

Versuche and Dampfmaschinen,
Dampfkesseln, Dampfturbinen
und Dieselmachines

Von

Franz Seufert

Dritte Auflage

**Anleitung zur Durchführung
von Versuchen an Dampfmaschinen,
Dampfkesseln, Dampfturbinen und
Dieselmaschinen**

Zugleich Hilfsbuch für den Unterricht
in Maschinenlaboratorien technischer Lehranstalten.

Von

Franz Seufert

Ingenieur, Oberlehrer an der Kgl. höheren Maschinenbauschule zu Stettin.

Dritte, erweiterte Auflage

Mit 43 Abbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1913

ISBN 978-3-662-24553-8 ISBN 978-3-662-26700-4 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-26700-4

Softcover reprint of the hardcover 3rd edition 1913

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

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die durchweg günstige Aufnahme, welche das vorliegende Werkchen seit seinem Ende 1906 erfolgten Erscheinen seitens der Kritik in der Fachpresse gefunden hat, scheint mir ein erfreulicher Beweis dafür zu sein, daß es seinen Doppelzweck, der Schule und der Praxis zu dienen, erfüllt. Es ist inzwischen auch in russischer Übersetzung erschienen.

Um das Büchlein den Anforderungen der Praxis noch mehr anzupassen und zugleich einigen in der Kritik gegebenen Anregungen folgend, habe ich seinen Inhalt an mehreren Stellen erweitert. Neu aufgenommen sind folgende Abhandlungen: Prüfung der Indikatorfedern und Berechnung des mittleren Maßstabes, unmittelbare Dichtheitsprüfung von Steuerungsorganen, Einstellen von Schiebersteuerungen, Berechnung des Wärmeverbrauches von Heißdampfmaschinen, Ermittlung des Arbeitsbedarfes der angetriebenen Arbeitsmaschinen mit einem der Praxis entnommenen Musterbeispiel, selbsttätige Apparate zur Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der Abgase, Messung von Temperaturen auf elektrischem Wege, Differenz-Zugmessung, Beobachtung der Rauchstärke.

In die Dampftabellen wurden die Ergebnisse neuerer Versuche nach „Mollier: Neue Tabellen und Diagramme für Wasserdampf“ eingesetzt.

Im übrigen ist die bewährte Anordnung beibehalten, welche, vom Zweck des jeweiligen Versuches ausgehend, die bei der Verfolgung dieses Zweckes erforderlichen Beobachtungen und Instrumente sowie ihre Handhabung erläutert, die Verwertung der Versuchsergebnisse bringt und ihren Zusammenhang durch Musterbeispiele veranschaulicht. An einigen Stellen wurden Ungenauigkeiten ausgemerzt; manches wurde schärfer gefaßt.

Stettin, Ende 1908.

F. Seufert.

Vorwort zur dritten Auflage.

Die zunehmende Verwendung von Dampfturbinen und Dieselmotoren hat mich veranlaßt, auch die Durchführung von Versuchen an diesen Maschinen zu behandeln. Für die Überlassung der Versuchsakten zur Bearbeitung der Musterbeispiele S. 86 und S. 98 spreche ich auch an dieser Stelle Herrn Baurat Reischle, Direktor des Bayerischen Revisionsvereins in München, meinen verbindlichsten Dank aus.

Ferner wurde, ebenfalls den Anforderungen der Praxis entsprechend, eine Ausführung der Indikatoren mit außenliegender Feder eingehender als in der zweiten Auflage besprochen und als Anhang zur Untersuchung von Dieselmotoren die Bestimmung des Heizwertes flüssiger Brennstoffe hinzugefügt.

Die übrigen Änderungen bestehen vorwiegend in der Beseitigung überflüssiger Fremdwörter.

Stettin, Ende 1912.

F. Seufert.

Inhalt.

	Seite
Einleitung.	1
Erster Teil	
Dampfmaschinen-Untersuchung.	
Gegenstand der Untersuchung.	2
1. Abschnitt. Die Prüfung der Steuerungsorgane.	
Einleitung.	2
a) Der Rosenkranz-Indikator	3
b) Der Crosby-Indikator	5
c) Der Maihak-Indikator	7
Anbringung der Indikatoren	9
Allgemeines	13
Prüfung der Indikatorfedern	14
Beurteilung der Diagramme und Einstellen der Steuerung	15
2. Abschnitt. Die Ermittlung der indizierten Leistung.	
Einleitung.	23
Das Ottsche Planimeter	24
Berechnung des mittleren Druckes	27
Planimetrieren mit Spitzeneinstellung	27
Simpsonsche Regel	28
Berechnung der indizierten Leistung.	30
3. Abschnitt. Die Ermittlung der Nutz- oder effektiven Leistung.	
Backenbremse	32
Berechnung der Nutzleistung	34
Andere Bremsen.	34
Ermittlung der Nutzleistung auf elektrischem Wege.	35
4. Abschnitt Die Ermittlung des mechanischen Wirkungs-Grades.	37
5. Abschnitt. Die Ermittlung des stündlichen Dampf- und Wärmeverbrauches für eine Pferdestärke	38
Musterbeispiele zum 1. bis 5. Abschnitt:	
A. Leistungsversuche an einer Einzylinder-Dampfmaschine ohne Kondensation.	42
B. Dampfverbrauchsversuch an einer Heißdampf - Verbund-Kondensationsmaschine	44

	Seite
6. Abschnitt. Die Ermittlung des Arbeitsbedarfes der angetriebenen Arbeitsmaschinen	49
Musterbeispiel	50
Anhang. Rankinisieren der Diagramme einer Verbundmaschine	53

Zweiter Teil.

Dampfkessel-Untersuchung.

Gegenstand der Untersuchung	56
1. Abschnitt. Ermittlung der Verdampfungsziffern.	
Brutto-Verdampfungsziffer	56
Probenahme	57
Erzeugungswärme des gesättigten Dampfes	58
Zahlentafel für gesättigte Wasserdämpfe	59
Speisewassertemperatur	60
Erzeugungswärme des überhitzten Dampfes	61
2. Abschnitt. Stündliche Dampfleistung auf 1 qm Heizfläche	62
Stündliche Rostbeanspruchung auf 1 qm Rostfläche	62
3. Abschnitt. Berechnung der Wärmeausnutzung und der Wärmeverluste	
Wärmeausnutzung	63
Verluste: a) durch Verbrennliches in den Rückständen	64
b) „ die in den Abgasen enthaltene Wärme	65
c) „ Strahlung, Leitung usw.	73
Orsatapparat	68
Selbsttätige Apparate	72
Sonstige Messungen:	
Temperatur der Abgase	73
Zugmessung	74
Rauchbeobachtung	77
4. Abschnitt. Der Dampf- und Wärmepreis	78
Musterbeispiel: Versuchsaufschreibungen	79
Versuchsergebnisse	80
Anhang. Bestimmung des Heizwertes von Kohle	81

Dritter Teil.

Dampfturbinen-Untersuchung.

Elektrische Leistung	85
Dampfverbrauch	85
Musterbeispiel: Versuchsaufschreibungen	86
Versuchsergebnisse	88

Vierter Teil.

Dieselmaschinen-Untersuchung.

Gegenstand der Untersuchung	90
1. Abschnitt. Ermittlung der indizierten Leistung	90
2. Abschnitt. Ermittlung der Nutzleistung	91

	Seite
3. Abschnitt. Ermittlung des indizierten Arbeitsbedarfes der Luftpumpe	91
4. Abschnitt. Ermittlung des mechanischen Wirkungs- grades	92
5. Abschnitt. Ermittlung des stündlichen Brennstoffver- brauches für eine Pferdestärke.	93
6. Abschnitt. Berechnung der Wärmeausnutzung und der Verluste	95
Musterbeispiel: Versuchsaufschreibungen.	98
Versuchsergebnisse	100
Anhang: Bestimmung des Heizwertes flüssiger Brennstoffe	103

Einleitung.

Der **Zweck** der folgenden Untersuchungen besteht entweder darin, festzustellen, ob bei neuen Maschinenanlagen die vom Erbauer gegebenen Zusicherungen erfüllt sind (Garantiever-suche), oder darin, in vermutlich unwirtschaftlich arbeitenden Anlagen die Ursachen der Unwirtschaftlichkeit aufzufinden, um danach Maßnahmen zur Abhilfe zu treffen (Informations-versuche).

Maßgebend für die Durchführung dieser Versuche sind die vom Verein Deutscher Ingenieure, dem Internationalen Verband der Dampfkessel-Überwachungsvereine und dem Vereine Deutscher Maschinenbauanstalten aufgestellten **Normen**¹⁾, welche insbesondere die für Garantiever-suche wichtigen Abmachungen über Zahl und Dauer der Untersuchungen sowie über die zulässigen Schwankungen enthalten.

¹⁾ Boysen u. Maasch, Hamburg.

Erster Teil.

Dampfmaschinen-Untersuchung.

Gegenstand der Untersuchung einer Dampfmaschine kann sein:

1. die Prüfung der Einstellung der Steuerung und des Dichtheitszustandes der Steuerungsorgane durch den Indikator,
2. die Ermittlung der indizierten Leistung N_i ,
3. die Ermittlung der Nutzleistung oder effektiven Leistung N_e ,
4. die Ermittlung des mechanischen Wirkungsgrades $\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$,
5. die Ermittlung des stündlichen Dampf- und Wärmeverbrauches für 1 PS_i oder 1 PS_e,
6. die Ermittlung des Arbeitsbedarfes der angetriebenen Arbeitsmaschinen.

Im folgenden soll gezeigt werden, welche Hilfsmittel und welche Beobachtungen zur Lösung dieser Aufgaben erforderlich sind, und wie man die Beobachtungsergebnisse verwertet und beurteilt.

Erster Abschnitt.

Die Prüfung der Steuerungsorgane.

Diese erfolgt durch Abnahme eines oder mehrerer Diagrammsätze mit Hilfe des **Indikators**. Aus der Form der Diagramme zieht man Schlüsse auf die Richtigkeit der Einstellung der Steuerung, auf die Dichtheit der Dampfleinlaßorgane und nur in besonderen Fällen auf die Dichtheit der Dampfauslaßorgane und des Kolbens.

Man unterscheidet Indikatoren

1. mit innenliegender Feder,
2. mit außenliegender Feder.

Die zurzeit gebräuchlichsten Indikatoren der 1. Gruppe sind:

- a) der Indikator von Dreyer, Rosenkranz und Droop in Hannover,
- b) der Crosby-Indikator (H. Maihak in Hamburg).
Als Beispiel der 2. Gruppe werde hier beschrieben
- c) der Maihak-Indikator.

a) Beschreibung und Handhabung des Rosenkranz-Indikators.

Der in Abb. 1 dargestellte Indikator entspricht der neuesten Ausführung des sog. großen Modelles mit Dampfmantel. Der Indikator besteht aus dem Zylinder a, dem Kolben b mit der

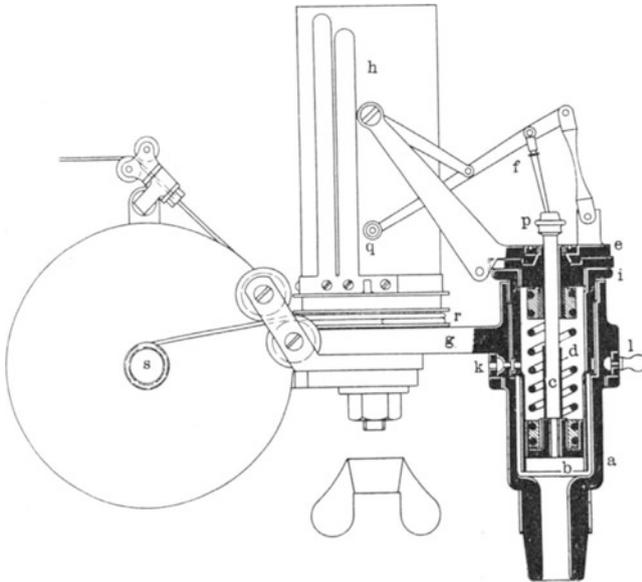


Abb. 1.

Kolbenstange c und der Feder d, dem Deckel e mit dem Schreibzeug f und dem Verbindungsarm g mit der Papiertrommel h. Der Zylinder enthält einen mittels des Deckels i einschraubbaren Einsatz, in dem der Kolben sich bewegt. Dadurch wird um die Lauffläche des Kolbens ein Dampfmantel gebildet, der den Zweck hat, eine ungleichmäßige Ausdehnung des Zylinders und damit ein Klemmen des Kolbens zu verhindern. Die Kolbenstange ist mit einem übergesteckten Röhrchen oder mit einem Bund versehen, der bei einer etwaigen übermäßigen Zusammendrückung

der Feder oben anstößt. Um in dem Raum über dem Kolben stets atmosphärischen Druck zu erhalten, sind einige Ausblaselöcher angebracht, welche mit einer ringsum laufenden Nut des Einsatzes und mit einer zweiten, ebenfalls ringsum laufenden Nut des Mantels in Verbindung stehen. Durch den mittels des Knöpfchens l drehbaren Ring k, der ebenfalls mit Ausblaselöchern versehen ist, kann der austretende Dampf nach jeder gewünschten Richtung gelenkt werden. Das Schreibzeug ist mittels des nachstellbaren Kugelgelenkes p mit der Kolbenstange verbunden und trägt am Ende des Schreibhebels den Schreibstift q.

Der Indikator ist in Verbindung mit der **Hubverminderungsrolle** dargestellt; bevor man die letztere anbringt, löst man die Flügelmutter der Achse der Papiertrommel; dann wird das Befestigungsauge der Hubrolle übergeschoben und mit der Sechskantmutter festgeklemmt. Die Diagrammlänge beträgt etwa 100 mm; um die Hubrolle für alle Maschinenhübe brauchbar zu machen, sind mehrere Röllchen s vorhanden, welche mit der Maßzahl des größten für jedes Röllchen zulässigen Maschinenhubes versehen sind. Man wähle das Röllchen lieber etwas zu klein als zu groß, um das Anstoßen der Indikatortrommel sicher zu verhindern. Vor dem Festschrauben der Hubrolle ist darauf zu achten, daß die Führungsrollen an der Indikatortrommel so stehen, daß die später durchzuziehende Schnur senkrecht und nicht schräg auf das Hubröllchen aufläuft.

Jede Indikatorfeder trägt zwei Bezeichnungen, z. B. 6 kg und 10 mm, d. h. die Feder darf bis zu einem Druck von 6 kg/qcm verwendet werden und einem kg/qcm entspricht ein Schreibstifthub von 10 mm, oder mit anderen Worten, der Federmaßstab beträgt 10 mm. Der auf jeder Feder angegebene Federmaßstab ist nur als ungefähre Anhalt zu betrachten, weil er sich im Laufe der Zeit ändert. Bei genauen Versuchen muß deshalb für jede zu verwendende Feder der Maßstab mit Hilfe eines Federprüfungsapparates¹⁾ ermittelt werden. Das Einsetzen einer neuen Feder in den Indikator geschieht wie folgt: Man löst das Kugelgelenk p (Abb. 1) und schraubt den Deckel e mit dem Schreibzeug heraus. Damit nun nicht gleichzeitig der Deckel i und der Zylindereinsatz herausgeht, muß letzterer immer sehr fest mit dem jedem Indikator beigegebenen Stiftschlüssel angezogen werden. Hierauf nimmt man den

¹⁾ S. 14.

Kolben mit der Kolbenstange heraus, schiebt die gewählte Feder *d* (Abb. 2) über die Kolbenstange *c* und verschraubt ihr unteres Ende *e* mit der Nabe des Kolbens. Dabei fasse man die Feder nahe an ihrem unteren Ende, um Verbiegungen und Lockerungen der Lötstellen zu vermeiden, und ziehe sie endlich mit der Hand oder, wenn nötig, mit dem Hakenschlüssel an ihrem unteren Lötende fest. Dann schiebt man die Kolbenstange durch den Deckel und verschraubt das obere Ende der Feder mit dem Deckel; hierauf wird die Verbindung mit dem Schreibzeug hergestellt, indem man den Deckel *e* (Abb. 1) so einschraubt, daß er nur lose auf dem Zylinderende aufliegt, und das Kugelgelenk *p* wieder mit der Kolbenstange verschraubt. Nach Gebrauch sind die Federn stets sorgfältig abzureiben und einzuölen, damit sie nicht rosten, was auch eine Veränderung des Maßstabes zur Folge haben würde.

Eine neue Schnur wird eingezogen, indem man die Trommel abzieht, die Schnur durch ein passendes Loch der Schnurrille *r* (Abb. 1) zieht und innen mit einem festen Knoten versieht.

Das Aufstecken des Papieres erfolgt dadurch, daß man das Papier an einer Schmalseite etwa um 10—15 mm umfaltet, das umgefaltete Ende etwas unter die längere Lamelle der Trommel schiebt, hierauf das Papier um die Trommel legt und das andere Papierende unter die kürzere Lamelle schiebt; dann faßt man das Papier auf zwei gegenüberliegenden Seiten und zieht es stramm anliegend auf die Trommel.

Nach beendigter Indizierung ist der Indikator sorgfältig zu reinigen, besonders der Zylindereinsatz, der zu diesem Zweck am besten herausgenommen wird, der Kolben, die Kolbenstange und die Kolbenstangenführung im Deckel. Alle Eisenteile, die der Wirkung des Dampfes ausgesetzt sind, müssen eingeölt werden.

b) Beschreibung und Handhabung des Crosby-Indikators.

Derselbe ist in Abb. 3 dargestellt und unterscheidet sich vom Rosenkranz-Indikator hauptsächlich durch eine andere Anordnung des Schreibzeuges und durch die Feder, welche nur ein Lötende

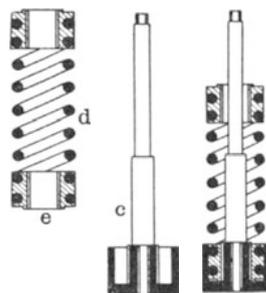


Abb. 2.

besitzt. Der Indikator besteht aus dem Zylinder a mit dem Einsatz b, zwischen denen sich ebenfalls ein Dampfmantel befindet, dem Kolben c mit dem geschlitzten Fortsatz l, der Feder d, dem Deckel e, den die Kolbenstange q durchdringt, dem Schreibzeug f mit dem Schreibstift k, dem Trommelarm g und der Papiertrommel h. Zur Erhaltung des atmosphärischen Druckes über dem Kolben sind die Ausblaselöcher i vorhanden.

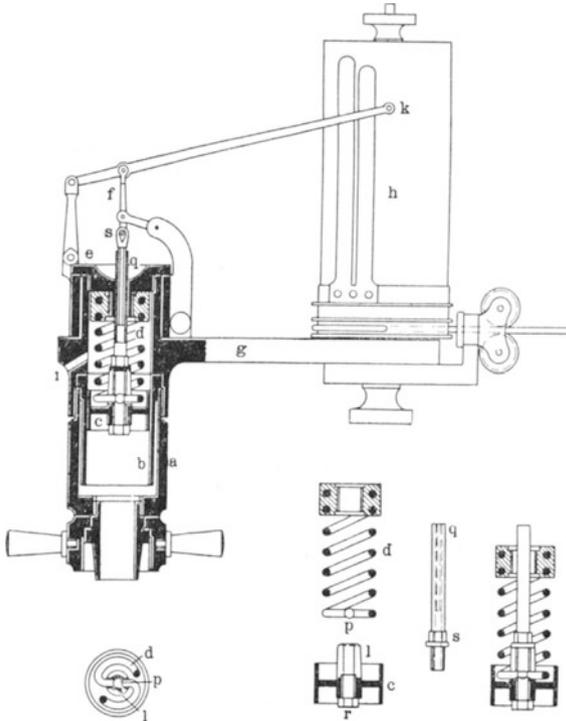


Abb. 3.

Abb. 4.

Das Einsetzen einer neuen Feder geschieht nach Abb. 4 folgendermaßen: Man schiebt das untere Ende der Feder d mit dem Kugelgelenk p in den Schlitz des Fortsatzes l des Kolbens c, zieht das Schraubchen r etwas zurück, steckt die Kolbenstange q durch die Feder, schraubt ihr unteres Ende durch Anziehen des Sechskantes s mit dem dem Indikator beigegebenen Hohlschlüssel in den Fortsatz l des Kolbens, bis es fest auf letzterem aufliegt; dann klemmt man die Kugel p mittels des Schraubchens r so fest, daß sich das Kugelgelenk gerade noch etwas drehen läßt, ohne jedoch toten Gang zu besitzen. Hierauf

steckt man die Kolbenstange durch den Deckel e (Abb. 3) und zieht gleichzeitig die Verschraubung der Feder und die in die Richtung der Kolbenstange fallende Verlängerung des Schreibzeuges fest. Wenn das Lötende der Feder fest auf der Innenseite des Deckels aufliegt, dreht man den Kolben mit dem Deckel so lange weiter, bis das unterste Gelenk s des Schreibzeuges ebenfalls fest aufsitzt. Hierauf verschraubt man den Deckel mit dem Zylinder. Sollte sich hier beim Indizieren von Kondensationsmaschinen herausstellen, daß die Ausströmlinie zu nahe an den unteren Rand des Diagrammpapieres kommt, dann schraubt man den Deckel samt dem Schreibzeug wieder heraus, dreht den Deckel eine oder zwei Umdrehungen links herum und schiebt dadurch das Schreibzeug etwas nach oben; dann wird der Deckel wieder auf den Zylinder aufgeschraubt.

Im übrigen gilt auch hier das über den Rosenkranz-Indikator Gesagte.

e) Beschreibung und Handhabung des Maihak-Indikators.

Um die mit der Erwärmung der Indikatorfeder und der dadurch verursachten Änderung des Federmaßstabes verknüpften Unsicherheiten zu beseitigen, hat man seit etwa 10 Jahren **Indikatoren mit kühl liegender Außenfeder** eingeführt, die jetzt in verschiedenen Bauarten von allen Firmen erzeugt werden, die sich mit der Herstellung von Indikatoren befassen; diese Indikatoren verdienen bei der Neubeschaffung von Indikatoren bevorzugt zu werden. Als Beispiel sei in Abb. 5 der Indikator von H. Maihak in Hamburg angeführt, der sich durch handliche Anordnung und gute konstruktive Ausführung auszeichnet. Der Maihak-Indikator besitzt eine nach Lösung des Schraubchens a frei abschraubbare, im Betriebe auf Zug beanspruchte Feder, deren oberes Ende einen Kugelknopf enthält und beim Aufschrauben zwischen der geschlitzten Verlängerung der Kolbenstange und dem Schraubchen a festgeklemmt wird. Der Verlängerungsschlitz dreht sich dabei in einem Kugellager, so daß Kolben und Kolbenstange beim Aufschrauben der Feder in Ruhe bleiben. Das Gestänge des Schreibzeuges besitzt die Grundform des Crosby-Indikators und ist doppelt ausgeführt, damit jeder einseitige Gelenkdruck vermieden wird. Der Deckel b ist innen mit einer wärmeabhaltenden Hartgummischeibe c und außen mit einem grob geriffelten Hartgummiwulst d versehen, der sich

im Betrieb nur wenig erwärmt und daher ein bequemes Abschrauben gestattet. Auf dem Deckel b ist die mittels der Sechs-

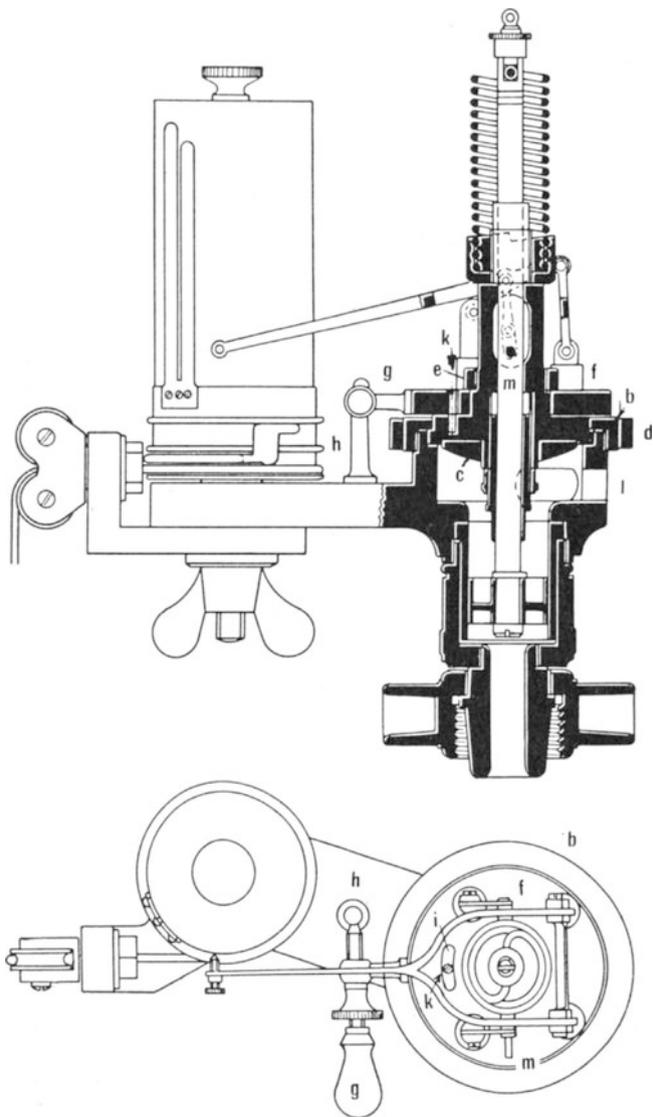


Abb. 5.

kantmutter e leicht beweglich befestigte Scheibe f angeordnet, die den einstellbaren Handgriff g enthält, der sich gegen den Anschlag h legt. Um das gänzliche Herumschlagen

des Schreibzeuges zu verhindern, besitzt die Scheibe f einen Schlitz i, in dem ein Stift k sitzt. Nach Lösen des Deckels b kann man die Scheibe mit dem Schreibzeug vollständig herumdrehen, was besonders bei wechselndem Gebrauch für Rechts- und Linksmaschinen angenehm ist. Durch die Öffnungen l wird die Oberseite des Kolbens mit der Atmosphäre in Verbindung gehalten. Der Kolben besteht aus Stahl und bewegt sich in einer dampfgeheizten Büchse. Zur Hubbegrenzung bei sog. Schwachfederdiagrammen¹⁾ und zum Schutz gegen Überspannung der Feder dient ein verstellbarer Anschlag der Kolbenstange. Die Kolbenstange kann zur Reinigung nach unten herausgezogen werden, wenn man die Feder abschraubt und den Querstift m seitlich herauszieht.

Zur Verwendung der Federn für die Indizierung von Kondensationsmaschinen legt man vor dem Aufschrauben der Feder beigegebene kleine Unterlegscheiben auf den Federträger, wodurch die atmosphärische Linie höher gerückt wird.

Bei der Indizierung von Verbrennungskraftmaschinen oder anderen Maschinen mit hohem Druck setzt man auf die Kolbenstange einen kleinen Kolben, dessen Fläche je nach dem Höchstdruck $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{30}$ und $\frac{1}{50}$ der normalen Fläche beträgt; ferner schraubt man statt der normalen Zylinderbüchse die zu dem gewählten Kolben passende kleinere Büchse ein. Damit vermindert sich der Federmaßstab in demselben Verhältnis wie die Kolbenfläche.

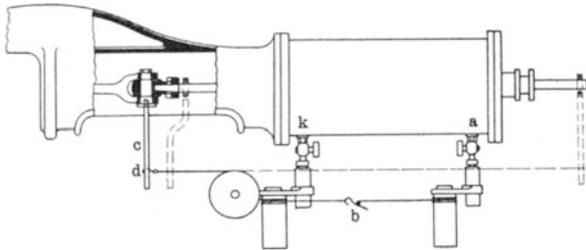


Abb. 6.

Anbringung der Indikatoren an der Maschine. In Abb. 6 ist die gewöhnliche Art der Anbringung der Indikatoren mit Hubverminderungsrolle dargestellt. In jeden der beiden Indikatorstutzen k (Kurbelseite) und a (Außenseite) wird ein

¹⁾ Diese entnimmt man von Verbrennungskraftmaschinen, um bei dem größeren Maßstab die Ansaug- und Ausströmlinie deutlicher zu erkennen.

Hahn eingeschraubt, nachdem man zur Abdichtung um den letzten Gewindegang jedes Hahnes etwas Hanf gewickelt hat; wenn das Gewinde des Indikatorhahnes mit dem Gewinde des Indikatorstutzens nicht übereinstimmt, so müssen Zwischenstücke eingeschaltet werden. An jeden Hahn wird ein Indikator angesetzt, von denen man einen mit der Hubverminderungsrolle versieht. Der Antrieb der letzteren erfolgt durch einen in den Kreuzkopf der Maschine eingeschraubten Mitnehmer c, mit welchem die Schnur mittels des Hakens d verbunden wird. Die Verbindung der beiden Indikatoren geschieht durch den in Abb. 7 besonders dargestellten Schnurspanner b. Wenn der Kreuzkopfzapfen



Abb. 7.

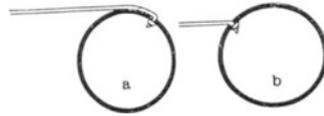


Abb. 8.

keine Bohrung für den Mitnehmer besitzt und wegen zu großer Härte nicht angebohrt werden kann, verwendet man als Mitnehmer ein mittels einer Schelle entweder vorn oder hinten an die Kolbenstange geklemmtes Flacheisen; dabei ist durch etwaige Abkröpfung dafür zu sorgen, daß beim Gang der Maschine das Flacheisen nirgends anstößt. Für alle Fälle empfiehlt es sich, nach der Anbringung des Mitnehmers die Maschine einmal herumzuschalten.

Das Ansetzen der Indikatoren selbst kann während des Ganges der Maschine erfolgen, wobei sich die Einhaltung nachstehender Reihenfolge der Arbeiten bewährt hat. Die Indikatoren, von denen man den vorderen oder den hinteren mit der Hubrolle verschraubt, werden mit den Hähnen verbunden; hierauf steckt man das dem Maschinenhub entsprechende Röllchen auf die Hubrolle und wickelt die Schnur des Indicators einmal um das Röllchen, bevor man sie festklemmt. Ein etwa vorstehendes Schnurende ist abzuschneiden, damit es bei der Drehung der Hubrolle nicht unter die auflaufende Schnur gelangt und so die Diagrammlänge fälscht. Dabei sieht man nach, in welcher Richtung sich das Röllchen beim Anziehen der Hubrolle dreht; ferner beachte man, daß so viel Schnur auf die Schnurrille des Indicators aufgewickelt ist, daß die Trommel eine volle Umdrehung beschreiben kann. Die Schnur muß dabei tangential von der Schnurrille ablaufen, wie in Abb. 8 a dargestellt ist, und darf nicht etwa die Lage b annehmen, welche ein zu kurzes und verzerrtes Dia-

gramm ergeben würde. Ist der mit der Hubrolle verbundene Indikator vollständig in Ordnung, dann schließt man mittels des Schnurspanners den zweiten Indikator an, um dessen Rille ebenfalls so viel Schnur gewickelt sein muß, daß seine Trommel eine volle Umdrehung machen kann und die Schnur stets tangential abläuft. Die Verbindungsschnur ist stets etwas gespannt zu halten und darf über keinen Indikator- oder Maschinenteil hinweggleiten; deshalb muß der zweite Indikator häufig nach oben oder unten gedreht werden. Von der Hubrolle muß die Schnur so ablaufen, daß ihr Ablaufpunkt in gleicher Höhe mit dem Mitnehmer liegt, die Schnur also parallel zur Kolbenstange läuft. Läßt sich diese Bedingung nicht erfüllen, so sucht man die Schnurlänge vom Mitnehmer bis zur Hubrolle möglichst groß zu nehmen, indem man die Hubrolle nach hinten verlegt; dadurch wird der durch schräge Lage der Schnur sich ergebende Fehler vermindert. Den Haken für den Mitnehmer befestigt man so an der Schnur, daß er bei der hinteren Totlage der Maschine noch etwas Abstand vom Mitnehmer besitzt; vor dem Einhängen probiert man, ob er etwas über die vordere Totlage der Maschine hinausgelangen kann. Hierauf hängt man den Haken ein und überzeugt sich durch Befühlen der Trommeln, ob keine Indikator-trommel anstößt; ferner sieht man nach, ob nicht etwa Schnüre übereinander laufen, oder sich an Maschinen- oder Indikator-teilen reiben, oder nach Abb. 8 b ablaufen. Dann schmiert man die Trommel- und Hubrollenachse mit Knochenöl und beginnt mit dem Einsetzen der Federn und der Schreibzeuge. Man bläst beide Indikatoren durch Öffnen der Hähne gut aus, bringt etwas Zylinderöl auf die Kolben und setzt dieselben mit den gewählten Federn und den Schreibzeugen ein. Hierauf läßt man die Schreibzeuge durch Öffnen der Hähne auf und ab spielen und schmiert dabei die Kolbenstangen mit Knochenöl. Dann stellt man den Handgriff des Schreibzeuges so ein, daß der Stift die Trommel sanft berührt, und zieht das Papier auf. Vor der Entnahme jedes Diagrammsatzes läßt man erst das Schreibzeug einige Male spielen, um die Feder und den Indikator in Wärme-Beharrungszustand zu bringen; hierauf schreibt man das Diagramm und dann nach dem Schließen des Hahnes die atmosphärische Linie.

