspitzen 240 ccm	± 4 ccm.

Die Eichung des Apparates, d. h. die Feststellung der Ausflußzeit von 200 ccm Wasser bei 20° geschieht wie folgt:

Zunächst wird die anfängliche Druckhöhe, d. i. der Abstand der Markenspitzen *c* vom Ausflußröhrchen *a* (= 32 mm) auf ihre Richtigkeit kontrolliert. Zu diesem Zwecke verschließt man das Ausflußröhrchen *a* mit dem Holzstifte *b*, füllt das Ölgefäß *A* bis zu den Spitzen *c* mit destilliertem Wasser und bestimmt das Volumen desselben durch Auslaufenlassen in ein graduiertes Gefäß. Dann setzt man in die Ausflußöffnung einen am oberen Ende zugespitzten Kontrollstift ein, dessen Spitze genau 32 mm über das obere Röhrchenende zu liegen kommt, füllt wieder destilliertes Wasser ein, bis die Spitze des Kontrollstiftes erreicht ist und bestimmt auch dieses Volumen. Aus der Differenz der beiden Volumina läßt sich der Fehler in der Höhe der Markenspitzen berechnen. Dann reinigt man das Gefäß und das Ausflußröhrchen unter Zuhilfenahme einer Federpose mit Alkohol und Äther auf das gründlichste, setzt einen bisher noch unbenutzten Holzstift *b* ein und füllt *A* vorsichtig bis zu den Markenspitzen *c* mit destilliertem und filtriertem Wasser von etwa 20°. Das Erwärmungsbad *B* ist mit Leitungswasser gefüllt, dessen Temperatur durch Regulierung am Gashahne oder durch Höher- oder Tieferstellen des Heizringes auf genau 20° erhalten wird. Dann läßt man durch Lüften des Stiftes *b* das ganze Wasser in den Gaskolben *C* ausfließen, gibt es sofort wieder in den Apparat zurück, lüftet *b* einige Male, bis etwa 5 bis 10 ccm Wasser ausgeflossen sind, gießt diese sofort wieder in das Gefäß zurück und nimmt jetzt das Thermometer *t* heraus; dann lüftet man den Stift *b* vorsichtig so weit, daß das Ausflußröhrchen sich mit Wasser füllt und letzteres in Form eines Tropfens unten hängenbleibt. Hat sich der Wasserspiegel im Gefäße beruhigt, so hebt man den Stift *b* hoch und beobachtet nun an einem Chronometer die Ausflußzeit von 200 ccm Wasser.

Indem man immer wieder das Ausflußröhrchen bis zum vorstehenden Tropfen füllt und dann 200 ccm Wasser ausfließen läßt, wiederholt man den Versuch so lange, bis drei Ergebnisse vorliegen, bei denen die Ausflußzeiten um höchstens 0,4 Sekunden abweichen, und die Werte nicht in fortschreitender Abnahme begriffen sind. Damit ist die erste Versuchsreihe beendet.

Nach immer wiederholter Reinigung des Apparates setzt man diese Versuchsreihen so lange fort, bis völlige Gleichheit der Ausflußzeit eingetreten ist, was bei gründlicher erster Reinigung meistens schon bei der zweiten Versuchsreihe der Fall ist.

Aus denjenigen drei Werten der letzten Versuchsreihe, die höchstens 0,3 bis 0,4 Sekunden voneinander abweichen, bildet man das arithmetische Mittel, und dieses ist dann die für alle Öluntersuchungen maßgebende Ausflußzeit des Wassers.

Bei normalen Apparaten liegt diese Ausflußzeit zwischen 50 und 52 Sekunden.

Der Bestimmung der Ausflußzeit von Ölen muß natürlich auch eine sorgfältige Reinigung des Apparates (mit Alkohol und Äther und Nachspülen mit dem zu prüfenden Öle) vorausgehen. Auch ist ein Filtrieren des Öles vor dem Einfüllen in den Apparat durch ein Sieb von 0,3 mm Maschenweite unerlässlich, wenn es sich um ein dunkles Öl handelt, und nicht überflüssig, wenn ein helles Öl vorliegt.

Dann wird das Bad so weit vorgewärmt, daß das zu prüfende Öl möglichst rasch auf die Versuchstemperatur kommt. Als Erwärmungsflüssigkeit dient für gewöhnlich Leitungswasser, für hohe Temperaturen hochsiedendes Öl.

Beim Einfüllen des Versuchsöles ist scharf darauf zu achten, daß der durch die Maßspitzen festgelegte Flüssigkeitsspiegel genau erreicht wird, da Fehler in der Auffüllhöhe die Ausflußzeit nicht unbeträchtlich beeinflussen. Bei hohen Versuchstemperaturen ist die Ausdehnung des Öles besonders zu beachten, indem

man die genaue Einstellung des Flüssigkeitsspiegels erst vornimmt, nachdem das Öl die Versuchstemperatur erreicht hat.

Die Temperatur der Erwärmungsflüssigkeit ist, ebenso wie diejenige des Öles, während des Versuches möglichst konstant zu halten. Für den Unterschied der Temperatur der Erwärmungsflüssigkeit und derjenigen des Öles sind zulässig

bei 20° Versuchstemperatur	0,05 ÷ 0,15°
„ 30° „	0,2°
„ 40° „	0,4°
„ 50° „	0,6°
„ 150° „	4 ÷ 5°

Ist bei geschlossenem Gefäßdeckel die Öltemperatur konstant geworden, so lüftet man den Stift *b*, rückt gleichzeitig das Chronometer ein und läßt das Öl in den Kolben *C* auslaufen, derart, daß der Ölstrahl nicht auf die Kolbenwandung auftrifft. Ist die Marke 200 ccm erreicht, so hemmt man das Uhrwerk, läßt aber das Öl vollständig auslaufen. Da der Kolben auch bei 240 ccm eine Marke hat, läßt sich leicht ein etwa vorgekommener Auffüllfehler feststellen.

