

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Zur Beurteilung der Brennstoffe und der Leistung von Dampfkesseln vom chemischen Standpunkt aus

Bunte, Hans

München, 1906

[urn:nbn:de:bsz:31-274152](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-274152)

Bunte
Leistung von
Dampfkesseln

1906

IV A
7311

vergl. Aug. 11. Linnéther 14

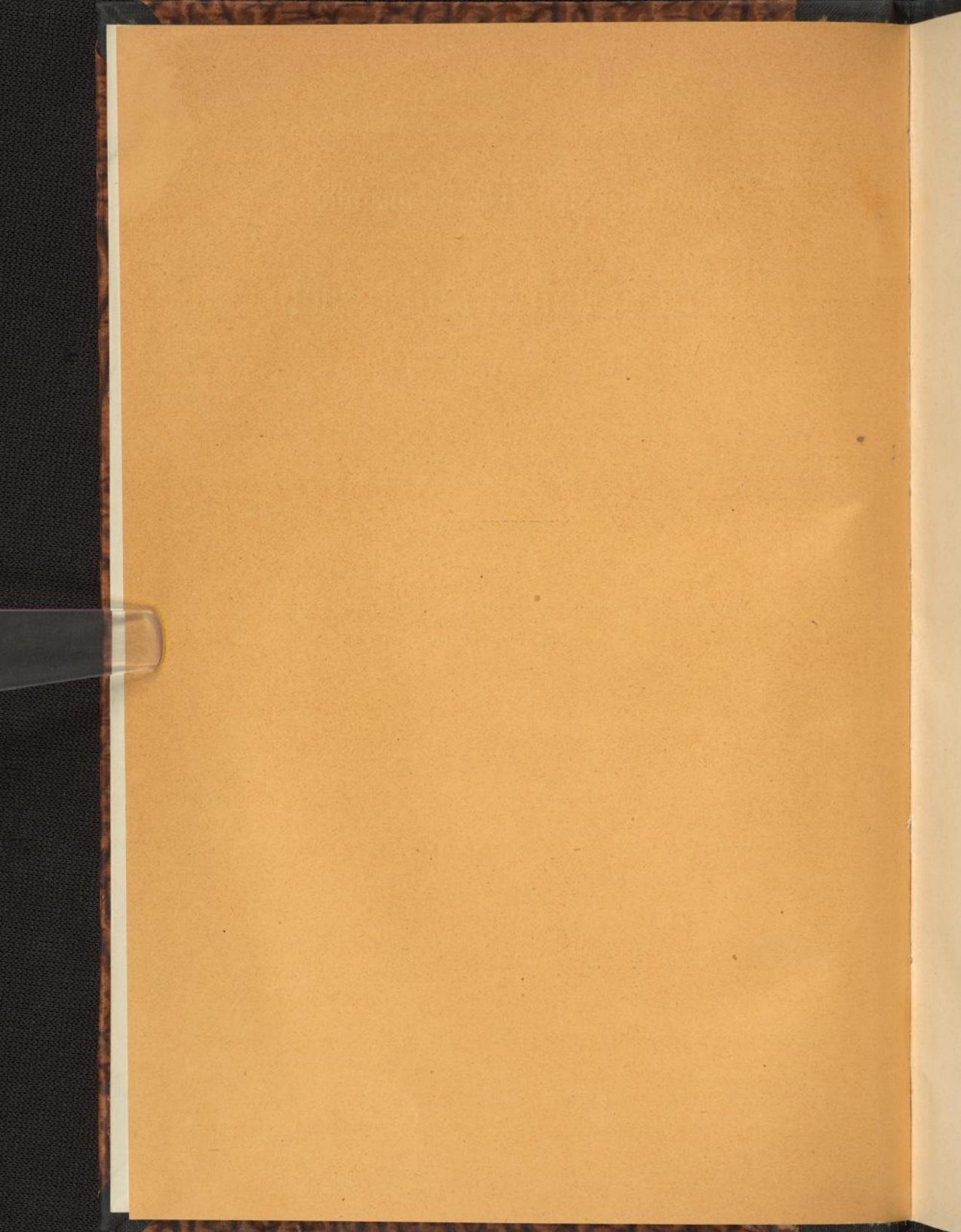
Zur Beurteilung der Brennstoffe
und der
Leistung von Dampfkesseln
vom chemischen Standpunkt aus.

Von
Geh. Hofrat **Dr. H. Bunte**,
Professor an der Technischen Hochschule in Karlsruhe.

Nebst Anhang:
Normen für die Leistungsversuche an Dampfkesseln
und Dampfmaschinen.

München.
Druck von R. Oldenbourg.
1906.

Blü



Zur Beurteilung der Brennstoffe
und der
Leistung von Dampfkesseln

vom chemischen Standpunkt aus.

Von

Geh. Hofrat **Dr. H. Bunte,**

Professor an der Technischen Hochschule in Karlsruhe.

Nebst Anhang:

Normen für die Leistungsversuche an Dampfkesseln
und Dampfmaschinen.

München.

Druck von R. Oldenbourg.

1906.

IV A 7311



 **KIT-Bibliothek**
Straße am Forum 2
76131 Karlsruhe

Die Normen¹⁾ für Leistungsversuche an Dampfkesseln und Dampfmaschinen, wie sie aus eingehenden Beratungen nunmehr hervorgegangen sind (vgl. S. 21 ff.), zeigen gegenüber den im Jahre 1884 aufgestellten »Grundsätzen und Anleitung für die Untersuchung an Dampfkesseln und Dampfmaschinen« einen wesentlichen Fortschritt, der sich am deutlichsten in dem Satz 39 ausspricht: »Der Heizwert des Brennstoffs ist kalorimetrisch zu ermitteln«.