Bei großem Maschinenhub und bei höheren Umdrehungszahlen bereitet das Einhängen des Schnurhakens in den Mitnehmer Schwierigkeiten. Manche Indikatoren besitzen deshalb besondere Anhaltevorrichtungen, welche gestatten, das Papier abzuziehen und aufzustecken, ohne den Schnurhaken aus-

zuhängen. Dabei können jedoch die Schnüre leicht in Unordnung geraten, ferner läuft der ganze Mechanismus während der ganzen Versuchsdauer mit und nutzt sich dadurch weit mehr ab, als wenn er nur während der Entnahme der Diagramme zu laufen braucht. Man pflegt deshalb bei großen Maschinenhüben und hohen Umdrehungszahlen Hebelübertragungsvorrichtungen anzuwenden: Bei einer vollkommenen Hebelübertragung¹⁾ muß die Bewegung des Kreuzkopfes in kleinerem Maßstab genau nachgebildet werden. Solche Vorrichtungen sind ziemlich kompliziert und kostspielig und müssen sehr genau montiert werden. Man nimmt deshalb häufig der Einfachheit wegen einen praktisch belanglosen Fehler in den Kauf und wendet in allen Fällen, in denen die Erreichung des höchstmöglichen Genauigkeitsgrades nicht notwendig ist, vereinfachte Hebelübertragungen an. Eine bewährte Vorrichtung für liegende

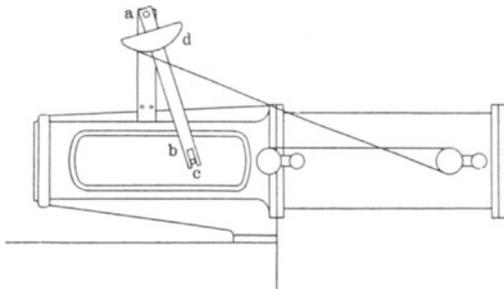


Abb. 9.

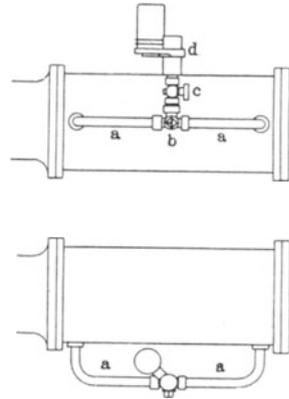


Abb. 10.

Maschinen ist in Abb. 9 dargestellt. Ein um einen festen Punkt a drehbarer Hebel b greift mit seinem unteren geschlitzten Ende ohne toten Gang in den mit dem Kreuzkopf verbundenen Mitnehmer c und trägt ein Holzsegment d, dessen Radius dem Maschinenhub und der Diagrammlänge entsprechend bemessen ist und an welchem die Indikatorschnur so eingehängt wird, daß sie stets tangential abläuft.

Abb. 10 zeigt eine Einrichtung, welche man dann verwendet, wenn nur ein Indikator zur Verfügung steht. An die beiden Indikatorstutzen kommen zunächst zwei Rohrkrümmen a a von etwa 20 mm lichter Weite, welche durch einen Dreivegehahn b verbunden werden; an diesen Dreivegehahn setzt man, wenn erforderlich, unter Verwendung eines passenden Zwischenstückes,

¹⁾ Zeitschrift des Bayer. Revisions-Vereines, 1902, S. 150.

den Indikatorhahn c mit dem Indikator d. Kurbel- und Außen- seite der Maschine werden abwechselnd indiziert. Die Diagramme beider Kolbenseiten können entweder gekreuzt auf einem Blatt oder, wie sonst üblich, getrennt geschrieben werden.

Eine Hebelvorrichtung für stehende Maschinen ist in Abb. 11 abgebildet. Ein um einen festen Punkt a schwingender Hebel ist mittels des Stängchens b mit dem Mitnehmer c des Kreuzkopfes verbunden und am anderen Ende mit einem Holzsegment d versehen, in welches die Indikatorschnur eingehakt wird. Diese Art der Verbindung mit dem Kreuzkopf kann natürlich auch bei der in Abb. 9 dargestellten Einrichtung angewandt werden.

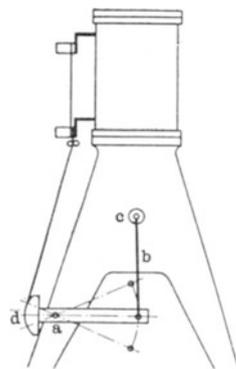


Abb. 11.

Allgemeines. Als Indikatorschnur ist nur geflochtene und gewachste, sogen. Angelschnur zu verwenden. Da die Schnüre sich im Gebrauch dehnen, ist es bei Garantieversuchen zweckmäßig, neue Schnüre vorher einige Tage hindurch mittels Gewichtsbelastung zu strecken. Drähte sind zum Indikatorantrieb nicht zu empfehlen.

Da manche Indikatoren mit Blei- und Metallstiften, andere nur mit Metallstiften versehen sind, seien einige praktische Erfahrungen mit beiden Arten von Spitzen wiedergegeben.

Metallstifte haben den Vorteil, daß sie lange Zeit hindurch nicht nachgespitzt zu werden brauchen und nicht abbrechen, dagegen den Nachteil, daß ihre Verwendung besonderes, teures, sogen. Metallpapier erfordert und daß die mit ihnen geschriebenen Diagramme nach einiger Zeit fast bis zur Unleserlichkeit verschwinden, besonders wenn man sich bemüht hat, durch recht sanftes Andrücken des Schreibstiftes feine Diagrammlinien zu bekommen.

Bleistiftspitzen, deren Härte etwa Nr. 4 entsprechen soll, müssen zur Erzielung sauberer Diagramme häufig nachgeschärft werden und brechen bei unvorsichtiger Handhabung leicht ab; dagegen haben sie den Vorteil, daß man jedes beliebige Papier verwenden kann und daß die damit geschriebenen Diagramme unbegrenzt haltbar sind. Die Schreibzeuge mancher Indikatoren, z. B. das des Crosby-Indikators, sind nicht gerade bequem zum Einschrauben von Bleistiften eingerichtet. Muster- gültig sind in dieser Beziehung das Schreibzeug des Rosenkranz-

Indikators, das in gleich praktischer Weise die Anwendung von Metall- wie von Bleistiften gestattet. Wer auf die Verwendung von Bleistiften Wert legt, stellt der Indikatorfirma zweckmäßig die Bedingung, daß das Schreibzeug mit bequem einsetzbaren Bleistiften versehen wird.

Prüfung der Indikatorfedern. Für Versuche, bei denen auf besondere Genauigkeit Wert zu legen ist, z. B. Garantieveruche, sind nur geprüfte Federn zu verwenden. Es empfiehlt sich überhaupt, den Maßstab einer Feder von Zeit zu Zeit festzustellen, weil er sich bei längerem Gebrauch allmählich ändert; eine plötzliche bedeutende Änderung läßt auf die Lockerung einer Lötstelle oder auf einen beginnenden Bruch schließen.

Der Verein Deutscher Ingenieure hat nach mehrjährigen Vorarbeiten seiner Federprüfungskommission 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, Dichtheit 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° C. (Zimmertemperatur) und bei 100° C.¹⁾ 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 Ausführung einer Federprüfung²⁾ geschieht in folgender Weise: Der Indikator mit Feder und Schreibzeug wird an einem Gestell³⁾ vertikal befestigt; auf die Trommel zieht man ein Dia-

¹⁾ Geschieht durch Anwärmen mit Dampf.

²⁾ Näheres siehe Zeitschrift des Bayer. Revisions-Vereines, 1901: S. 64, 76 und 94; 1905: S. 218; 1906: S. 96.

³⁾ Zu beziehen von Dreyer, Rosenkranz & Droop in Hannover.

grammblatt und schreibt durch Anziehen der Indikatorschnur und Andrücken des Schreibzeuges die atmosphärische Linie. Hierauf wird am Ende der Kolbenstange des Indikators ein Bügel festgeklemmt, der als untere Fortsetzung eine senkrechte Stange zur Aufnahme der Belastungsgewichte trägt. Diese werden unter Berücksichtigung des Gehängegewichtes so bemessen, daß sie in regelmäßiger Abstufung eine Steigerung erfahren, welche einer Zunahme des beim Indizieren auf den Indikatorkolben treffenden Gesamtdruckes von je 1 atm. oder einem bestimmten Bruchteil einer Atmosphäre entspricht. Bei einem Kolbendurchmesser von 20 mm sind demnach für je 1 atm. 3,14 kg aufzulegen. Für die einzelnen Belastungsstufen werden unter Erschütterung des Indikators durch Klopfen mit einem Holzhammer horizontale Diagrammlinien gezogen. Die Untersuchung wird mit abnehmender Belastung wiederholt. Zeigt sich dabei zu große Reibung, dann kann der Kolben herausgenommen werden; die Kolbenstange ist dann durch eine andere zu ersetzen, welche so eingerichtet ist, daß die Feder mit ihr fest verbunden werden kann.

Wenn der Hub des Schreibstiftes genau proportional der Zusammendrückung der Feder ist, und wenn der Maßstab der Feder, d. h. der Hub des Schreibstiftes für jede Atmosphäre Druckänderung bei jedem Druck derselbe ist, dann besitzen die horizontalen Diagrammlinien genau gleiche Abstände. Da dies jedoch nur in Ausnahmefällen zutreffen wird, muß man aus den Ergebnissen der Prüfung den mittleren Maßstab berechnen. Sind die Abweichungen nicht zu groß, dann kann man den mittleren Maßstab erhalten, wenn man den Abstand zwischen der atmosphärischen und der obersten Diagrammlinie durch den zugehörigen Druck in Atmosphären dividiert. Beträgt z. B. dieser Abstand 65,3 mm und entspricht die Summe der angehängten Gewichte einem Druck von 8,0 atm., dann ist der mittlere Maßstab $f = \frac{65,3}{8} = 8,16 \text{ mm/kg/qcm}$. Federn mit erheblichen Ab-

weichungen der Linienabstände sollen bei genauen Versuchen nicht verwendet werden. Gebraucht man sie bei Versuchen, für welche eine mäßige Genauigkeit genügt, dann reicht dieses Verfahren ebenfalls zur Berechnung des mittleren Maßstabes aus.

Beurteilung der Diagramme und Einstellen der Steuerung. In Abb. 12 ist das normale Diagramm einer Einzylinder-Auspuffmaschine dargestellt. Die Begriffe: theoretische Füllung, wirkliche Füllung, Voraustritt, Gegendruck, Kompression, An-

fangsdruck, schädlicher Raum s' ergeben sich aus der Figur. Dazu kommt noch der Dampfvereintritt, der sich jedoch in den

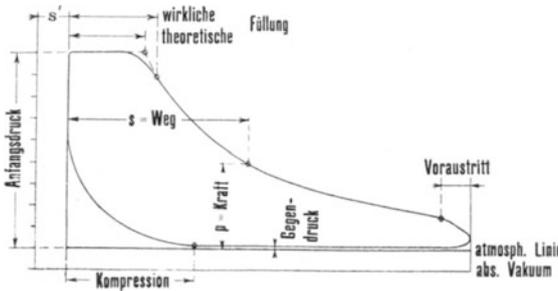


Abb. 12.

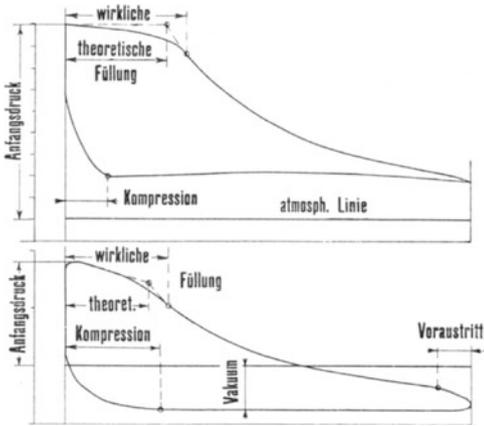


Abb. 13.

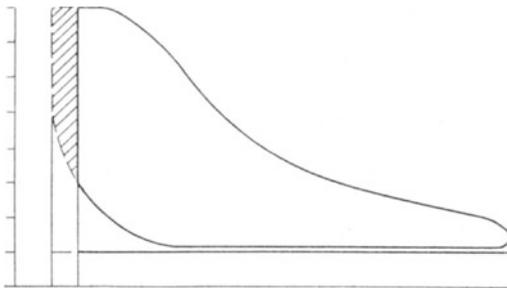


Abb. 14.

meisten Diagrammen nicht oder nur sehr wenig bemerkbar macht, weil er kurz vor der Totlage erfolgt. Abb. 13 zeigt das normale Diagramm einer Verbundmaschine mit Kondensation.

Abweichungen von diesen Diagrammformen können verursacht sein:

1. durch Fehler des Indikators und seiner Anbringungs- und Bewegungsvorrichtungen;
2. durch Fehler in der Dampfverteilung der Maschine.

Beide Gruppen von Fehlern sind scharf auseinander zu halten.

Im folgenden werden einige typische Diagrammfehler gezeigt, welche im Indikator, seiner Anbringung und seinem Antrieb begründet sind.

Abb. 14 stellt ein Diagramm dar, das entsteht, wenn die Indikatorschechnur zu lang ist, die Indikatortrommel also auf einer Seite anstößt.

Die Diagrammfläche erscheint dadurch um das schraffierte Stück zu klein.

Abb. 15 zeigt ein Diagramm, bei dessen Entnahme die Indikatortrommel auf der anderen Seite angestoßen hatte.

Allgemein ist zu bemerken: Wenn ein Diagramm an einem seiner beiden Enden scharfe Ecken ohne abgerundete Übergänge zeigt, kann man in den meisten Fällen auf ein Anstoßen der Indikatortrommel schließen, welcher Fehler natürlich vor der Entnahme weiterer Diagramme durch Veränderung der Schnurlängen oder auch durch Einsetzen eines kleineren Hubröllchens zu beseitigen ist.

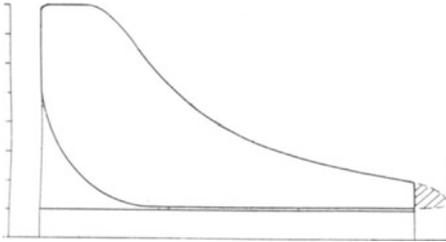


Abb. 15.

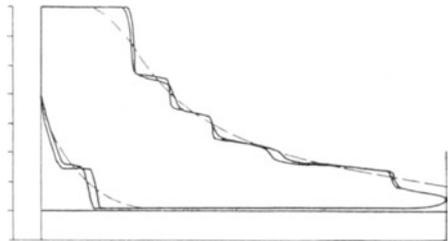


Abb. 16.

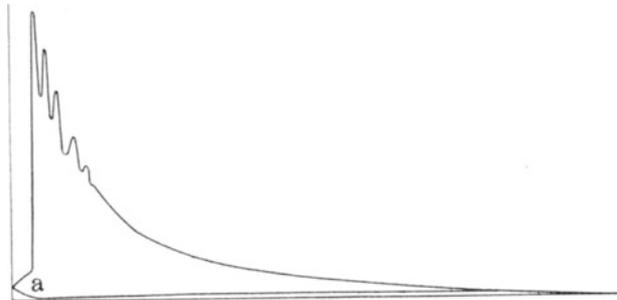


Abb. 17.

In Abb. 16 ist ein Diagramm dargestellt, welches ein Indikator liefert, dessen Kolben zu große Reibung besitzt; die Expansionslinie zeigt die Bildung von sogen. Treppen, welche manchmal auch bei der Kompressionslinie auftreten. Kennzeichnend für ein derartiges Diagramm ist der nahezu senkrechte Absatz am Ende der Füllung. Der Indikator Kolben bleibt infolge seiner großen Reibung so lange in seiner obersten Lage, bis der Druck unter ihm genügend weit gesunken ist. Läßt sich die Treppenbildung durch Reinigung des Indikatorzylinders und Kolbens auch bei reichlicher Schmierung nicht beseitigen, so ist der Indikator für genaue Versuche unbrauchbar.

Mit der Treppenbildung nicht zu verwechseln ist das Auftreten von regelmäßigen, allmählich ausklingenden Schwin-

gungen, wie sie Abb. 17 zeigt. Solche Schwingungen entstehen am Anfang des Diagrammes besonders dann, wenn keine Kompression vorhanden ist, der Druckwechsel also plötzlich erfolgt, und bei hohen Umdrehungszahlen und sind Kennzeichen eines guten, besonders reibungsfrei arbeitenden Indikators; sie erschweren jedoch die Beurteilung der Expansionslinie und das Planimetrieren. Will man sie verringern oder ganz vermeiden, dann braucht man nur eine stärkere Feder einzusetzen. Außerdem zeigt Abb. 17 eine eigentümliche Ecke bei a, welche davon herrührt, daß ein Kolbenring der Maschine gegen Ende des Hubes über die Indikatorbohrung im Zylinder hinausglitt und dadurch den Weg des Dampfes zum Indikatorzylinder abschnitt.

Nun folgen einige typische Diagramme, deren Fehler durch Mängel in der Dampfverteilung verursacht sind.

Abb. 18 zeigt das Diagramm einer Einzylindermaschine ohne Kondensation, deren Schieber undicht sind. Die Undichtigkeit von Steuerorganen, soweit sie den Dampfeinlaß beeinflussen, erkennt man aus dem Diagramm, wenn man in dasselbe vom Füllungsendpunkt aus eine gleichseitige Hyperbel (von manchen auch **Mariottesche**

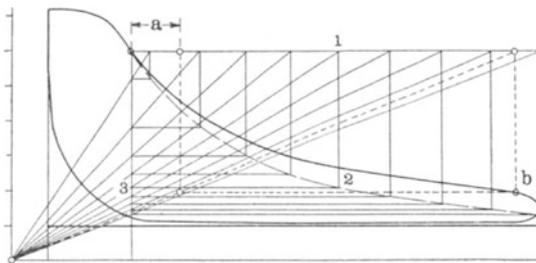


Abb. 18.

Linie genannt) einzeichnet. Zu diesem Zweck zieht man im Abstand des schädlichen Raumes von der Anfangsordinate eine Senkrechte, dann um den Federmaßstab von der atmosphärischen Linie entfernt die absolute Vakuumlinie und bezeichnet den Schnittpunkt beider als den Anfangspunkt. Durch den Endpunkt der wirklichen Füllung zieht man eine Wagrechte, von beliebigen Punkten derselben mehrere Senkrechte, z. B. 1, 2, dann verbindet man die Punkte 1 mit dem Anfangspunkt, zieht durch den Füllungsendpunkt eine Senkrechte und durch die Schnittpunkte 3 dieser Senkrechten mit den durch den Anfangspunkt und die Punkte 1 gehenden Strahlen die Wagrechten 3, 2. Die Schnittpunkte 2 dieser Wagrechten mit den durch die Punkte 1 gehenden Senkrechten sind die Punkte der gesuchten Hyperbel.

Die Erfahrung hat nun gezeigt, daß bei einer mit gesättigtem Dampf arbeitenden Maschine bei dichten

Steuerungsorganen die Expansionslinie mit dieser Hyperbel zusammenfällt. Erhebt sich die Expansionslinie, wie in Abb. 17, über die Hyperbel, so tritt mehr Dampf hinter den Kolben, als der Füllung entspricht; man kann demnach mit Bestimmtheit auf eine Undichtheit der Dampf-Einlaßorgane schließen. Konstruiert man aus dem Expansionsendpunkt b nach dem oben angegebenen Verfahren den zugehörigen Füllungsendpunkt rückwärts, so findet man, daß durch die Undichtheit die eingetretene Dampfmenge um das Maß a vergrößert ist.

Bei Betrieb mit überhitztem Dampf fällt die Expansionslinie steiler aus als die eingezeichnete Hyperbel, und zwar um so steiler, je höher die Dampftemperatur ist. Verläuft dagegen die Expansionslinie bei gesättigtem Dampf wesentlich unterhalb der Hyperbel, so kann man bei Schiebermaschinen auf Undichtheit des Kolbens, bei Ventilmaschinen auf Undichtheit des Kolbens oder der Auslaßventile schließen. Sind Kolben und Schieber zugleich undicht, dann kann die Hyperbel oberhalb oder unterhalb der Expansionslinie liegen.

Aus diesem Grunde ist der **unmittelbaren Dichtheitsprüfung** der Vorzug zu geben. Um die Schieber oder die Einlaßorgane auf Dichtheit zu prüfen, bringt man die Maschine in eine solche Stellung, daß der Kolben von seiner Totlage aus einen größeren Weg zurückgelegt hat, als der größten Füllung entspricht, spreizt das Schwungrad ab und öffnet das Anlaßventil und auf der zugehörigen Kolbenseite den Indikatorhahn. Da bei dieser Kolbenstellung die Steuerung so steht, daß kein Dampf in den Zylinder eintreten noch aus dem Zylinder austreten kann, darf auch aus dem Indikatorhahn kein Dampf entweichen, wenn die Einlaßorgane dicht sind. Die Prüfung wird zweckmäßig auf der anderen Kolbenseite wiederholt. Zur Prüfung des Kolbens auf Dichtheit nimmt man den hinteren (oberen) Zylinderdeckel heraus und schaltet die Maschine in die vordere (untere) Totlage. Da bei dieser Kolbenstellung die Steuerung den Dampfzutritt schon freigibt, der schädliche Raum auf der Kurbelseite also nach Öffnen des Anlaßventiles mit hochgespanntem Dampf gefüllt ist, macht sich eine Undichtheit des Kolbens durch Austreten von Dampf am Umfang des Kolbens bemerkbar. Gleichzeitig läßt sich auch eine etwaige Undichtheit der Einlaßorgane erkennen.

Die folgenden Diagrammfehler sind durch unrichtige Stellung der Steuerungsorgane infolge Abnützung äußerer Steuerungsteile oder verkehrter Einstellung verursacht. Diese Ursachen haben teils verspätetes, teils verfrühtes Eintreten der

4 Steuerungsmomente: Füllungschluß, Voraustritt, Kompressionsanfang und Voreintritt zur Folge. Im allgemeinen hat man bei der Einstellung von Ventilsteuerungen größere Freiheit als bei der von Schiebersteuerungen, weil bei letzteren die Änderung eines Steuerungsmomentes andere mit beeinflußt; ferner läßt sich der gleiche Fehler, z. B. verspäteter Dampfeintritt, oder verspäteter Dampfaustritt, wenn er auf beiden Kolbenseiten bemerkbar ist, bei einer Schiebersteuerung nicht einfach durch Verschieben des Grundschiebers beseitigen, sondern nur durch Änderung der Überdeckungen, wenn dies überhaupt möglich ist, oder durch Änderung des Voreilwinkels, also andere Aufkeilung des Exzenters. Ist bei einer Doppelschiebersteuerung außer einem oder mehreren Fehlern in den vom Grundschieber beeinflußten Steuerungsmomenten: Voreintritt Voraustritt und Kompression noch eine Ungleichheit der Füllung auf beiden Kolbenseiten vorhanden, dann muß man mit der Richtigstellung des Grundschiebers beginnen, weil dabei der Grundschieber seine relative Lage zum Expansionschieber ändert und dadurch die Ungleichheit der Füllung von selbst sich entweder mildert oder verstärkt; dann erst stellt man den Expansionsschieber richtig.

In der folgenden Tafel sind die hauptsächlichsten Diagrammfehler und die Maßnahmen zur Abhilfe bei einer Doppelschiebersteuerung mit äußerer Einströmung angegeben (S. 21).

Die Tafel enthält auch die durch die Beseitigung eines Fehlers eintretenden Nebenwirkungen, z. B. aus der 1. Zeile geht hervor, daß bei verfrühtem Dampfeintritt auf der Kurbelseite die Grundschieberstange zu verkürzen ist; gleichzeitig wird jedoch auf der Kurbelseite der Voraustritt und auf der Außenseite der Voreintritt und die Kompression vergrößert, auf der Kurbelseite die Kompression und auf der Außenseite der Voraustritt verkleinert. Wenn man also den verfrühten Dampfeintritt auf der Kurbelseite verbessern will, dann müssen diese Steuerungsmomente diese Veränderungen vertragen können, ohne daß neue Fehler in das Diagramm hineinkommen.

Für Schieber mit innerer Einströmung gilt in bezug auf die Worte „verlängern“ und „verkürzen“ sinngemäß das Umgekehrte. Im Zweifelsfalle mache man eine Probe mit einem Zeunerschen oder Müllerschen Schieberdiagramm.

Die Formen von fehlerhaften Diagrammen sind aus den Abbildungen auf S. 22 ersichtlich.

Tafel zur Einstellung einer Doppelschiebersteuerung.

Steuerungs- moment	Fehler	Kolbenseite	Abhilfe	Gleichzeitige Beeinflussung:			
				Vergrößerung		Verkleinerung	
				KS	AS	KS	AS
VE	zu früh	KS	Grundschieberstange verkürzen	VA	VE, Ko	Ko	VA
"	" spät	"	" verlängern	Ko	VA	VA	Ko, VE
"	" früh	AS	" "	VE, Ko	VA	VA	Ko
"	" spät	"	verkürzen	VA	Ko	VE, Ko	VA
VA	" früh	KS	verlängern	VE, Ko	VA	—	Ko, VE
"	" spät	"	verkürzen	—	Ko, VE	VE, Ko	VA
"	" früh	AS	" "	VA	Ko, VE	VE, Ko	—
"	" spät	"	verlängern	VE, Ko	—	VA	Ko, VE
Ko	" groß	KS	verkürzen	VA	VE, Ko	VE	VA
"	" klein	"	verlängern	VE	VA	VA	Ko, VE
"	" groß	AS	" "	VE, Ko	VA	VA	VE
"	" klein	"	verkürzen	VA	VE	VE, Ko	VA
Ex	" groß	KS	Exp.-Schieberstange	—	—	—	—
"	" klein	"	" verlängern	—	—	—	—

Abkürzungen: VE = Voreintritt. Ex = Füllung.
 VA = Voraustritt. KS = Kurbelseite.
 Ko = Kompression. AS = Außenseite.

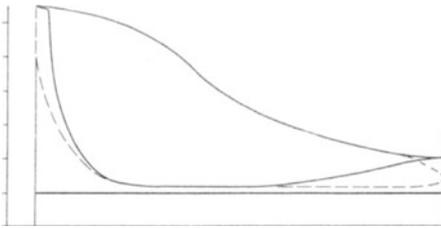


Abb. 19.

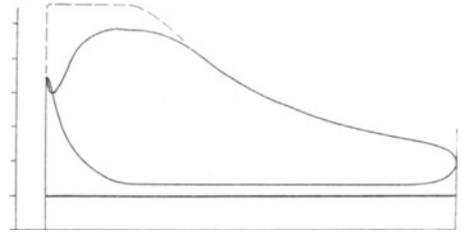


Abb. 20.

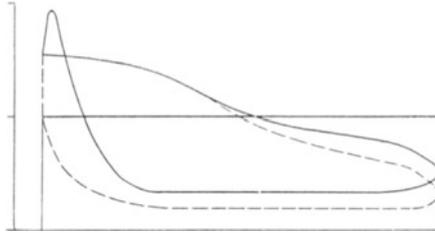


Abb. 21.

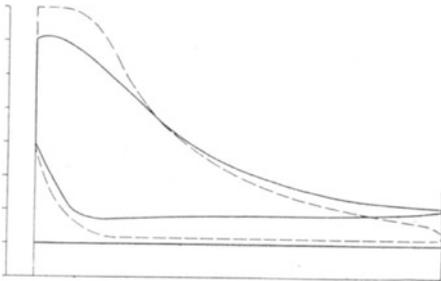


Abb. 22.

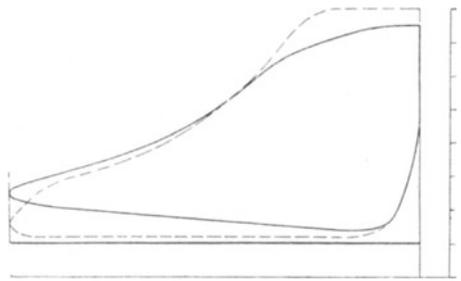


Abb. 23.

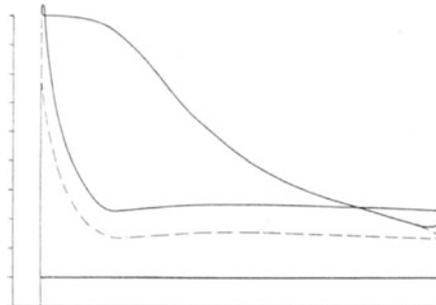


Abb. 24.

Abb. 19 zeigt das Diagramm einer Einzylinder-Auspuffmaschine, bei der auf der Kurbelseite die Dampfeinströmung zu früh, die Dampfausströmung verspätet erfolgt. Dieser Fehler, der durch unrichtige Stellung des Grundschiebers verursacht ist, wird durch Verkürzen der Grundschieberstange beseitigt.

Das in Abb. 20 dargestellte Diagramm wurde dem Hochdruckzylinder einer Verbundmaschine mit Ventilsteuerung entnommen, deren Steuergestänge so stark abgenutzt war, daß die Dampfeinströmung verspätet erfolgte und einen erheblichen Arbeitsverlust verursachte. Nach der Einstellung der Steuerung ergab sich das gestrichelte Diagramm.

Das Diagramm der Abb. 21 entstammt dem Niederdruckzylinder einer Verbundmaschine, bei welchem ein Einlaßventil undicht war; dadurch konnte auch während der Ausströmperiode Dampf nachströmen, wodurch das Vakuum bedeutend verringert und zugleich die Kompression übermäßig erhöht wurde.

Die beiden Abb. 22 und 23 zeigen die Diagramme einer Einzylinder-Auspuffmaschine mit Schiebersteuerung, die zwar auf beiden Kolbenseiten annähernd richtig eingestellt ist, wenn man von der Ungleichheit der Füllung absieht; jedoch sind die Steuerungskanäle zu eng bemessen, deshalb erfährt der Dampf beim Eintritt eine starke Drosselung und er verläßt die Maschine mit zu hohem Gegendruck.