Für 1 ccm Auffüllungsfehler ist auf je 5 Minuten Ausflußzeit eine Berichtigung von ± 1 Sekunde in Rechnung zu ziehen.

Bei hohen Versuchstemperaturen ist natürlich auch die Kontraktion, welche das ausgeflossene und kälter gewordene Öl erlitten hat, zu berücksichtigen unter der Tatsache, daß 240 ccm Öl für je 10° Temperaturzunahme eine Volumenvergrößerung von 1,7 ccm erfahren (Ausdehnungskoeffizient von Mineralöl = ∞ 0,0007—0,0008).

Die Ausflußzeit der Öle ist natürlich sehr verschieden; sie steigt von etwa 230 Sekunden für Rüböl bis auf etwa 2300 Sekunden bei dunklen Mineralölen (bei Zimmertemperatur).

2. Bestimmung des Flammpunktes¹⁾.

a) Im offenen Tiegel.

Ein zylindrischer, glasierter Porzellantiegel *a* (Abb. 333) von 40 mm Durchmesser und der gleichen Höhe nimmt das zu prüfende Öl auf, derart, daß der Ölspiegel noch 10 mm unter dem Tiegelrande steht. In eine Blechschale *b* von 180 mm oberem Durchmesser wird 15 mm hoch ganz feiner Sand eingefüllt, auf den dann das Gefäß *a* zu stehen kommt. Ein am Arme *s* des Stativs *d* befestigtes Thermometer *c* taucht mit seinem Quecksilbergefaße vollständig in das Öl ein. Die Schale *b* wird in einem Dreifuße *e* gelagert und von unten her durch den Brenner *f* geheizt.

Die Wärmezufuhr soll derart eingestellt sein, daß der Temperaturanstieg je Minute stets zwischen 2 und 5° liegt. Bis 100° kann die Erhitzung ziemlich rasch vonstatten gehen, von da ab wird aber, um ein Überhitzen zu vermeiden, die Temperaturzunahme verlangsamt. Von 120 ÷ 145° führt man von 5 zu 5° das Zündrohr *g* langsam und gleichmäßig so auf dem Rande der Schale *b* hin und her, daß die senkrecht nach unten stehende Zündflamme weder den Rand

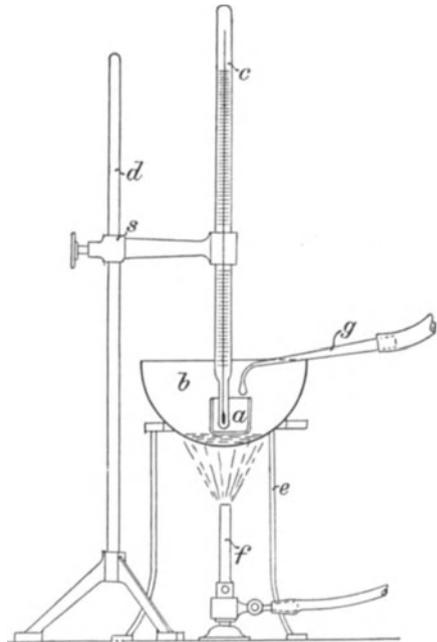


Abb. 333.

¹⁾ Nach derselben Quelle wie 1.

des Ölgefäßes *a* noch die Oberfläche berührt, sondern von letzterer 2÷3 mm entfernt bleibt. Die Zündflamme soll sich jedesmal 4 Sekunden lang über der Oberfläche befinden. Von 145° aufwärts wird nach einer jedesmaligen Zunahme der Öltemperatur um 1° die Zündflamme in gleicher Weise über das Öl hinweggeführt. Die Erwärmung wird so weit getrieben, bis die Dämpfe über der Oberfläche bei der Berührung mit der Zündflamme vorübergehend aufflammen oder unter schwacher Detonation verpuffen. Die dabei vorhandene Temperatur wird als **Flamm punkt** bezeichnet, während man unter **Entzündungspunkt** jene Temperatur versteht, bei welcher ein Öl bei der Berührung mit der Zündflamme an seiner Oberfläche weiterbrennt.

Die vorstehend beschriebene Prüfungsmethode ist für die den preußischen Staatsbahnen zu liefernden Öle vorgeschrieben. Öle, welche einen anderen Verwendungszweck haben, werden in einer flachen Sand- schale und mit horizontal brennender Zündflamme ge- prüft.

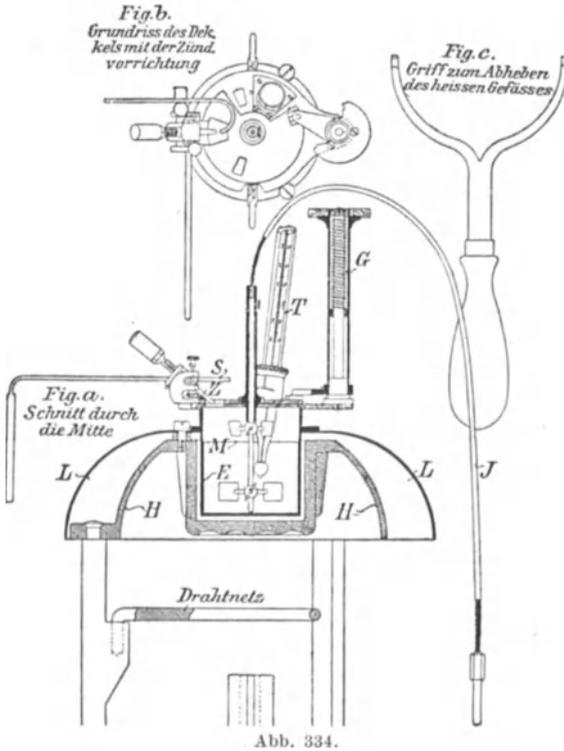


Abb. 334.

Mängel nicht auf, weshalb den damit gewonnenen Zahlen größere Zuverlässigkeit beizumessen ist.