Als man vor 16 Jahren an die Aufstellung von Grundsätzen für die Untersuchung von Dampfkesseln herantrat, waren die Meinungen über den Heizwert der Brennstoffe noch sehr geteilt; einerseits glaubte man, den Zusammenhang zwischen chemischer Zusammensetzung und Verbrennungswärme des Brennstoffs in Abrede stellen zu müssen, andererseits waren die Verfahren zur unmittelbaren Ermittlung des Heizwerts so umständlich und unsicher, daß man ganz davon Abstand nehmen mußte, Bestimmungen über die Feststellung dieser wichtigsten Grundlage für die Beurteilung jeder Feuerung zu treffen, und nur im Anhang wurde empfohlen, den Heizwert nach der sogenannten »Verbandsformel« annähernd zu berechnen. Inzwischen haben die Verfahren der kalorimetrischen Untersuchung, dank den Fortschritten auf physikalisch-chemischem Gebiet, eine solche Einfachheit, Sicherheit und Genauigkeit und infolgedessen eine so weite Verbreitung erlangt, daß die kalorimetrische Bestimmung des Heizwerts der Brennstoffe nunmehr allgemein gefordert werden darf.

¹⁾ Diese Abhandlung wurde auf Wunsch des zur Beratung der Normen für Leistungsversuche an Dampfkesseln und Dampfmaschinen vom Verein deutscher Ingenieure, dem Internationalen Verband der Dampfkessel-Überwachungsvereine und dem Verein deutscher Maschinenbauanstalten eingesetzten Ausschusses verfaßt.

Auch die im Streit der Meinungen vielfach verwirrten Ansichten über die Beziehungen zwischen chemischer Zusammensetzung und Verbrennungswärme der fossilen Brennstoffe haben sich im letzten Jahrzehnt wesentlich geklärt. Es kann nach den nunmehr vorliegenden umfangreichen Erfahrungen kein Zweifel darüber bestehen, daß der Heizwert der Kohlen mittels der vor 16 Jahren empfohlenen »Verbandsformel« — unter der selbstverständlichen Voraussetzung richtiger Elementaranalysen — mit großer Annäherung richtig ermittelt werden kann und bei den seither auf dieser Grundlage ausgeführten Leistungsversuchen annähernd richtig bestimmt worden ist. Man konnte deshalb, einer Anregung aus der Praxis folgend, neben der Forderung der kalorimetrischen Bestimmung des Heizwerts auch die »Verbandsformel« in die neuen Normen als Bemerkung aufnehmen.

Je größer die Sicherheit und Genauigkeit der vom Chemiker im Laboratorium auszuführenden Untersuchung der Brennstoffe auf Heizwert und chemische Zusammensetzung ist, um so wichtiger wird die Entnahme einer richtigen Durchschnittsprobe der zu Leistungsversuchen verwendeten Brennstoffe; denn nur wenn die zur Untersuchung gelieferte verhältnismäßig kleine Menge so genau als möglich der durchschnittlichen Beschaffenheit des verheizten Brennstoffs, namentlich in bezug auf den Wasser- und Aschegehalt, entspricht, kann ein richtiges Ergebnis erwartet werden. Diese Bedingung ist nun bei einem Brennstoff von häufig so wechselnder Beschaffenheit, wie Steinkohle oder Braunkohle, keineswegs leicht zu erfüllen, und es ist alle Sorgfalt des Versuchsleiters besonders auf diesen Punkt zu richten. In den »Normen« ist deshalb besonderes Gewicht auf die richtige Entnahme der Durchschnittsprobe gelegt und ausführliche Anweisung dazu gegeben worden (unter 29). Bei sorgfältiger Ausführung der Probenahme wird bei älteren Steinkohlen je nach den mehr oder weniger günstigen Verhältnissen (verschiedene Stückgröße — Kleinkohle — Förderkohle — Wassergehalt) eine Übereinstimmung zwischen Probe- und Versuchskohle im Asche- und Wassergehalt auf 1 bis 2% erreicht werden können.

Besondere Schwierigkeiten bietet bei jüngeren Kohlen und Braunkohlen der rasch veränderliche Wassergehalt. Bis zu welchem Grade Zusammensetzung und Heizwert hierdurch beeinflusst werden können, geht aus Versuchen hervor, die ich auf Veranlassung des Herrn Münter-Halle a. S. vor einiger Zeit unternommen habe. Eine in verlöteter Blechbüchse verpackte Braunkohlenprobe zeigte einen Wassergehalt von 52,5%; eine zweite in derselben Weise verpackte und mehrere Wochen aufbewahrte Probe gab den gleichen Wassergehalt (52,8%), ebenso eine dritte unter gutem Glasverschluss aufbewahrte Probe (52,6%) und eine vierte nicht verlötete, aber mit gut schließendem, übergreifendem Blechdeckel versehene Büchse (52,6%); dagegen zeigte dieselbe Kohlenprobe aufbewahrt

14 Tage in gut verschlossener Holzkiste	48,4%	Wasser
9 » » lose » » »	44,5 »	»
und nach 14 Tagen lose verschlossen in einer Holzkiste	41,6 »	»

Es ergibt sich daraus, daß Kohlenproben mit hohem Wassergehalt in verlöteten oder sonst dicht verschlossenen Blechbüchsen oder in gut schließenden Gläsern aufbewahrt und zur Untersuchung gebracht werden müssen; auch eine mit übergreifendem, gut schließendem Blechdeckel versehene Büchse ohne Verlötung kann bei größeren Proben Wasserverlust verhüten. Bei Verpackung in Holzkisten können jedoch erhebliche Wasserverluste eintreten, und es ist für die Ermittlung des wahren Wassergehalts der Kohle die Entnahme von sogenannten »Feuchtigkeitsproben« in Glas- oder verlöteten Blechgefäßen unerläßlich. Da bei der gleichen Kohle der Heizwert mit abnehmendem Wassergehalt wächst, so würde bei sorgloser längerer Aufbewahrung der Kohlenprobe, wie im letzten der angeführten Fälle, eine Erhöhung des Heizwerts um mehr als 10% eintreten können.

Ebenso wie bei Aufbewahrung und Transport kann auch bei der nachherigen Aufbereitung (Zerkleinerung und Teilung) für die chemische Analyse Wasserverlust eintreten; um diesen zu vermeiden, wird zweckmäßig zunächst die sogenannte »grobe Feuchtigkeit«, d. h. der Wasserverlust be-

stimmt, den die Kohlenprobe erleidet, während sie bei Zimmertemperatur 2 bis 8 Tage an der Luft liegt, und erst mit dieser »lufttrockenen Probe« wird die weitere Aufbereitung für die chemische und kalorimetrische Untersuchung vorgenommen. In den oben erwähnten Fällen betrug der Gewichtsverlust innerhalb 8 Tagen bei gewöhnlicher Temperatur 30 bis 20%, je nach dem ursprünglichen Feuchtigkeitsgrad und der Stückgröße der Kohlen.