In Abb. 24 ist das Diagramm des Hochdruckzylinders einer Verbundmaschine dargestellt; die Expansions- und die Austrittslinie bilden eine Schleife, die davon herrührt, daß die Füllung des Niederdruckzylinders zu klein eingestellt ist und dadurch sich der Aufnehmerdruck erhöht; der hohe Aufnehmerdruck hat zugleich ein Hinaustreten der Kompressionslinie über die Eintrittslinie zur Folge. Durch Vergrößerung der Füllung des Niederdruckzylinders läßt sich das gestrichelte Diagramm erzielen.

Zweiter Abschnitt.

Die Ermittlung der indizierten Leistung N_i .

Unter der indizierten Leistung versteht man die sekundlich an den Dampfkolben abgegebene mittlere Arbeit.

In Abb. 25 ist das normale Diagramm einer Einzylinder-Auspuffmaschine nochmals dargestellt. Die Abszisse s jedes Diagrammpunktes bedeutet den jeweiligen Kolbenweg, die zu-

gehörige Ordinate p den zugehörigen Druck. Demnach bildet der Flächeninhalt des Diagrammes ein Maß für die während eines

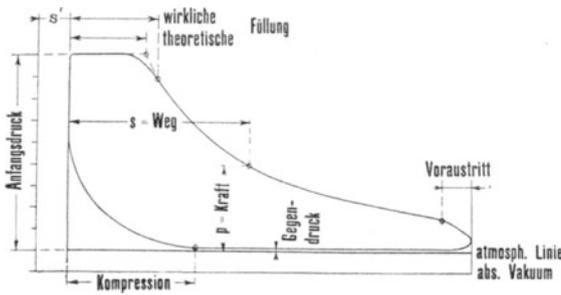


Abb. 25.

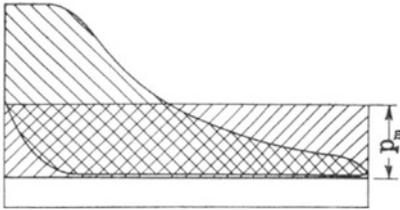


Abb. 26.

Hubes an den Dampf-
kolben abgegebene
Arbeit. Verwandelt
man nach Abb. 26
die Diagrammfläche
in ein Rechteck von
gleicher Grundlinie, so
erhält man als Höhe
dieses Rechteckes
den **mittleren Druck**

p_m , den man sich
als während des ganzen Hubes
gleichmäßig wirkend denken
kann.

**Bestimmung des mittleren
Druckes p_m .** Diese erfolgt am
einfachsten und sichersten mittels
des Planimeters. Die zur Aus-
wertung von Dampfdiagrammen
am meisten gebrauchten Plani-

meter werden von folgenden Firmen hergestellt:

- A. Ott, Kempten, und
- J. Amsler-Laffon, Schaffhausen.

Beide Systeme werden in der gleichen Weise gehandhabt und unterscheiden sich nur durch konstruktive Einzelheiten. Deshalb genügt hier die Besprechung des

Ottsehen Planimeters.

Das in Abb. 27 dargestellte Instrument besteht im wesentlichen aus dem Fahrarm mit dem Fahrstift, dem verschiebbar mit dem Fahrarm verbundenen Meßrädchen mit Nonius und dem Polarm, dessen Drehachse in dem verschiebbaren Teil des Fahrarms gelagert ist. Der Fahrarm ist mit einer genauen Teilung, die darauf verschiebbare Hülse mit dem zugehörigen Nonius zur scharfen Einstellung versehen. Ferner trägt der Fahrarm an verschiedenen Stellen besondere Striche, welche bei bestimmten Einstellungen mit dem bei a befindlichen Strich der Hülse zusammenfallen müssen. Die genaue Einstellung erfolgt mittels einer Mikrometerschraube. Der Pol ist eine kleine Kugel, welche in einem schweren Messingfuß gelagert und mit einem Gewicht-

chen beschwert wird. Beim Amslerschen Planimeter ist der Pol als scharfe Spitze ausgebildet, die man in das Papier einsticht. Fahrarm und Hülse tragen je eine nach oben gerichtete Spitze¹⁾; bei der jetzigen Ausführung der Planimeter steht die eine Spitze in der Verlängerung des Fahrstiftes, die zweite in der Verlängerung der Drehachse des Polararmes. Die Spitzen sind

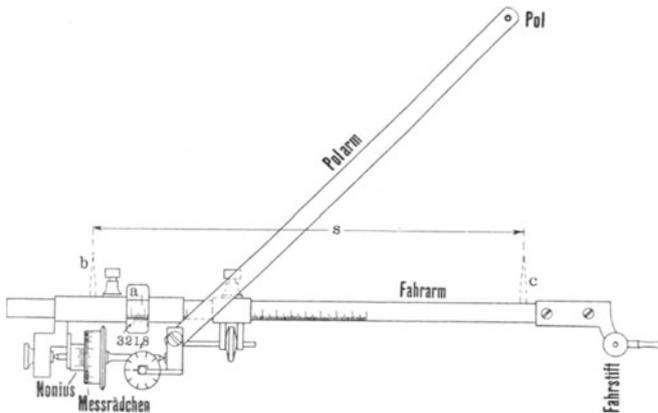


Abb. 27.

durch aufgeschraubte Hülsen geschützt. Bei älteren Planimetern kann man, wie Abb. 27 zeigt, die Spitzen b und c nachträglich anbringen; sie stehen richtig, wenn ihre Entfernung s gleich der Entfernung des Fahrstiftes vom Drehpunkt des Polararmes ist; die Spitze c darf dann niemals verschoben werden.

Der Umfang des Meßrädchens ist in 100 gleiche Teile geteilt, der zugehörige Nonius erlaubt die Ablesung von Zehnteln dieser Teile. Von der Welle des Meßrädchens wird mittels einer Schnecke ein Zählrädchen angetrieben, durch welches in Verbindung mit einem feststehenden Zeiger die Anzahl der Umdrehungen des Meßrädchens festgestellt wird.

Das Planimeter hat folgende Eigenschaft: Umfährt man bei festgehaltenem Pol eine geschlossene, ebene Figur, so ist der Flächeninhalt dieser Figur proportional der Abwälzung des Meßrädchens oder mit anderen Worten proportional der Differenz aus der Rollenablesung nach der Umfahrung und der vor der Umfahrung²⁾.

¹⁾ S. 27.

²⁾ Elementare Theorie des Planimeters: Gramberg, Technische Messungen, 1905, S. 26. Brand, Technische Untersuchungsmethoden, 2. Aufl., 1907, S. 193.

Die Größe der Rollenabwälzung ist natürlich von der jeweiligen Einstellung der Fahrarmhülse abhängig. Deshalb wird jedem Planimeter eine Tabelle zur Einstellung beigegeben, z. B. folgende:

	Ver- hältnisse	Einstellung des Nonius am Fahrstab	Wert der Nonius- Einheit	Konstante
A. Ott, Kempten (Bayern).	1 : 1000	321,8	10 qm	17 482
	1 : 1000	172,4	5 „	—
Planimeter Nr. 1782.	1 : 1250.	214,2	10 „	—
	1 : 1500	288,4	20 „	—
	1 : 2500	261,8	50 „	—
	1 : 5000	142,4	100 „	—

Die Zahlen der ersten Zeile haben folgende Bedeutung: Umfährt man ein Flächenstück eines im Maßstab 1 : 1000 gezeichneten Planes und ist dabei der Nonius des Fahrarmes auf die Ziffer 321,8 eingestellt, so entspricht jeder Einheit des Nonius des Meßrädchens eine Fläche von 10 qm. Da nun die Diagramme im Maßstab 1 : 1 geschrieben sind, entspricht jeder Nonius-einheit ein Flächeninhalt von $\frac{10}{1000 \cdot 1000} = 0,000\ 010\ \text{qm} =$

10 qmm. Die weiteren Angaben der Tabelle haben für das Planimetrieren von Diagrammen keine Bedeutung.

Handhabung des Planimeters. Der Nonius des Fahrarmes wird für den Maßstab 1 : 1000 und den Flächeninhalt 10 qm, im vorliegenden Falle also auf 321,8 eingestellt. Die Lage des Poles wähle man so, daß der Fahrarm und der Polarm aufeinander senkrecht stehen, wenn sich der Fahrstift in der Mitte der zu umfahrenden Fläche befindet. Dann befestige man das Diagramm auf einer glatten Ebene, z. B. auf einem auf ein Brett aufgespannten Zeichenpapier mittels Reißnägeln, umfahre die Fläche probeweise und sehe zu, ob das Meßrädchen nicht über das Papier hinausgleitet oder anstößt, und ob man die Fläche vollständig umfahren kann. Hierauf sticht man die Spitze des Fahrstiftes in einen Punkt der zu umfahrenden Linie, bezeichnet dadurch den Anfangspunkt und liest die Stellung des Zähl- und Meßrädchens ab. Manche pflegen auch das Meßrädchen auf 000 zurückzustellen, was jedoch nicht notwendig ist. Die Fläche wird nun so umfahren, daß sie stets rechts von der Fahr- richtung liegt. Hat ein Diagramm Schleifen (siehe Abb. 24), welche negativen Arbeiten entsprechen, so subtrahieren sich die

Flächeninhalte dieser Schleifen dadurch von selbst, daß sie beim genauen Verfolg der Diagrammlinie links von der Fahrriichtung liegen. Ist der Fahrstift wieder am Anfangspunkt angelangt, dann liest man die zugehörige Stellung des Zähl- und Meßrädchens wieder ab und subtrahiert von dieser Ablesung die vor der Umfahung gemachte Ablesung. Die Differenz beider Ablesungen gibt, mit 10 multipliziert, den Flächeninhalt der umfahrenen Figur in qmm.

Beispiel: Stand vor der Umfahung	. . . 4121
„ nach „	. . . 4352
	Differenz 231

Flächeninhalt **2310 qmm.**

Der Kontrolle wegen ist jede Planimetrierung zweimal zu machen und aus beiden Ergebnissen, die um höchstens 1% von einander abweichen dürfen, das Mittel zu nehmen.

Um die mittlere Höhe eines Diagrammes zu finden, ist der mittels Planimeters festgestellte Flächeninhalt durch die Diagrammlänge zu dividieren.

Beispiel: Flächeninhalt	. . . . . 2310 qmm
Diagrammlänge	. . . . . 120 mm

$$\text{Mittlere Höhe} = \frac{2310}{120} = 19,2 \text{ mm.}$$

Um den in Abb. 26 eingezeichneten **mittleren Druck** p_m zu finden, ist die mittlere Höhe durch den Federmaßstab zu dividieren.

Beispiel: Mittlere Höhe	. . . . . 19,2 mm
Federmaßstab	. . . . . 8 mm/atm.

$$\text{Mittlerer Druck } p_m = \frac{19,2}{8} = 2,40 \text{ atm.}$$

Die Richtigkeit der Einstellung und der Angaben eines Planimeters kann man durch Umfahren einer Fläche von bekanntem Inhalt, z. B. eines Quadrates von 100 mm Seitenlänge, prüfen.

Planimetrieren mit Spitzeneinstellung. Hat man viele Diagramme, deren Länge annähernd gleich ist, zu planimetrieren, so ist die sog. Spitzeneinstellung vorzuziehen. Stellt man die Entfernung s (siehe Abb. 27) der beiden Spitzen b und c so ein, daß sie gleich der Diagrammlänge wird, so erhält man die mittlere Höhe des Diagrammes dadurch, daß man die Differenz der Ablesungen vor und nach der Umfahung durch die Plani-

meterkonstante dividiert. Diese Konstante ist jedoch nicht identisch mit der auf S. 26 angegebenen Konstanten, sondern wird nach folgendem Verfahren ermittelt. Ein Quadrat von genau 100 mm Seitenlänge wurde bei Spitzeneinstellung ($s = 100$ mm) 5 mal umfahren, wobei man nachstehende Noniusablesungen erhielt:

				Differenzen	
vor	der	1. Umfahrung	. . .	0000	
nach	„	1.	„ . . .	1497	1497
„	„	2.	„ . . .	2998	1501
„	„	3.	„ . . .	4493	1495
„	„	4.	„ . . .	5987	1494
„	„	5.	„ . . .	7479	1492
				Summe der Differenzen	7479
				Mittelwert M	1459,8

$$\text{Konstante } C = \frac{M}{100} = 14,958 \text{ oder rund } 15,0.$$

Das benutzte Planimeter hat demnach bei Spitzeneinstellung die Konstante 15,0.

Beispiel für die Ermittlung des mittleren Druckes, wenn die Planimetrierung mit Spitzeneinstellung ausgeführt wurde:

Stand vor der Umfahrung .	1385	
„ nach „ „ „ .	1670	
Differenz	285	

$$\text{Mittlere Höhe } \frac{285}{15} = 19,0 \text{ mm.}$$

$$\text{Mittlerer Druck } p_m = \frac{19,0}{8} = 2,38 \text{ atm.}$$

Bemerkung: Dabei benutzte man dasselbe Diagramm wie oben bei der Planimetrierung mit Einstellung auf 10 qmm; diese Planimetrierung hatte einen mittleren Druck von 2,40 atm. geliefert.

Hat man kein Planimeter zur Verfügung, so bestimmt man den mittleren Druck mittels der

S i m p s o n s c h e n R e g e l,

wie in Abb. 28 angegeben ist. Man teile die Diagrammlänge s durch die Ordinaten a_1, a_2, \dots, a_9 in 10 gleiche Teile b, b, \dots, b und ziehe die Ordinaten a_0 und a_{10} in einer Entfernung von $b/4$ von jedem Diagrammende. Diese Teilung kann mittels

eines den Indikatoren meist beigegebenen Teillineals oder Rostrates geschehen. Dadurch ist das Diagramm in eine Anzahl senkrechter Streifen zerlegt, die man mit genügender Ge-

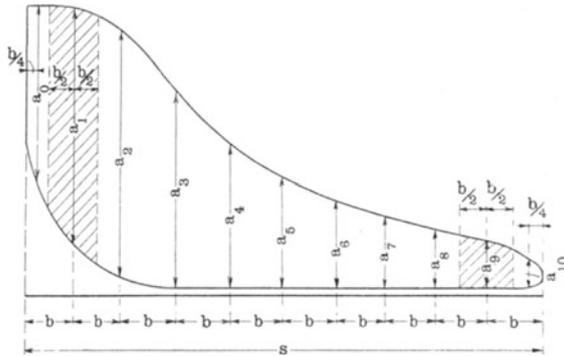


Abb. 28.

nauigkeit als Trapeze betrachten kann. Jede der gezogenen Ordinaten sieht man als Mittellinie eines Trapezes an, und zwar die Ordinaten $a_1, a_2 \dots a_9$ als Mittellinien von Trapezen mit der Höhe b und die Ordinaten a_0 und a_{10} als Mittellinien von Trapezen mit der Höhe $b/2$; dann ergibt sich die mittlere Höhe des Diagrammes zu

$$a_m = \frac{1}{10} \left(\frac{a_0}{2} + a_1 + a_2 + \dots + a_9 + \frac{a_{10}}{2} \right)$$

Mit dem Federmaßstab f mm/kg wird der

$$\text{mittlere Druck } p_m = \frac{a_m}{f} \text{ kg.}$$

Beispiel: Das für die obigen Planimetrierungen benutzte Diagramm lieferte folgende Werte:

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}
31,3	42,0	33,6	25,2	19,5	15,7	12,9	10,8	9,0	7,6	6,0

Hieraus berechnet sich die mittlere Höhe zu

$$a_m = \frac{1}{10} \left(\frac{31,3}{2} + 42,0 + 33,6 + 25,2 + 19,5 + 15,7 + 12,9 + 10,8 + 9,0 + 7,6 + \frac{6,0}{2} \right) = 19,5 \text{ mm und der}$$

$$\text{mittlere Druck } p_m = \frac{19,5}{8} = 2,44 \text{ kg/qcm.}$$

Bemerkung: Bei genauen Versuchen müssen die Diagramme stets planimetriert werden.

Zur Berechnung der indizierten Leistung sind außer dem mittleren Druck noch folgende Angaben erforderlich:

- a) der Zylinderdurchmesser D ,
- b) der Durchmesser der Kolbenstange d (bzw. d_1),
- c) der Kolbenhub s ,
- d) die minutliche Drehzahl n .

a) Der Zylinderdurchmesser ist an der betriebswarmen Maschine unmittelbar nach dem Öffnen des hinteren Zylinderdeckels mittels eines Stichmaßes zu messen. Das Stichmaß ist ein Rundeisen von etwa 10 mm Stärke und mit zugespitzten Enden; seine Länge wird schon vorher ungefähr gleich dem Zylinderdurchmesser gemacht und nach dem Öffnen des Deckels durch Abfeilen der Spitzen oder Strecken des Schaftes richtig gestellt.

b) Der Durchmesser der Kolbenstange wird mittels einer Schublehre gemessen.

Dann kann man die wirksame Kolbenfläche F berechnen, dieselbe beträgt:

1. bei durchgehender Kolbenstange, wenn beide Seiten denselben Durchmesser d besitzen:

$$F = \frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d^2 \pi}{4};$$

2. bei durchgehender Kolbenstange, wenn eine Seite derselben den Durchmesser d , die andere den Durchmesser d_1 besitzt:

$$F = \frac{D^2 \pi}{4} - 1/2 \left(\frac{d^2 \pi}{4} + \frac{d_1^2 \pi}{4} \right);$$

Will man die Leistung jeder Kolbenseite für sich berechnen, was bei genauen Versuchen stets zu empfehlen ist, dann setzt man:

$$F_{(KS)} = \frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d^2 \pi}{4} \quad \text{und}$$

$$F_{(AS)} = \frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d_1^2 \pi}{4};$$

3. bei einseitiger Kolbenstange:

$$F = \frac{D^2 \pi}{4} - 1/2 \frac{d^2 \pi}{4} \quad \text{oder}$$

$$F_{(KS)} = \frac{D^2 \pi}{4} - \frac{d^2 \pi}{4} \text{ und}$$

$$F_{(AS)} = \frac{D^2 \pi}{4};$$

c) Den Kolbenhub mißt man am einfachsten und genauesten längs der Kreuzkopf-Gleitbahn. Man schlägt am Kreuzkopfschuh eine Marke ein, schaltet die Maschine auf den einen Totpunkt und bezeichnet die Stellung der Marke durch einen Riß an der Gleitbahn; hierauf schaltet man die Maschine auf den zweiten Totpunkt und bezeichnet die jetzige Stellung der Marke. Der Abstand der beiden Risse ist der Kolbenhub. Bei Verbundmaschinen ist der Hub beider Maschinenseiten zu messen.

d) Die minutliche Drehzahl ist bei genauen Versuchen mittels eines mit einem bewegten Maschinenteil verbundenen umlaufenden oder hin und her gehenden Umdrehungszählers festzustellen. Die Angaben dieses Zählers werden innerhalb gleicher Zeiträume abgelesen, z. B. alle 15–60 Minuten. Die mittlere Drehzahl ergibt sich, wenn man die Differenz aus der ersten und der letzten Ablesung durch die genau in Minuten gemessene Beobachtungszeit dividiert.

Beispiel:

Zeit	Ablesung	Differenz	n
7 ²²	38 055	—	—
8 ²²	47 590	9535	158,9
9 ²²	57 120	9530	158,8
10 ²²	66 637	9517	158,6
11 ²²	76 181	9544	159,1
12 ²²	85 718	9537	159,0
1 ²²	95 255	9537	159,0

Hieraus berechnet sich die mittlere Drehzahl zu

$$n = \frac{95225 - 38055}{\text{Zeit von } 7^{22} - 1^{22}} = \frac{57200}{360} = 158,9$$

Bei weniger genauen Versuchen kann man sich damit begnügen, die Drehzahl möglichst häufig, etwa aller 5 oder 10 Minuten mittels eines in ein Körnerloch einzusteckenden Handtachometers oder durch unmittelbares Zählen mit Hilfe einer Uhr zu ermitteln.

Wenn nun alle genannten Messungen gemacht und alle Beobachtungen auf einen Zeitraum ausgedehnt worden sind, dessen

Länge vom Zweck des Versuches abhängt, berechnet man aus den Beobachtungsergebnissen die Mittelwerte und erhält die **indizierte Leistung**

$$N_i = \frac{F \cdot p_m \cdot s \cdot n}{30 \cdot 75} \text{ Pferdestärken (PS)}$$

Dabei ist F in qcm, p_m in kg/qcm und s in m einzusetzen.

Bei genauen Versuchen berechnet man die Leistung jeder Kolbenseite für sich und erhält N_i als Summe $N_{i(KS)} + N_{i(AS)}$; es ist

$$N_{i(KS)} = \frac{F_{(KS)} \cdot p_{i(KS)} \cdot s \cdot n}{60 \cdot 75} \text{ und}$$

$$N_{i(AS)} = \frac{F_{(AS)} \cdot p_{i(AS)} \cdot s \cdot n}{60 \cdot 75}.$$

Bei Gruppenindizierungen¹⁾ ist es zweckmäßig, alle Konstanten zu einer einzigen Konstanten C zusammenzufassen und die indizierte Leistung durch Multiplikation der für alle Gruppen bei der gleichen Drehzahl n geltenden Konstanten C mit dem Planimeterwert Pl zu berechnen. Setzt man $p_i = \frac{Pl}{15 \cdot f}$ in die Gleichung für N_i ein, so erhält man als Leistung einer Kolbenseite:

$$N_i = \frac{F \cdot \frac{Pl}{15 \cdot f} \cdot s \cdot n}{60 \cdot 75} = C \cdot Pl$$

es ist also die Konstante:

$$C = \frac{F \cdot s \cdot n}{15 \cdot f \cdot 60 \cdot 75}.$$

Dritter Abschnitt.

Die Ermittlung der Nutz- oder effektiven Leistung N_e .

Unter der Nutzleistung versteht man die von der Kurbelwelle der Maschine abgegebene Arbeit; dieselbe ist um den Betrag der Eigenwiderstände der Maschine kleiner als die indizierte

¹⁾ S. 49.

Leistung und wird am genauesten mittels einer **Bremse** festgestellt.

Die in der Abb. 29 dargestellte Bremse ist eine Backenbremse und besteht aus den beiden Bremsbacken a und b, die durch 2 Schrauben c c verbunden sind, dem Bremshebel d mit der Länge l (Meter) und der Wagschale mit dem Bremsgewicht Q;

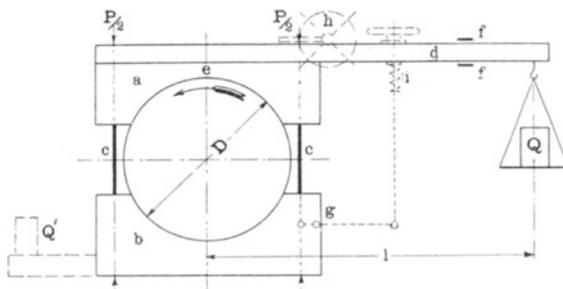


Abb. 29.

die Bremse ist auf eine Bremsscheibe aufgesetzt, deren Durchmesser D m beträgt. Um das durch den Hebel und die Wagschale hervorgerufene einseitige Übergewicht auszugleichen, kann ein Gegengewicht Q' angebracht werden. Zur Bestimmung der Größe und des Hebelarmes dieses Gegengewichtes nimmt man die Bremse ab, legt sie bei e auf eine Schneide oder hängt sie bei e auf und bringt sie ins Gleichgewicht; oder man steckt die Bremscheibe auf eine besondere Achse, die möglichst wagerecht und reibungsfrei gelagert wird. Bringt man kein Gegengewicht an, so läßt man bei dieser Prüfung die frei gelagerte Bremse mit dem Hebelarm l auf eine Wage drücken; das hierdurch ermittelte einseitige Übergewicht ist dann jedesmal bei der Bemessung der Bremsbelastung zu berücksichtigen. Die Schrauben der Bremse sind so anzuziehen, daß der Hebel stets zwischen den Anschlägen ff frei schwebt. Statt die Schrauben unmittelbar anzuziehen, kann man bei der Bremsung größerer Leistungen eine Hebelübersetzung g oder ein Schneckengetriebe h anwenden. Zur Vermeidung größerer Schwankungen ist es zu empfehlen, eine Feder i einzuschalten oder unter die Muttern der Anzugschrauben Gummipiaten zu legen. Die Reibungsfläche der Bremscheibe ist durch mäßige Schmierung etwas fettig zu halten, ferner ist bei Versuchen von längerer Dauer die erzeugte Wärme dadurch abzuführen, daß man auf die Innenseite des Scheibenkranzes Wasser laufen läßt.

Aus dem Bremsgewicht, dem Hebelarm und der zu beobachtenden minutlichen Umdrehungszahl berechnet sich die **Nutzleistung** wie folgt:

Die Bremse sei so angezogen, daß in jeder Schraube eine Kraft $P/2$ wirkt; die Bremsklötze werden also mit der Kraft P gegen die Schraube gepreßt. Die am Umfang der Scheibe entstehende Reibungskraft beträgt, wenn man den Reibungskoeffizienten mit μ bezeichnet: $R = P \cdot \mu$; demnach die Reibungsarbeit, d. h. die in Reibungswärme umgesetzte Nutzleistung der Maschine:

$$A = \frac{\mu \cdot P \cdot D \cdot \pi \cdot n}{60} \text{ mkg} \quad \text{oder} \quad N_e = \frac{\mu \cdot P \cdot D \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} \text{ PS}$$

Da die Größen μ und P sich der unmittelbaren Messung entziehen, muß eine Beziehung zwischen diesen Größen und den unmittelbar meßbaren Größen Q und l gesucht werden. Wenn der Bremshebel frei schwebt, halten sich die Reibungskraft R und das Belastungsgewicht Q das Gleichgewicht, also müssen die statischen Momente dieser Kräfte in bezug auf die Drehachse der Bremscheibe einander gleich sein; demnach ist

$$R \cdot \frac{D}{2} = Q \cdot l. \quad \text{Setzt man wieder } R = P \cdot \mu, \text{ so erhält man}$$

$P \cdot \mu \cdot \frac{D}{2} = Q \cdot l.$ Man kann demnach in der obigen Gleichung für N_e die Gruppe $P \cdot \mu \cdot D$ durch die gleichwertige Gruppe $2 Q l$ ersetzen, die Nutzleistung ergibt sich dann zu

$$N_e = \frac{Q \cdot l \cdot \pi \cdot n}{30 \cdot 75} \text{ PS}$$

In diese Formel ist Q in kg und l in m einzusetzen.

Andere Bremsen. Abb. 30 zeigt eine besonders bei Versuchen an Lokomobilen sehr häufig verwendete Bremse, die sich bei Leistungen bis 200 PS bewährt hat; 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 Aufbringen und Abnehmen geschlitzt. Die Kühlwasserzufuhr erfolgt durch zwei auf beiden Seiten angebrachte Röhren e . Die Bremse wird unmittelbar auf das Schwungrad aufgesetzt und durch an den Holzklötzen befestigte Flacheisen vor dem Herabfallen geschützt. Die Bremse

muß durch fest verankerte Seile, die während der Bremsung stets lose hängen müssen, gegen Herumschleudern der Gewichte gesichert werden.

In Abb. 31 ist eine Seilbremse dargestellt, die für kleinere Leistungen bis etwa 20 PS brauchbar ist und keine Bedienung erfordert. Sie besteht aus zwei etwa 12 bis 15 mm starken Hanfseilen, die um den halben Umfang einer geeigneten Scheibe geschlungen und mittels mehrerer Holzklammern mit Blechbeilagen nach Abb. 32 zusammengehalten sind. Das eine Seilende

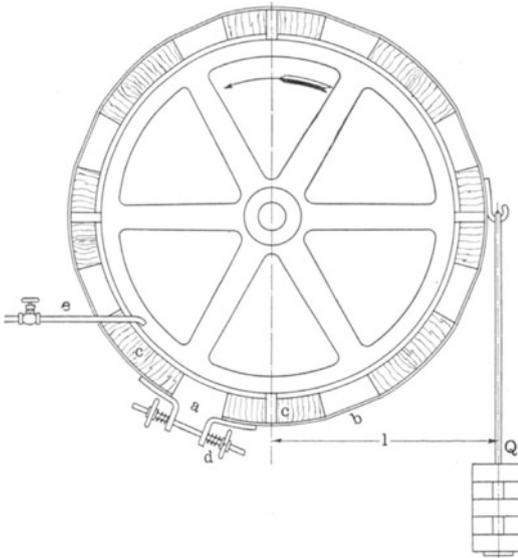


Abb. 30.

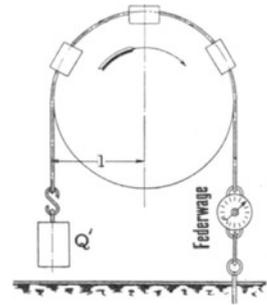


Abb. 31.

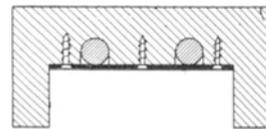


Abb. 32.

wird mit einer fest verankerten Federwaage verbunden, am anderen Ende wird das Belastungsgewicht Q' eingehängt. Die Federwaage ist vorher auf ihre Richtigkeit zu prüfen; als Bremsgewicht Q ist die Differenz zwischen Q' und der Angabe q der Federwaage in die Rechnung einzuführen; also

$$\text{Belastung } Q = Q' - q.$$

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 beschädigt werden kann.

Ermittlung der Nutzleistung auf elektrischem Wege. Während bei kleineren Maschinenleistungen die Selbsterstellung oder Beschaffung sowie die Handhabung einer geeigneten Bremse

kaum Schwierigkeiten verursachen dürfte, steigen dieselben bei größeren Leistungen ganz bedeutend.

In dem Falle, daß von der zu untersuchenden Dampfmaschine eine Dynamomaschine angetrieben wird, läßt sich die Nutzleistung der Dampfmaschine sehr bequem durch Messung der Spannung und der Stärke des abgegebenen Stromes feststellen. Voraussetzung ist dabei, daß man den Wirkungsgrad der Dynamo bei der betreffenden Leistung kennt, oder noch besser, daß der Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Leistung in Form einer Kurve gegeben ist. Die zu verwendenden Instrumente (Ampère- und Voltmeter) müssen entweder geeichte Präzisionsinstrumente sein oder mit solchen Instrumenten verglichen werden. Bezeichnet man bei einer Gleichstrommaschine die Spannung mit V , die Stromstärke mit J und ihren Wirkungsgrad bei der genannten Belastung mit η , so beträgt die von der Dampfmaschine an die Dynamo abzugebende Leistung

$$W = \frac{V \cdot J}{\eta} \quad \text{Watt}$$

oder da $736 \text{ Watt} = 1 \text{ PS}$ sind,

$$N_e = \frac{V \cdot J}{736 \cdot \eta} \quad \text{PS}$$

Beispiel: Es seien $V = 221 \text{ Volt}$ und $J = 85,4 \text{ Amp}$ die Mittelwerte einer Reihe von Beobachtungen, ferner sei der Wirkungsgrad η der Dynamo bei dieser Belastung zu $0,88$ ermittelt, dann beträgt die Nutzleistung der Dampfmaschine

$$N_e = \frac{221 \cdot 85,4}{736 \cdot 0,88} = 29,1 \text{ PS}$$

Diese Rechnung ist dann richtig, wenn die Dynamo mit der Dampfmaschine unmittelbar gekuppelt ist. Bei Riemen- oder Seilübertragung ist der Arbeitsbetrag mehr zu leisten, den die Übertragung verzehrt. Man pflegt bei solchen Versuchen den Verlust durch die Übertragung = 2% von der Nutzleistung der Dampfmaschine anzunehmen; die an die Dynamomaschine abgegebene Arbeit beträgt demnach 98% von dieser Nutzleistung; dann wird

$$N_e = \frac{V \cdot J}{736 \cdot \eta \cdot 0,98} \quad \text{PS}$$

Im obigen Beispiel erhält man demnach

$$N_e = \frac{221 \cdot 85,4}{736 \cdot 0,88 \cdot 0,98} = 29,7 \text{ PS}$$

Vierter Abschnitt.