Die Einrichtung des Apparates ist aus der Abb. 334 zu ersehen. Das Ölgefäß *E* sitzt in einem eisernen Körper *H*, der die Hitze empfängt. Zur möglichen Vermeidung von Strahlungsverlusten ist der Heizkörper *H* noch von einer Schutzglocke *L* umgeben, derart, daß zwischen ihm und der Glocke ein isolierender Luftmantel gebildet ist. Durch eine biegsame Spiraldrahtwelle *J* wird ein im Innern von *E* befindliches Rührwerk betätigt. Der abnehmbare Deckel des Gefäßes enthält links die Zündvorrichtung und rechts einen Griff *G*. Wird dieser bis zu einem Anschläge nach rechts gedreht, so öffnet sich das Ölgefäß unterhalb der Zündvorrichtung, und gleichzeitig senkt sich das Zündflämmchen in den Raum über dem Öle. Dreht man den Griff wieder zurück, so hebt sich die Zündvorrichtung, während gleichzeitig das Ölgefäß selbsttätig geschlossen wird.

b) Prüfung im Pensky-Martens-Apparat.

Die vollkommen gleichmäßige Führung der Zündflamme über den offenen Tiegel ist schwierig, daher weichen die nach dem vorigen Verfahren ermittelten Flamm punkte oft nicht unerheblich voneinander ab, indem bei zu großer Annäherung der Zündflamme der Flamm punkt zu niedrig, bei zu großem Abstände der Flamm punkt zu hoch ermittelt wird. Auch die Einstellung des Temperaturanstieges innerhalb der angegebenen Grenzen fällt wegen der offenen Lage der Sandbadschale schwer; endlich werden beim Experimentieren in nicht ganz zugfreien Räumen die entwickelten Öldämpfe aus dem Tiegel fortgeführt.

Die Prüfungsmethode mit dem Pensky-Martens-Apparat weist diese

Die Erhitzung des Öles erfolgt entweder durch eine Spirituslampe oder durch einen dreiteiligen Brenner; im ersteren Falle wird das Zündflämmchen mit Rüböl gespeist, im letzteren Falle durch Gas erzeugt. Ein am Gestell drehbar angeordnetes Drahtnetz vermindert, wenn es über die Heizflamme gebracht wird, den Wärmeübergang an den Heizkörper *H* und damit an das Ölgefäß *E*.

Zur Ablesung der Öltemperatur ist durch den Gefäßdeckel ein Thermometer eingeführt.

Gang des Versuches: Das auf Entflammbarkeit zu prüfende Öl wird genau bis zur Füllmarke (eingedrehter Rand) in das Ölgefäß *E* eingefüllt. Hierauf wird der Deckel so auf das Gefäß gesetzt, daß der vorragende Deckelfortsatz rechtwinklig zur Verbindungslinie der beiden am Gefäßrande befindlichen Haken steht; dann wird das Ganze mittels der beigegebenen Gabel in den Heizkörper eingesetzt. Da die Gefäßwände oberhalb der Niveaumarkierung nicht mit Öl benetzt werden dürfen, so sind bei den angegebenen Vorrichtungen Schwankungen möglichst zu vermeiden. Wenn man noch das Thermometer in die Hülse des Deckels eingesetzt hat, so ist der Apparat zum Versuche vorbereitet, und es kann jetzt die Heizflamme, ebenso wie das Zündflämmchen angesteckt werden. Letzteres soll auf Erbsengröße eingestellt sein, was bei Gasbetrieb mit Hilfe einer Ventilschraube, bei Ölspesung durch Verschieben des Dochtes geschieht.

Die Erwärmung kann anfangs ziemlich rasch betrieben werden, bis das Öl eine Temperatur von etwa 100° erreicht hat; dann setzt man mit den Fingern das Rührwerk in Tätigkeit, gleichzeitig wird das bislang zur Seite gedrehte Drahtnetz über die Heizflamme gebracht und letztere so weit verkleinert, daß das Thermometer um höchstens $6\div 10^{\circ}$ je Minute steigt; von 120° ab soll die Temperaturzunahme nur noch $4\div 6^{\circ}$ je Minute ausmachen; damit ist ein Überhitzen des Öles vermieden.

Unter fortgesetztem, gleichmäßigem Rühren führt man, von 120° anfangend, immer nach einer Temperaturzunahme von 2° die Zündflamme durch Rechtsdrehen des Griffes in das Gefäß *E* ein und läßt sie etwa 1 Sekunde in der tiefsten Stellung. Bald wird die Zündflamme im Gefäße größer als außerhalb desselben erscheinen. Von da ab führt man sie von Grad zu Grad ein, so lange, bis die Öldämpfe im Gefäße *E* explosionsartig verbrennen. Die dabei beobachtete Temperatur bezeichnet den Flammpunkt des Öles. Bei dem Aufflammen der Öldämpfe erlischt nicht selten die Zündflamme; deshalb ist durch ein gebogenes Rohr eine Sicherheitsflamme angebracht, an welcher sie sich immer wieder entzünden kann.

Das Erlöschen des Zündflämmchens bei dem Verpuffen der Öldämpfe ist nicht zu verwechseln mit dem Auslöschen der Flamme, welches durch etwa entwickelte Wasserdämpfe verursacht wird. Da schon Spuren von Wasser eine störende Dampfbildung veranlassen, ist das zu prüfende Öl vorher zu entwässern, am besten durch Schütteln mit Chloralkalium und eintägiges Stehenlassen; auch ist das Gefäß *E* völlig trocken zu halten.

Die Flammpunkte der Mineralschmieröle liegen meistens zwischen 120 und 300° .

Planimeterkonstante = 0,06.