Diese Beispiele sollen die Aufmerksamkeit auf einige nach meiner Erfahrung häufig zu wenig beachtete Punkte lenken, deren sorgfältige Berücksichtigung bei Leistungsversuchen namentlich dann notwendig ist, wenn ein gewisser Prozentsatz der Ausnutzung des Heizwerts im Dampfkessel bedungen ist.

Was die Einzelheiten der chemischen und kalorimetrischen Untersuchung anlangt, so ist hier nicht der Ort, darauf näher einzugehen. Es mag nur darauf hingewiesen werden, daß die von mancher Seite empfohlene Verschärfung der kalorimetrischen Methode durch Korrekturen für Bildung von Oxyden des Stickstoffs oder des Schwefels bei Verbrennung im komprimierten Sauerstoff, oder die Ermittlung des Stickstoffgehalts der Kohle, so wertvoll und unerläßlich sie für manche wissenschaftliche Untersuchungen sind, gegenüber den oben geschilderten Verhältnissen bei Leistungsversuchen nur eine untergeordnete Bedeutung besitzen und im Interesse der Einfachheit und Sicherheit der Heizwertbestimmung meist aufser Betracht bleiben können.

Möglichste Einfachheit und Sicherheit der kalorimetrischen Untersuchungen ist besonders deshalb wünschenswert, weil sie immer mehr zur fortlaufenden Überwachung von Brennstofflieferungen in größeren Betrieben Eingang finden, in denen die Hilfsmittel eines chemischen Laboratoriums nicht, oder nicht in vollem Umfange, zur Verfügung stehen (z. B. bei Dampfkesselvereinen, Elektrizitätswerken, Wasserwerken, Zuckerfabriken); für solche Zwecke wird es in vielen Fällen angängig sein, auf die ziemlich umständliche und unsichere Ermittlung der Menge des Verbrennungswassers zu verzichten und — an Stelle der daraus berechneten genauen

Korrektur — für die latente Wärme des in der Bombe verdichteten Verbrennungswassers, je nach der Natur des Brennstoffs, einen festen Betrag in Abzug zu bringen.

Bekanntlich bewegt sich der Wasserstoffgehalt der Steinkohlen, um die es sich fast ausschließlich handelt, innerhalb sehr enger Grenzen: in runden Zahlen zwischen 4 und 5% des Kohlegewichts. Dementsprechend beträgt die Menge des zu erwartenden Verbrennungswassers zwischen $4 \times 9 = 36$ und $5 \times 9 = 45\%$ der verbrannten Kohle. Setzt man die latente Wärme des Wasserdampfes = 600 WE, so ergibt dies für je 1% Wasserstoff eine Korrektur von $1 \times 9 \times 6 = 54$ WE, also für 4% H 216 WE, für 5% H 270 WE auf 1 g im Kalorimeter verbrannter Kohle. Bei der Mehrzahl der für Kesselheizung verwendeten Steinkohlen liegt nach zahlreichen Untersuchungen¹⁾ der Wasserstoffgehalt zwischen 4,5 und 5,2%. Zieht man eine große Zahl von Untersuchungen über Kohlen, welche im hiesigen Laboratorium gemacht worden sind, in Betracht, so findet man, daß der Wasserstoffgehalt der Ruhrkohlen im großen Durchschnitt 4,7% beträgt. Jüngere Kohlen: Saarkohlen und sächsische Kohlen, bewegen sich im Mittel um 5%. Ähnliche Verhältnisse zeigen die schlesischen Kohlen. Man wird also nicht weit fehlgehen, wenn man bei Kesselkohlen (Steinkohlen) für Verbrennungswasser eine mittlere Korrektur von 250 WE von der in der Bombe gefundenen Verbrennungswärme in Abzug bringt. Dazu kommt noch der bei älteren Kohlen sehr geringe Betrag für Feuchtigkeit: etwa 2%, der auch bei jüngeren Steinkohlen im lufttrockenen Zustande meist unter 5% bleibt. Da 1% Wassergehalt 6 WE entspricht, so bewegt sich auch diese Korrektur je nach dem Feuchtigkeitsgehalt der Kohlen zwischen 12 und 30 WE auf 1 g. Größer wird die letztere Korrektur bei Braunkohlen, die 30 bis 50% Wasser enthalten können, also zwischen 180 und 300 WE, und bei denen eine Trockenbestimmung nicht zu entbehren ist, wenn brauchbare Werte erhalten werden sollen. In sachgemäßer Anwendung kann man nach dem Gesagten auch für andere Brennstoffe,

¹⁾ Vgl. Tabelle I (Beilage).

etwa Magerkohlen, Anthrazite, Koks usw. die Wasserkorrektur berechnen, wenn es sich um angenäherte Vergleichswerte handelt.

Nachdem mir wiederholt aus der Praxis Fragen über die eben besprochenen Verhältnisse vorgelegt worden sind, glaubte ich, sie hier etwas eingehender behandeln zu dürfen; denn es kann im Interesse einer wirtschaftlich guten Verwendung unserer Brennstoffe nur erwünscht sein, wenn die Wichtigkeit kalorimetrischer Untersuchungen in immer weiteren Kreisen erkannt und bei Bewertung der Brennstoffe als zuverlässiger Maßstab allgemeiner als bisher ihr Heizwert zugrunde gelegt wird.

Über Heizwert und chemische Zusammensetzung in Deutschland gebräuchlicher Brennstoffe sind in neuerer Zeit nur vereinzelte Mitteilungen erschienen; es dürfte deshalb von Interesse sein, in Tabelle I (Beilage) eine Übersicht über einige Brennstoffe zu geben, welche großenteils zu Leistungsversuchen gedient haben und in letzter Zeit in der meiner Leitung unterstellten Großherzoglich Badischen chemisch-technischen Prüfungs- und Versuchsanstalt untersucht worden sind.