Die Ermittlung des mechanischen Wirkungsgrades η_m .

Unter dem mechanischen Wirkungsgrad versteht man das Verhältnis der Nutzleistung N_e zur indizierten Leistung N_i ; also ist

$$\text{Wirkungsgrad } \eta_m = \frac{N_e}{N_i};$$

in allen Fällen, in welchen man sowohl N_e als auch N_i ermittelt, kann demnach η_m ohne weiteres berechnet werden.

Man kann jedoch mit genügender Genauigkeit den Wirkungsgrad auch ohne Ermittlung der Nutzleistung feststellen. Man indiziert die Maschine bei abgenommenem Riemen usw. und ermittelt dadurch die Leerlaufarbeit N_1 , welche die eigenen Reibungswiderstände der Maschine darstellt; dann ist

$$N_i = N_e + N_1 \text{ oder}$$

$$N_e = N_i - N_1;$$

streng genommen müßte zu N_1 noch ein Betrag N_z addiert werden, weil anzunehmen ist, daß die Eigenwiderstände bei normaler Belastung der Maschine etwas größer sind als beim Leerlauf; diese sog. zusätzliche Reibungsarbeit könnte man aus der Gleichung

$$N_e = N_i - (N_1 + N_z)$$

ermitteln; wenn man N_e , N_i und N_1 festgestellt hat, dann würde

$$N_z = N_i - (N_e + N_1) \text{ werden.}$$

N_i , N_e , N_1 und N_z sind auf die gleiche Umdrehungszahl bezogen gedacht.

Versuche, N_z auf diese Weise zu ermitteln, haben zu keinerlei brauchbaren Ergebnissen geführt, N_z hat sich sogar schon als negativ herausgestellt. Dies erklärt sich folgendermaßen: In der obigen Gleichung wird N_z als Differenz von 2 Größen berechnet, von denen jede ein vielfaches von N_z ist und natürlich mit den unvermeidlichen Messungsfehlern behaftet ist. Hat man nun infolge dieser Messungsfehler die erste Größe zu klein, die zweite zu groß erhalten, so kann die Differenz positiv, 0 oder negativ werden.

Es ist deshalb zulässig, den Wirkungsgrad unter Vernachlässigung von N_z zu berechnen, nach der Gleichung

$$\eta_m = \frac{N_i - N_1}{N_i}$$

Der mechanische Wirkungsgrad vergrößert sich bei steigender Belastung.

Fünfter Abschnitt.

Die Ermittlung des stündlichen Dampf- und Wärmeverbrauchs für eine Pferdestärke.

Der stündliche Dampfverbrauch für die Pferdestärke ist ein Maß für die Wirtschaftlichkeit einer Dampfmaschine und wird bei Neulieferungen gewöhnlich vertragsmäßig gewährleistet (Dampfgarantie). Aufgabe des Versuches ist es, nachzuweisen, ob die Garantie erfüllt ist oder nicht. Als Dauer eines Dampfverbrauchsversuches sind durch die „Normen“ mindestens 8 Stunden vorgeschrieben; nur wenn die zu untersuchende Anlage durchaus gleichmäßig beansprucht ist, genügt ein kürzerer, aber mindestens 6stündiger Versuch.

Die Ermittlung des Dampfverbrauches kann entweder durch Wägung des Speisewassers oder bei Oberflächenkondensation durch Wägung des im Kondensator niederschlagenen Dampfwassers erfolgen. Erstere Versuchsart ist die bei Kolbendampfmaschinen gebräuchlichere, während bei Dampfturbinen der Dampfverbrauch meistens durch Wägung des Kondensates festgestellt wird. Man wägt mittels der in Abb. 33 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 Fixpunkt. Die Wage mit dem Wäagebehälter 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 Linie gesunken ist. Hierauf setzt man ein der jedesmal zu wägenden Wassermenge entsprechendes Gewicht auf und füllt den Wäagebehälter, 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,

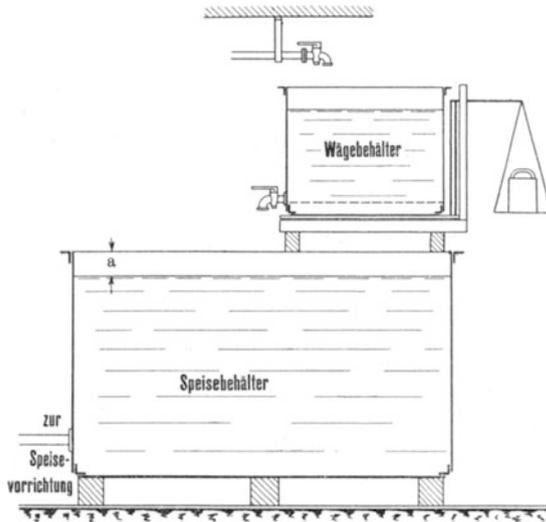


Abb. 33.

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 oder dgl. verwenden, nur müssen die Behälter dicht und nicht zu klein sein und genügend große Ablaufhähne haben. Bei großen Maschinen macht häufig die Beschaffung einer geeigneten Wage Schwierigkeiten; in diesem Falle kann man sich dadurch helfen, daß man statt des Wägebekalters 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.

Das in der Dampfleitung vom Kessel bis zur Maschine niedergeschlagene Dampfwater wird aufgefangen, gewogen und von der Speisewassermenge abgezogen. Das innerhalb der Maschine, also in den Dampfmänteln, im Aufnehmer usw. niedergeschlagene Dampfwater pflegt man bei genauen Versuchen ebenfalls zu wägen; es gehört jedoch zum Dampfverbrauch der Maschine und darf vom Speisewasser nicht abgezogen werden.

Art der Speisevorrichtung. Eine von der Maschine, der Transmission oder einem Elektromotor angetriebene Pumpe ist ohne weiteres zulässig. Verwendet man eine Dampfmaschine, 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 Schlabberwater desselben in den Speisebehälter zurückgebracht werden.

Damit nur gewogenes Wasser, und zwar alles in den Versuchskessel gelangt, nur als Dampf aus dem Kessel entweicht und dieser nur in die Maschine gelangt, 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.

Berechnung des Dampfverbrauches. Bezeichnet man mit

- a die Versuchsdauer in Stunden,
 b „ Gesamt-Speisewassermenge in kg,
 c „ Menge des Leitungswassers in kg,
 N_i „ indizierte Maschinenleistung,
 N_e „ Nutzleistung der Maschine,

so beträgt der stündliche Dampfverbrauch
 für die Indikatorpferdestärke

$$D_i = \frac{b - c}{a \cdot N_i} \text{ kg}$$

für die Nutzpferdestärke

$$D_e = \frac{b - c}{a \cdot N_e} \text{ kg}$$

Berechnung des Wärmeverbrauches. Seit der Einführung der Dampfüberhitzung genügt die Kenntnis des Dampfverbrauches allein nicht mehr zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Dampfmaschine, weil zur Erzeugung von 1 kg Heißdampf ein größerer Wärmearaufwand notwendig ist, als für 1 kg Satttdampf von derselben Spannung, und weil dieser Wärmearaufwand mit zunehmender Dampftemperatur wächst, während der Dampfverbrauch gleichzeitig abnimmt. Der stündliche Wärmeverbrauch W für 1 PS_i oder 1 PS_e ist das Produkt aus dem stündlichen Dampfverbrauch für dieselbe Leistung und dem Wärmeinhalt λ_0 für 1 kg des Versuchsdampfes; also

$$W_i = D_i \lambda_0 \text{ und} \\ W_e = D_e \lambda_0;$$

der Wärmeinhalt λ_0 ist gleich der Summe der Wärmemenge, die zur Erzeugung von 1 kg Satttdampf aus Wasser von 0° erforderlich ist, und der Wärmemenge, die zur Überhitzung dieses Dampfes von der Sättigungstemperatur t_s auf die Dampftemperatur t_d verwendet wird. Der erste Summand λ_s wird aus der Dampftabelle S. 59 entnommen. Bezeichnet man die mittlere spezifische Wärme des Dampfes innerhalb der Temperaturen t_s und t_d mit c_p , dann ist der Wärmeinhalt

$$\lambda_0 = \lambda_s + (t_d - t_s) c_p;$$

die jeweiligen Werte für c_p sind in der Zahlentafel¹⁾ (S. 46) zusammengestellt:

¹⁾ Nach Mollier, Neue Tabellen und Diagramme für Wasserdampf, 1906.

Muster-
(für Abschnitt

Hauptmaße:

A. Leistungsversuche an einerZylinderdurchmesser $D = 241,2$ mm (= 24,12 cm).Durchmesser der Kolbenstange $d = 40,0$ mm (= 4,00 cm), einseitig.Wirksame Kolbenfläche $F = \frac{24,12^2 \pi}{4} - \frac{1}{2} \cdot \frac{4,00^2 \pi}{4} = 450,7$ qcm oder

$$F_{(KS)} = \frac{24,12^2 \pi}{4} - \frac{4,00^2 \pi}{4} = 444,4 \text{ qcm,}$$

$$F_{(AS)} = \frac{24,12^2 \pi}{4} = 457,0 \text{ qcm.}$$

Kolbenhub $s = 331$ mm = 0,331 m.

1. Beispiel.

Zeit	Diagramm No.	Minutliche Drehzahl			Dampfdruck atm		Auswertung der Diagramme:							
		Ablesung	Differenz	n	im Kessel	vor der Maschine	Anfangsdruck atm		Wirkliche Füllung %		Gegendruck atm.		Planimeterwert ¹⁾	
							KS	AS	KS	AS	KS	AS	KS	AS
8 ¹⁵	1	17 449	—	—	10,1	10,1	9,6	9,6	21	21	0,00	0,07	225	223
8 ³⁰	2	—	—	—	10,1	10,1	9,6	9,6	22	21	0,00	0,07	228	224
8 ⁴⁵	3	—	9 307	155,1	10,1	10,1	9,6	9,6	21	22	0,00	0,07	226	226
9 ⁰⁰	4	—	—	—	10,0	10,0	9,5	9,5	20	21	0,00	0,07	220	222
9 ¹⁵	5	26 756	—	—	10,0	10,0	9,5	9,5	21	21	0,00	0,07	222	223
9 ³⁰	6	—	—	—	10,0	10,0	9,5	9,5	22	20	0,00	0,07	225	220
9 ⁴⁵	7	—	9 316	155,3	10,0	10,0	9,5	9,5	21	20	0,00	0,07	222	218
10 ⁰⁰	8	—	—	—	10,0	10,0	9,5	9,5	20	22	0,00	0,07	229	222
10 ¹⁵	9	36 072	—	—	10,0	10,0	9,5	9,5	21	21	0,00	0,07	223	220
10 ³⁰	10	—	—	—	10,0	10,0	9,5	9,5	21	21	0,00	0,07	224	219
10 ⁴⁵	11	—	6 983	155,2	10,0	10,0	9,5	9,5	20	20	0,00	0,07	220	219
11 ⁰⁰	12	43 055	—	—	10,0	10,0	9,5	9,5	21	22	0,00	0,07	223	223
Summe:	—	—	25 606	—	—	—	—	—	251	252	—	—	2677	2659
Mittelwert	—	—	—	155,2	10,0	10,0	9,5	9,5	21	21	0,00	0,07	223	222

2. Beispiel.

7 ³⁰	1	38 055	—	—	10,0	10,0	9,5	9,6	10	10	0,05	0,05	143	133
7 ⁴⁵	2	—	—	—	10,1	10,1	9,6	9,7	11	10	0,05	0,05	145	134
8 ⁰⁰	3	—	9 535	158,9	10,0	10,0	9,5	9,6	9	10	0,05	0,05	140	132
8 ¹⁵	4	—	—	—	10,0	10,0	9,5	9,6	10	11	0,05	0,05	144	135
8 ³⁰	5	47 590	—	—	10,0	10,0	9,5	9,6	10	10	0,05	0,05	142	134
8 ⁴⁵	6	—	—	—	10,3	10,3	9,8	9,9	10	10	0,05	0,05	142	134
9 ⁰⁰	7	—	9 530	158,8	10,2	10,2	9,7	9,8	9	9	0,05	0,05	140	131
9 ¹⁵	8	—	—	—	10,0	10,0	9,5	9,6	10	10	0,05	0,05	143	133
9 ³⁰	9	57 120	—	—	10,1	10,1	9,6	9,7	11	10	0,05	0,05	146	134
9 ⁴⁵	10	59 500	2 380	158,7	10,0	10,0	9,5	9,6	10	10	0,05	0,05	144	136
Summe:	—	—	21 445	—	100,7	100,7	95,7	96,7	100	100	—	—	1429	1336
Mittelwert	—	—	—	158,8	10,1	10,1	9,6	9,7	10	10	0,05	0,05	143	134

¹⁾ Mit Spitzeneinstellung.

beispiele.

2—5).

Einzylinder-Dampfmaschine ohne Kondensation.

Versuchsaufschreibungen:

1. Beispiel:

Versuchstag	
Beobachter	
Beginn 8 ¹⁵ } Dauer 2,75 Std.	
Schluß 11 ⁰⁰ }	

	KS	AS
Indikator . . . Nr.		
Feder kg	10	10
Feder-Maßstab mm	4,0	4,0

2. Beispiel:

Versuchstag	
Beobachter	
Beginn 7 ³⁰ } Dauer 2,25 Std.	
Schluß 9 ⁴⁵ }	

	KS	AS
Indikator Nr.		
Feder kg	10	10
Feder-Maßstab mm	4,0	4,0

Indizierte Spannung p _i atm		Indizierte Leistung N _i	Gebremste Leistung			Mechanischer Wirkungsgrad η _m
KS	AS		Bremsgewicht kg	Hebelarm m	N _e	
3,72	3,70	38,2	172,7	0,954	35,7	0,93
2,38	2,23	24,3	101,8	0,954	21,5	0,88

Berechnung der Ergebnisse.

1. Beispiel.

$$p_i(KS) = \frac{223}{15 \cdot 4,0} = 3,72 \text{ atm}$$

$$p_i(AS) = \frac{222}{15 \cdot 4,0} = 3,70 \text{ atm}$$

$$p_m = \frac{3,72 + 3,70}{2} = 3,71 \text{ atm}$$

$$N_i = \frac{F \cdot p_m \cdot s \cdot n}{30 \cdot 75} = \frac{450,7 \cdot 3,71 \cdot 0,331 \cdot 155,2}{30 \cdot 75} = 38,2 \text{ PS}$$

$$N_e = \frac{Q \cdot 1 \cdot \pi \cdot n}{30 \cdot 75} = \frac{172,7 \cdot 0,954 \cdot \pi \cdot 155,2}{30 \cdot 75} = 35,7 \text{ PS}$$

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{35,7}{38,2} = 0,93.$$

2. Beispiel (mit Berücksichtigung beider Kolbenseiten).

$$p_i(KS) = \frac{143}{15 \cdot 4,0} = 2,38 \text{ atm}$$

$$p_i(AS) = \frac{134}{15 \cdot 4,0} = 2,23 \text{ atm}$$

$$N_i(KS) = \frac{444,4 \cdot 2,38 \cdot 0,331 \cdot 158,8}{60 \cdot 75} = 12,35 \text{ PS}$$

$$N_i(AS) = \frac{457,0 \cdot 2,23 \cdot 0,331 \cdot 158,8}{60 \cdot 75} = 11,98 \text{ PS}$$

$$N_i = 12,35 + 11,98 = 24,33 \approx 24,3 \text{ PS}$$

$$N_e = \frac{101,8 \cdot 0,954 \cdot \pi \cdot 158,8}{30 \cdot 75} = 21,5 \text{ PS}$$

$$\eta_m = \frac{21,5}{24,3} = 0,88.$$

B. Dampfverbrauchsversuch an einer

Hauptmaße:

Zylinderdurchmesser: Hochdruck $\begin{matrix} \text{KS} & | & \text{AS} \\ 290 \text{ mm.} & & \end{matrix}$
 Niederdruck $\begin{matrix} 540 & \text{,,} & \end{matrix}$

Kolbenstangendurchmesser: Hochdruck $\begin{matrix} 60 \text{ mm} & | & 48 \text{ mm.} \\ \text{Niederdruck} & 60 & \text{,,} & | & 48 & \text{,,} \end{matrix}$

Wirksame Kolbenfl.: Hochdr. $F = \frac{29^2 \pi}{4} - \frac{1}{2} \left(\frac{6,0^2 \pi}{4} + \frac{4,8^2 \pi}{4} \right) = 637,3 \text{ qcm}$
 $F(\text{KS}) = 632,2 \text{ qcm}; F(\text{AS}) = 642,4 \text{ ,,}$
 Niederdruck $F' = \frac{54^2 \pi}{4} - \frac{1}{2} \left(\frac{6,0^2 \pi}{4} + \frac{4,8^2 \pi}{4} \right) = 2266,8 \text{ ,,}$
 $F'(\text{KS}) = 2261,7 \text{ qcm}; F'(\text{AS}) = 2271,9 \text{ ,,}$

Zylinderverhältnis: $637,3:2266,8 = 1:3,57.$
 Kolbenhub: Hochdruck $s = 450 \text{ mm.}$
 Niederdruck $s' = 450 \text{ ,,}$

Speisewasser		Minutliche Drehzahl				Zeit	Dampf-		Vakuum im Kondensator cm Hg.	Schalttafel- Ablesungen	
Zeit	kg	Zeit	Ablesung	Differenz	n		Druck atm	Temp. ° C.		vor der Maschine	Volt	Amp.
						9 ²⁶	150	9 ²⁵	19 900				—	—	9^{26}	11,0	225	68,5	224	323
9 ³⁸	150	10 ²⁵	28 292	8 397	139,9	9 ⁴⁵	11,0	248	68,5	222	328
9 ⁴⁹	150	11 ²⁵	36 679	8 387	139,8	10 ⁰⁰	11,0	240	68,5	221	333
9 ⁵⁹	150	12 ²⁵	45 066	8 387	139,8	10 ¹⁵	11,0	272	68,5	225	323
10 ⁰⁸	150	1 ³⁰	54 157	9 091	139,9	10 ³⁰	11,0	270	68,5	221	333
10 ¹⁶	150	2 ²⁵	61 847	7 690	139,8	10 ⁴⁵	11,0	271	68,5	223	328
10 ²⁷	150					11 ⁰⁰	10,9	272	68,5	222	330
10 ³⁸	150					11 ¹⁵	11,0	275	69	224	326
10 ⁴⁸	150					11 ³⁰	10,9	274	69	221	338
11 ⁰⁰	150					11 ⁴⁵	11,0	274	69	226	318
11 ¹⁶	150					12 ⁰⁰	11,0	271	69	223	328
11 ³⁰	150					12 ¹⁵	11,0	268	69	222	334
11 ⁴⁶	150					12 ³⁰	11,0	268	69	224	322
12 ⁰³	150					12 ⁴⁵	11,0	264	69	225	328
12 ¹⁹	150					1 ⁰⁰	11,0	268	69	224	327
12 ³³	150					1 ¹⁵	11,0	260	69	225	329
12 ⁴⁶	150					1 ³⁰	11,0	265	69	222	338
1 ⁰⁰	150					1 ⁴⁵	11,0	272	69	226	318
1 ¹³	150					2 ⁰⁰	11,0	268	69	222	326
1 ²⁶	150					2 ¹⁵	11,0	270	69	224	330
1 ³⁹	150					2 ³⁰	11,0	268	69	225	325
1 ⁵⁴	150					2 ⁴⁵	11,0	250	69	221	331
2 ⁰⁸	150					3 ⁰⁰	11,0	240	69	221	328
2 ²⁴	150										
Summe:	3600			41 947				6051			
Mittel:					139,8		11,0	263	69	223	328

Heißdampf-Verbund-Kondensationsmaschine.

Versuchsaufschreibungen:

Versuchstag
 Beobachter
 Beginn 9²⁶ } Dauer 5 Std. 41 Min. = 5,68 Std.
 Schluß 3⁰⁷ }
 Wasserstand im Glas 105 mm.
 „ „ Speisebehälter 150 mm.

Indikatoren: Hochdruck		KS	AS	Niederdruck		KS	AS
Nummer		.....	.....	.....		.....	.....
Feder		kg 12	12			2	2
Maßstab		mm 3,5	3,5			10,0	10,0

Diagramm-Auswertung:

Nummer	Hochdruckzylinder						Niederdruckzylinder									
	Anfangsdruck atm		Füllung %		Planimeterwert ¹⁾		Anfangsdruck atm		Füllung %		Vakuum atm		Planimeterwert ¹⁾			
	KS	AS	KS	AS	KS	AS	KS	AS	KS	AS	KS	AS	KS	AS		
1	10,9	10,8	25	25	183	180	1,10	1,10							142	150
2	10,8	10,8	24	25	180	181	1,08	1,10							140	150
3	10,9	10,9	25	25	182	180	1,11	1,09							142	150
4	10,9	10,9	25	24	183	180	1,09	1,10							141	150
5	10,8	10,9	24	24	181	180	1,10	1,10							140	151
6	10,9	10,8	25	24	182	181	1,10	1,09							140	150
7	10,7	10,7	25	25	183	183	1,09	1,10							140	150
8	10,9	10,9	25	26	184	185	1,12	1,11							145	152
9	10,8	10,7	24	25	180	182	1,11	1,10							142	150
10	10,9	10,8	25	25	184	183	1,09	1,10							140	151
11	10,9	10,9	26	25	186	184	1,08	1,08							140	151
12	10,9	10,8	24	25	180	183	1,10	1,10							140	150
13	10,8	10,9	25	25	185	182	1,10	1,10							140	151
14	10,9	10,9	25	25	183	182	1,10	1,10							140	151
15	10,8	10,8	24	25	180	183	1,12	1,10							142	151
16	10,9	10,9	26	24	181	180	1,09	1,10							140	150
17	10,9	10,9	25	25	183	185	1,10	1,09							140	150
18	10,8	10,9	25	25	183	182	1,10	1,10							140	150
19	10,9	10,8	26	25	185	183	1,09	1,10							140	151
20	10,9	10,9	25	25	184	183	1,09	1,10							140	150
21	10,8	10,9	24	24	181	181	1,11	1,09							141	150
22	10,9	10,8	25	25	183	183	1,10	1,10							140	152
23	10,9	10,9	26	26	185	186	1,10	1,09							140	150
	2498	2495	565	573	4201	4292	25,27	25,24							3234	3461
	10,9	10,9	25	25	183	182	1,10	1,10	44	44	0,80	0,85	140	150		

¹⁾ Mit Spitzeneinstellung.

Mittlere spezifische Wärme c_p für die Überhitzung von t_s auf t_d ° C.

$p =$ atm. abs.	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0
t_s ° C.	45,6	80,9	99,1	119,6	142,8	157,9	169,5	178,9	186,9	194,0	200,3
$t_d = 100^0$	0,480	0,490	0,501	—	—	—	—	—	—	—	—
150	0,479	0,488	0,495	0,513	0,533	—	—	—	—	—	—
200	0,479	0,486	0,491	0,505	0,523	0,538	0,558	0,573	0,588	0,601	—
250	0,479	0,484	0,489	0,500	0,514	0,528	0,543	0,556	0,569	0,578	0,588
300	0,479	0,483	0,487	0,496	0,508	0,519	0,531	0,541	0,551	0,562	0,569
350	0,479	0,482	0,485	0,493	0,503	0,513	0,522	0,531	0,539	0,547	0,555
400	0,478	0,482	0,484	0,491	0,500	0,508	0,517	0,523	0,531	0,538	0,545
450	0,478	0,482	0,483	0,489	0,497	0,505	0,513	0,519	0,525	0,531	0,537

Beispiel: Der stündliche Dampfverbrauch für die Pferdestärke sei ermittelt zu $D_i = 5,12$ kg und $D_e = 5,63$ kg; der Dampfdruck vor der Maschine sei zu 11,0 atm. Überdruck = 12,0 atm. abs.¹⁾ und die Dampftemperatur an derselben Stelle sei zu 263° C festgestellt.

Nach der Dampftabelle S. 59 ist die Erzeugungswärme des gesättigten Dampfes $\lambda_s = 668,1$ WE, nach der obigen Tafel ist die Sättigungstemperatur $t_s = 186,9^0$ C und die mittlere spezifische Wärme (zwischen 250° und 300°) c_p zwischen 0,569 und 0,551 zu setzen. Durch Interpolation erhält man

$$c_p = 0,569 - \frac{0,569 - 0,551}{50} \cdot 13 = 0,569 - 0,005 = 0,564;$$

also

$$\lambda_0 = \lambda_s + (t_d - t_s) c_p = 668,1 + (263 - 186,9) \cdot 0,564 = 711,0 \text{ WE.}$$

Darnach berechnet sich der auf Speisewasser von 0° C bezogene stündliche Wärmeverbrauch für die Indikator- bzw. Nutzpferdestärke zu

$$W_i = D_i \lambda_0 = 5,12 \cdot 711,0 = 3640 \text{ WE und}$$

$$W_e = D_e \lambda_0 = 5,63 \cdot 711,0 = 4003 \text{ WE.}$$

Erst diese Zahlen ermöglichen einen einwandfreien Vergleich der Wirtschaftlichkeit verschiedener Heißdampfmaschinen.

Zur Veranschaulichung der bei Maschinenversuchen erforderlichen Aufschreibungen und der Auswertung der Ergebnisse dienen die auf S. 42–45 angeführten Musterbeispiele.

¹⁾ S. 60 Mitte.

Aus der Zahlentafel B sind die

Hauptergebnisse des Versuches

wie folgt hervorzuheben bzw. zu berechnen:

Versuchsdauer	Std.	5,68
Anzahl der Diagramme		92
Minutliche Drehzahl		139,8
Dampfüberdruck	} vor der Maschine . . .	atm 11,0
Dampftemperatur		°C 263
Anfangsdruck im Hochdruckzylinder	atm	10,9
Füllung „ „	%	25
Anfangsdruck im Niederdruckzylinder	atm	1,10
Füllung „ „	%	44
Vakuum „ „	atm	0,83

„ im Kondensator 69 cm¹) = . . $\frac{69}{73,5}$ = atm. 0,94

„ „ „ bei 757 mm Barometerstand $\frac{69}{75,7}$ = % 91

Füllung im Hochdruckzylinder bezogen auf

Niederdruck $\frac{25}{3,57}$ = % 7,0

Mittlerer Druck im Hochdruckzylinder $\left\{ \begin{array}{l} p_{i(KS)} = \frac{183}{15 \cdot 3,5} = \text{atm } 3,49 \\ p_{i(AS)} = \frac{182}{15 \cdot 3,5} = \text{„ } 3,47 \end{array} \right.$

Mittlerer Druck im Niederdruckzylinder $\left\{ \begin{array}{l} p_{i(KS)} = \frac{140}{15 \cdot 10,0} = \text{„ } 0,93 \\ p_{i(AS)} = \frac{150}{15 \cdot 10,0} = \text{„ } 1,00 \end{array} \right.$

¹) Erfolgt die Ablesung des Vakuums in cm Hg, so verwandelt man die cm in atm, indem man die Ablesung durch 73,5 (= Höhe einer Quecksilbersäule mit dem Druck 1 atm) dividiert.

Indizierte Leistung:

a) im Hochdruckzylinder	{	$N_{i(KS)} = \frac{632,2 \cdot 3,49 \cdot 0,45 \cdot 139,8}{60 \cdot 75} =$	PS	30,9
		$N_{i(AS)} = \frac{642,4 \cdot 3,47 \cdot 0,45 \cdot 139,8}{60 \cdot 75} =$	„	31,2
		$N_{i_1} = 30,9 + 31,2 =$	„	62,1
b) im Niederdruckzylinder	{	$N_{i(KS)} = \frac{2261,7 \cdot 0,93 \cdot 0,45 \cdot 139,8}{60 \cdot 75} =$	„	29,4
		$N_{i(AS)} = \frac{2271,9 \cdot 1,00 \cdot 0,45 \cdot 139,8}{60 \cdot 75} =$	„	31,8
		$N_{i_2} = 29,4 + 31,8 =$	„	61,2
c) indizierte Gesamtleistung $N_i = 62,1 + 61,2 =$			„	123,3

Elektrische Leistung:

Spannung	Volt	223
Stromstärke	Amp.	328
Leistung	{	$223 \cdot 328 =$ Watt 73 200
	{	$N_{el} = \frac{73\,200}{736} =$ PS _{el} 99,3

Nutzleistung der Dampfmaschine, wenn der Wirkungsgrad der Dynamo zu $\eta_d = 0,90$ und der Riemenverlust zu 2% angenommen wird,

$$N_e = \frac{N_{el}}{\eta_d \cdot (1 - 0,02)} = \frac{99,3}{0,90 \cdot 0,98} \dots \dots \dots \text{PS } 112,5$$

Mechanischer Wirkungsgrad der Dampfmaschine	}	$\eta_m = \frac{112,5}{123,3} =$	0,91
--	---	----------------------------------	------

Speisewasserverbrauch:

a) im ganzen	kg	3600
b) in der Stunde	$\frac{3600}{5,68} =$	„ 634
c) „ „ „ für 1 PS _i	$\frac{634}{123,8} =$	„ 5,12
d) „ „ „ „ 1 PS _e	$\frac{634}{112,5} =$	„ 5,63

Wärmeinhalt von 1 kg Dampf:

$$668,1 + (263 - 186,9) \cdot 0,564 = \text{WE } 711,0$$

Wärmeverbrauch in der Stunde:

für 1 PS_i 5,12 · 711,0 = WE 3640

„ 1 PS_e 5,63 · 711,0 = „ 4003

Sechster Abschnitt.

Die Ermittlung des Arbeitsbedarfes der angetriebenen Arbeitsmaschinen.

(Gruppenindizierung.)

Wenn es sich darum handelt, den Arbeitsbedarf einzelner Arbeitsmaschinen oder Maschinengruppen festzustellen, dann kann man in folgender Weise verfahren: Man indiziert die Dampfmaschine zunächst bei leerlaufender Transmission, indem man etwa 5—10 Diagrammsätze abnimmt. Die hieraus sich ergebende, auf die normale Drehzahl der Dampfmaschine umgerechnete Leistung sei N_t. Dann wird die erste Arbeitsmaschine eingerückt und die Dampfmaschine wieder indiziert; die Zahl der Diagrammsätze richtet sich nach den mehr oder weniger großen Schwankungen der Beanspruchung; im allgemeinen reichen 10 Sätze aus. Die hieraus bestimmte Leistung sei bei normaler Drehzahl N₁. Dann rückt man, wenn möglich, diese Maschine aus und die nächste Maschine oder Maschinengruppe ein usw. Die berechneten Leistungen seien N₂ N₃ usw. Ist es möglich, den Hauptantriebsriemen der Dampfmaschine abzuwerfen, dann kann man durch Indizieren auch die Leerlaufarbeit derselben bestimmen, sie betrage, auf die normale Drehzahl umgerechnet N₁ PS.