Zahlentafel zum

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,000	0,006	0,012	0,018	0,024	0,030	0,036	0,042	0,048	0,054
0,1	0,060	0,066	0,072	0,078	0,084	0,090	0,096	0,102	0,108	0,114
0,2	0,120	0,126	0,132	0,138	0,144	0,150	0,156	0,162	0,168	0,174
0,3	0,180	0,186	0,192	0,198	0,204	0,210	0,216	0,222	0,228	0,234
0,4	0,240	0,246	0,252	0,258	0,264	0,270	0,276	0,282	0,288	0,294
0,5	0,300	0,306	0,312	0,318	0,324	0,330	0,336	0,342	0,348	0,354
0,6	0,360	0,366	0,372	0,378	0,384	0,390	0,396	0,402	0,408	0,414
0,7	0,420	0,426	0,432	0,438	0,444	0,450	0,456	0,462	0,468	0,474
0,8	0,480	0,486	0,492	0,498	0,504	0,510	0,516	0,522	0,528	0,534
0,9	0,540	0,546	0,552	0,558	0,564	0,570	0,576	0,582	0,588	0,594
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	0,60	0,66	0,72	0,78	0,84	0,90	0,96	1,02	1,08	1,14
2	1,20	1,26	1,32	1,38	1,44	1,50	1,56	1,62	1,68	1,74
3	1,80	1,86	1,92	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,28	2,34
4	2,40	2,46	2,52	2,58	2,64	2,70	2,76	2,82	2,88	2,94
5	3,00	3,06	3,12	3,18	3,24	3,30	3,36	3,42	3,48	3,54
6	3,60	3,66	3,72	3,78	3,84	3,90	3,96	4,02	4,08	4,14
7	4,20	4,26	4,32	4,38	4,44	4,50	4,56	4,62	4,68	4,74
8	4,80	4,86	4,92	4,98	5,04	5,10	5,16	5,22	5,28	5,34
9	5,40	5,46	5,52	5,58	5,64	5,70	5,76	5,82	5,88	5,94
10	6,00	6,06	6,12	6,18	6,24	6,30	6,36	6,42	6,48	6,54
11	6,60	6,66	6,72	6,78	6,84	6,90	6,96	7,02	7,08	7,14
12	7,20	7,26	7,32	7,38	7,44	7,50	7,56	7,62	7,68	7,74
13	7,80	7,86	7,92	7,98	8,04	8,10	8,16	8,22	8,28	8,34
14	8,40	8,46	8,52	8,58	8,64	8,70	8,76	8,82	8,88	8,94
15	9,00	9,06	9,12	9,18	9,24	9,30	9,36	9,42	9,48	9,54
16	9,60	9,66	9,72	9,78	9,84	9,90	9,96	10,02	10,08	10,14
17	10,20	10,26	10,32	10,38	10,44	10,50	10,56	10,62	10,68	10,74
18	10,80	10,86	10,92	10,98	11,04	11,10	11,16	11,22	11,28	11,34
19	11,40	11,46	11,52	11,58	11,64	11,70	11,76	11,82	11,88	11,94
20	12,00	12,06	12,12	12,18	12,24	12,30	12,36	12,42	12,48	12,54
21	12,60	12,66	12,72	12,78	12,84	12,90	12,96	13,02	13,08	13,14
22	13,20	13,26	13,32	13,38	13,44	13,50	13,56	13,62	13,68	13,74
23	13,80	13,86	13,92	13,98	14,04	14,10	14,16	14,22	14,28	14,34
24	14,40	14,46	14,52	14,58	14,64	14,70	14,76	14,82	14,88	14,94
25	15,00	15,06	15,12	15,18	15,24	15,30	15,36	15,42	15,48	15,54
26	15,60	15,66	15,72	15,78	15,84	15,90	15,96	16,02	16,08	16,14
27	16,20	16,26	16,32	16,38	16,44	16,50	16,56	16,62	16,68	16,74
28	16,80	16,86	16,92	16,98	17,04	17,10	17,16	17,22	17,28	17,34
29	17,40	17,46	17,52	17,58	17,64	17,70	17,76	17,82	17,88	17,94
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Polarplanimeter.