In dieser Zusammenstellung hat die in alphabetischer Ordnung aufgeführte Herkunft der Kohle nur eine untergeordnete Bedeutung, da bekanntlich eine Reihe von Zechen verschiedene Kohlengattungen abbauen und anderseits verschiedene Zechen aus den gleichen Flözen fördern und Kohlen sehr ähnlicher Beschaffenheit liefern. Der Hauptwert liegt vielmehr darin, daß sämtliche aufgeführte Kohlenproben durch Elementarzusammensetzung und Verkokungsprobe chemisch genau gekennzeichnet und daß gleichzeitig ihre Heizwerte kalorimetrisch festgestellt sind. Nur unter Berücksichtigung der chemischen und kalorischen Seite ist es möglich, unsere Kenntnisse über die Steinkohlen zu erweitern und zu vertiefen, und bei der grundlegenden Bedeutung, welche diese Rohstoffe für unsere ganze Industrie besitzen, würden ausgedehnte systematische Untersuchungen auf diesem Gebiet sehr zu begrüßen sein.

Inwieweit es möglich ist, aus dem vorliegenden, wenn auch noch sehr lückenhaften Material einige allgemeinere Schlüsse abzuleiten, soll an Hand der vorliegenden Tabelle kurz angedeutet werden.

Zunächst mag bemerkt sein, daß die Angaben der Tabelle sich meist auf Durchschnittsproben von »guten«, d. h. asche-armen Kohlen beziehen, wie sie in der Regel zu Leistungs- und Garantievorsuchen verwendet werden; in der Mehrzahl der Fälle beträgt der Gehalt an »brennbarer Substanz« (Spalte 8) bei Steinkohlen über 90%, so daß Feuchtigkeit und Asche zusammen nicht mehr als 10% ausmachen. Der Aschegehalt kann selbstverständlich, je nach der Güte, innerhalb sehr weiter Grenzen schwanken; der natürliche Wassergehalt ist jedoch bei den ältesten Steinkohlen sehr gering und beträgt bei älteren Ruhrkohlen selten über 2,2%; bei jüngeren Steinkohlen, z. B. Saarkohlen, schlesischen und sächsischen Steinkohlen steigt der Wassergehalt auf 10 bis 12% und erreicht bei Braunkohlen bekanntlich mehr als 50%, ohne daß der Brennstoff naß erscheint. Wasser- und Aschegehalt können also den Heizwert der Brennstoffe weit stärker beeinflussen als die verschiedene Beschaffenheit der eigentlichen brennbaren Substanz. Auch für rein praktische Zwecke ist demnach die Ermittlung des Wasser- und Aschegehalts des Brennstoffs neben dem kalorimetrisch bestimmten Heizwert der Kohle unerläßlich.

Der eigentliche Charakter der Kohle kommt jedoch erst in dem Heizwert und der chemischen Zusammensetzung der »brennbaren Substanz« zum Ausdruck. Dieser aus den Versuchsergebnissen berechnete Heizwert der brennbaren Substanz ist in der Tabelle am Schluss in fetten Ziffern beigesetzt, und es läßt sich mit Hilfe dieses Wertes nach Bestimmung des Wasser- und Aschegehalts eine Prüfung bestimmter Kohlenlieferungen auf ihre Beschaffenheiten in einfachster Weise ausführen. Solche Prüfungen sind in größeren Betrieben, namentlich dort, wo die Frachtkosten wegen des weiteren Transports den Preis des Brennstoffs wesentlich beeinflussen, mehrfach seit längerer Zeit in Übung und liefern durchaus befriedigende Ergebnisse. Es ist mir sogar ein Fall

bekannt, bei welchem der für die gelieferten Kohlen bezahlte Preis nach einem Einheitssatz für 100000 WE berechnet wird; dies ist selbstverständlich nur dann möglich, wenn nicht nur der Wasser- und Aschegehalt innerhalb enger Grenzen gleichmäÙig gehalten werden kann, wie etwa bei sorgfältig aufbereiteten (gewaschenen) Kohlen oder den aus solchen Kohlen hergestellten Briketts, sondern auch der Heizwert der eigentlichen brennbaren Substanz nur sehr geringen Schwankungen unterworfen ist.

Innerhalb welcher Grenzen sich der Heizwert der brennbaren Substanz bei den in Tabelle I aufgeführten Brennstoffen bewegt, läÙt sich aus der letzten Spalte entnehmen. FaÙt man zunächÙt die Steinkohlen ins Auge, bei denen der Kohlenstoff mehr als $\frac{3}{4}$ der brennbaren Substanz ausmacht (zwischen 75% C und 90% C), so ist es ohne weiteres klar, daÙ der Heizwert mit dem Gehalt an Kohlenstoff im allgemeinen steigt und fällt. Selbstverständlich wird auch der Gehalt an Wasserstoff und Sauerstoff bei verschiedenen Kohlenarten einen mehr oder minder groÙen Einfluss ausüben; er ist jedoch im allgemeinen bei Heizkohlen nicht groÙ genug, um eine gewisse RegelmäÙigkeit der Zunahme des Heizwerts mit dem Kohlenstoffgehalt zu stören. Dies geht aus Tabelle II hervor, in welcher die Heizwerte nach dem Kohlenstoffgehalte der brennbaren Substanz (aus Tabelle I, Spalte 9) mit Abständen von 1% C geordnet sind, und zwar stellen die beigeschriebenen Heizwerte die Mittel aus den Einzelbestimmungen dar, deren Zahl in Klammer beigeseÙt ist.

(Tabelle II siehe nächste Seite.)

Wenn auch das bis jetzt vorliegende Material noch nicht ausreicht, weitergehende Schlüsse daran zu knüpfen, so dürfte doch diese Übersicht geeignet sein, die Beziehung der chemischen Zusammensetzung zum Heizwert der Kohle zu zeigen und den überwiegenden Einfluss des Kohlenstoffgehalts, der die Unterschiede in den Erzeugnissen verschiedener Kohlenbecken fast verwischt, erkennen zu lassen. Bei jüngeren Kohlen: Molassekohlen, Braunkohlen usw., sind der Natur der Sache nach diese RegelmäÙigkeiten, soweit das vor-

Tabelle II.

Heizwert der brennbaren Substanz von Steinkohlen,
geordnet nach dem Kohlenstoffgehalt.