Hieraus ergibt sich folgende Zusammenstellung:

I.	Dampfmaschine + leerlaufende Transmission . .	= N _t PS
II.	Wie I + 1. Arbeitsmaschine	= N ₁ „
III.	„ I + 2. „	= N ₂ „
	:	:
	:	:
	:	:
p	Wie I + n. „	= N _n „
q	Leerlaufende Dampfmaschine	= N ₁ „

Der Arbeitsbedarf jeder Arbeitsmaschine und der Transmission ergibt sich durch Differenzbildung wie folgt:

1.	Arbeitsbedarf der 1. Arbeitsmaschine	II — I	=	$N_1 - N_t$	PS
2.	„ „ 2. „	III — I	=	$N_2 - N_t$	„
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
n.	„ „ n. „	p — I	=	$N_n - N_t$	„
	„ „ Transmission	I — q	=	$N_t - N_1$	„

In der Praxis liegen jedoch die Fälle nicht immer so einfach, wie dieser Rechnungsgang es voraussetzt. Um die größtmögliche Genauigkeit zu erzielen, wähle man die einzelnen Gruppen von Transmissionen und Arbeitsmaschinen, während deren Betrieb man indiziert, stets so, daß der zu berechnende Arbeitsbedarf sich als Differenz von verhältnismäßig kleinen Größen ergibt, oder daß die Differenz einen bedeutenden Teil der voneinander zu subtrahierenden Größen beträgt. Man vermeide es möglichst, zu einer schon indizierten Gruppe eine neue hinzuschalten, ohne die erstere auszurücken, weil infolge der Vergrößerung der voneinander zu subtrahierenden Größen wegen der unvermeidlichen Versuchsfehler die Differenz relativ ungenauer wird.

Weil bei der Berechnung der einzelnen indizierten Leistungen alle Größen mit Ausnahme der Planimeterwerte konstant sind, kann man diese Größen (nach S. 32) zu einer Gesamtkonstanten zusammenfassen und dadurch die Rechnung vereinfachen.

Musterbeispiel.

In einer Lack- und Farbenfabrik wurde wegen einer beabsichtigten Betriebsvergrößerung eine 25 pferdige Heißdampf-lokomobile aufgestellt. Der Arbeitsbedarf der zurzeit vorhandenen Arbeitsmaschinen sollte möglichst im einzelnen ermittelt werden.

Hauptabmessungen und Konstante.

	Hochdr.-Zyl.		Niederdr.-Zyl.	
	KS	AS	KS	AS
Zylinderdurchmesser mm	160		260	
Kolbenstangendurchmesser „	32	—	32	30
Nutzbare Kolbenfläche F qem	194	201	523	524
Kolbenhub s m	0,33		0,33	
Normale minutliche Drehzahl	165			
Maßstab der Indikatorfeder f mm/kg/qem	8,0	8,0	25,0	25,0
Planimeterkonstante	15			
Maschinenkonstante (bei n = 165) C_{1-4}^1	0,0195	0,0202	0,0169	0,0169
Indizierte Leistung ²⁾ PSi	$C_1 \cdot P_1$	$C_2 \cdot P_1$	$C_3 \cdot P_1$	$C_4 \cdot P_1$

1) Bemerkungen siehe folgende Seite.

2) „ „ „ „

Indizierte Leistungen bei Betrieb der einzelnen Gruppen.

Benennung der Gruppen	Mittlere Planimeterwerte				Indizierte Leistungen PS				Gesamt-Leistung PS
	Hochdruck		Niederdruck		Hochdruck		Niederdruck		
	KS	AS	KS	AS	KS	AS	KS	AS	
I. Maschine + leerlaufende Transmission	171	24	98	93	3,3	0,5	1,7	1,6	7,1
II. Wie I + neu aufgestellter Kollergang	181	83	108	154	3,5	1,7	1,8	2,6	9,6
III. Wie I + Knetmaschine a	182	85	155	145	3,5	1,7	2,6	2,5	10,3
IV. „ III + Knetmasch. b	221	122	227	214	4,3	2,5	3,8	3,6	14,2
V. „ I + kleiner Kollergang	160	54	105	103	3,1	1,1	1,8	1,7	7,7
VI. Wie I + Farbenknetmaschine	157	55	105	104	3,0	1,1	1,8	1,7	7,6
VII. Wie I + Walzenreibmaschine	157	50	100	90	3,0	1,0	1,7	1,5	7,2
VIII. Wie I + 3 Farbmühlen + Harzmühle	157	60	103	100	3,0	1,2	1,8	1,7	7,7
IX. Wie I + leerlaufende Schleudermaschine + Luftpumpe	159	55	105	93	3,1	1,1	1,8	1,6	7,6
X. Wie I + Gesamtbetrieb	259	180	320	298	5,0	3,6	5,4	5,0	19,0
XI. Leerlauf der Dampfmaschine	107	13	60	51	2,1	0,3	1,0	0,9	4,3

Bemerkungen zu S. 50:

1) Indizierte Leistung einer Kolbenseite.

$$N_i = \frac{F \frac{Pl}{15 \cdot f} \cdot s \cdot n}{60 \cdot 75} = C \cdot Pl.$$

Maschinenkonstanten bei n = 165:

$$\text{Hochdruckzylinder KS: } C_1 = \frac{194 \cdot 0,33 \cdot 165}{15 \cdot 8 \cdot 60 \cdot 75} = 0,0195$$

$$\text{AS: } C_2 = \frac{201 \cdot 0,33 \cdot 165}{15 \cdot 8 \cdot 60 \cdot 75} = 0,0202$$

$$\text{Niederdruckzylinder KS: } C_3 = \frac{523 \cdot 0,33 \cdot 165}{15 \cdot 25 \cdot 60 \cdot 75} = 0,0169$$

$$\text{AS: } C_4 = \frac{524 \cdot 0,33 \cdot 165}{15 \cdot 25 \cdot 60 \cdot 75} = 0,0169$$

2) Pl = Planimeterwert bei Spitzeneinstellung.

Die Hauptabmessungen und die Versuchsergebnisse sind in den Zusammenstellungen (S. 50 u. 51) niedergelegt, aus welchen auch der Gang des Versuches hervorgeht.

Arbeitsbedarf der Arbeitsmaschinen.

	Gruppen		
1. Transmission	I — XI	= 7,1 — 4,3	= PS 2,8
2. Neu aufgest. Kollergang	II — I	= 9,6 — 7,1	= „ 2,5
3. Knetmaschine a	III — I	= 10,3 — 7,1	= „ 3,2
4. Knetmaschine b	IV — III	= 14,2 — 10,3	= „ 3,9
5. Beide Knetmaschinen .	IV — I	= 14,2 — 7,1	= „ 7,1
6. Kleiner Kollergang . .	V — I	= 7,7 — 7,1	= „ 0,6
7. Farbenknetmaschine .	VI — I	= 7,6 — 7,1	= „ 0,5
8. Walzenreibmaschine .	VII — I	= 7,2 — 7,1	= „ 0,1
9. 3 Farbmühlen + Harz- mühle	VIII — I	= 7,7 — 7,1	= „ 0,6
10. Leerlaufende Schleuder- maschine + Luftpumpe	IX — I	= 7,6 — 7,1	= „ 0,5
11. Gesamtbetrieb (einschl. Transmission) .	X — XI	= 19,0 — 4,3	= „ 14,7
12. Posten 6—10 zus.		14,7 — (2,8 + 2,5 + 3,2 + 3,9)	= „ 2,3

Eine bedeutende Genauigkeit darf man von den Ergebnissen einer Gruppenindizierung nicht fordern, weil die Versuchsfehler infolge der Differenzbildung sich relativ vergrößern, wie folgendes Beispiel zeigt: In der obigen Zusammenstellung sei in der 1. Zeile die Leistung I = 7,1 PS um nur 1% zu groß, müßte also $\frac{7,1}{1,01} = 7,03$ PS sein; die Leistung XI = 4,3 PS sei um 1% zu klein, müßte also $\frac{4,3}{0,99} = 4,34$ PS sein. Die Differenz I—XI müßte demnach $7,03 - 4,34 = 2,69$ PS betragen und weicht gegenüber der oben berechneten Differenz um $\frac{2,8 - 2,69}{2,69} \cdot 100 = 4,1\%$ ab

Noch größer wird der Unterschied bei einem ebenso großen Fehler in der 6. Zeile, nämlich

$$V - I = \frac{7,7}{1,01} - \frac{7,1}{0,99} = 7,6 - 7,4 = 0,4 \text{ PS} \quad \text{oder}$$

$$\frac{0,6 - 0,4}{0,6} \cdot 100 = 33\%.$$

Abweichungen der unmittelbar festgestellten indizierten Leistungen von nur 1% können also einen sehr beträchtlichen Fehler bei der Berechnung des Arbeitsbedarfes zur Folge haben. Aus diesem Grunde sind die Ergebnisse der Zeilen 6—10 unsicher und wurden bei Zeile 9 Gruppe VIII mehrere kleinere Maschinen zusammengenommen.

Anhang.

Rankinisieren der Diagramme einer Verbundmaschine.

Diesem nach seinem Erfinder Rankine benannten Verfahren liegt folgender Gedanke zugrunde:

Der in den Hochdruckzylinder eintretende, dort expandierende, dann in den Niederdruckzylinder eintretende und nochmals expandierende Dampf könnte theoretisch dieselbe Arbeit leisten, wenn er mit seiner Eintrittsspannung unmittelbar in den Niederdruckzylinder eintreten und dort seine Gesamtexpansion ausführen würde.

Das Verfahren des Rankinisierens ist aus Abb. 34 ersichtlich. Die beiden zusammengehörigen¹⁾ Hoch- und Niederdruckdiagramme enthält Abb. 35. Beide Diagramme sind auf einen gemeinsamen Druckmaßstab umzuzeichnen. Die Länge l_1 des umgezeichneten Hochdruckdiagrammes ist gleich der Länge l_2 des Niederdruckdiagrammes, dividiert durch die Zylinderverhältniszahl λ (Verhältnis der beiden Kolbenflächen), also

$$l_1 = \frac{l_2}{\lambda};$$

die ursprünglichen Verhältnisse waren:

Länge beider Diagramme $l = 60$ mm,
 Zylinderverhältnis $1 : \lambda = 1 : 3,57$,
 Maßstab des Hochdruckdiagrammes $3,75$ mm,
 Maßstab des Niederdruckdiagrammes $10,0$ mm.

Die Länge l_2 des rankinisierten Niederdruckdiagrammes wurde zu 200 mm angenommen, dann beträgt die Länge des

¹⁾ Bei einer Compoundmaschine mit voreilender Niederdruckkurbel gehören zusammen: Hochdruck-Kurbelseite und Niederdruck-Kurbelseite; bei einer Compoundmaschine mit voreilender Hochdruck-Kurbel und bei einer Tandemmaschine gehören zusammen: Hochdruck-Kurbelseite und Niederdruck-Außenseite.

rankinisierten Hochdruckdiagrammes

$$l_1 = \frac{l_2}{\lambda} = \frac{200}{3,57} = 56 \text{ mm};$$

der schädliche Raum betrage 8%, also wird

$$s_1 = 56 \cdot 0,08 = 4,5 \text{ mm};$$

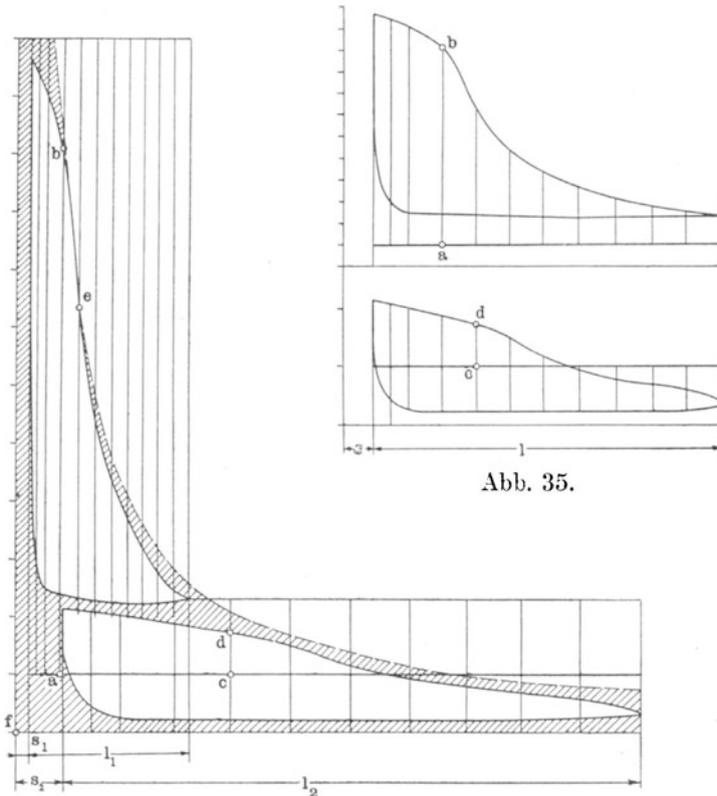


Abb. 35.

Abb. 34.

der schädliche Raum des Niederdruckzylinders betrage ebenfalls 8%; dann wird

$$s_2 = 200 \cdot 0,08 = 16 \text{ mm};$$

damit sind die Längen der Diagramme festgelegt.

Nun teilt man beide Diagramme (Abb. 35) in 10 gleiche Teile, halbiert den ersten Teil (wegen der Kompression) zweckmäßig nochmals und multipliziert die Ordinaten des Hochdruckdiagrammes mit dem Verhältnis des gewählten Maßstabes zum

Hochdruckmaßstab. Wählt man z. B. im rankinisierten Diagramm den Niederdruckmaßstab zu 20 mm, so sind die Ordinaten des Hochdruckdiagrammes mit $\frac{20}{3,75} = 5,33$ zu multiplizieren;

z. B. die Strecke

$a b = 34,4$ mm in Abb. 35 ist mit $5,33 \cdot 34,4 = 183$ mm in Abb. 34 zu übertragen.

Die Ordinaten des Niederdruckdiagrammes sind mit dem Verhältnis des neuen Niederdruckmaßstabes zu dem des ursprünglichen Diagrammes multipliziert zu übertragen, im vorliegenden

Falle also mit $\frac{20}{10} = 2,00$; z. B. die Strecke

$c d = 7,3$ mm in Abb. 35 ist mit $2 \cdot 7,3 = 14,6$ mm in Abb. 34 zu übertragen.

Bemerkung: Die Abb. 34 ist im Verhältnis zu Abb. 35 um das Doppelte verkleinert dargestellt; deshalb erscheint $c d$ in Abb. 34 = $c d$ in Abb. 35.

Zieht man nach dem S. 18 angegebenen Verfahren durch einen am Anfang der Expansionslinie des Hochdruckdiagrammes gelegenen Punkt e von f aus eine gleichseitige Hyperbel, so kann man aus dem Abstand des Niederdruckdiagrammes von dieser Hyperbel und vom Hochdruckdiagramm durch Vergleich mit anderen rankinisierten Diagrammen Schlüsse auf die mehr oder weniger gute Ausnutzung des Dampfes in der Maschine ziehen.

Die Expansionslinie des Hochdruckdiagrammes verläuft unterhalb der eingezeichneten Hyperbel, weil die Diagramme einer Heißdampfmaschine entstammen.

Das Verhältnis der Diagrammflächen zur Summe der Diagrammflächen und der schraffierten Flächen nennt man **Völligkeitsgrad**.

Zweiter Teil.

Dampfkessel-Untersuchung.

Gegenstand der Untersuchung einer Dampfkessel-Anlage ist die Ermittlung:

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;
3. der Wärmeausnutzung und der Wärmeverluste;
4. des Dampf- und Wärmepreises.

Erster Abschnitt.

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 einer bestimmten Zeit verdampfte Speisewasser als auch die zu seiner Verdampfung erforderliche Kohlenmenge gewogen. Die Speisewasserwägung wird nach den auf S. 38 gemachten Angaben durchgeführt; außerdem ist die Temperatur des Speisewassers regelmäßig zu beobachten. 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 als 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 Versuchsdauer 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 bestimmen die „Normen“ folgendes:

„Von jeder Ladung (Karre, Korb u. dgl.) des zugeführten Brennstoffes wird eine Schaufel voll in ein mit einem Deckel versehenes Gefäß geworfen. Sofort nach Beendigung des Verdampfungsversuches wird der Inhalt des Gefäßes zerkleinert, gemischt, quadratisch ausgebreitet und durch die beiden Diagonalen in 4 Teile geteilt. Zwei gegenüberliegende Teile werden fortgenommen, die beiden anderen wieder zerkleinert, gemischt

und geteilt. In dieser Weise wird fortgefahren, bis eine Probenmenge von etwa 10 kg übrig bleibt, welche in gut verschlossenen Gefäßen zur Untersuchung gebracht wird.“

Wenn das Gewicht der Herdrückstände mehr als 5% des Kohlegewichtes 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 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.

Beispiel: Bei einem Verdampfungsversuch wurden in 6 Stunden 26 Minuten 464,3 kg Kohle verheizt und 4200 kg Wasser verdampft. Die Brutto-Verdampfungs-ziffer beträgt

$$x = \frac{4200}{464,3} = 9,05; \text{ das Gewicht der Rückstände betrug}$$

17,0 kg = $\frac{17 \cdot 100}{464,3} = 3,66\%$ der verheizten Kohlenmenge, also weniger als 5%. Da die Rückstände augenscheinlich viel Verbrennliches enthielten, entnahm man denselben eine Probe (Ergebnisse siehe im 3. Abschnitt).

Unter Normaldampf versteht man Dampf von 100° (= 1 atm abs), der aus Wasser von 0° erzeugt wurde. Die Erzeugungswärme für 1 kg Normaldampf beträgt $\lambda_n = 639,3$ WE.

Für gesättigten, aus Wasser von 0° erzeugten Dampf kann die entsprechende Erzeugungswärme λ_s der folgenden Zahlentafel¹⁾ (S. 59) entnommen werden. Weil aber 1 kg Speisewasser von τ° C für je 1° C 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

¹⁾ Z. T. nach Fiegner, z. T. nach Mollier (mit Interpolationen).

zur Erwärmung des Speisewassers von 0° auf τ° erforderlich waren; die in Rechnung zu setzende Erzeugungswärme ist also

$$\lambda = \lambda_s - \tau.$$

Zahlentafel für gesättigte Wasserdämpfe.

Dampfspannung		Temperatur t in °C	Wärmeinhalt		Spez. Volumen v in cbm für 1 kg	γ Gewicht von 1 cbm Dampf in kg	Spez. Wärme an der Grenz- kurve c _p
P in Atmo- sphären abs. = 1 kg auf 1 qcm	in Millimeter Queck- silbersäule		der Flüssig- keit q	des Dampfes $\lambda_s =$ q + ρ + Apu			
0,1	73,6	45,6	45,7	616,0	14,8900	0,067	0,481
0,2	147,1	59,8	59,9	622,4	7,7360	0,129	0,484
0,3	220,7	68,7	68,9	626,4	5,2810	0,189	0,487
0,4	294,2	75,5	75,7	629,4	4,0290	0,248	0,490
0,5	367,8	80,9	81,2	631,7	3,2670	0,306	0,492
0,6	441,3	85,5	85,8	633,7	2,7520	0,363	0,494
0,7	514,9	89,5	89,8	635,3	2,3810	0,420	0,496
0,8	588,4	93,0	93,4	636,8	2,0990	0,476	0,498
0,9	662,0	96,2	96,6	638,1	1,8790	0,532	0,499
1,0	735,5	99,1	99,6	639,3	1,7010	0,588	0,501
1,1	809,1	101,8	102,3	640,7	1,5570	0,643	0,503
1,2	882,6	104,2	104,8	641,3	1,4340	0,697	0,504
1,3	956,2	106,6	107,1	642,2	1,3300	0,752	0,506
1,4	1 030	108,7	109,3	643,1	1,2410	0,806	0,507
1,5	1 103	110,8	111,4	663,9	1,1630	0,860	0,509
1,6	1 177	112,7	113,4	644,7	1,0950	0,914	0,510
1,7	1 250	114,5	115,3	645,4	1,0340	0,967	0,512
1,8	1 324	116,3	117,0	646,0	0,9800	1,020	0,513
1,9	1 398	118,0	118,8	646,6	0,9313	1,070	0,515
2,0	1 471	119,6	120,4	647,2	0,8877	1,130	0,516
2,5	1 839	126,7	127,7	649,9	0,7198	1,390	0,521
3,0	2 207	132,8	133,9	652,0	0,6066	1,650	0,526
3,5	2 574	138,1	139,3	653,8	0,5248	1,910	0,531
4,0	2 942	142,8	144,1	655,4	0,4630	2,160	0,536
4,5	3 310	147,1	148,5	656,8	0,4145	2,410	0,541
5,0	3 678	151,0	152,5	658,1	0,3754	2,660	0,546
5,5	4 045	154,6	156,2	659,2	0,3433	2,910	0,550
6,0	4 413	157,9	159,6	660,2	0,3164	3,160	0,554
6,5	4 781	161,1	162,9	661,1	0,2934	3,410	0,558
7,0	5 149	164,0	165,9	662,0	0,2737	3,650	0,561
7,5	5 516	166,8	168,8	662,8	0,2565	3,900	0,565
8,0	5 884	169,5	171,5	663,5	0,2415	4,140	0,568
8,5	6 252	172,0	174,1	664,2	0,2281	4,380	0,572
9,0	6 620	174,4	176,6	664,9	0,2162	4,630	0,575
9,5	6 987	176,7	179,0	665,5	0,2055	4,870	0,578
10,0	7 355	178,9	181,2	666,1	0,1958	5,110	0,581

(Fortsetzung nächste Seite).

(Fortsetzung der Zahlentafel).

Dampfspannung		Temperatur t in °C	Wärmeinhalt		Spez. Volumen v in cbm für 1 kg	γ Gewicht von 1 cbm Dampf in kg	Spez. Wärme an der Grenz- kurve c_p
P in Atmo- sphären abs. = 1 kg auf 1 qcm	in Millimeter Queck- silbersäule		der Flüssig- keit q	des Dampfes $\lambda_s =$ $q + \rho + A_{pu}$			
10,5	7 723	181,0	183,4	666,6	0,1870	5,350	0,585
11,0	8 091	183,1	185,6	667,1	0,1791	5,590	0,588
11,5	8 458	185,0	187,6	667,6	0,1717	5,820	0,591
12,0	8 826	186,9	189,6	668,1	0,1650	6,060	0,593
13,0	9 562	190,6	193,4	668,9	0,1531	6,530	0,598
14,0	10 300	194,0	196,9	669,7	0,1428	7,000	0,603
15,0	11 030	197,2	200,3	670,5	0,1338	7,470	0,608
16,0	11 770	200,3	203,5	671,2	0,1295	7,720	0,614
17,0	12 500	203,2	206,6	671,8	0,1223	8,180	0,619
18,0	13 240	206,1	209,5	672,4	0,1159	8,630	0,623
19,0	13 980	208,8	212,3	672,9	0,1102	9,080	0,628
20,0	14 710	211,3	215,1	673,4	0,1049	9,530	0,632

Beispiel: Bei dem oben genannten Verdampfungsversuch betrug der mittlere Dampfüberdruck 10,9 atm, die Temperatur des Speisewassers 50,5° C; wie groß ist die Erzeugungswärme für 1 kg Dampf? Die Manometer geben stets den Dampfdruck als das den atmosphärischen Druck übersteigende Maß an; der Dampftabelle ist jedoch der absolute Druck, also Überdruck + 1 atm zugrunde gelegt.

Für den absoluten Druck 11,9 atm. beträgt demnach

$$\lambda_s = 668,1 \text{ WE und}$$

$$\lambda = \lambda_s - \tau = 668,1 - 50,5 = 617,6 \text{ WE.}$$

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 Schlabberwasser 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 ein derartiger Vorwärmer angebracht, und es wäre deshalb ein grober 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 Überhitzungswärme²⁾ zu addieren. Die Berechnung der gesamten Erzeugungswärme erfolgt ebenso wie die Berechnung des auf Wasser von 0° bezogenen Wärmeinhaltes von 1 kg Heißdampf, nur muß natürlich die Speisewassertemperatur abgezogen werden.

Beispiel: Bei unserem Verdampfungsversuch wurde die mittlere Dampftemperatur zu 232° C festgestellt; die Erzeugungswärme beträgt demnach

$$\lambda = 617,6 + (232 - 186,5) \cdot 0,557 = 617,6 + 25,3 = 642,9 \\ \sim 643 \text{ WE.}$$

Die auf Normaldampf bezogene Verdampfungsziffer x_n berechnet sich nach dem Ansatz:

bei	λ	WE	Erzeugungswärme	ist die	Verdampfungsziffer	x ,
„	1	„	„	„	„	$x \lambda$,
„	639	„	„	„	„	$\frac{x \cdot \lambda}{639}$

$$\text{zu } x_n = \frac{x \cdot \lambda}{639}.$$

$$\text{Beispiel: } x_n = \frac{9,05 \cdot 643}{639} = 9,11.$$

Das Produkt $x \cdot \lambda$ ist zugleich die von 1 kg Kohle nutzbar gemachte Wärmemenge; denn für die Erzeugung von je

¹⁾ S. 64.

²⁾ S. 46.

1 kg Dampf 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.

Zweiter Abschnitt.

Die stündliche Dampfleistung auf 1 qm Heizfläche und die stündliche Rostbeanspruchung auf 1 qm Rostfläche.

Bezeichnet man die Kesselheizfläche mit H qm und die Versuchsdauer mit a Std., so beträgt die

$$\text{stündliche Dampfleistung } \frac{D}{a \cdot H} \text{ kg/qm.}$$

Beispiel: Unser Versuchskessel hatte eine Heizfläche von 53,0 qm; beim Versuch, der 6 Std. 26 Min. = 6,43 Std. dauerte, betrug demnach die

$$\text{stündliche Dampfleistung } \frac{4200}{6,43 \cdot 53,0} = 12,3 \text{ kg/qm.}$$

Die normalen Dampfleistungen für die hauptsächlichsten Kesselsysteme enthält folgende Zusammenstellung:

Mehrfacher Walzenkessel . .	12 ÷ 16 kg,
Flammrohrkessel	16 ÷ 20 „
Heizrohrkessel	10 ÷ 15 „
Wasserrohrkessel	15 ÷ 25 „
Lokomobilkessel	10 ÷ 15 „
Doppelkessel	10 ÷ 13 „

Als Kesselheizfläche gilt derjenige Teil der Kesseloberfläche, der einerseits von den Heizgasen, andererseits von Wasser bespült ist; die Heizfläche ist auf der Feuerseite zu messen.

Bezeichnet man die gesamte Rostfläche mit R , so beträgt die

$$\text{stündliche Rostbeanspruchung } \frac{K}{a \cdot R} \text{ kg/qm;}$$

diese Ziffer wird auch Brenngeschwindigkeit genannt.

Beispiel: Unser Versuchskessel hatte eine Rostfläche von 0,70 qm, demnach betrug die

$$\text{Brenngeschwindigkeit} \frac{464,3}{6,43 \cdot 0,70} = 103,1 \text{ kg/qm.}$$

Für Steinkohle beträgt die normale Brenngeschwindigkeit etwa 80—100 kg/qm, je nach der verfügbaren Zugstärke und nach der Neigung der Kohle zur Bildung von Schlacken; für Braunkohle liegt die normale Brenngeschwindigkeit zwischen 100 und 200 kg/qm.

Als Rostfläche ist beim Planrost das Produkt aus Rostlänge mal Rostbreite, beim Schräg- und Stufenrost das Produkt aus Rostbreite mal der Länge des geneigten Teiles einzusetzen, etwaige Schweelplatten gehören nicht zur Rostfläche.

Dritter Abschnitt.

Berechnung der Wärmeausnutzung und der Wärmeverluste.

Unter Wärmeausnutzung versteht man das Verhältnis der von 1 kg Kohle zur Dampferzeugung (und Dampfüberhitzung) nutzbar gemachten Wärmemenge zum Heizwert der Kohle. Bezeichnet man die rohe Verdampfungsziffer mit x , die Erzeugungswärme mit λ und den Heizwert mit W , dann ist mit Beziehung auf S. 61 (unten) die

$$\text{Wärmeausnutzung } \eta = \frac{\lambda \cdot x}{W}.$$

Beispiel: Bei unserem Versuch wurde Ruhr-Stückkohle von der Zeche Mathias Stinnes verheizt, deren Heizwert 7726 WE betrug, demnach berechnet sich die Wärmeausnutzung zu

$$\eta = \frac{x \cdot \lambda}{W} = \frac{9,05 \cdot 643}{7726} = \frac{5819}{7726} = 0,753 \text{ oder } 75,3 \%.$$

Die Wärmeausnutzung soll bei guter Kohle nicht unter 70% betragen.

Die Wärmeverluste sind folgende:

- a) Verluste durch Verbrennliches in den Herdrückständen,
- b) „ „ die in den Abgasen enthaltene Wärme,
- c) „ „ Strahlung, Leitung, Ruß und unverbrannte Gase (Restverlust).

Man berechnet diese Verluste für 1 kg verheizte Kohle und stellt sie mit der nutzbar gemachten Wärme in einer sog. Wärme bilanz zusammen.

a) Verluste durch Verbrennliches in den Herdrückständen.

Betragen die trocken gewogenen Herdrückstände $p\%$ von der verheizten Kohlenmenge und enthalten die Herdrückstände in trockenem Zustand $q\%$ reinen Kohlenstoff, dessen Heizwert stets zu 8100 WE angenommen wird, so ist der auf 1 kg Kohle bezogene Verlust

$$V_h = \frac{p}{100} \cdot \frac{q}{100} \cdot 8100 \text{ WE.}$$

Dividiert man V_h durch den Heizwert der verheizten Kohle, so erhält man den prozentualen Anteil dieses Verlustes an der Gesamtwärmemenge.

Beispiel: Bei unserem Versuch betragen die Rückstände $p = 3,66\%$ von der verheizten Kohlenmenge; nach der chemischen Analyse enthielten sie $q = 67,03\%$ Kohlenstoff; daher berechnet sich der Verlust V_h zu

$$V_h = \frac{3,66}{100} \cdot \frac{67,03}{100} \cdot 8100 = 0,0366 \cdot 0,6703 \cdot 8100 = 199 \text{ WE}$$

oder
$$V_h = \frac{199}{7726} = 0,026 = 2,6\%.$$

Rechnungsgang bei feuchten Rückständen.

Fall 1. Die Rückstände sind trocken gewogen und wurden feucht untersucht. Das Ergebnis sei beispielsweise folgendes:

Kohlenstoff	46,37%
Reinasche	29,86 „
Wasser	23,77 „
	100,00%.

Der Kohlenstoffgehalt der trockenen Rückstände berechnet sich nach dem Ansatz:

100 - 23,77 = 76,23 Teile trockene Rückstände enthalten
 46,37 Teile Kohlenstoff, 1 Teil trockene Rückstände enthält
 $\frac{46,37}{76,23}$ Teile Kohlenstoff, 100 Teile trockene Rückstände enthalten
 $\frac{46,37}{76,23} \cdot 100$ Teile Kohlenstoff, zu:

$$q = \frac{46,37}{76,23} \cdot 100 = 60,8 \%$$

diese Zahl ist in den Ausdruck für V_h einzuführen.

Fall 2. Die Rückstände sind feucht gewogen und unter Beobachtung der im 1. Abschnitt angegebenen Vorsichtsmaßregeln untersucht worden; das Ergebnis sei wieder folgendes:

Kohlenstoff	46,37 %
Reinasche.	29,86 % .
Wasser	23,77 %.

Ferner betrage das Gewicht der feuchten Rückstände 6,73% von der verheizten Kohlenmenge. Von diesen 6,73 % sind jedoch 23,77 % Wasser; also beträgt die Menge der Rückstände, die ja in trockenem Zustand aus dem Feuer gezogen wurden, nur

$$p = 6,73 - \frac{6,73 \cdot 23,77}{100} = 6,73 - 1,60 = 5,13 \%$$

außerdem ist wie oben

$$q = \frac{46,37}{76,23} \cdot 100 = 60,8 \%$$

in die Rechnung einzuführen; demnach erhält man

$$V_h = 0,0513 \cdot 0,608 \cdot 8100 = 252 \text{ WE.}$$

Bemerkung: Will man nur den Verlust berechnen und nicht auch das Verhältnis der Herdrückstände in trockenem Zustand zur verheizten Kohlenmenge, so kann man (aber nur im Fall 2) die für feuchte Rückstände ermittelten Zahlen für p und q in die Formel für V_h einsetzen; in unserm Beispiel wird

$$V_h = 0,0673 \cdot 0,4637 \cdot 8100 = 252 \text{ WE (wie oben).}$$

b) Verlust durch die in den Abgasen enthaltene Wärme.