Planimeterkonstante = 0,06.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	18,00	18,06	18,12	18,18	18,24	18,30	18,36	18,42	18,48	18,54
31	18,60	18,66	18,72	18,78	18,84	18,90	18,96	19,02	19,08	19,14
32	19,20	19,26	19,32	19,38	19,44	19,50	19,56	19,62	19,68	19,74
33	19,80	19,86	19,92	19,98	20,04	20,10	20,16	20,22	20,28	20,34
34	20,40	20,46	20,52	20,58	20,64	20,70	20,76	20,82	20,88	20,94
35	21,00	21,06	21,12	21,18	21,24	21,30	21,36	21,42	21,48	21,54
36	21,60	21,66	21,72	21,78	21,84	21,90	21,96	22,02	22,08	22,14
37	22,20	22,26	22,32	22,38	22,44	22,50	22,56	22,62	22,68	22,74
38	22,80	22,86	22,92	22,98	23,04	23,10	23,16	23,22	23,28	23,34
39	23,40	23,46	23,52	23,58	23,64	23,70	23,76	23,82	23,88	23,94
40	24,00	24,06	24,12	24,18	24,24	24,30	24,36	24,42	24,48	24,54
41	24,60	24,66	24,72	24,78	24,84	24,90	24,96	25,02	25,08	25,14
42	25,20	25,26	25,32	25,38	25,44	25,50	25,56	25,62	25,68	25,74
43	25,80	25,86	25,92	25,98	26,04	26,10	26,16	26,22	26,28	26,34
44	26,40	26,46	26,52	26,58	26,64	26,70	26,76	26,82	26,88	26,94
45	27,00	27,06	27,12	27,18	27,24	27,30	27,36	27,42	27,48	27,54
46	27,60	27,66	27,72	27,78	27,84	27,90	27,96	28,02	28,08	28,14
47	28,20	28,26	28,32	28,38	28,44	28,50	28,56	28,62	28,68	28,74
48	28,80	28,86	28,92	28,98	29,04	29,10	29,16	29,22	29,28	29,34
49	29,40	29,46	29,52	29,58	29,64	29,70	29,76	29,82	29,88	29,94
50	30,00	30,06	30,12	30,18	30,24	30,30	30,36	30,42	30,48	30,54
51	30,60	30,66	30,72	30,78	30,84	30,90	30,96	31,02	31,08	31,14
52	31,20	31,26	31,32	31,38	31,44	31,50	31,56	31,62	31,68	31,74
53	31,80	31,86	31,92	31,98	32,04	32,10	32,16	32,22	32,28	32,34
54	32,40	32,46	32,52	32,58	32,64	32,70	32,76	32,82	32,88	32,94
55	33,00	33,06	33,12	33,18	33,24	33,30	33,36	33,42	33,48	33,54
56	33,60	33,66	33,72	33,78	33,84	33,90	33,96	34,02	34,08	34,14
57	34,20	34,26	34,32	34,38	34,44	34,50	34,56	34,62	34,68	34,74
58	34,80	34,86	34,92	34,98	35,04	35,10	35,16	35,22	35,28	35,34
59	35,40	35,46	35,52	35,58	35,64	35,70	35,76	35,82	35,88	35,94
60	36,00	36,06	36,12	36,18	36,24	36,30	36,36	36,42	36,48	36,54
61	36,60	36,66	36,72	36,78	36,84	36,90	36,96	37,02	37,08	37,14
62	37,20	37,26	37,32	37,38	37,44	37,50	37,56	37,62	37,68	37,74
63	37,80	37,86	37,92	37,98	38,04	38,10	38,16	38,22	38,28	38,34
64	38,40	38,46	38,52	38,58	38,64	38,70	38,76	38,82	38,88	38,94
65	39,00	39,06	39,12	39,18	39,24	39,30	39,36	39,42	39,48	39,54
66	39,60	39,66	39,72	39,78	39,84	39,90	39,96	40,02	40,08	40,14
67	40,20	40,26	40,32	40,38	40,44	40,50	40,56	40,62	40,68	40,74
68	40,80	40,86	40,92	40,98	41,04	41,10	41,16	41,22	41,28	41,34
69	41,40	41,46	41,52	41,58	41,64	41,70	41,76	41,82	41,88	41,94
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Verzeichnis der Firmen, welche die in diesem Werke beschriebenen Apparate anfertigen oder liefern.

(Nach der Reihenfolge der Abbildungen angegeben.)

Abb.-Nr.	Gegenstand	Hersteller bzw. Lieferant
4 ÷ 7	Trockenschränke	Paul Altmann, Berlin NW 6.
8	Exsikkator	Derselbe.
9	Exsikkator nach Nablenz	Ströhlein & Co., Düsseldorf 39.
10 ÷ 15	Kalorimeter nach Dr. Krö- ker	Julius Peters, Feinmechanik, Berlin NW 21.
18 ÷ 19	Kalorimeter nach Parr	Max Kohl, A.-G., Chemnitz i. S.
—	Kalorimeter nach Axer	A. G. für Feuerungstechnik, Berlin W 8.
20 ÷ 26	Kalorimeter nach Prof. Jun- kers	Junkers & Co., Dessau.
28 ÷ 29	Eichvorrichtung für Gas- messer	Derselbe.
30	Gasbürette nach Bunte	Paul Altmann, Berlin NW 6.
31	Gummiinspirator	Derselbe.
32	Absorptionsbürette nach Tollens	Gebrüder Ruhstrat, Göttingen.
34 ÷ 41	Apparate nach Hempel	Paul Altmann, Berlin NW 6. Oskar Heuner, Dresden.
42	Apparat nach Orsat- Fischer	Paul Altmann, Berlin NW 6 und andere Firmen.
43	Apparat nach Osat- Muenke	Paul Altmann, Berlin NW 6.
44 ÷ 46	Apparate nach Kleine	Ströhlein & Co., G. m. b. G., Düsseldorf.
47 ÷ 48	Siccus-Apparate nach Prof. Strache	W. H. Joens & Co., Düsseldorf.
49 ÷ 51	Ados-Apparat	Ados G. m. b. H., Aachen.
52 ÷ 53	EkardtscherRauchgasprüfer	J. C. Eckardt, Cannstadt.
54 ÷ 55	Debro-Apparat	Apparate-Bauanstalt P. de Bruyn, G. m. b. H., Düsseldorf-Oberkassel.
56 ÷ 57	Gefko-Apparat	Gefko, Ges. f. Kohlenersparnis, Berlin und Robert Müller, Kom.-Ges., Essen.
58 ÷ 61	Mono-Apparat	H. Maihak A.-G., Hamburg.
62 ÷ 67	Siemens-Rauchgasprüfer	Siemens & Halske A.-G., Siemensstadt b. Berlin.
68 ÷ 70	Ranarex-Apparat	A.E.G. Berlin.
71	Rauchgas-Sammelapparat	Wwe. Joh. Schumacher, Köln.
72	Doppelaspirator	Paul Altmann, Berlin NW 6.
76, 78	Quecksilberpyrometer	G. A. Schultze, Neukölln.
79 ÷ 80	Elektrische Pyrometer	Siemens & Halske, Siemensstadt bei Berlin. Hartmann & Braun, Frankfurt a. M. W. C. Heraeus, G. m. b. H., Hanau. Keiser & Schmidt, Charlottenburg 2.
81 ÷ 85	Wanner-Pyrometer	Dr. R. Hase, Hannover.
86	Segerkegel	ChemischesLaboratorium fürTonindustrie Berlin NW 21.
88 ÷ 89	Kalorimeter nach Fuchs	G. A. Schultze, Neukölln.
90	Zugmesser	Paul Altmann, Berlin NW 6.