Kohlenstoffgehalt der brennbaren Substanz % C	Heizwert				
	Ruhrkohle	Saarkohle	Schlesische	Sächsische	Briketts
91/90	8559(4)	—	—	—	8581(3)
89	8515(8)	—	—	—	—
88	8428(7)	—	8365(1)	—	8353(2)
87	8369(5)	—	—	—	—
86	8291(6)	—	—	—	—
85	8237(3)	8194(5)	—	—	—
84	8041(2)	8128(4)	—	—	—
83	8029(2)	8133(2)	7957(2)	—	—
82	7792(1)	7919(2)	7837(1)	7901(1)	—
81	—	7745(3)	—	7816(2)	—
80	—	7697(4)	—	—	—
79	—	—	—	—	—
78	—	7180(1)	—	—	—
77	—	—	—	—	—
76	—	7254(1)	—	—	—

handene Material reicht, ziemlich stark verwischt, und man wird nur an Hand eines umfangreichen und auf planmäßigen Versuchen aufgebauten Beobachtungsmaterials beurteilen können, inwieweit es möglich sein wird, zu allgemeineren Schlüssen zu gelangen. Es sollte deshalb niemals unterlassen werden, bei Leistungsversuchen die in den »Normen« angegebene eingehende chemische Untersuchung der verwendeten Brennstoffe durchzuführen, da nur hierdurch die Ergebnisse eine allgemeinere, über den besonderen Fall hinausgehende wissenschaftliche Bedeutung gewinnen können.

Was nun die chemischen Beobachtungen während eines Heizversuchs anlangt, so beziehen sie sich auf die Untersuchung der Verbrennungsprodukte: einerseits Ermittlung des Verbrennlichen in den Herdrückständen, anderseits Bestimmung der Temperatur und Zusammensetzung der Verbrennungsgase, der soge-

nannten Heizgase. Von größter Wichtigkeit ist die richtige Bestimmung des durchschnittlichen Kohlensäuregehalts der Heizgase, da diese Beobachtung die Grundlage für die Berechnung des in der Regel weitaus größten Teils aller Wärmeverluste und für die Beurteilung der wirtschaftlichen Leistung der Feuerung bildet. Die in den »Normen« gegebenen Vorschriften für die Anstellung dieser Beobachtungen sowie die im Anhang mitgeteilten Bemerkungen über die Verwertung der Versuchsergebnisse sind gegenüber den »Grundsätzen« von 1884 nicht wesentlich verändert; sie haben nur eine bestimmtere Fassung erhalten. Es ist dort gezeigt, wie durch einfache Rechnung aus der Zusammensetzung des Brennstoffs und dem Kohlensäuregehalt der Heizgase das Gesamtvolumen der aus 1 kg Brennstoff entstandenen Verbrennungsgase ermittelt werden kann. Statt der sonst häufig üblichen Rechnung nach Gewicht ist die Berechnung nach Volumen¹⁾ außerordentlich einfach und übersichtlich, und man erhält einen besseren und unmittelbareren Einblick in die Vorgänge bei der Verbrennung: die Menge der durch eine Kesselanlage ziehenden Heizgase, ihre Geschwindigkeit, die Dauer des Aufenthalts in den Kesselzügen, die durch den Schornstein abzuführende Gasmenge usw.

Werden an mehreren Stellen der Kesselzüge Kohlensäurebestimmungen ausgeführt, z. B. hinter der Feuerbrücke, vor dem Rauchschieber, beim Eintritt in den Schornstein, so kann in einfachster Weise die Menge der nachgesaugten Luft bestimmt und gegebenenfalls das Vorhandensein von Undichtigkeiten und die Ursache mangelhaften Zuges in der Feuerung sofort festgestellt werden.²⁾

Aus Kohlensäuregehalt und Rauchgastemperatur am Kesselende allein, ohne daß die chemische Zusammensetzung des Brennstoffs bekannt ist oder die Menge des verdampften Wassers bestimmt zu werden braucht, kann aber auch ein unmittelbarer Schluß auf den Nutzeffekt der Feuerung

¹⁾ Vgl. Journ. f. Gasbel. u. Wasserversorgung 1878, S. 62.

²⁾ Vgl. W. Gyfsling: Versuche an Dampfkesseln auf der elektrischen Ausstellung in Frankfurt a. M.

rung gezogen und der relative Wärmeverlust durch die heißen Verbrennungsgase unmittelbar bestimmt werden.¹⁾ Die Verwertung der Heizgasbeobachtungen in dieser Richtung ist meines Wissens in den beteiligten Kreisen zu wenig bekannt, und da die »Normen« auch solche Fälle berücksichtigen, bei denen für einen bestimmten Zweck nur eine abgekürzte Untersuchung der Kesselanlage in bestimmter Richtung geplant ist, so möge hier kurz darauf eingegangen werden.

Der Kohlensäuregehalt der Rauchgase liefert einen unmittelbaren Maßstab für die stattgehabte Wärmeerzeugung bei der Bildung der Volumeneinheit (1 cbm) des Heizgases. Wird 1 cbm Kohlensäure durch Verbrennung von reinem Kohlenstoff (0,536 kg) in Sauerstoff oder in atmosphärischer Luft erzeugt, so werden 4343 WE entwickelt. Enthält ein Heizgas 1% CO₂, so sind bei seiner Bildung auf 1 cbm Rauchgas 43,43 WE erzeugt worden. Bei 5% CO₂ sind $5 \times 43,43 = 217$ WE, bei 10% CO₂ 434 WE frei geworden usw. Diese Wärmemenge hat das Verbrennungsgas auf eine bestimmte Temperatur erhitzt, die sich in einfacher Weise berechnen läßt, wenn man die aus dem Kohlensäuregehalt berechnete Wärmemenge (W) durch die Wärmekapazität von 1 cbm Rauchgas (C) dividiert. Der Ausdruck $\frac{W}{C}$ stellt die sogenannte »Anfangstemperatur« T dar. Die so berechnete Anfangstemperatur T wird in Wirklichkeit aus sehr verschiedenen Gründen nicht erreicht; es kommt dies für den vorliegenden Zweck jedoch nicht in Betracht, da T lediglich dazu dient, die erzeugte Wärmemenge mit der Abgangstemperatur der Heizgase in einfache Beziehung zu setzen und den relativen Wärmeinhalt derselben, d. i. den Wärmeverlust, zu bestimmen. Kennt man die Abgangstemperatur der Heizgase am Kesselende und ihren Temperaturüberschuß über die eintretende Luft t , so ergibt der Bruch $\frac{t}{T}$ unmittelbar das Verhältnis des Wärme-