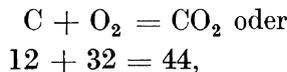
Dieser Verlust ist bei den meisten Kesselanlagen der größte und läßt sich bei unwirtschaftlich arbeitenden Kesseln durch geeignete Maßnahmen vermindern; seine Größe erhält man, wenn

man die von 1 kg Kohle erzeugte Rauchgasmenge mit ihrer spezifischen Wärme und dem Temperaturüberschuß der Abgase gegenüber der zugeführten Luft multipliziert. Um die von 1 kg Kohle erzeugte Rauchgasmenge annähernd zu berechnen, sei nachstehende Betrachtung angestellt. Die Kohle enthalte

C % Kohlenstoff,
 H „ Wasserstoff,
 (O + N) „ Sauerstoff + Stickstoff,
 S „ Schwefel,
 A „ Asche und
 W „ Wasser.

Von diesen Bestandteilen kommen nur C, H und W in Frage, während O, N und S vernachlässigt werden können.

In reinem Sauerstoff würde der Kohlenstoff zu Kohlensäure verbrennen nach der Gleichung



d. h. aus 1 kg Kohlenstoff entstehen $\frac{44}{12} = 3,667$ kg Kohlensäure; mit dem spezifischen Gewicht 1,977 für 1 cbm Kohlensäure bei 0° und 760 mm Barometerstand ergeben sich aus

$$1 \text{ kg Kohlenstoff } \frac{3,667}{1,977} = \frac{1}{0,536} \text{ cbm CO}_2,$$

folglich geben C % Kohlenstoff $\frac{1}{0,536} \cdot \frac{C}{100}$ cbm CO₂.

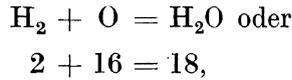
Die Verbrennung erfolgt jedoch in atmosphärischer Luft, und zwar mit Luftüberschuß, deshalb enthalten die Heizgase auch Stickstoff und Sauerstoff; durch die Untersuchung der Heizgase sei deren Kohlensäuregehalt zu k % ermittelt worden. Die aus C % Kohlenstoff erzeugte Heizgasmenge G (cbm) berechnet sich dann aus der Proportion:

$$\left(\frac{1}{0,536} \cdot \frac{C}{100} \right) : G = k : 100,$$

hieraus

$$G = \frac{C}{0,536 \cdot k} \text{ cbm (bei 0° und 760 mm).}$$

Der Wasserstoff verbrennt nach der Gleichung



d. h. 1 kg Wasserstoff erzeugt $\frac{18}{2} = 9$ kg Wasserdampf, also geben

H % Wasserstoff $\frac{9 \text{ H}}{100}$ kg Wasserdampf; dazu kommt noch das ursprünglich in der Kohle vorhandene Wasser (W %), das ebenfalls als Wasserdampf in den Rauchgasen erscheint; also gibt

$$\begin{aligned} 1 \text{ kg Kohle } &\frac{\text{C}}{0,536 \cdot k} \text{ cbm Rauchgas und} \\ &\frac{9 \text{ H} + \text{W}}{100} \text{ kg Wasserdampf.} \end{aligned}$$

Nimmt man die mittlere spezifische Wärme des Rauchgases zu 0,32 für 1 cbm und des Wasserdampfes zu 0,48 für 1 kg an, hat man ferner die Temperatur der abziehenden Heizgase zu T und die der zugeführten Luft zu t festgestellt, so erhält man als Verlust durch die Abgase (Schornsteinverlust)

$$V_s = \left(0,32 \frac{\text{C}}{0,536 \cdot k} + 0,48 \frac{9 \text{ H} + \text{W}}{100} \right) (\text{T} - t).$$

Die Verwendung dieser Formel kann jedoch bei sehr schwankendem Kohlensäuregehalt zu unrichtigen Ergebnissen führen; man verwendet dann besser die hieraus abgeleitete Formel¹⁾

$$V_s = \frac{0,32}{0,536} \cdot \frac{\text{C} \Sigma \frac{\text{T} - t}{k}}{n} + 0,48 \frac{9 \text{ H} + \text{W}}{100} (\text{T} - t);$$

wobei der Quotient $\frac{\text{T} - t}{k}$ für jede einzelne Beobachtung zu berechnen und dann, wie das Zeichen Σ andeutet, die Summe dieser Einzelwerte einzusetzen ist; n bedeutet die Anzahl der Beobachtungen.

¹⁾ Zeitschrift des Bayer. Revisions-Vereines, 1902 S. 25.

Siegertsche Formel: Für überschlägige Rechnungen kann man auch die Formel

$$V_s' = \frac{T - t}{k} \cdot 0,65$$

verwenden, wodurch man jedoch den Schornsteinverlust nicht in WE, sondern gleich in Prozenten des Kohlenheizwertes erhält, ohne letzteren zu kennen. Diese Formel liefert für Kohlen unter 10 % Wassergehalt brauchbare Werte, für Kohlen mit höherem Wassergehalt ist sie nicht zu empfehlen.

Die Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der Heizgase wird mittels des

Orsatschen Apparates,

der in Abb. 36 schematisch dargestellt ist, in folgender Weise durchgeführt. Man saugt unter Wasserabschluß 100 Raumteile

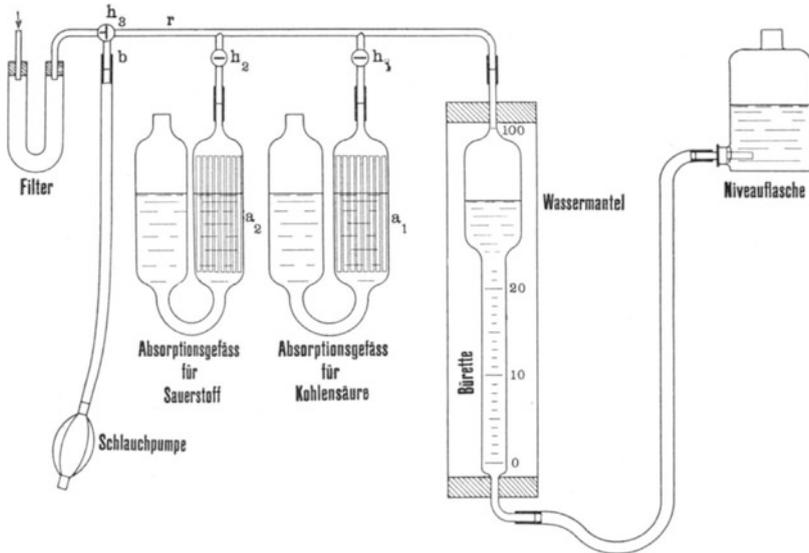


Abb. 36.

Rauchgas in eine in 100stel geteilte Bürette, leitet die angesaugte Gasmenge in ein mit Kalilauge (Ätzkali in Wasser: $K_2O + H_2O = 2 KOH$) gefülltes Absorptionsgefäß; die Kalilauge absorbiert die Kohlensäure nach der Gleichung:



hierauf leitet man das Gas in die Bürette zurück. Die Volumabnahme in 100stel ist gleich dem Kohlensäuregehalt des Rauch-

gases in Prozenten. Leitet man nach dieser Absorption das Gas mehrmals in ein zweites, mit einer Mischung von Kalilauge und Pyrogallussäure ($C_6H_3(OH)_3$) gefülltes Gefäß, so wird durch diese Lösung der Sauerstoff absorbiert, und die nach Zurückleitung des Gases in die Bürette festgestellte weitere Volumabnahme ist der Sauerstoffgehalt des Rauchgases. Die Bürette ist zum Schutz gegen Temperaturschwankungen mit einem Wassermantel umgeben, der jedoch nicht unbedingt erforderlich ist.

Handhabung des O r s a t apparatus.

I. Füllen der Absorptionsgefäße. Die Gefäße a_1 und a_2 werden bei geöffneten Hähnen h_1 und h_2 mittels eines Glas-trichters mit den Absorptionsflüssigkeiten bis etwa $\frac{2}{3}$ ihrer Höhe gefüllt, hierauf wird die Niveauflasche mit Wasser gefüllt und mittels eines etwa 70 cm langen Gummischlauches mit dem unteren Ende der Bürette verbunden. Dann schließt man die Hähne h_1 und h_2 , füllt die Bürette durch Hochheben der Niveauflasche bis zur oberen Marke mit Wasser und stellt hierauf den Dreiwegehahn h_3 so, daß die Kapillarröhre r abgeschlossen ist. Durch Öffnen des Hahnes h_1 und langsames Senken der Niveauflasche zieht man die Kalilauge im Gefäß a_1 nach oben bis zum Hahn h_1 , welcher dann geschlossen wird. Durch Wiederholung dieses Verfahrens zieht man den Inhalt des Gefäßes a_2 ebenfalls nach oben bis zum Hahn.



Abb. 37.

II. Absaugen des Gases. In den letzten Feuerzeug vor dem Rauchschieber steckt man ein oben zugespitztes $\frac{3}{8}$ '' Gasrohr so ein, daß das untere Ende etwa in die Mitte des Gasstromes kommt. Das obere Ende verbindet man durch einen Gummischlauch mit dem Filter des Apparates. Um auch diesen Schlauch vor Verrußung zu schützen, kann man ein nach Abb. 37 aus Messingblech hergestelltes und mit Watte gefülltes Filter einschalten. Der Verbindungsschlauch ist vor der Ausführung jeder Gasanalyse mit frischem Gas zu füllen, was auf 2 Arten geschehen kann:

1. man stellt den Dreiwegehahn so, daß er das Filter mit dem Stutzen b verbindet, und schließt an den Stutzen b eine Absaugevorrichtung an, z. B. eine Schlauchpumpe;
2. man stellt nach dem Füllen der Bürette mit Wasser den Hahn h_3 so, daß er das Filter mit dem Rohr r verbindet und den Stutzen b abschließt, und saugt das Gas durch

Senken der Niveauflasche in die Bürette. Hierauf verbindet man durch Drehen des Hahnes h_3 die Röhre mit dem frei ausmündenden Stutzen b und treibt das Gas durch Heben der Niveauflasche wieder aus. Durch mehrmalige Wiederholung dieses Verfahrens läßt sich eine genügende Gasmenge ansaugen.

III. Entnahme der Gasprobe. Hat man genügend Gas durch den Verbindungsschlauch des Apparates mit dem Kessel hindurchgesaugt, dann füllt man die Bürette nach dem unter II. 2. angegebenen Verfahren bis etwas unter die unterste Marke mit frischem Gas, schließt den Hahn h_3 und untersucht durch Gleichstellen des Wasserspiegels der Niveauflasche und der Bürette, ob letzterer genau auf die unterste Marke einspielt. Steht der Wasserspiegel in der Bürette tiefer, dann drückt man den Überschuß nach Drehen des Hahnes h_3 durch den Stutzen b hinaus; steht er höher, dann muß nach entsprechender Hahnstellung bei h_3 noch etwas Gas hereingesaugt werden; nun schließt man mit dem Hahn h_3 die Röhre r ab.

IV. Ausführung der Gasanalyse. Man öffnet den Hahn h_1 und treibt die Gasprobe durch langsames Heben der Niveauflasche in das mit Kalilauge gefüllte Gefäß, das zur Vergrößerung der absorbierenden Oberfläche mit Glasröhrchen gefüllt ist, bis der Wasserspiegel in der Bürette an der obersten Marke angelangt ist; hierauf wird die Niveauflasche gesenkt, dadurch das Gas wieder in die Bürette zurückgeleitet und die Absorptionsflüssigkeit wieder bis zum Hahn emporgezogen, welcher dann geschlossen wird. Dieses Verfahren ist der Sicherheit wegen zu wiederholen. Dann stellt man in der Bürette atmosphärischen Druck her, indem man die Niveauflasche so weit hebt, daß die Wasserspiegel in der Flasche und in der Bürette in dieselbe Ebene kommen, und liest den Wasserstand in der Bürette ab, der unmittelbar den Kohlensäuregehalt der Gasprobe in Volum-Prozenten angibt.

In der gleichen Weise erfolgt die Bestimmung des Sauerstoffgehaltes, nur muß man wegen der trägeren Wirkung der Pyrogallussäure die Absorption 5–10 mal wiederholen. Manche Apparate enthalten ein drittes Absorptionsgefäß zur Bestimmung des Kohlenoxydgehaltes, der sich jedoch infolge seines meistens geringen Betrages mit dem Orsatapparat nicht genügend zuverlässig ermitteln läßt.

V. Dichtheitsprüfung des Apparates und der Schlauchleitung. Man klemmt den Schlauch unmittelbar

hinter dem Entnahmerohr zu, stellt den Dreiwegehahn h_3 so, daß er das Filter mit dem Rohr r verbindet und den Stutzen b abschließt und hebt die Niveauflasche. Der Wasserspiegel in der Bürette wird etwas steigen und muß, wenn man die Flasche in einer bestimmten Höhe festhält, stehen bleiben. Steigt der Wasserspiegel langsam weiter, so ist eine Undichtheit vorhanden, die vor der Ausführung der Analysen zu beseitigen ist.

VI. Herstellung der Lösungen. Man löst etwa 60 g (6 Stängchen) Ätzkali in der für die Füllung eines Gefäßes erforderlichen Wassermenge auf. Diese Lösung ist haltbar und kann während mehrerer Versuchstage verwendet werden. Absorbiert sie nicht mehr genügend, d. h. beobachtet man, daß sie nach 2 maligem Einleiten derselben Gasprobe bei einer dritten Überleitung noch weiter CO_2 aufnimmt, so wird sie verstärkt. Wird sie sehr trübe, dann ist sie zu erneuern. In eine gleiche Lösung bringt man soviel pulverförmige Pyrogallussäure, daß sie sich ganz dunkelrot färbt. Ob die Lösung, die man vor der Ausführung von Analysen erst erkalten lassen muß, genügend konzentriert ist, erkennt man daran, daß der Apparat bei der Untersuchung von atmosphärischer Luft nach 10–15 maliger Absorption etwa 21 % Sauerstoff angeben muß. Diese Lösung verdirbt durch Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft und ist bei längerem Versuchen spätestens jeden zweiten Tag zu erneuern.

VII. Pflege des Apparates. Die empfindlichsten Teile sind die eingeschliffenen Glashähne, welche bei unvorsichtiger Behandlung, besonders in staubigen Kesselräumen, sich leicht so festsetzen können, daß sie durch kein Mittel wieder gangbar werden. Deshalb sind sie am Schluß jedes Versuchstages ebenso wie die Hahngehäuse mit reiner Putzwolle zu reinigen und mit einem Schmiermittel leicht einzufetten, das man durch Zusammenschmelzen von gleichen Teilen Talg und Vaseline bereitet.

Allgemeines.

Der Kohlensäuregehalt soll bei guter Kohle unter normalen Verbrennungsbedingungen etwa $10 \div 12$ % betragen. Enthalten die Heizgase erheblich weniger als 10 % CO_2 , dann arbeitet die Feuerung mit zu großem Luftüberschuß, der durch Beschränkung des Zuges oder auch Verkleinerung des Rostes zu vermindern ist. Beträgt der CO_2 -Gehalt wesentlich mehr als 12 %, so liegt die Möglichkeit vor, daß die zugeführte Luftmenge zu gering ist, also die Abgase Unverbranntes enthalten und Rauchbildung

eintritt. Im allgemeinen muß eine gasreiche Kohle mit größerem Luftüberschuß verheizt werden als eine gasarme.

Beispiel zur Berechnung des Schornsteinverlustes. Bei unserem Versuch wurde folgendes ermittelt: Kohlensäuregehalt der Heizgase 11,5 %, Abgangstemperatur derselben 211° C, Lufttemperatur 15° C.; die Kohle enthielt 80,22 % Kohlenstoff, 4,92 % Wasserstoff und 2,34 % Wasser, demnach beträgt der Schornsteinverlust:

$$V_s = \left(0,32 \cdot \frac{80,22}{0,536 \cdot 11,5} + 0,48 \frac{9 \cdot 4,92 + 2,34}{100} \right) (211 - 15) \\ = 860 \text{ WE}$$

oder auf den Heizwert 7726 bezogen

$$V_s' = \frac{860}{7726} = 0,111 = 11,1\%$$

Nach der Siegertschen Formel erhält man

$$V_s' = \frac{211 - 15}{11,5} \cdot 0,65 = 11,1\% \text{ (wie oben).}$$

Selbsttätige Apparate zur Bestimmung und Aufzeichnung des CO₂-Gehaltes. Diese Apparate eignen sich weniger als Hilfsmittel bei der Ausführung von Verdampfungsversuchen, sondern mehr als Instrumente zur Betriebskontrolle. Sie lassen sich in zwei Gruppen einteilen: Die erste Gruppe umfaßt solche Apparate, welche, wie der Orsatapparat, den CO₂-Gehalt durch Absorption in Kalilauge ermitteln. Das Absorptionsgefäß ist mit einem Schreibzeug verbunden, welches das Ergebnis jeder Absorption auf einem mit wagerechten Teillinien versehenen Diagrammblatt in Form eines senkrechten Striches aufzeichnet; das Diagrammblatt wird auf den Mantel einer durch Uhrwerk bewegten Trommel gezogen. Das Absaugen des Gases, die Überführung zum Absorptionsgefäß usw. werden entweder durch die Zugwirkung des Schornsteines oder mittels Wassers bewirkt. Ein bei sorgfältiger Bedienung recht zuverlässiger Apparat ist der „Ados“-Apparat¹⁾ der Gesellschaft Ados in Aachen. Die zweite Gruppe der selbsttätigen Apparate benutzt die Verschiedenheit des spezifischen Gewichtes von Luft und Rauchgas zur Anzeigung des CO₂-Gehaltes; da die Kohlensäure das ver-

¹⁾ Prüfungsergebnisse: Zeitschrift des Bayer. Revisions-Vereines 1901 S. 82.

hältnismäßig hohe spezifische Gewicht 1,977 kg/cbm besitzt, ist das Rauchgas um so schwerer, je mehr Kohlendensäure es enthält. Schließt man daher an eine mit schwarz gefärbtem Alkohol gefüllte Dose eine schräg ansteigende, mit Skala versehene Glasröhre an, und versieht man sowohl das Ende der Glasröhre als auch die Dose mit einem entsprechend hohen Rohr, von denen das erste Luft, das zweite das zu untersuchende Gas enthält, dann wird sich je nach dem CO₂-Gehalt der Flüssigkeitsspiegel verschieden hoch einstellen. Nach diesem Grundsatz ist der Krellsche Apparat¹⁾ gebaut, der den CO₂-Gehalt auf photographischem Wege aufzeichnet.

c) Der Verlust durch Strahlung, Leitung, Ruß und unverbrannte Gase

heißt Restverlust und wird als Differenz:

$$\text{Heizwert} - (\text{nutzbare Wärme} + \text{Herdverlust} + \text{Schornsteinverlust})$$

berechnet. Er soll bei guter Einmauerung, normaler Beanspruchung und guter Verbrennung höchstens 10–12 % des Kohlenheizwertes betragen.

In unserem Beispiel betrug

die nutzbare Wärme	75,3%	
der Herdverlust	2,6 „	
der Schornsteinverlust	11,1 „	folglich der
Restverlust	11,0 „	
	100,0%.	

Die Zusammenstellung der nutzbar gemachten Wärme und der Wärmeverluste nennt man Wärmebilanz.

Sonstige Messungen. Die Temperatur der Abgase wird an derselben Stelle, an der die Gasproben entnommen werden, mittels eines hochgradigen, mit Stickstofffüllung versehenen Quecksilberthermometers gemessen. Diese Thermometer, welche zweckmäßig mit einer kräftigen Messinghülse versehen werden, reichen bis 550° aus. Es empfiehlt sich, stets solche Thermometer zu beschaffen, deren Nullpunkt sichtbar ist, damit er jederzeit geprüft werden kann. Andere Thermometer, deren Wirkung auf der Ausdehnung fester Körper beruht, und welche jedoch nicht zer-

¹⁾ Verfertiger: G. A. Schultze, Charlottenburg.

brechlich und zugleich bequemer ablesbar sind, müssen öfter mit einem Quecksilberthermometer verglichen werden. Höhere Temperaturen, z. B. am Flammrohrende oder hinter der Feuerbrücke, mißt man hinreichend genau mit einem elektrischen Pyrometer. Es werden zwei genügend hitzebeständige Metalldrähte, z. B. Platin und Platinrhodium, an einem Ende zusammen gelötet und der Länge nach durch Asbest oder Porzellan voneinander isoliert; die freien Enden führt man zu einem empfindlichen Milli-Instrument. Wird die Lötstelle dorthin gebracht, wo man die Temperatur messen will, dann entsteht ein Thermostrom, der sich als Ausschlag des Instrumentenzeigers bemerkbar macht. Die Skala des Le-Chatelier-Pyrometers¹⁾ reicht bis 1600°. Temperaturen bis etwa 300° können in derselben Weise mit einem sehr billigen Kupfer-Konstantan-Element bestimmt werden; die Skala ist durch Vergleich mit einem Quecksilberthermometer im Ölbad zu eichen.

Zur Ermittlung der Zugstärke bringt man ein zweites Gasrohr an die Gas-Entnahmestelle und verbindet es durch einen Gummischlauch mit einem Zugmesser. Ein sehr einfacher und zuverlässiger Zugmesser ist in Abb. 38 dargestellt. Er besteht aus einem auf einem Holzbrettchen befestigten, U-förmig gebogenen Glasröhrchen, hinter welchem eine Millimeterskala auf das Brettchen aufgeklebt ist. Das Röhrchen wird halb mit Wasser gefüllt, das man durch Auflösung eines Körnchens Fuchsin besser sichtbar machen kann; vor dem Anschluß an den Gummischlauch macht man das Brettchen so fest, daß die beiden Wasserspiegel auf eine Linie fallen. Die Ablesung wird erleichtert, wenn die Einteilung der Skala

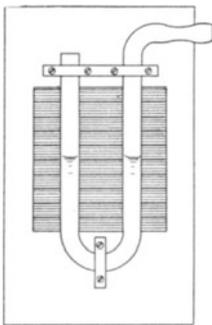


Abb. 38.

von 0 mm an mit Ziffern bezeichnet und das U-Röhrchen verschiebbar angeordnet wird. Alle anderen im Handel befindlichen Zugmesser sind wohl bequemer abzulesen, doch empfiehlt es sich, ihre Angaben von Zeit zu Zeit mit denen dieses einfachen Wassermanometers zu vergleichen.

Diese einfachen Zugmesser geben den Druckunterschied der Heizgase an der zu messenden Stelle gegenüber der Atmosphäre an, lassen aber keinen Schluß auf die Geschwindigkeit der Heizgase, oder mit anderen Worten auf die Beanspruchung des

¹⁾ Keiser & Schmidt, Berlin.

Kessels ziehen. Dieser Satz läßt sich durch folgende Versuche nachweisen.

1. Schließt man den Rauchschieber hinter dem Zugmesser, dann wird die Rauchgasgeschwindigkeit zu Null und die Flüssigkeit in beiden Schenkeln des Zugmessers stellt sich gleich hoch ein.
2. Öffnet man den Rauchschieber wieder und schließt man die Aschenklappe des Feuergeschränkes, dann wird die Rauchgasgeschwindigkeit ebenfalls zu Null, aber der Zugmesser zeigt die größte sog. statische Zugstärke des Schornsteins an.
3. Stellt man Schieber und Aschenklappe normal und öffnet man den Schieber weiter, dann ziehen zweifellos mehr Heizgase durch die Züge, die Wassersäule des Zugmessers nimmt zu.
4. Öffnet man bei normaler Stellung von Schieber und Aschenklappe die Feuertür, dann werden ebenfalls mehr Gase durchziehen, die Wassersäule des Zugmessers wird aber kleiner werden.

Dieselben Veränderungen der Rauchgasgeschwindigkeit, auf verschiedene Art vorgenommen, äußern also verschiedene Wirkungen auf einen gewöhnlichen Zugmesser.

Der Widerstand, den die Luft bzw. die Heizgase zu überwinden haben, setzt sich zusammen aus dem Rostwiderstand und dem Widerstand in den Feuerzügen und im Schornstein. Die Zugstärke an jeder Stelle der Feuerzüge ist gleich der sta-

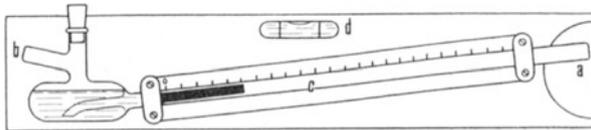


Abb. 39.

tischen Zugstärke vermindert um die Heizgaswiderstände von der Maßstelle bis zur Schornsteinmündung. Konstruiert man einen Zugmesser so, daß er nur den Widerstand in den Feuerzügen mißt, dann sind seine Angaben ohne weiteres ein Maß für die Geschwindigkeit der Heizgase. Diese Aufgabe kann durch Anbringung zweier Zugmesser gelöst werden, von denen der eine mit dem Feuerraum, der zweite mit der Maßstelle vor dem Schieber in Verbindung steht. Der Unterschied der Anzeigen beider Zugmesser ist der Differenzzug in den Feuerzügen und ein Maß für die Heizgasgeschwindigkeit. Der in Abb. 39 dargestellte

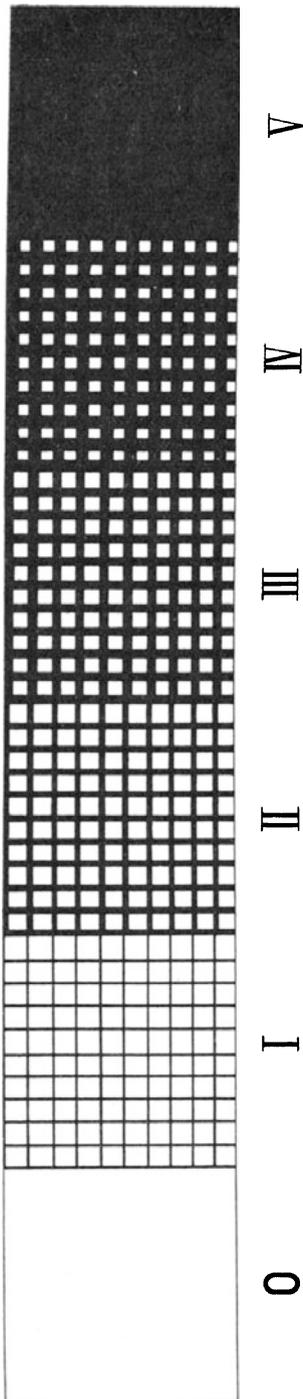


Abb. 40.

Krellsche Zugmesser¹⁾ vereinigt beide Zugmesser in einem Instrument. Der Stutzen a wird mit der Meßstelle vor dem Schieber, der Stutzen b mit dem Feuerraum verbunden. Das Meßrohr c ist geneigt, damit kleine Druckunterschiede genauer abgelesen werden können. Der Apparat ist mit einer Wasserwaage d versehen, damit die Neigung des Meßrohres immer auf dieselbe eingestellt werden kann, wie bei der Eichung. Als Sperrflüssigkeit dient rot gefärbter Alkohol.

Ist ein Kessel gleichmäßig beansprucht und hat man mit Hilfe des Orsat-Apparates den günstigsten Differenzzug festgestellt, dann kann der Krellsche Zugmesser einen selbsttätigen Apparat für Heizgasuntersuchung ersetzen; der Heizer muß dann den Rauchschieber immer so stellen, daß der Differenzzug derselbe bleibt, d. h. bei frisch geschlacktem Rost mit der tiefsten Stellung anfangen und den Schieber mit zunehmender Verschlackung immer höher ziehen. Bei sehr genauen Verdampfungsversuchen leistet der Krellsche Zugmesser gute Dienste zur Herstellung des Beharrungszustandes in der Feuerung.

Stellt man mit einem Differenzzugmesser die oben genannten vier Versuche an, dann zeigt sich folgendes:

1. Zugstärke gleich Null;
2. ebenso;

¹⁾ Verfertiger: G. A. Schultze, Charlottenburg.

3. Zugstärke nimmt zu;
4. ebenso.

Dieselben Veränderungen der Rauchgasgeschwindigkeit, auf verschiedene Art vorgenommen, äußern also gleiche Wirkungen auf einen Differenzzugmesser.

Für die Beurteilung von rauchvermindernden Feuerungen ist eine objektive, d. h. von einer mehr oder weniger willkürlichen Schätzung des Beobachters unabhängige Feststellung der Rauchstärke von großem Wert. Ein einfaches und fast streng objektives Verfahren wurde von Ringelmann angegeben. Man zeichnet sechs Quadrate von je 100 mm Seitenlänge (Abb. 40) nebeneinander, teilt die Seiten derselben mit Ausnahme des ersten Quadrates in je 10 gleiche Teile und zieht die senkrechten und wagerechten Teillinien. Dann werden die Teillinien so verstärkt (Abb. 41), daß folgende Strichstärken a und weißbleibende Quadrate mit der Seitenlänge b entstehen:

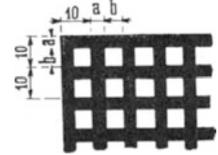


Abb. 41.

2. Quadrat . . .	$a = 1,0$ mm,	$b = 9,0$ mm,
3. „ . . .	„ = 2,3 „	„ = 7,7 „
4. „ . . .	„ = 3,7 „	„ = 6,3 „
5. „ . . .	„ = 5,5 „	„ = 4,5 „
6. „ . . .	„ = 10,0 „	„ = 0,0 „

Betrachtet man diese Skala aus einer Entfernung von mindestens 15 m, dann erscheinen die auf das erste folgenden 5 Quadrate als immer dunkler werdende gleichmäßig graue Felder. Beim Versuch hängt man die Skala an einer geeigneten Stelle in der Nähe des Schornsteins auf. Die Färbung des dem Schornstein entsteigenden Rauches wird mit der Farbe dieser Felder verglichen, und es wird aller 1–2 Minuten die dadurch ermittelte Ziffer für die Rauchstärke aufgeschrieben. Nach diesen Ziffern kann man die mittlere Rauchstärke berechnen oder eine zeichnerische Darstellung des Verlaufes¹⁾ der Rauchentwicklung machen.

Die Abstufungen, die der Ringelmannschen Skala zugrunde liegen, lassen sich wie folgt rückwärts nachrechnen, indem man den Flächeninhalt der weißgebliebenen Teile bestimmt.

¹⁾ Zeitschrift des Bayer. Revisions-Vereines 1901 S. 103, 1902 S. 139.

1. Quadrat . . .	Weiße Fläche =	10 000 qmm
2. „ . . .	„ „ = $100 \cdot 9,0^2$	= 8 100 „
3. „ . . .	„ „ = $100 \cdot 7,7^2$	= 5 939 „
4. „ . . .	„ „ = $100 \cdot 6,3^2$	= 3 969 „
5. „ . . .	„ „ = $100 \cdot 4,5^2$	= 2 025 „
6. „ . . .	„ „ = 0	= 0 „

Also verhalten sich für die Rauchstärken 0 bis 5 die weißen Flächen wie 10 000 : 8100 : 5939 : 3969 : 2025 : 0 \sim 5 : 4 : 3 : 2 : 1 : 0. Streng objektiv werden die Rauchbeobachtungen deshalb nicht, weil die Färbung des Rauches, abgesehen vom Brennstoff, auch davon abhängt, ob der Hintergrund durch blauen Himmel oder durch Wolken gebildet ist; zur genauen Beobachtung ist deshalb einige Übung erforderlich.