Abb.-Nr.	Gegenstand	Hersteller bzw. Lieferant
91	Zugmesser nach Ebert	G. Ebert, Wallhausen (Helme).
92	Zugmesser nach Seger	Chemisches Laboratorium für Tonindustrie, Berlin NW 21.
93	Zugmesser nach Rabe	G. A. Schultze, Neukölln.
95	Zug- und Druckmesser nach Lux	Friedrich Lux, G. m. b. G., Ludwigshafen a. Rh.
96	Differentialmanometer nach König	Dr. H. Geißler, Nachf., Bonn.
99	Zugmesser nach Arndt	Chr. Bülls, Aachen.
100	Zugmesser nach Schumacher	Wwe. Joh. Schumacher, Köln.
102	Zugmesser nach Orsat	Schäffer & Budenberg, Magdeburg-Buckau
103 ÷ 105	Äthermanometer	P. Hermann vorm. I. F. Meyer, Zürich IV.
106	Mikromanometer nach Krell	G. A. Schultze, Neukölln.
108	Zugmesser nach Krell	Derselbe.
114 ÷ 124	Indikatoren	Schäffer & Budenberg, Magdeburg-Buckau.
125 ÷ 141	Indikatoren	Dreyer, Rosenkranz & Droop, Hannover.
142 ÷ 149	Indikatoren	H. Maihak, Hamburg.
151 ÷ 157	Indikatoren für Wanderdiagramme	Dreyer, Rosenkranz & Droop, Hannover.
158 ÷ 159	Indikatoren für Wanderdiagramme	H. Maihak, Hamburg.
160 ÷ 161	Leistungszähler nach Böttcher	Derselbe.
163 ÷ 164	Rollenhubverminderer	Dreyer, Rosenkranz & Droop, Hannover. Schäffer & Budenberg, Magdeburg-Buckau.
165	Rollenhubverminderer	H. Maihak, Hamburg.
166 ÷ 167	Hubverminderer nach Stanek	Dreyer, Rosenkranz & Droop, Hannover.
169	Hubverminderer nach Stanek	H. Maihak, Hamburg.
185 ÷ 189	Prüfungseinrichtung für Indikatorfedern	Dreyer, Rosenkranz & Droop, Hannover.
190	Thermometereinsatz nach Wiebe-Schwirkus	Derselbe.
191 ÷ 192	Indikator-Prüfungseinrichtung nach Strupler	Derselbe.
195	Prüfungseinrichtung für Indikatorfedern	H. Maihak, Hamburg.
196 ÷ 197	Einrichtung zur Prüfung des Indikatorschreibzeuges	Derselbe.
198	Paßstücke zur Schreibzeugprüfung	Dreyer, Rosenkranz & Droop, Hannover.
199	Meßapparat für Eichdiagramme	H. Maihak, Hamburg.
211	Elektrodynamische Leistungswage	Dr. M. Levy, Berlin.
212	Torsions-Dynamometer	Gebrüder Amsler, Schaffhausen (Schweiz).
213	Torsionsindikator nach Föttinger	Vulkanwerke, Hamburg.
215	Polarplanimeter	Gebr. Amsler, Schaffhausen (Schweiz).
224	Kompensationsplanimeter	G. Coradi, Zürich.
230	Präzisions-Scheibenplanimeter	Derselbe.

Abb.-Nr.	Gegenstand	Hersteller bzw. Lieferant
232	Polarplanimeter	A. Ott, Kempten (Allgäu).
236	Kompensationsplanimeter	Derselbe.
238 ÷ 244	Universalplanimeter	Derselbe.
246	Schneidenrad-Planimeter	J. Fieguth, Langfuhr bei Danzig.
250 ÷ 251	Flächenmesser nach Wilde	Dr. Max Jänecke, Verlagsbuchhandlung, Leipzig.
312	Staurohr nach Prandtl	G. A. Schultze, Charlottenburg.
313	Hydro-Staurohr	Hydro-Apparate-Bauanstalt, Düsseldorf.
317	Meßdüse	Siemens & Halske, Siemensstadt bei Berlin.
318	Venturirohr	Derselbe.
319	Venturirohr	Bopp & Reuther, Mannheim.
320 ÷ 323	Dampfmesser	Dr. Martin Böhme, Berlin N.
324	Dampfmesser	Apparate-Bauanstalt P. de Bruyn, G. m. b. H., Düsseldorf-Oberkassel.
325 ÷ 327	Dampfmesser	Siemens & Halske, Siemensstadt bei Berlin.
328 ÷ 330	Anzeige- u. Schreibvorrichtung	Bopp & Reuther, Mannheim.
331	Volumenmesser	Hydro-Apparate-Bauanstalt, Düsseldorf.
332	Viskosimeter nach Engler	Sommer & Runge, Berlin SW.
333 ÷ 334	Apparate zur Flammpunktbestimmung	Derselbe.

Bau und Berechnung der Verbrennungskraftmaschinen. Eine Einführung von Studienrat a. D. **Franz Seufert**, Oberingenieur für Wärmewirtschaft. Vierte, verbesserte Auflage. Mit 93 Abbildungen im Text und auf 3 Tafeln. VI, 122 Seiten. 1926. RM 3.60

Bau und Berechnung der Dampfturbinen. Eine kurze Einführung von Studienrat a. D. **Franz Seufert**, Oberingenieur für Wärmewirtschaft. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 54 Textabbildungen. IV, 85 Seiten. 1923. RM 2.—

Anleitung zur Durchführung von Versuchen an Dampfmaschinen, Dampfkesseln, Dampfturbinen und Verbrennungskraftmaschinen. Zugleich Hilfsbuch für den Unterricht in Maschinenlaboratorien technischer Lehranstalten. Von Studienrat a. D. **Franz Seufert**, Oberingenieur für Wärmewirtschaft. Siebente, erweiterte Aufl. Mit 52 Abbildungen. VI, 165 Seiten. 1925. RM 3.60

Verbrennungslehre und Feuerungstechnik. Von Studienrat a. D. **Franz Seufert**, Oberingenieur für Wärmewirtschaft. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 19 Abbildungen, 15 Zahlentafeln und vielen Berechnungsbeispielen. IV, 128 Seiten. 1923. RM 2.60

Technische Wärmelehre der Gase und Dämpfe. Eine Einführung für Ingenieure und Studierende. Von Studienrat a. D. **Franz Seufert**, Oberingenieur für Wärmewirtschaft. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 26 Textabbildungen und 5 Zahlentafeln. II, 83 Seiten. 1923. RM 1.80

Maschinentechnisches Versuchswesen. Von Prof. Dr.-Ing. **A. Gramberg**, Oberingenieur und Direktor an den Höchster Farbwerken.