¹⁾ Vgl. H. Bunte: Zur Wertbestimmung der Kohle. Journ. für Gasbel. und Wasserversorgung 1891, S. 41; Dinglers polyt. Journal 1891.

verlustes durch die entweichenden Heizgase zu der entwickelten Wärme, und der Ausdruck $\frac{T-t}{T}$ stellt den Anteil der innerhalb der Kesselanlage abgegebenen Wärme, den sogenannten Brutto-Nutzeffekt dar. Von dem Netto-Nutzeffekt, der durch die Verdampfungsziffer dargestellt wird, unterscheidet sich dieser Brutto-Nutzeffekt dadurch, daß er alle Wärmeverluste durch Strahlung und Leitung der Anlage in sich schließt. Da aber diese letzteren bei einer und derselben Anlage unter sonst gleichen Umständen nicht sehr erheblich schwanken, so kann diese Rechnung nicht allein zur Kontrolle der Feuerung, sondern in gewissem Grade auch zur Kontrolle der Leistung des Kessels dienen. Kohlensäuregehalt und Abgangstemperatur der Heizgase liefern also wichtige Anhaltspunkte für die Beurteilung einer Kesselanlage in ähnlicher Weise wie Indikatordiagramme für die Leistung einer Dampfmaschine,

Tabelle III.

Kohlensäure- gehalt der Heizgase % CO ₂	Wärme- kapazität von 1 cbm Heizgas C	Anfangstemperatur $\frac{W}{C}$		Unterschied für 0,1 % CO ₂
		für Kohlenstoff T	für Steinkohle T	
1	0,308	141	167	16
2	0,310	280	331	16
3	0,311	419	493	16
4	0,312	557	652	15
5	0,313	694	808	15
6	0,314	830	961	15
7	0,315	962	1112	15
8	0,316	1096	1261	15
9	0,318	1229	1407	14
10	0,319	1360	1550	14
11	0,320	1490	1692	14
12	0,322	1620	1830	14
13	0,323	1750	1968	13
14	0,324	1880	2102	13
15	0,324	2005	2237	13
16	0,325	2130	2366	—

und können zu diesem Zweck zur Überwachung des laufenden Betriebes, auch abgesehen von größeren Leistungsversuchen, in gleicher Weise wie Indikatorversuche angelegentlichst empfohlen werden.

Die Brauchbarkeit des eben geschilderten Verfahrens läßt sich an jedem sorgfältig ausgeführten Leistungsversuch, bei welchem Kohlensäuregehalt und Abgangstemperatur richtig bestimmt sind, zeigen. Zur Erleichterung der Rechnung sind in Tabelle III für Heizgase von 1 bis 16% CO₂ die Wärmekapazitäten W sowie die Anfangstemperaturen T berechnet, und zwar für die Verbrennung von reinem Kohlenstoff (C) und für die Verbrennung von Steinkohle, beides in Luft. Bei Steinkohlen, welche neben Kohlenstoff noch mehr oder weniger Wasserstoff enthalten, deren Verbrennungsprodukte außer Kohlensäure und den Luftbestandteilen auch noch Wasser enthalten, wird die Anfangstemperatur, wie aus der Tabelle ersichtlich, höher als bei der Verbrennung von reinem Kohlenstoff. Die verschiedenen natürlichen Brennstoffe zeigen jedoch in bezug auf T nur verhältnismäßig geringe Abweichungen voneinander, so daß die für Steinkohlen gegebenen Werte in der Tabelle auch für andere Kohlen benutzt werden können.¹⁾

Die vorstehende Übersicht soll nun benutzt werden, um die Brauchbarkeit der oben geschilderten Berechnung des Wärmeverlustes an einigen Beispielen zu zeigen. Wählt man die gelegentlich der elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt a. M. ausgeführten, sehr sorgfältig bearbeiteten Leistungsversuche an Dampfkesseln²⁾, so erhält man folgenden Vergleich unter I bis VII³⁾:

¹⁾ Vgl. Muspratt-Stohmann-Bunte, Bd. IV, S. 310 u. ff. Die obige Berechnung von T ist für die Steinkohle von folgender Zusammensetzung durchgeführt: C 84,85, H 5,43, O 8,18, S 0,75, N 1,16%.

²⁾ Bericht über Leistungsversuche usw., erstattet von W. Gyßling; Sauerländer, Frankfurt a. M. 1893.

³⁾ Versuch II ist nicht benutzt da er nach dem Bericht in CO₂-Gehalt und Heizgastemperatur unsicher ist.

Tabelle IV.

Versuch	Temperaturüberschufs der Heizgase t	Kohlensäuregehalt der Heizgase % CO ₂	Anfangstemperatur aus dem CO ₂ -Gehalt nach Tabelle III T	Wärmeverlust durch die Heizgase	
				berechnet $\frac{t}{T}$	im Leistungsversuch gefunden
I	287	11,9	1830	15,6	16,07
III	286	8,3	1306	22,0	22,62
IV	304	9,7	1512	20,1	20,82
V	261	9,8	1527	17,1	17,71
VI	286	10,7	1655	17,3	17,73
VII	260	12,8	1940	13,9	13,52
a	216	9,9	1383	15,6	15,41
b	213	10,5	1620	13,1	12,57
c	216	8,2	1291	16,7	15,96

Unter a, b und c sind die drei ersten Versuche der von der preussischen Rauchverhütungskommission vorgenommenen Versuche aufgeführt¹⁾, bei denen mit schlesischer Steinkohle (a und b) und mit böhmischer Braunkohle (c) geheizt wurde, während bei den Frankfurter Versuchen Ruhrkohlen verwendet worden sind. Man erkennt aus dieser Zusammenstellung, die noch durch weitere Beispiele beliebig vermehrt werden kann, daß selbst bei Verwendung verschiedenartiger Brennstoffe das abgekürzte Verfahren sehr gute Aufschlüsse gibt. Handelt es sich daher um die Feststellung des relativen Wärmeverlustes durch die Heizgase und um die Ermittlung des daraus abzuleitenden Brutto-Nutzeffektes, so kann die Untersuchung der Heizgase auf Abgangstemperatur und Kohlensäuregehalt allein auch ohne Kenntnis der chemischen Zusammensetzung und des Heizwertes der Brennstoffe diese wichtigen Werte liefern. Wegen der Schwierigkeit und Kostspieligkeit vollkommener Leistungsversuche ist dies für die Praxis von erheblicher Bedeutung.