Vierter Abschnitt.

Der Dampf- und Wärmepreis.

Unter dem Dampfpreis versteht man die Kohlenkosten zur Erzeugung von 1000 kg Dampf; diese Ziffer ist hauptsächlich bestimmend für die Wahl des Brennstoffes.

Der Preis für 100 kg Kohle sei a M., die Brutto-Verdampfungsziffer x; dann kostet

$$1 \text{ kg Kohle } \frac{a}{100} \text{ M., ebenso}$$

$$x \text{ „ Dampf } \frac{a}{100} \text{ M. (weil 1 kg Kohle } x \text{ kg Dampf erzeugt),}$$

$$1 \text{ „ „ } \frac{a}{100 \cdot x} \text{ M.}$$

$$1000 \text{ „ „ } \frac{1000 \cdot a}{100 \cdot x} = \frac{10 \cdot a}{x} \text{ M.}$$

Beispiel: Von unserer Versuchskohle kosten 100 kg in der Zeche 1,75 M., deshalb beträgt

$$\text{der Dampfpreis } \frac{10 \cdot 1,75}{9,05} = 1,93 \text{ M.}$$

Als Kohlenpreis sind natürlich die Gesamt-Kohlenkosten, also einschl. Fracht- und Anfuhrkosten, einzusetzen.

Stehen an einem Verwendungsort mehrere Kohlsorten zur Verfügung, dann ermittelt man durch Versuche, die aber mit den verschiedenen Kohlsorten unter gleichen Verhältnissen durchzuführen sind, diejenige Kohle, für welche der Dampfpreis am geringsten wird.

Versuchsaufschreibungen.

Versuchstag
 Beobachter
 Versuchsbeginn 10⁴⁵ }
 Versuchsschluß 5¹¹ } Dauer 6 Std. 26 Min. = 6,43 Std.
 Wasserstand im Glas 149 mm.
 „ „ Behälter 121 mm.

Kohle		Speise-Wasser		Rück- stände kg	Zeit	Dampf		Speise- Wasser- Temperatur ° C	Heizgase vor dem Schieber				Luft- temperatur ° C
Zeit	kg	Zeit	kg			atm	° C		CO ₂	CO ₂ + O	T	Zug mm	
10 ⁴⁵	100	10 ⁴⁵	150		10 ⁴⁵	11,0	—	—	—	—	—	—	—
12 ⁰⁶	100	10 ⁵⁷	150		11 ⁰⁰	11,1	215	46	11,0	19,0	196	6	12
1 ²⁸	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	—
	500	11 ³⁵	150		12 ⁰⁰	11,0	239	52	11,5	19,5	210	10	13
	zurück	11 ⁴⁵	150		12 ¹⁵	11,0	224	50,5	11,0	—	200	10	—
	35,7	12 ⁰⁶	150		12 ³⁰	11,0	240	50,5	11,5	—	210	10	—
	ver- heizt	12 ²¹	150		12 ⁴⁵	11,0	247	50,5	11,5	—	225	10	—
	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

Zur genaueren Feststellung des wirtschaftlichen Wertes einer Kohlensorte kann man aus dem Heizwert und dem Kohlenpreis auch den Wärmepreis berechnen. Man versteht unter Wärmepreis die in Pfennigen ausgedrückten Kosten für 100 000 WE.

Beispiel: Unsere Versuchskohle, von der 100 kg in der Zeche 1,75 M. kosten, hatte einen Heizwert von 7726 WE. der Wärmepreis berechnet sich nach dem Ansatz:

$$7726 \text{ WE kosten } \frac{175}{100} = 1,75 \text{ Pfg.}$$

$$100000 \text{ ,, ,, } \frac{1,75 \cdot 100000}{7726} = 22,7 \text{ Pfg.}$$

Musterbeispiel.

Auf S. 79 sind die bei einem Verdampfungsversuch erforderlichen Aufschreibungen enthalten und in der folgenden Zahlentafel sind die oben schon erledigten Ausrechnungen übersichtlich zusammengestellt.

Versuchsergebnisse.

Datum des Versuches	19..	.....
Heizfläche des Versuchskessels	qm	53
„ „ Überhitzers . . . . .	„	....
Rostfläche „ Versuchskessels	„	0,7
Verhältnis der Rostfläche zur Heizfläche .		1 : 76
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 1qm		
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
„ in der Stunde	„	653
„ „ „ „ auf 1 qm Heizfläche	„	12,3
Temperatur	°C	50,5

Dampf: Überdruck atm	10,9
Temperatur hinter dem Überhitzer °C	232
Erzeugungs-+Überhitzungswärme WE	618+25=643
Heizgase: Kohlensäuregehalt %	11,5
Sauerstoffgehalt „	7,5
Temperatur am Kesselende . . °C	211
Verbrennungsluft: Temperatur „	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) „	9,11
Brennstoffpreis: für 100 kg im Kesselhaus M.	1,75
Dampfpreis: für 1000 kg Dampf nach a „	1,93
„ 1000 „ „ „ b „	1,92
Wärmepreis: für 100 000 WE Pfg.	22,7

Wärmeverteilung für 1 kg Kohle		WE	%
Nutzbar gemacht: zur Dampfbildung $9,05 \cdot 618 =$		5593	72,4
„ Dampfüberhitzung $9,05 \cdot 25 =$		226	2,9
Insgesamt $9,05 \cdot 643 =$		5819	75,3
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	848	11,0	
Heizwert des Brennstoffes	7726	100,0	

Anhang.

Bestimmung des Heizwertes von Kohle.

Der Heizwert von Kohle wird durch Verbrennung einer genau abgewogenen, fein pulverisierten Kohlenmenge (etwa 1 g) bestimmt. Die Verbrennung erfolgt in komprimiertem Sauerstoff (etwa 20 atm) in einer sog. Bombe, die sich in einem gegen Wärmeverluste gut isolierten, mit Wasser gefüllten Kalorimeter befindet. Aus der bekannten Wassermenge und der gemessenen Temperaturerhöhung des Wassers wird die von der abgewogenen Kohlenmenge erzeugte Wärmemenge ermittelt und

auf 1 kg Kohle umgerechnet. Es gibt verschiedene Konstruktionen von Bomben; im folgenden soll das bei der Krökerschen Bombe einzuschlagende Verfahren behandelt werden.

Die Richtigkeit des Ergebnisses hängt wesentlich von der Probenahme ab; denn die etwa 1 g wiegende, zur Verbrennung gelangende Kohlenmenge soll wirklich den Durchschnitt der beim Verdampfungsversuch verheizten Kohlenmenge darstellen. Die eingesandte Probe wird zunächst auf einem Blech ausgebreitet, sofort gewogen und einige Tage im Zimmer stehen gelassen. Der festzustellende Gewichtsverlust, den sie dabei erleidet, ist die grobe Feuchtigkeit. Bei Kohlenarten, die wenig Wasser enthalten, kann diese Bestimmung wegfallen. Hierauf wird die Kohle, möglichst unter Luftabschluß (Kugelmühle), fein gemahlen und durch fortgesetzte Anwendung des auf S. 57 angegebenen Verfahrens die zu verbrennende Probe genommen, die man nach genauer Wägung in einen kleinen Platintiegel bringt. Letzterer wird an dem abgeschraubten Deckel der Bombe befestigt, der zwei Drähte enthält, die man mit den Polen eines aus zwei Elementen bestehenden Akkumulators verbindet. In die Kohle bringt man ein ebenfalls genau gewogenes Stückchen Zündschnur, das um einen die beiden Drähte verbindenden feinen Platindraht geschlungen wird. Hierauf schraubt man den Deckel auf und füllt nach dem Austreiben der Luft die Bombe mit Sauerstoff bis zu einem Druck von etwa 20 atm. Dann setzt man die Bombe in das Kalorimeter, das man vorher mit einer genau gewogenen Wassermenge gefüllt hat. Die Wassertemperatur stimmt man so ab, daß sie um etwa ebensoviel unterhalb der Zimmertemperatur liegt, als sie nach der Verbrennung voraussichtlich über dieselbe kommt. Nun wird das Rührwerk in Tätigkeit gesetzt und man beobachtet das Wasserthermometer mittels einer Lupe alle Minuten, bis die infolge des Wärmeüberganges von außen eintretende Temperatursteigerung konstant geworden ist (Vorversuch). Hierauf schließt man den Strom, der Platindraht gerät ins Glühen, entzündet die Zündschnur und die Kohle verbrennt. Während dieser Zeit beobachtet man das Thermometer in Zwischenräumen von je einer halben Minute, so lange, bis keine Temperaturzunahme mehr eintritt. Damit ist der Hauptversuch beendet. Nun beobachtet man alle Minuten das fallende Thermometer so lange, bis die Temperaturabnahme konstant geworden ist (Nachversuch).

Während der Verbrennung erwärmen sich jedoch nicht nur das Kalorimeterwasser, sondern auch die Metallteile des Kalori-

mers. Man muß deshalb für jedes Kalorimeter feststellen, wie groß die Wassermenge ist, deren Temperaturerhöhung bei Zuführung einer bestimmten Wärmemenge ebenso groß ist als die Temperaturerhöhung der Metallteile. Diese Wassermenge nennt man den Wasserwert des Kalorimeters, der durch Verbrennung einer gewogenen Menge einer Substanz, deren Heizwert genau bekannt ist, z. B. chemisch reinen Zuckers, ermittelt wird.

Beispiel: Kohlegewicht 1,0189 g, Gewicht der Zündschnur 0,0097 g (der Heizwert der Zündschnur beträgt 39 WE für 0,01 kg), Wassergewicht 2606 g, Wasserwert des Kalorimeters 694 g, oder zusammen $2606 + 694 = 3300 \text{ g} = 3,300 \text{ kg}$.

Die Temperaturbeobachtungen lieferten folgende Werte:

Vorversuch:		Hauptversuch:		Nachversuch:	
° C	Differenz	° C	Differenz	° C	Differenz
22,538	—	22,543	—	24,487	—
22,540	0,002	23,000	0,457	24,482	0,005
22,542	0,002	24,370	1,370	24,478	0,004
—	—	24,479	0,109	24,474	0,004
—	—	24,487	0,008	—	—
—	—	24,489	0,002	—	—

Die Temperaturerhöhung beim Hauptversuch betrug demnach $4,489 - 2,543 = 1,946^\circ$. Bei genauen Versuchen sind hier noch einige Korrekturen anzubringen, die vom Kaliberfehler und dem Gradfehler des Thermometers und von dem Wärmeaustausch des Kalorimeters mit seiner Umgebung herrühren.

Bei Vernachlässigung dieser Korrekturen ergibt sich die vom Kalorimeter aufgenommene Wärmemenge zu $1,946 \cdot 3,300 = 6,422 \text{ WE}$. Hiervon wird die von der Zündschnur erzeugte Wärmemenge $\frac{39 \cdot 0,97}{1000} = 0,038 \text{ WE}$ abgezogen, dann erhält man die von der Kohle abgegebene Wärmemenge zu $6,422 - 0,038 = 6,384 \text{ WE}$ für 1,0189 g. Also besitzt 1 g lufttrockene Kohle einen Heizwert von $\frac{6,384}{1,0189} = 6,266 \text{ WE}$ oder 1 kg einen Heizwert von 6266 WE.

Nun enthält die lufttrockene Kohle immer noch Wasser, ferner verbrennt der Wasserstoff der Kohle zu Wasser; das während der Verbrennung verdampfende Wasser schlägt sich nieder, wobei seine Verdampfungswärme frei wird.

In den Heizgasen eines Kessels ist aber das Wasser in Dampf-
form vorhanden, und seine Verdampfungs- und Flüssigkeits-
wärme kann theoretisch nicht ausgenutzt werden; deshalb muß
bei der Heizwertbestimmung die beim Niederschlagen des Wasser-
dampfes an das Kalorimeterwasser abgehende Wärme subtrahiert
werden. Den vorhin ermittelten Heizwert nennt man den oberen
Heizwert. Der untere Heizwert ergibt sich durch Subtraktion
des Wärmeinhaltes des Wasserdampfes, den man zu 600 WE
für 1 kg annimmt.

Der in der Bombe enthaltene Wasserdampf wird wie folgt
ermittelt. Man treibt den gasförmigen Inhalt der Bombe mittels
eines Aspirators durch ein genau gewogenes Chlorkalziumrohr,
wobei die Bombe im Ölbad erwärmt wird. Die Gewichtszunahme
des Chlorkalziumrohres ist die aus der verbrannten Kohle ent-
standene Wassermenge.

In unserem Beispiel lieferte 1 g Kohle 0,5834 g Wasser;
daher sind $\frac{600 \cdot 0,5834}{1000} = 350$ WE in Abzug zu bringen.

Der untere Heizwert der lufttrockenen Kohle beträgt daher
 $6266 - 350 = 5916$ WE.

Die grobe Feuchtigkeit, d. h. der Gewichtsverlust der ur-
sprünglichen Kohle beim mehrtägigen Liegen an der Luft, wurde
zu 6,85% festgestellt; um den Heizwert der ursprünglichen Kohle
zu erhalten, ist der Heizwert der lufttrockenen Kohle mit $\frac{100 - 6,85}{100}$
zu multiplizieren und davon die zur Verdampfung von 6,85%
Wasser erforderliche Wärmemenge $600 \cdot 0,0685 = 41$ WE ab-
zuziehen.

Man erhält

$$\begin{aligned} \text{Heizwert der ursprünglichen Kohle} &= 5916 \cdot \frac{100 - 6,85}{100} - 41 \\ &= 5470 \text{ WE} \end{aligned}$$

Dritter Teil.

Dampfturbinen-Untersuchung.

Gegenstand der Untersuchung einer mit einer Dynamomaschine verbundenen Dampfturbine ist gewöhnlich:

1. Die Ermittlung der elektrischen Leistung in KW,
2. die Ermittlung des stündlichen Dampf- und Wärmeverbrauches für 1 KW.

Häufig lassen sich die Versuche ähnlich wie bei der Kolbenmaschine durchführen. Bei Gleichstrombetrieb wird, wie S. 35 angegeben ist, die **elektrische Leistung** durch Messung von Spannung und Stromstärke festgestellt. Die Leistung einer Wechsel- oder Drehstrommaschine ermittelt man durch Beobachtung eines Wattmeters. Bei genauen Versuchen sind nur geeichte Präzisionsinstrumente oder mit solchen verglichene Instrumente zu verwenden.

Der stündliche Dampfverbrauch für 1 KW wird entweder durch Wägung des Speisewassers mit Berücksichtigung aller S. 38 angegebenen Vorsichtsmaßregeln oder (nur bei Oberflächenkondensation) durch Wägung des Turbinenkondensates ermittelt.

In letzterem Falle verwendet man zweckmäßig 2 Wagen mit je einem genügend großen Behälter, in welche abwechselnd durch Schwenkrohr oder Schlauch oder besondere Rohr- und Ventil-anordnungen das Wasser geleitet wird. Jeder Behälter und seine Ablaufvorrichtung muß so bemessen sein, daß er in kürzerer Zeit leerläuft, als der andere sich füllt. Statt das Wasser zu wägen, kann man es auch in Behälter laufen lassen, deren Inhalt man bis zu einer bestimmten Marke durch besondere Wägung geeicht hat. Zur Prüfung des Beharrungszustandes und der Gleichmäßigkeit des Versuchsganges empfiehlt es sich, etwa jede Stunde einen Zwischenabschluß zu machen; die zugehörigen Zeiten sind dabei auf Sekunden genau abzulesen. Das folgende Musterbeispiel zeigt die bei einem vollständigen Versuch erforderlichen Aufschreibungen und die Berechnung der Ergebnisse.

**Muster-
Leistungs- und Dampfverbrauchs-**

Zeit	Minutliche Drehzahl n	Dampf- überdruck vor der Turbine atm	Dampf- temperat. vor der Turbine ° C	Vakuum im Ausströmrohr cm Hg	Kühlwasser- temperatur		Kondensat- Temperatur ° C	Lageröl		Elektrische Gesamt- Leistung KW
					Zufluß ° C	Abfluß ° C		Druck atm	Temp. ° C	
8 ³⁰	3000	8,1	297	67,4	4,0			1,98	44	543,5
8 ³⁵		7,2	299							467
8 ⁴⁰	3000	6,4	301	67,7						438
8 ⁴⁵		6,8	306							475
8 ⁵⁰	3005	7,7	314	67,6						546
8 ⁵⁵		9,4	328							584
9 ⁰⁰	3000	10,8	337	67,5		13,5	13,5	1,85	45	548
9 ⁰⁵		11,0	343							586,5
9 ¹⁰	3000	11,0	344	67,5						594
9 ¹⁵		11,6	341							540
9 ²⁰	3005	11,6	339	67,4						570,5
9 ²⁵		12,7	338							568
9 ³⁰	3010	12,9	337	67,5	4,0			1,6	45	565,5
9 ³⁵		12,4	335							584,5
9 ⁴⁰	3010	11,6	327	67,5						535
9 ⁴⁵		11,3	320							572
9 ⁵⁰	3010	12,0	319	67,4						564,5
9 ⁵⁵		12,8	321							565,5
10 ⁰⁰	3010	12,4	324	67,5				1,6	46	540,5
10 ⁰⁵		10,8	326							569,5
10 ¹⁰	3000	9,8	327	67,5						563
10 ¹⁵		9,9	327							574,5
10 ²⁰	3010	11,8	305	67,4						584,5
10 ²⁵		12,5	306							530
10 ³⁰	3010	12,5	301	67,5	4,0	13,4	13,5	1,8	46	565
10 ³⁵		12,4	325							580
10 ⁴⁰	3000	11,5	324	67,4						575
10 ⁴⁵		11,5	323							548
10 ⁵⁰	3000	11,8	328	67,4						569
10 ⁵⁵		12,1	320							587
11 ⁰⁰	3000	10,4	317	67,5				1,8	46	547
11 ⁰⁵		10,7	318							574,5
11 ¹⁰	3000	11,6	322	67,5						590
11 ¹⁵		12,8	331							574,5
11 ²⁰	3000	12,4	339	67,5	4,0	13,5	13,5			582
Summe:										
Mittel:	3004	11,0	323	67,5	4,0	13,5	13,5	1,77	45	557

Beispiel.**Versuch an einer Dampfturbine.**

Kondensatmessung							Verbrauch der Luft- und Kühl- wasserpumpe KW
Zeit	Diff. Min.	kg	Zwischen-Abschlüsse				
			Kondensat kg	Dauer Min.	Mittlere Leistung KW	Dampf- verbrauch für 1 KW-Std	
8 ²⁹ ' 20"	—	—					
8 ⁴³ ' 32"	14' 12"	900					
8 ⁵³ ' 30"	9' 58"	700					
9 ⁰⁶ ' 00"	12' 30"	900					
9 ¹⁵ ' 50"	9' 50"	700	3200	46' 30"	532,2	7,75	
9 ²⁸ ' 35"	12' 45"	900					
9 ³⁸ ' 20"	9' 45"	700					
9 ⁵⁰ ' 50"	12' 30"	900					
10 ⁰⁰ ' 20"	9' 30"	700	3200	44' 30"	562,5	7,67	
10 ¹² ' 45"	12' 25"	900					
10 ²² ' 30"	9' 45"	700					
10 ³⁵ ' 00"	12' 30"	900					
10 ⁴⁴ ' 50"	9' 30"	700	3200	44' 30"	565,5	7,61	
10 ⁵⁷ ' 00"	12' 10"	900					
11 ⁰⁶ ' 40"	9' 40"	700					
11 ¹⁹ ' 18"	12' 38"	900					
11 ²⁹ ' 12"	9' 54"	700	3200	44' 22"	573,6	7,55	
	179' 52"	12 800					
					557	7,65	10,2

Hauptergebnisse des Versuches.

Versuchstag	1910	.....
Versuchsdauer: 179 Min. 52 Sek. =	Std.	2,997
Minutliche Drehzahl		3004
Dampf: a) Überdruck vor der Turbine	atm	11,0
b) Temperatur vor der Turbine	°C	323
c) Erzeugungswärme (auf Speisewasser von 0° bezogen) $\lambda = 668,1 + (323 -$ $186,9) \cdot 0,540 =$	WE	741,6
Barometerstand	mm	705
Vakuum im Ausströmrohr	cmHg	67,5
	$= \frac{67,5}{73,5} =$	atm
	$= \frac{67,5}{70,5} \cdot 100 =$	%
		96
Kühlwasser-Temperatur: Zufluß	°C	4,0
Abfluß	„	13,5
Lageröl: Überdruck.	atm	1,77
Temperatur	°C	45
Elektrische Leistung: Gesamtleistung	KW	557
Arbeitsbedarf der Luft- und Kühlwasserpumpe	„	10,2
	$= \frac{10,2}{557} \cdot 100 =$	%
		1,9
Kondensat: a) Temperatur	°C	13,5
b) Gesamtmenge	kg	12800
c) in der Stunde $\frac{12800}{2,997} =$	„	4270
d) „ „ „ für 1 KW $\frac{4270}{557} =$	„	7,53
Wärmeverbrauch für 1 KW-Std. = $7,53 \cdot 741,6$ WE		5580

Zu den noch nicht erwähnten Aufschreibungen ist folgendes zu bemerken:

Die minutliche Drehzahl wird gewöhnlich an dem an der Turbine vorhandenen Tachometer abgelesen.

Häufig wird auch der Arbeitsbedarf der für Wechsel- und Drehstrom notwendigen Erregermaschinen durch Messung der Stromstärke und Spannung festgestellt.

Der Arbeitsbedarf der Luft- und Kühlwasserpumpe, die gewöhnlich durch besondere Elektromotoren angetrieben werden, läßt sich ebenso messen; er wird aber bei Garantieversuchen gewöhnlich nicht von der Gesamtleistung abgezogen, weil häufig diese Pumpen nicht von derselben Firma wie die Turbine bezogen werden und ihre Leistung vielfach von örtlichen Verhältnissen, z. B. Verwendung von Heberleitungen, Strahlkondensatoren usw. abhängt.

Vierter Teil.

Dieselmotoren-Untersuchung.

Gegenstand der Untersuchung einer Dieselmotore kann sein

1. die Ermittlung der indizierten Leistung N_i ,
2. die Ermittlung der Nutzleistung N_e ,
3. die Ermittlung des indizierten Arbeitsbedarfes der Luftpumpe,
4. die Ermittlung des mechanischen Wirkungsgrades η_m ,
5. die Ermittlung des stündlichen Brennstoff- und Wärmeverbrauches für 1 PS_i oder 1 PS_e,
6. die Berechnung der Wärmeausnutzung und der Wärmeverluste.

Erster Abschnitt.

Die Ermittlung der indizierten Leistung.

Diese erfolgt wie bei der Dampfmaschine¹⁾. Aus einer genügenden Anzahl von Indikatordiagrammen wird der mittlere Druck p_m berechnet. Außerdem ist die Messung folgender Größen erforderlich:

- a) Zylinderdurchmesser D ,
- b) Kolbenhub s ,
- c) minutliche Drehzahl n .

Bei doppeltwirkenden Maschinen tritt noch hinzu:

- d) der Durchmesser der Kolbenstange.

Bezeichnet man die wirksame Kolbenfläche mit F , dann ist die indizierte Leistung jedes Zylinders einer einfachwirkenden Viertaktmaschine

$$N_i = \frac{F \cdot p_m \cdot s \cdot n}{120 \cdot 75} \text{ Pferdestärken.}$$

¹⁾ S. 23.

Bei einer doppelwirkenden Maschine wird nach dieser Formel die Leistung jeder Zylinderseite für sich berechnet. Bei einer Zweitaktmaschine beträgt die indizierte Leistung jeder arbeitenden Kolbenseite

$$N_i = \frac{F \cdot p_m \cdot s \cdot n}{60 \cdot 75} \text{ PS.}$$

Bemerkung: Um bei den hohen Drücken keine zu starken Indikatorfedern verwenden zu müssen, setzt man meistens in die Indikatorzylinder besondere Einsatzzylinder und Kolben von kleinerem Durchmesser ein. Der Maßstab der Feder f wird dann wie folgt berechnet:

Der Durchmesser des ursprünglichen Kolbens sei 20 mm, der des Einsatzzylinders 7 mm, und der Federmaßstab 8 mm; dann ist

$$f = 8 \cdot \frac{7^2}{20^2} = 8 \cdot \frac{49}{400} = 0,98 \text{ mm.}$$

Die Kolbendurchmesser müssen mit größter Genauigkeit, am besten mit Mikrometerschrauben gemessen werden.

Zweiter Abschnitt.

Die Ermittlung der Nutzleistung.

Genau wie bei der Dampfmaschine¹⁾.

Dritter Abschnitt.

Die Ermittlung des indizierten Arbeitsbedarfes der Luftpumpe.

Die Luftpumpe ist meistens zweistufig ausgeführt, der Hochdruckkolben als einfachwirkender Tauchkolben, der sich unmittelbar daranschließende Niederdruckkolben vielfach doppelwirkend, so daß seine wirksamen Flächen Ringflächen sind. Ist z. B. bei einer stehenden Maschine

¹⁾ S. 32.

d_2 der Durchmesser des Hochdruckkolbens,
 d_1 „ „ „ Niederdruckkolbens,
 d_u „ „ „ Kolbenstange,

dann ist die wirksame Kolbenfläche vom

$$\text{Hochdruckzylinder:} \quad f_1 = \frac{d_2^2 \pi}{4},$$

$$\text{Niederdruckzylinder (oben):} \quad f_0 = \frac{d_1^2 \pi}{4} - \frac{d_2^2 \pi}{4}$$

$$\text{„ „ (unten):} \quad f_u = \frac{d_1^2 \pi}{4} - \frac{d_u^2 \pi}{4}$$

Die gleichzeitige Indizierung beider Zylinder erfordert demnach 3 Indikatoren; der Indikator des Hochdruckzylinders wird wegen des hohen Druckes in gleicher Weise wie der Indikator des Arbeitszylinders mit einem Zylindereinsatz und kleinem Kolben versehen.

Ist s der gemeinsame Hub beider Kolben und sind durch Indizierung und Planimetrierung für jede Kolbenseite die mittleren Drücke p_m festgestellt, dann ist der indizierte Arbeitsbedarf des

$$\text{Hochdruckzylinders:} \quad N_{i_1} = \frac{f \cdot p_m \cdot s \cdot n}{60 \cdot 75} \quad \text{PS,}$$

$$\text{Niederdruckzylinders (oben):} \quad N_{i_0} = \frac{f_0 \cdot p_m \cdot s \cdot n}{60 \cdot 75} \quad \text{„}$$

$$\text{„ „ (unten):} \quad N_{i_u} = \frac{f_u \cdot p_m \cdot s \cdot n}{60 \cdot 75} \quad \text{„}$$

Demnach beträgt der indizierte Gesamt-Arbeitsbedarf der Luftpumpe

$$N_{lu} = N_{i_1} + N_{i_0} + N_{i_u}.$$

Vierter Abschnitt.

Die Ermittlung des mechanischen Wirkungsgrades.

Der mechanische Wirkungsgrad soll kennzeichnend für die Güte der Bearbeitung und des Zusammenbaues der bewegten Teile sein. Weil aber der Arbeitsbedarf der Luftpumpe hierauf

keinen Einfluß hat, versteht man hier nicht wie bei der Dampfmaschine unter dem mechanischen Wirkungsgrad den Quotienten

$$\eta_m = \frac{\text{Nutzleistung}}{\text{Indizierte Leistung}} = \frac{N_e}{N_i} \quad ^1)$$

sondern den Quotienten

$$\eta_m = \frac{\text{Nutzleistung}}{\text{Indizierte Leistung} - \text{indiz. Luftpumpenarbeit}}$$

oder

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i - N_{lu}}$$

Wie groß der Unterschied beider Berechnungsweisen werden kann, zeigt folgendes

Beispiel: Es sei an einer zweizylindrigen Maschine festgestellt:

$$\begin{aligned} N_i &= 261 \quad \text{PS} \\ N_e &= 198 \quad \text{,,} \\ N_{lu} &= 13,6 \quad \text{,,} \end{aligned}$$

Nach der ersten Formel würde sich ergeben:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{198}{261} = 0,76,$$

während der wirkliche Wert nach der zweiten Formel sein muß:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i - N_{lu}} = \frac{198}{261 - 13,6} = 0,80.$$

Der Vergleich mit einer Dampfmaschine würde bei Verwendung der ersten Formel zuungunsten der Dieselmachine ausfallen.

Fünfter Abschnitt.

Die Ermittlung des stündlichen Brennstoffverbrauches für eine Pferdestärke.

Der Brennstoffverbrauch muß, weil es sich infolge der zulässigen Kürze der Versuchszeit (1 bis 1½ Stunden) um verhältnismäßig kleine Mengen handelt, mit besonderer Genauigkeit

¹⁾ Streng genommen müßte bei Kondensationsmaschinen ebenfalls der Arbeitsbedarf der Luftpumpe von N_i abgezogen werden.

durch Wägung festgestellt werden. Man bringt nach Abb. 42 an dem vorhandenen Entnahmebehälter nach Abnahme des Deckels oder an einem besonders für den Versuch bestimmten Behälter mit nicht zu großer Oberfläche eine senkrechte Nadel an und füllt vor Anfang des Versuches den Behälter so auf, daß

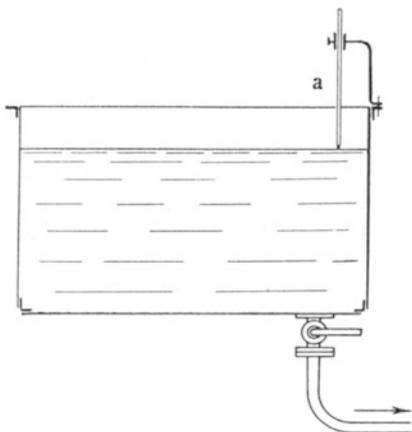


Abb. 42.

die untere Nadelspitze etwas eintaucht, nachdem man vorher den Schwimmerzulauf gut abgeschlossen hat. Der Zeitpunkt, zu welchem der Flüssigkeitsspiegel von der Nadelspitze abreißt, ist der Versuchsbeginn. Nun füllt man regelmäßig genau gewogene Ölmengen nach. Um zu prüfen, ob bei gleichmäßiger Belastung die Maschine in gleichen Zeiten gleichviel Öl verbraucht, ist es zweckmäßig, immer gleiche Ölmengen nachzufüllen und jedesmal mit der Uhr die Zeit festzustellen, wann der Ölspiegel

abreißt. Der letzte dieser Zeitpunkte ist der Versuchsschluß.

Sollten die Ölpumpen tropfen, so ist das Tropföl aufzufangen, zu wägen und vom gewogenen Ölverbrauch in Abzug zu bringen.

Zur Ermittlung des stündlichen Wärmeverbrauches W_i für 1 PS_i oder W_e für 1 PS_e ist die Kenntnis des Brennstoffheizwertes W ¹⁾ erforderlich. Ist B_i bzw. B_e der stündliche Brennstoffverbrauch für 1 PS_i bzw. 1 PS_e, dann ist

$$W_i = B_i \cdot W \text{ und}$$

$$W_e = B_e \cdot W.$$

Beispiel: Es sei während einer Versuchsdauer von 67,5 Minuten gemessen: $N_i = 261$ PS_i, $N_e = 198$ PS_e, Gesamt-Brennstoffverbrauch 42,0 kg, Heizwert $W = 9810$ WE/kg, dann ist

$$B_i = \frac{42,0}{67,5 \cdot 261} \cdot 60 = 0,143 \text{ kg,}$$

$$B_e = \frac{42,0}{67,5 \cdot 198} \cdot 60 = 0,189 \text{ ,,}$$

$$W_i = 0,143 \cdot 9810 = 1400 \text{ WE,}$$

$$W_e = 0,189 \cdot 9810 = 1850 \text{ ,, .}$$

¹⁾ S. Anhang..