Erster Band: **Technische Messungen bei Maschinenuntersuchungen und zur Betriebskontrolle.** Zum Gebrauch an Maschinenlaboratorien und in der Praxis. Fünfte, vielfach erweiterte und umgearbeitete Auflage. Mit 326 Figuren im Text. XII, 565 Seiten. 1923. Gebunden RM 18.—

Zweiter Band: **Maschinenuntersuchungen** und das Verhalten der Maschinen im Betriebe. Ein Handbuch für Betriebsleiter, ein Leitfaden zum Gebrauch bei Abnahmeversuchen und für den Unterricht an Maschinenlaboratorien. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 327 Figuren im Text und auf 2 Tafeln. XVIII, 601 Seiten. 1924. Geb. RM 20.—

Technische Thermodynamik. Von Professor Dipl.-Ing. **W. Schüle.**

Erster Band: **Die für den Maschinenbau wichtigsten Lehren nebst technischen Anwendungen.** Vierte, neubearbeitete Auflage. Berichtigter Neudruck. Mit 225 Textfiguren und 7 Tafeln. X, 559 Seiten. 1923.

Gebunden RM 18.—

Zweiter Band: **Höhere Thermodynamik** mit Einschluß der chemischen Zustandsänderungen nebst ausgewählten Abschnitten aus dem Gesamtgebiet der technischen Anwendungen. Vierte, erweiterte Auflage. Mit 228 Textfiguren und 5 Tafeln. XVIII, 509 Seiten. 1923.

Gebunden RM 18.—

Leitfaden der technischen Wärmemechanik. Kurzes Lehrbuch der Mechanik der Gase und Dämpfe und der mechanischen Wärmelehre. Von Prof. Dipl.-Ing. **W. Schüle.** Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 110 Textfiguren und 5 Tafeln. IX, 294 Seiten. 1925. RM 6.60; geb. RM 7.50

Einführung in die Lehre von der Wärmeübertragung. Ein Leitfaden für die Praxis von Oberingenieur Dr.-Ing. **Heinrich Gröber.** Mit 60 Textabbildungen und 40 Zahlentafeln. X, 200 Seiten. 1926. Gebunden RM 12.—

Die Grundgesetze der Wärmeleitung und des Wärmeüberganges.

Ein Lehrbuch für Praxis und technische Forschung. Von Oberingenieur Dr.-Ing. **Heinrich Gröber.** Mit 78 Textfiguren. VIII, 271 Seiten. 1921.

RM 9.—

Der Wärmeübergang und die thermodynamische Berechnung der Leistung bei Verpuffungsmaschinen, insbesondere bei Kraftfahrzeug-Motoren. Von Dr.-Ing. **August Herzfeld.** Mit 27 Textabbildungen. VIII, 92 Seiten. 1925. RM 6.—

Abwärmeverwertung zu Heiz-, Trocken-, Warmwasserbereitungs- und ähnlichen Zwecken. Von Ing. **M. Hottinger,** Privatdozent, Zürich. Mit 180 Abbildungen im Text. X, 240 Seiten. 1925. RM 8.—; gebunden RM 10.—

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. VIII, 272 Seiten. 1923. Gebunden RM 10.—

Die Wärmewirtschaft in der Zellstoff- und Papierindustrie. Von Dr.-Ing. **J. Frhr. v. Lassberg.** Zweite, völlig neubearbeitete Auflage. Mit 68 Textabbildungen. VI, 282 Seiten. 1926. Gebunden RM 24.—

Wahl, Projektierung und Betrieb von Kraftanlagen. Ein Hilfsbuch für Ingenieure, Betriebsleiter, Fabrikbesitzer. Von Dipl.-Ing. **Friedrich Barth**. Vierte, umgearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 161 Figuren im Text und auf 3 Tafeln. XII, 525 Seiten. 1925. Gebunden RM 16.—

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. VIII, 174 Seiten. 1921. RM 6.40

Handbuch der Feuerungstechnik und des Dampfkesselbetriebes mit einem Anhang über allgemeine Wärmetechnik. Von Dr.-Ing. **Georg Herberg**, Stuttgart. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 62 Textabbildungen, 91 Zahlentafeln sowie 48 Rechnungsbeispielen. XVIII, 332 Seiten. 1922. Gebunden RM 11.—

Die Separation von Feuerungsrückständen und ihre Wirtschaftlichkeit einschließlich der Brikettierung und Schlackensteinherstellung. Von Dipl.-Ing. **W. Engel**. Mit 30 Textabbildungen. 135 Seiten. 1925. RM 8.10; gebunden RM 9.60

Die Trocknung und Schwelung der Braunkohle durch Spülgase. Von Oberingenieur Dr.-Ing. Dr. jur. **B. Hilliger**. Mit 45 Abbildungen im Text und 2 Rechentafeln. IV, 128 Seiten. 1926. RM 10.50

Die Heizerschule. Vorträge über die Bedienung und die Einrichtung von Dampfkesselanlagen. Ein Lehrbuch zur Ablegung der staatlichen Heizerprüfung. Nach den vom Reichswirtschaftsministerium aufgestellten Richtlinien von Regierungs-Gewerberat **F. O. Morgner**, Chemnitz. Vierte, umgearbeitete und vervollständigte Auflage. Mit 165 Textabbildungen. X, 163 Seiten. 1925. RM 3.90