¹⁾ Zeitschr. des Vereins für Gewerbebeifis 1894, S. 232.

Die Bestimmung der unverbrannten Bestandteile in den Heizgasen: Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffe und Ruß, bildet den dunklen Punkt des chemischen Teiles der Heizversuche, und unsere Kenntnisse über die durch unvollständige Verbrennung über dem Rost entstehenden Verluste sind noch außerordentlich mangelhaft. Im allgemeinen ist die Art des Brennstoffes, namentlich die Menge der in der Hitze flüchtigen Bestandteile, hierbei von bestimmendem Einfluß, und es ist deshalb in den »Normen« mit Recht darauf hingewiesen, daß bei der chemischen Untersuchung des Brennstoffes auch die Verkokungsprobe angestellt und die Menge der flüchtigen Teile und des zurückbleibenden Koksrückstandes bestimmt wird. Aber von nicht geringerer Bedeutung sind die Einrichtung des Feuerherdes, die Art der Bedienung und andere örtliche und zeitliche Umstände, so daß die Größe dieser Verluste nur von Fall zu Fall durch genaue Untersuchung der Heizgase bestimmt werden kann. Die üblichen Verfahren zur technischen Gasanalyse: Orsat-Apparate und Büretten, liefern nun zwar für die Ermittlung des Kohlensäuregehaltes ausreichend genaue Angaben, sie sind aber ungenügend für die Bestimmung der unverbrannten Gase, weil einerseits in der Regel nur auf Kohlenoxyd Rücksicht genommen wird, andere verbrennliche Bestandteile aber außer acht bleiben, und andererseits die Fehler dieser analytischen Verfahren für die Bestimmung so verdünnter Gase zu groß sind. Ein Gehalt der Heizgase von 0,2 Vol.-% Kohlenoxyd, der mit den gewöhnlichen Hilfsmitteln der Heizgasanalyse kaum noch sicher festgestellt werden kann, entspricht bereits einem Wärmeäquivalent von 6 WE auf 1 cbm, also bei 15 cbm Heizgas auf 1 kg Kohle $6 \times 15 = 90$ WE, bei 20 cbm Heizgas + 120 WE. Es ist deshalb in den Normen (33 Abs. 2) betont, daß die Zusammensetzung der Gase nach genauen Verfahren festgestellt werden muß, wenn der Verlust durch Unverbranntes ermittelt werden soll. Hierzu eignet sich in erster Linie die Verbrennung größerer Gasmengen einer Durchschnittsprobe (von 6 bis 10 l) mittels Kupferoxydes und Bestimmung der Menge von Kohlensäure und Wasser nach Art der Elementaranalyse und die gesonderte

Bestimmung des Rufs.¹⁾ Solche Untersuchungen sind bis jetzt nur sehr selten ausgeführt worden, und doch sind sie allein geeignet, für die Beurteilung der Leistung sog. rauchverzehrender oder rauchschwacher Feuerungen eine zuverlässige Grundlage zu geben. Es wäre deshalb sehr zu wünschen, wenn die »Normen« hierzu eine kräftige Anregung bieten würden; denn in der Tat »kann der Wärmeverlust durch unverbrannte Gase und Rufs bei qualmender Feuerung bedeutend sein«.

Über die Größe dieser Verluste findet man in der Literatur meist auf ganz allgemeinen Schätzungen beruhende, recht wenig befriedigende Angaben. Die einzige größere Versuchsreihe über Verluste durch Unverbranntes (Gase und Rufs) in den Heizgasen ist meines Wissens an der Heizversuchstation München²⁾ ausgeführt worden, und man wird, so lange nichts Besseres bekannt ist, auf diese vor zwanzig Jahren angestellten Versuche zurückgreifen müssen, um eine bestimmtere Vorstellung über diese Wärmeverluste zu gewinnen. Lassen wir hier die verwickelteren Verhältnisse bei Braunkohlen außer acht und fassen nur die Verbrennung auf dem Planroste ins Auge, so finden wir dort 52 Versuche mit Steinkohlen verschiedener Art (von der Ruhr, Saar, Schlesien, Sachsen usw.), bei denen neben der genauen Ermittlung der unverbrannten Gase auch die Menge des Rufs bestimmt und daraus der Wärmeverlust berechnet wird. Selbstverständlich lassen sich die an einer einzigen, wenn auch in der Einrichtung und im Betrieb öfter veränderten Anlage gefundenen Ergebnisse nicht ohne weiteres verallgemeinern; immerhin ist die Tatsache von Belang, daß mit dem sichtbaren Rufs auch die Menge der unsichtbaren unverbrannten Gase steigt und fällt. In 25 Fällen ist der Wärmeverlust durch unverbrannte Gase größer, während in 27 Fällen der Verlust durch Rufs überwiegt, so daß rund etwa die Hälfte auf sichtbare, die andere auf unsichtbare Verluste trifft.

¹⁾ Zeitschr. für analytische Chemie 1881, S. 163. H. Bunte: Über die Zuverlässigkeit von Rauchgas-Analysen.

²⁾ Vgl. Bayer. Industrie- und Gewerbeblatt 1879/81, H. Bunte: Berichte der Heizversuchstation München.

Der Verlust durch unverbrannte Gase und Rufs zusammen betrug bei diesen 51 Versuchen:

Wärmeverlust	$\left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ bis } 2\% \text{ in } 11 \text{ Fällen} \\ 2 \text{ » } 3\% \text{ » } 9 \text{ »} \\ 3 \text{ » } 4\% \text{ » } 13 \text{ »} \\ 4 \text{ » } 5\% \text{ » } 6 \text{ »} \\ \text{über } 5\% \text{ » } 12 \text{ »} \end{array} \right.$
in % des	
Heizwertes	
der Kohlen	

Schließt man zunächst diejenigen Fälle aus, bei denen absichtlich ungünstige Verbrennungsbedingungen: große Schichthöhe, ungenügender Zug, Verschlacken des Rostes usw., herbeigeführt wurden, so findet man, daß in 40 Fällen bei rauchschwacher Feuerung der Wärmeverlust durch Gase und Rufs den Betrag von 5% nicht überstieg; bei sorgfältiger Bedienung des Feuers konnte in den meisten Fällen eine ziemlich vollkommene Verbrennung bei einem Kohlensäuregehalt von 8 bis 10%, also bei verhältnismäßig sparsamer Luftzuführung, erreicht werden. Dagegen zeigten sich weit größere Verluste durch unvollkommene Verbrennung bei großer Schichthöhe auf dem Rost und ungenügendem Zug. Welche Verluste unter solchen ungünstigen Verhältnissen entstehen können, mögen folgende Beispiele zeigen, welche die durchschnittliche Zusammensetzung der Heizgase und die bei 6 bis 10stündigen Heizversuchen mit Saarkohle¹⁾ entstandenen Verluste darstellen. (Tabelle V.)