Um einen Vergleich mit verschiedenen Brennstoffen auf gemeinsame Grundlage zu bringen, kann man B_e auf einen Heizwert von 10 000 WE/kg umrechnen; man erhält dann

$$B_e' = \frac{B_e}{10000} \cdot 9810 = 0,185 \text{ kg.}$$

Sechster Abschnitt.

Die Berechnung der Wärmeausnutzung und der Wärmeverluste.

Unter **Wärmeausnutzung** oder wirtschaftlichem Wirkungsgrad versteht man das Verhältnis

$$\eta_w = \frac{\text{für 1 PS}_e\text{-Std theor. notw. Wärmemenge.}}{\text{wirkl. Wärmearaufwand für 1 PS}_e\text{-Std}}$$

Die für die stündliche Nutzpferdestärke theoretisch notwendige Wärmemenge wird wie folgt berechnet:

$$1 \text{ mkg/sec} = \frac{1}{427} \text{ WE/sec (mechanisches Wärmeäquivalent),}$$

$$1 \text{ mkg-Std} = \frac{1}{427} \cdot 3600 \text{ WE,}$$

$$1 \text{ PS-Std} = 75 \text{ mkg-Std} = \frac{1}{427} \cdot 3600 \cdot 75 = 632 \text{ WE.}$$

Also ist beispielsweise mit einem durch den Versuch festgestellten Wärmeverbrauch $W_e = 1850 \text{ WE/PS}_e\text{-Std}$

$$\eta_w = \frac{632}{W_e} = \frac{632}{1850} = 0,342; \text{ d. h.}$$

34,2% des Heizwertes des Brennstoffes werden in Nutzarbeit verwandelt.

Die Wärmeverluste sind folgende:

- a) Verlust durch die Eigenreibung der Maschine,
- b) Verlust durch Luftpumpenarbeit,
- c) Verlust durch die mit dem Kühlwasser abgeführte Wärme,
- d) Verlust durch die mit den Abgasen abgeführte Wärme,
- e) Restverlust: Strahlung, Leitung, unvollkommene Verbrennung, Summe der Versuchsfehler.

Man berechnet diese Verluste für 1 PS_e-Std und stellt sie mit der nutzbar gemachten Wärme in einer Wärmebilanz zusammen (wie bei der Dampfkesseluntersuchung).

a) u. b) Den Reibungs- und Luftpumpenverlust faßt man gewöhnlich zusammen.

Die Summe dieser Verluste beträgt $N_i - N_e$, also für jede Nutzpferdestärke $\frac{N_i - N_e}{N_e}$ PS, oder, da jeder PS 632 WE entsprechen,

$$V_1 = \frac{N_i - N_e}{N_e} \cdot 632 \text{ WE,}$$

oder

$$V_{1\%} = \frac{V_1}{W_e} \cdot 100 \text{ \%}.$$

Beispiel: Für $N_i = 261$ PS und $N_e = 198$ PS wird

$$V_1 = \frac{261 - 198}{198} \cdot 632 = 201 \text{ WE,}$$

oder in Prozenten von $W_e = 1850$ ausgedrückt

$$V_{1\%} = \frac{V_1}{W_e} \cdot 100 = \frac{201}{1850} = 10,9 \text{ \%}.$$

c) Beträgt die Kühlwassermenge, die hinter dem Ausflußrohr durch Wägung oder Messung mittels eines großen, durch Einfüllen gewogener Wassermengen geeichten Behälters erfolgt, für 1 PS_e-Std K kg, die Eintrittstemperatur t_1 und die Austrittstemperatur t_2 , dann ist die stündlich für 1 PS_e abgeführte Wärmemenge

$$V_2 = K (t_2 - t_1) \text{ WE, oder}$$

$$V_{2\%} = \frac{V_2}{W_e} \cdot 100 \text{ \%}.$$

Beispiel: Die in 64 Minuten durchgeflossene Kühlwassermenge betrage 1860 kg, $N_e = 198$ PS, $t_1 = 9^\circ\text{C}$ und $t_2 = 55,5^\circ\text{C}$, dann ist

$$K = \frac{1860}{64 \cdot 198} \cdot 60 = 8,8 \text{ kg,}$$

$$V_2 = 8,8 (55,5 - 9) = 408 \text{ WE,}$$

$$V_{2\%} = \frac{408}{1850} \cdot 100 = 22,0 \text{ \%}.$$

d) Zur Feststellung des Abgasverlustes ist erforderlich: die Messung des Kohlenstoff- und Wasserstoffgehaltes des Treiböles, des Kohlensäuregehaltes und der Temperatur der Abgase und der Temperatur der angesaugten Luft. Die Untersuchung der Abgase wird ähnlich wie beim Dampfkessel¹⁾ durchgeführt. Man setzt in das Auspuffrohr möglichst nahe an der Maschine ein hochgradiges Thermometer so ein, daß die Quecksilberkugel sich in der Mitte des Gasstromes befindet, ferner ein $\frac{3}{8}$ " Gasrohr mit einem Hahn, den man durch einen Gummischlauch mit einem Halse einer dreihalsigen Wulffschen Flasche verbindet. Vom zweiten Halse derselben führt man einen Gummischlauch nach einem Orsatapparat, mit dem aller 2—3 Minuten eine Kohlensäurebestimmung vorzunehmen ist. Der Überdruck der Abgase entweicht durch den dritten Hals der Flasche, an dem man zur Luftabschließung einen dritten Gummischlauch ansetzen und in einen mit Wasser gefüllten Eimer ausmünden lassen kann.

Dann wird zunächst der Verlust V_3' für 1 kg Treiböl ebenfalls (jedoch mit Fortlassung des Wassergehaltes W) nach der S. 67 angegebenen Formel berechnet:

$$V_3' = \left(0,32 \frac{C}{0,536 \cdot k} + 0,48 \frac{9 H}{100} \right) (T - t) \text{ WE.}$$

Der Verlust V_3 für 1 PS_e-Std wird dann durch Multiplikation mit dem stündlichen Brennstoffverbrauch B_e für 1 PS_e erhalten, also

$$V_3 = V_3' \cdot B_e \quad \text{WE oder}$$

$$V_{3\%} = \frac{V_3}{W_e} \cdot 100 \quad \%.$$

Beispiel: Es sei festgestellt:

Kohlenstoffgehalt des Treiböles . . .	$C = 85,76\%$
Wasserstoffgehalt „ „ . . .	$H = 11,71 \text{ „}$
Kohlensäuregehalt der Abgase . . .	$k = 8,5 \text{ „}$
Temperatur der Abgase	$T = 460^\circ \text{ C}$
Lufttemperatur	$t = 20^\circ \text{ „}$
Brennstoffverbrauch für 1 PS _e -Std. .	$B_e = 0,189 \text{ kg}$
Wärmeaufwand „ „	$W_e = 1850 \text{ WE.}$

¹⁾ S. 68.

Muster-**Leistungs- und Verbrauchsversuch an einer stehenden**

Hauptmaße:

Arbeitszylinder: Durchmesser $D = 450 \text{ mm} = 45,0 \text{ cm}$

$$\text{Kolbenfläche } F = \frac{D^2 \pi}{4} = \frac{45^2 \pi}{4} = 1590 \text{ qcm}$$

Kolbenhub $s = 680 \text{ mm} = 0,68 \text{ m}$ Luftpumpe: Durchmesser des Niederdr.-Kolb. $d_1 = 145 \text{ mm} = 14,5 \text{ cm}$ Kolbenstangen Durchm. oben $d_0 = d_2 = 60 \text{ mm} = 6,0 \text{ cm}$ „ „ unten $d_u = 38 \text{ mm} = 3,8 \text{ cm}$

$$\text{Kolbenfläche oben } f_0 = \frac{d_1^2 \pi}{4} - \frac{d_0^2 \pi}{4} = 136,9 \text{ qcm}$$

$$\text{„ „ unten } f_u = \frac{d_1^2 \pi}{4} - \frac{d_u^2 \pi}{4} = 153,8 \text{ qcm}$$

Durchmesser d. Hochdruck-Kolbens $d_2 = 60 \text{ mm} = 6,0 \text{ cm}$

$$\text{Kolbenfläche } f_2 = \frac{d_2^2 \pi}{4} = \frac{6,0^2 \pi}{4} = 28,27 \text{ qcm}$$

Hub beider Kolben $s' = 204 \text{ mm} = 0,204 \text{ m}$

Brennstoff		Zeit	n	Auswertung der Diagramme der Arbeitszylinder										Schalttafel-Ablesungen	
Zeit	kg			Zylinder I					Zylinder II					Volt	Amp
				Kompress. Enddruck atm	Planim.-wert ¹⁾	mittl. Druck pm	N_{I_1} PS _I	Kompress. Enddruck atm	Planim.-Wert ¹⁾	mittl. Druck pm	N_{I_2} PS _I				
2 ³⁸	—	2 ⁴⁰	—	34,5	100			35,5	103			231	575		
3 ^{00'} 30 ^{''}	14,00	2 ⁵⁰	160,4	35,0	100			35,3	101			229,5	583		
3 ²³	14,00	3 ⁰⁰	160,0	34,9	103			35,9	103			230,5	568,5		
3 ^{45'} 30 ^{''}	14,00	3 ¹⁰	160,0	35,0	102			36,1	103			228,5	582,5		
		3 ²⁰	160,0	34,7	102			35,8	102			228	583		
		3 ³⁰	160,4	35,0	103			36,2	102			230,5	568		
		3 ⁴⁰	160,4	35,5	103			36,7	102			229	575		
		3 ⁴⁵	—	35,9	103			36,2	104			225,5	590		
Summe:	42,0		961,2	280,5	816			287,7	820			1832,5	4625,0		
Mittelwert			160,2	35,1	102	6,75	130	36,0	102,5	6,80	131	229	578		

Dann ist

$$V_3' = \left(0,32 \frac{85,76}{0,536 \cdot 8,5} + 0,48 \frac{9 \cdot 11,71}{100} \right) (460 - 20)$$

$$= 2875 \text{ WE}$$

1) Mit Spitzeneinstellung.

Beispiel.

zweizylindrige einfachwirkende Dieselmachine.

Versuchsaufschreibungen:

		Indikatormaßstäbe f = mm/atm	
		oben	unten
Versuchstag			
Beobachter			
Brennstoffmessung: Beginn 2 ³⁸			
Schluß 3 ^{45'} 30''			
Dauer 67,5 Min.	Zyl. I	Nr.	—
		f = 1,007	—
Kühlwassermessung: Beginn 2 ³⁹	Zyl. II	Nr.	—
Schluß 3 ⁴³		f = 1,005	—
Dauer 64 Min.	Luftp.		
	N. Zyl.	Nr. ....	.....
		f = 5,00	5,00
	H. Zyl.	Nr.	—
		f = 0,731	—

Auswertung der Diagramme einer Luftpumpe										Kühlwasser Zuflußtemperatur 9° C			
Niederdruck, oben			Niederdruck, unten			N _i	Hochdruck			Zeit	kg	Abflußtemp. °C	
Pl ¹⁾	p _m	N _{i_o}	Pl ¹⁾	p _m	N _{i_u}	PS _i	Pl ¹⁾	p _m	N _{i_s} PS _i			Zyl. I	Zyl. II
123			120				178			2 ³⁹	—	61	55,5
										2 ⁴⁴	230	56	57,5
										2 ⁵²	240	52	52,5
119			120				176			3 ⁰¹	230	55	53,5
										3 ¹⁰	230	56	55,5
										3 ¹⁹	230	54,5	60,0
120			121				189			3 ²⁸	240	51,5	60,5
										3 ³⁶	240	55	55
										3 ⁴³	220	55	55
362			361				543				1860	496,0	505,0
121	1,61	1,6	120	1,60	1,8	3,4	181	16,50	3,4			55	56

$$V_3 = 2875 \cdot 0,189 = 544 \text{ WE}$$

$$V_{3\%} = \frac{544}{1850} \cdot 100 = 29,4 \%$$

e) Der Restverlust wird als Differenz

$$W_e - (\text{ausgenützte Wärme} + (a + b + c + d))$$

berechnet. Wenn alle Beobachtungen genau ausgeführt sind und die Maschine mit vollkommener Verbrennung arbeitet, darf er nur wenig von Null abweichen, manchmal hat er sich infolge zufälliger Summierung kleiner Versuchsfehler auch negativ ergeben. In den meisten Fällen genügt es, die Verluste d und e als Restverlust zusammenzufassen.

Die vollständige Wärmebilanz unseres Beispiels lautet dann:

	WE	%
Nutzbar gemacht	632	34,2
Verloren:		
a) Reibungsverlust	} $V_1 =$	201
b) Luftpumpenarbeit		
c) Kühlwasserverlust	$V_2 =$	408
d) Abgasverlust	$V_3 =$	544
e) Restverlust		65
Wärmeaufwand für 1 PS _e -Std	1850	100,0

Das vorstehende Musterbeispiel zeigt die Zusammenstellung der erforderlichen Versuchsaufschreibungen und ihre Auswertung.

Aus dieser Zahlentafel sind die

Hauptergebnisse des Versuches

wie folgt hervorzuheben bzw. zu berechnen:

Versuchsdauer: a) für den Brennstoffverbrauch .	Min	67,5
b) „ „ Kühlwasser „	„	64

Anzahl der Diagramme

a) Arbeitszylinder	„	16
b) Luftpumpenzylinder	„	9

Minutliche Drehzahl	„	160,2
-------------------------------	---	-------

Kompressions-Enddruck: a) Zylinder I	atm	35,1
b) „ II	„	36,0

Mittlerer Druck p _m : a) „ I	„	6,75
b) „ II	„	6,80

c) Luftpumpe:		
Niederdruck oben	„	1,61
„ unten	„	1,60
Hochdruck	„	16,50

Indizierte Leistung:

a) Zylinder I:

$$N_{i_1} = \frac{F \cdot p_m \cdot s \cdot n}{120 \cdot 75} = \frac{1590 \cdot 6,75 \cdot 0,68 \cdot 160,2}{120 \cdot 75} = \text{PS}_i \quad 130$$

b) Zylinder II:

$$N_{i_2} = \frac{1590 \cdot 6,80 \cdot 0,68 \cdot 160,2}{120 \cdot 75} = \text{..} \quad 131$$

c) Indizierte Gesamtleistung $N_i = N_{i_1} + N_{i_2} = \text{..} \quad 261$

Indizierter Arbeitsverbrauch der Luftpumpen:

a) Niederdruckzylinder:

$$N_{i_{io}} = \frac{f_o \cdot p_m \cdot s \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{136,9 \cdot 1,61 \cdot 0,204 \cdot 160,2}{60 \cdot 75} = \text{PS}_i \quad 1,6$$

$$N_{i_{iu}} = \frac{153,8 \cdot 1,60 \cdot 0,204 \cdot 160,2}{60 \cdot 75} = \text{..} \quad 1,8$$

$$N_{i_1} = N_{i_{io}} + N_{i_{iu}} = 1,6 + 1,8 = \text{..} \quad 3,4$$

b) Hochdruckzylinder:

$$N_{i_2} = \frac{28,27 \cdot 16,5 \cdot 0,204 \cdot 160,2}{60 \cdot 75} = \text{..} \quad 3,4$$

c) Für eine Luftpumpe $N_{lu} = N_{i_1} + N_{i_2} =$

$$3,4 + 3,4 = \text{..} \quad 6,8$$

d) Für beide Luftpumpen: $2 \cdot N_{lu} = 2 \cdot 6,8 = \text{..} \quad 13,6$

Elektrische Leistung: Spannung Volt 229

Stromstärke Amp 578

$$\text{Leistung} \left\{ \begin{array}{l} 229 \cdot 578 = \text{Watt} \quad 132400 \\ N_{el} = \frac{132400}{736} = \text{PS}_{el} \quad 180. \end{array} \right.$$

Nutzleistung der Dieselmachine, wenn der Wirkungsgrad des Dynamo zu $\eta_d = 0,91$ angenommen wird:

$$N_e = \frac{N_{el}}{\eta_d} = \frac{180}{0,91} = \text{..} \quad \text{PS}_e \quad 198.$$

Mechanischer Wirkungsgrad:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i - N_{lu}} = \frac{198}{261 - 13,6} = \text{..} \quad 0,80$$

Brennstoff: Paraffinöl, Heizwert für 1 kg WE 9810

Verbrauch a) im ganzen kg 42,0

b) in der Stunde $\frac{42,0}{67,5} \cdot 60 =$ „ 37,3

c) „ „ „ für 1 PS_i $\frac{37,3}{261} =$ „ 0,143

d) „ „ „ für 1 PS_e $\frac{37,3}{198} =$ „ 0,189

e) „ „ „ „ 1 PS_e,

umgerechnet auf Brennstoff von 10 000 WE

$$\frac{0,189 \cdot 9810}{10000} = \dots \dots \dots \text{„ } 0,185$$

Kosten: a) für 100 kg beispielweise M. 11,00

b) für 1 PS_e-Std $\frac{0,189}{100} \cdot 11,00 \cdot 100 =$ Pf. 2,08

Kühlwasser: a) im ganzen kg 1860

b) in der Stunde $\frac{1860}{64} \cdot 60 =$ „ 1740

c) „ „ „ für 1 PS_i $\frac{1740}{261} =$ „ 6,7

d) „ „ „ „ 1 PS_e $\frac{1740}{198} =$ „ 8,8

Temperatur: a) Zufluß °C 9

b) Abfluß „ 55,5

Wärmeaufwand in der Stunde

a) für 1 PS_i : W_i = 0,143 · 9810 = WE 1400

b) „ 1 PS_e : W_e = 0,189 · 9810 = WE 1850.

Wärmeverteilung für 1 PS_e-Std

	WE	%
Nutzbar gemacht	632	34,2
Verloren: a) durch Reibung und Luftpumpenarbeit $\frac{N_i - N_e}{N_e} \cdot 632 =$	201	10,9
b) durch die Abwärme des Kühlwassers 8,8 (55,5 — 9) =	408	22,0
c) in den Abgasen und Restverlust	609	32,9
Wärmeaufwand für 1 PS_e-Std W _e =	1850	100,0

Anhang.

Bestimmung des Heizwertes flüssiger Brennstoffe.

Diese Bestimmung sei hier an Hand des Junkersschen Kalorimeters¹⁾ beschrieben. Die in Abb. 43 schematisch dargestellte Einrichtung besteht aus der Brennstoffwage mit Zeiger

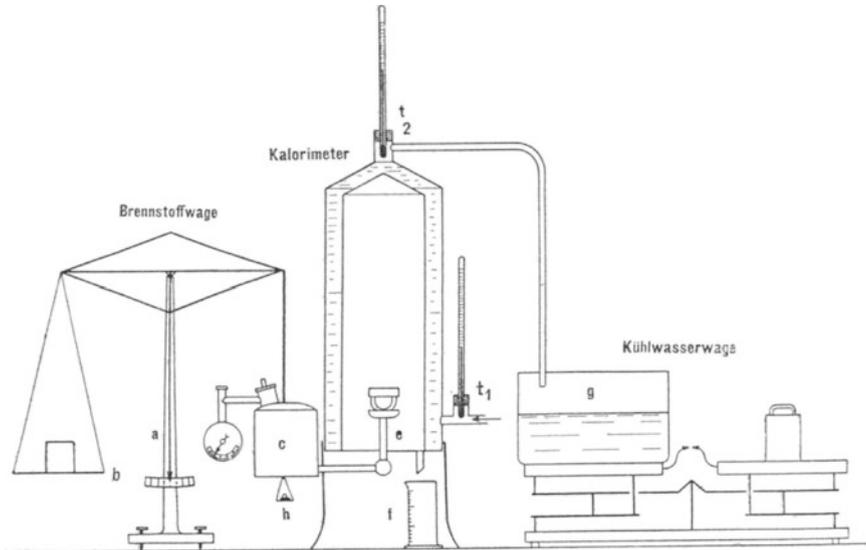


Abb. 43.

a und Skala b, dem Brennstoffbehälter c mit dem Manometer d und dem Brenner e, dem eigentlichen Kalorimeter, dem das Kühlwasser bei t_1 zu- und bei t_2 abläuft, den beiden zugehörigen, mit Lupen ablesbaren Thermometern, dem Meßzylinder f für das aus dem Wasserdampf der Verbrennungsgase niedergeschlagene Kondenswasser, der Kühlwasserwanne und einem daraufstehenden Auffangbehälter g. Die Handhabung der Einrichtung und die Durchführung einer Messung ist folgende: Man schraubt den Brennstoffbehälter auf, nimmt das Manometer ab und gießt etwa 150–200 ccm des zu untersuchenden Brennstoffes in den Behälter. Dann setzt man das Manometer wieder an und verschraubt unter Zwischenlage von Dichtungen den Behälter wieder. Hierauf stülpt man das Kalorimeter so über den Brenner, daß der letztere genau in der Mitte des Kalorimeters hängt, und

¹⁾ Junkers & Co., Dessau,

bringt die Wage durch Gewichte auf der linken Seite ins Gleichgewicht; nun muß der Brenner, ohne anzustoßen, mit der Wage auf und ab schwingen. Jetzt wird der Brenner von der Wage abgehängt, das unter dem Brennerkopf befindliche Schälchen mit Spiritus (nicht Benzin) gefüllt und entzündet. Wenn der Spiritus fast verbrannt und dadurch der Brennerkopf stark erhitzt ist, drückt man mit einer kleinen Fahrradpumpe durch den Verschluß des Brennstoffbehälters Luft ein, wodurch der Brennstoff in den Brenner aufsteigt, im Brennerkopf vergast wird und durch eine sehr feine Düse gegen den heißen Brennerkopf ausströmt. Das ausströmende Gas entzündet sich an der Spiritusflamme und erhält den Brennerkopf glühend, auch wenn der Spiritus ausgebrannt ist. Wenn kein Gas ausströmt, dann ist die Düse verstopft und muß mit der beigegebenen Reinigungsnadel durchstoßen werden.

Der am Manometer zu messende Luftdruck soll etwa 150 bis 200 mm Quecksilbersäule betragen; sinkt der Druck während des Versuches, dann muß nachgepumpt werden. Nun wird das Kalorimeter durch einen Gummischlauch mit der Wasserleitung verbunden, und erst, wenn das Wasser bei t_2 abzulaufen beginnt, darf der Brenner wieder unter das Kalorimeter gebracht und an die Wage gehängt werden. Nun begrenzt man mit dem bei t_1 befindlichen Hahn die durchlaufende Wassermenge so, daß der Temperaturunterschied $t_2 - t_1$ etwa 20°C beträgt. Wenn der Beharrungszustand eingetreten ist, kann der Versuch beginnen. Man richtet nun durch Auflegen eines kleinen Gewichtes auf die unter dem Brennstoffbehälter einzuhängende Schale h oder durch Abnehmen von Gewichten von der linken Wagschale die Wage so ein, daß der Brennstoffbehälter mit einigen Gramm das Übergewicht erhält. Unterdessen tariert man den Kühlwasserbehälter auf seiner Wage aus und läßt das bei f abtropfende Kondenswasser in ein nicht zum eigentlichen Versuch zu benutzendes Gefäß fließen.

Der Versuch beginnt, sobald der Zeiger der Wage, die durch das allmähliche Aufzehren von Brennstoff wieder ins Gleichgewicht kommt, durch den Nullpunkt der Skala hindurchgeht. Genau von diesem Augenblick ab fängt man das Kühlwasser durch Hereinschwenken eines bei t_2 angeschlossenen Schlauches auf, schiebt den Meßzylinder f unter und beginnt mit den Temperaturablesungen bei t_1 und t_2 , die regelmäßig alle Minuten wiederholt werden. Nun gibt man den Brennstoffbehälter durch Auflegen von $B = 10, 15$ oder 20 g das Übergewicht. Der Versuch ist beendet, wenn die diesem Übergewicht ent-

sprechende Brennstoffmenge verbrannt ist und der Zeiger der Wage wieder durch den Nullpunkt der Skala hindurchgeht. In diesem Augenblick entfernt man den Schlauch aus dem Kühlwassergefäß und den Meßzylinder f; dann wird das Kühlwassergewicht W kg und die Kondenswassermenge w ccm festgestellt.

Der obere Heizwert ist die von 1 kg Brennstoff an das Kühlwasser abgegebene Wärmemenge

$$H_o = \frac{W (t_2 - t_1)}{B} \cdot 1000 \text{ WE.}$$

Den unteren Heizwert erhält man durch Subtraktion des auf 1 kg Brennstoff bezogenen Wärmehalts des Kondenswassers, den man für jedes kg Wasser genügend genau zu 600 WE annehmen kann. Die aufgefangene Kondenswassermenge betrage w ccm.

$$\text{Also} \quad H_u = H_o - \frac{600 \cdot w}{B} \text{ WE.}$$

Die bei einem solchen Kalorimeterversuch erforderlichen Aufschreibungen und Ausrechnungen zeigt folgendes Beispiel:

Brennstoff B g	Kühlwasser W kg	Kondens- wasser W ccm	Kühlwassertemperatur	
			t_1	t_2
			16,25	40,20
			16,10	40,82
			15,95	41,85
			15,80	41,70
			15,70	41,20
			15,60	41,93
			15,49	41,78
			15,40	41,50
10,0	4,177	11,0	15,80	41,37

$$\text{Oberer Heizwert } H_o = \frac{4,177 (41,37 - 15,80)}{10,0} \cdot 1000 = 10680 \text{ WE}$$

$$\text{Unterer Heizwert } H_u = 10680 - \frac{600 \cdot 11}{10,0} = 10020 \text{ WE.}$$

Der Brenner wird durch Öffnen der über dem Manometer befindlichen Verschlußschraube abgestellt. Nach dem Gebrauch ist der Brennstoffbehälter gut mit Benzin zu reinigen. Vor einer neuen Untersuchung ist er mit einigen ccm des zu untersuchenden Brennstoffes auszuspülen. Benzin darf nicht in der Nähe offener Flammen eingefüllt werden.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Technische Untersuchungsmethoden zur Betriebskontrolle, insbesondere zur Kontrolle des Dampfbetriebes. Zugleich ein Leitfaden für die Arbeiten in den Maschinenlaboratorien technischer Lehranstalten. Von Ingenieur **Julius Brand**, Oberlehrer der Kgl. Vereinigten Maschinenbauschulen zu Elberfeld. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. In Vorbereitung.

Wärmetechnik des Gasgenerator- und Dampfkessel-Betriebes. Die Vorgänge, Untersuchungs- und Kontrollmethoden hinsichtlich Wärmeerzeugung und Wärmeverwendung im Gasgenerator- und Dampfkessel-Betrieb. Von Ingenieur **Paul Fuchs**. Dritte, erweiterte Auflage. Mit 43 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 5,—.

Formeln und Tabellen der Wärmetechnik. Zum Gebrauch bei Versuchen in Dampf-, Gas- und Hüttenbetrieben. Von **Paul Fuchs**, Ingenieur. In Leinwand gebunden Preis M. 2,—.

Handbuch der Feuerungstechnik und des Dampfkesselbetriebes nebst Tabellen, Diagrammen, Rechnungsbeispielen sowie einem Anhang über allgemeine Wärmetechnik. Von Dr.-Ing. **Georg Herberg**, Halle a. S. Erscheint im Frühjahr 1913.

Die Technologie des Maschinentechnikers. Von Ing. **Karl Meyer**, Prof., Oberlehrer an den Kgl. Verein. Maschinenbauschulen zu Köln. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 377 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 8,—.

Entwerfen und Berechnen der Dampfmaschinen. Ein Lehr- und Handbuch für Studierende und angehende Konstrukteure. Von **Heinrich Dubbel**, Ingenieur. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 470 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 10,—.

Die Steuerungen der Dampfmaschinen. Von Dipl.-Ing. **Heinrich Dubbel**. Mit 446 Textfiguren. Erscheint im Frühjahr 1913.

Hilfsbuch für den Maschinenbau. Für Maschinentechniker sowie für den Unterricht an technischen Lehranstalten. Von Prof. **Fr. Freytag**, Lehrer an den Technischen Staatslehranstalten zu Chemnitz. Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 1108 Textfiguren, 10 Tafeln und einer Beilage für Österreich. In Leinwand gebunden Preis M. 10,—; in Leder gebunden M. 12,—.

Die ortsfesten Kolbendampfmaschinen. Von **Fr. Freytag**, Königl. Baurat, Lehrer an den Technischen Staatslehranstalten in Chemnitz. Mit 319 in den Text gedruckten Figuren und 18 Tafeln. Preis M. 14,—; in Leinwand gebunden M. 16,—.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Verlag von Julius Springer in Berlin.

Die Dampfkessel. Ein Lehr- und Handbuch für Studierende technischer Hochschulen, Schüler höherer Maschinenbauschulen und Techniken sowie für Ingenieure und Techniker. Bearbeitet von **F. Tetzner**, Professor, Oberlehrer an den Kgl. Verein. Maschinenbauschulen zu Dortmund. Vierte, verbesserte Auflage. Mit 162 Textfiguren und 45 lithogr. Tafeln. In Leinwand gebunden Preis M. 8,—.

Die Dampfkessel nebst ihren Zubehörteilen und Hilfseinrichtungen. Ein Hand- und Lehrbuch zum praktischen Gebrauch für Ingenieure, Kesselbesitzer und Studierende. Von **R. Spalckhaver**, Regierungsbaumeister, Oberlehrer an der Kgl. Höheren Maschinenbauschule Altona a. E., und Ing. **Fr. Schneiders**, M.-Gladbach (Rhld.). Mit 679 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 24,—.

Die Grundlagen der deutschen Material- und Bauvorschriften für Dampfkessel. Von Professor **R. Baumann** an der Kgl. Technischen Hochschule Stuttgart. Mit einem Vorwort von Kgl. Württ. Baudirektor, Professor Dr.-Ing. **C. v. Bach**. Mit 38 Textfiguren. Kartoniert Preis M. 2,80.

Berechnung, Entwurf und Betrieb rationeller Kesselanlagen. Von **Max Gensch**, Ingenieur. Mit 95 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 6,—.

Dampfkessel-Feuerungen zur Erzielung einer möglichst rauchfreien Verbrennung. Von **F. Haier**. Zweite Auflage, im Auftrage des Ver. deutsch. Ing. bearbeitet vom Verein für Feuerungsbetrieb und Rauchbekämpfung in Hamburg. Mit 375 Textfiguren, 29 Zahlentafeln und 10 lithogr. Tafeln.

In Leinwand gebunden Preis M. 20,—.

Technische Messungen bei Maschinen-Untersuchungen und im Betriebe. Zum Gebrauch in Maschinenlaboratorien und in der Praxis. Von Professor Dr.-Ing. **Anton Gramberg**, Dozent an der Technischen Hochschule zu Danzig. Zweite, umgearbeitete Auflage. Mit 223 Textfiguren. In Leinwand gebunden Preis M. 8,—.

Verdampfen, Kondensieren und Kühlen. Erklärungen, Formeln und Tabellen für den praktischen Gebrauch. Von **E. Hausbrand**, Königl. Baurat. Fünfte, vermehrte Auflage. Mit 45 Textfiguren und 94 Tabellen. In Leinwand gebunden Preis M. 12,—.

Die Werkzeugmaschinen und ihre Konstruktionselemente. Ein Lehrbuch zur Einführung in den Werkzeugmaschinenbau von **Fr. W. Hülle**, Ingenieur, Oberlehrer an der Königlichen Höheren Maschinenbauschule in Stettin. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 877 Textfiguren und 6 Tafeln.

Erscheint Ende Januar 1913.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.