Höchstdruckdampf. Eine Untersuchung über die wirtschaftlichen und technischen Aussichten der Erzeugung und Verwertung von Dampf sehr hoher Spannung in Großbetrieben. Von Dr.-Ing. **Friedrich Münzinger**. Zweite, unveränderte Auflage. Mit 120 Textabbildungen. XII, 140 Seiten. 1926. RM 7.20; gebunden RM 8.70

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. X, 164 Seiten. 1922. Gebunden RM 6.—

Der Einfluß der rückgewinnbaren Verlustwärme des Hochdruckteils auf den Dampfverbrauch der Dampfturbinen. Von Privatdoz. Dr.-Ing. **Georg Forner**. Mit 10 Textabbildungen und 8 Zahlentafeln. 36 Seiten. 1922. RM 1.50

Anleitung zur Berechnung einer Dampfmaschine. Ein Hilfsbuch für den Unterricht im Entwerfen von Dampfmaschinen. Von Geh. Hofrat Prof. **R. Graßmann**, Karlsruhe i. B. Vierte, umgearbeitete und stark erweiterte Auflage. Mit 25 Anhängen, 471 Figuren und 2 Tafeln. XV, 643 Seiten. 1924. Gebunden RM 28.—

Dampf- und Gasturbinen. Mit einem Anhang über die Aussichten der Wärmekraftmaschinen. Von Professor Dr. phil. Dr.-Ing. **A. Stodola**, Zürich. Sechste Auflage. Unveränderter Abdruck der V. Auflage. Mit einem Nachtrag nebst Entropie-Tafel für hohe Drücke und B¹T-Tafel zur Ermittlung des Rauminhaltes. Mit 1138 Textabbildungen und 13 Tafeln. XIII, 1141 Seiten. 1924. Gebunden RM 50.—

Nachtrag zur fünften Auflage von Stodolas Dampf- und Gasturbinen nebst Entropie-Tafel für hohe Drücke und B¹T-Tafel zur Ermittlung des Rauminhaltes. Mit 37 Abbildungen und 2 Tafeln. 32 Seiten. 1924. RM 3.— Dieser der 6. Auflage angefügte Nachtrag ist auch als **Sonderausgabe** einzeln zu beziehen, um den Besitzern der 5. Auflage des Hauptwerkes die Möglichkeit einer Ergänzung auf den Stand der 6. Auflage zu bieten.

Sonderausgabe der Tafeln:

JS-Tafel für Wasserdampf. Sonderausgabe in doppelter Größe der Buchbeilage (d. i. Originalgröße). Zweite Auflage In Vorbereitung
Entropietafel I für Gase RM 0.80
Entropietafel II für Gase (mit den wahren spezifischen Wärmen) RM 0.80

⊗ **Theorie und Bau der Dampfturbinen.** Von Ing. Dr. **Herbert Melan**, Privatdozent an der Deutschen Technischen Hochschule in Prag. Mit 3 Tafeln, 163 Abbildungen und mehreren Zahlentafeln. 320 Seiten. 1922. (Technische Praxis, Band XXIX.) Gebunden RM 2.50
Ging Ende 1924 von der Waldheim Eberle A.-G. (Wien) in meinen Verlag über.

⊗ **Einrichtung, Betrieb, Kraftübertragung und Berechnung ortsfester Dampfkessel und Dampfmaschinen.** Mit Erörterung der bei der gesetzlichen Prüfung vorkommenden Fragen für Heizer, Maschinenwärter, Besitzer von Dampfmaschinenanlagen und Besucher technischer Lehranstalten. Von Ing. **August Ulbrich**, Professor an der Staatsgewerbeschule in Wien. Vierzehnte, umgearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 170 Abbildungen, 4 Tafeln und den Kesselgesetzen für Deutschland und Österreich. 478 Seiten. 1922. (Technische Praxis, Band XVI.) Gebunden RM 4.50

Die Dampfkessel nebst ihren Zubehörteilen und Hilfseinrichtungen. Ein Hand- und Lehrbuch zum praktischen Gebrauch für Ingenieure, Kesselbesitzer und Studierende. Von Regierungsbaumeister Professor **R. Spalckhaver** und Ingenieur **Fr. Schneiders** †. Zweite, verbesserte Auflage. Unter Mitarbeit von Dipl.-Ing. A. Rüstler. Mit 810 Abbildungen im Text. VIII, 481 Seiten. 1924. Gebunden RM 40.50

F. Tetzner, Die Dampfkessel. Lehr- und Handbuch für Studierende Technischer Hochschulen, Schüler höherer Maschinenbauschulen und Techniken, sowie für Ingenieure und Techniker. Siebente, erweiterte Auflage von **O. Heinrich**, Studienrat an der Beuthschule zu Berlin. Mit 467 Textabbildungen und 14 Tafeln. IX, 413 Seiten. 1923. Gebunden RM 10.—

Elementare Berechnung der Dampfmaschinen. Dargestellt am Beispiel einer Heißdampf-Tandem-Maschine. Von Ing. Dr. phil. **W. Grabowsky**. Mit 62 Figuren im Text und auf 2 Tafeln und vielen Tabellen. IV, 118 Seiten. 1912. RM 3.—

Kolbendampfmaschinen und Dampfturbinen. Ein Lehr- und Handbuch für Studierende und Konstrukteure. Von Professor **Heinrich Dubbel**, Ingenieur. Sechste, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 566 Textfiguren. VII, 523 Seiten. 1923. Gebunden RM 14.—

Die Steuerungen der Dampfmaschinen. Von Professor **Heinrich Dubbel**, Ingenieur. Dritte, umgearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 515 Textabbildungen. V, 394 Seiten. 1923. Gebunden RM 10.—

Die mit ⊗ bezeichneten Werke sind im Verlag von Julius Springer in Wien erschienen.