Zu den einzelnen Versuchsbedingungen ist noch folgendes zu bemerken:

Im ersten Versuch wurde bei hoher Brennstoffschicht (0,2 m), mangelhaftem Zug und verschlacktem Rost bei stark rauchender Feuerung ein Verlust von 17,4% durch Unverbranntes herbeigeführt; davon treffen 10,7% auf Gase und 6,7% auf Rufs. Die zerkleinerte Kohle wurde bei jeder Beschickung nach je 15 Minuten gleichmäßig über den Rost gestreut. Bei Erniedrigung der Brennschicht und ähnlicher Behandlung des Feuers (II) verminderte sich der Verlust auf 10,3% und konnte bei III durch Aufgeben kleinerer Kohlen-

¹⁾ Bericht der Heizversuchstation München 1891. Vers. 116, 122, 163, 167. Bayer. Industrie- und Gewerbeblatt a. a. O.

Tabelle V.

Zusammensetzung der Heizgase					Verlust durch Unverbranntes					Versuchsbedingungen	
					durch Gase WE	durch Ruß WE	in % des Heizwertes				
CO ₂ %	CO %	H %	O %	N %			Gase	Ruß	Gase und Ruß zusammen		
I.	14,62	2,07	1,00	2,07	80,25	790	491	10,7	6,7	17,4	0,2 m Schichthöhe; mangelhafter Zug, verschlackter Rost.
II.	14,29	0,85	0,60	3,20	81,06	411	364	5,5	4,8	10,3	0,15 m Schichthöhe, sonst wie unter I.
III.	14,01	0,62	0,19	3,92	81,26	226	176	3,2	2,5	5,7	0,13 m Schichthöhe, kräftiger Zug.
IV.	10,22	0,22	0,07	8,57	80,92	126	136	1,6	1,8	3,4	0,10 m Schichthöhe.

mengen innerhalb kürzerer Zeiträume (7¹/₂ Minuten), sorgfältigere Bedienung durch Aufwerfen des Brennstoffes auf den vorderen Teil des Rostes und kräftigeren Zug bei etwa derselben Luftmenge auf 5,7% und bei etwas größerem Luftüberschuß (IV) auf 3,4% vermindert werden. Wenn auch so ungünstige Verhältnisse wie die unter I und II geschilderten zu den Ausnahmefällen gehören und bei Leistungsversuchen wohl kaum vorkommen werden, so zeigen sie doch, welche großen Verluste durch unverbrannte Gase und Ruß bei mangelhafter Einrichtung oder nachlässiger Bedienung der Feuerung eintreten können, und welche Wichtigkeit daher die genaue Untersuchung der Heizgase für die Beurteilung einer Dampfkesselanlage besitzt. Es wäre sehr zu wünschen, daß die neuen »Normen« eine lebhaftere Anregung zur öfteren Durchführung genauer Rauchgasuntersuchungen namentlich in solchen Fällen geben möchten, wo es sich um die Beurteilung der Herdeinrichtungen bei sog. rauchverzehrenden Feuerungen handelt, damit unsere bis jetzt noch mangelhaften Kenntnisse in dieser Richtung recht bald weiter vervollständigt werden.

Normen für Leistungsversuche an Dampf- kesseln und Dampfmaschinen,

aufgestellt vom Verein deutscher Ingenieure, dem Internationalen
Verband der Dampfkessel-Überwachungsvereine und dem Verein
deutscher Maschinenbauanstalten im Jahre 1899.

Einleitung.

Die folgende Zusammenstellung hat den Zweck, für Leistungsversuche an Dampfkesseln und Dampfmaschinen Normen von allgemeiner Gültigkeit zu schaffen.

Es ist wünschenswert, durch Angabe der wichtigsten Verhältnisse der untersuchten Anlagen und der Umstände, unter welchen die Ergebnisse erzielt worden sind, dahin zu wirken, daß diese Ergebnisse nicht nur für den einzelnen Fall benutzt werden können, sondern auch allgemeinen Wert erhalten. Zu dem Zweck ist es erforderlich, daß alle Angaben einheitlich nach Maßgabe der nachfolgenden Bestimmungen gemacht werden.

Mit der Ausführung derartiger Untersuchungen sind nur solche Personen zu beauftragen, welche die hierzu erforderliche Sachkenntnis und Übung besitzen. Sie sollen mit Beachtung des jeweiligen Zweckes, der es in vielen Fällen nicht fordern wird, daß die hier betrachteten Untersuchungen sämtlich durchgeführt werden, einen Versuchsplan aufstellen, die zur Untersuchung dienenden Vorrichtungen auf ihre Brauchbarkeit prüfen und die Ergebnisse zusammenstellen. Ihren Arbeiten sind die folgenden Bestimmungen mit sinngemäßer Anwendung und Auswahl für den einzelnen Fall zugrunde zu legen.

Allgemeine Bestimmungen.

Gegenstand der Untersuchungen.

1. Gegenstand der Untersuchung einer Dampfkesselanlage kann sein:

- a) die Menge des stündlich auf 1 qm Heizfläche erzeugten Dampfes;
- b) die Verdampfungszahl, d. h. die Anzahl der Kilogramm Wasser von bestimmter Temperatur, die durch 1 kg näher bezeichneten Brennstoffes in Dampf von gewisser Spannung und Temperatur verwandelt werden (Brennstoffverbrauch);
- c) der Wirkungsgrad der Dampfkesselanlage, d. h. das Verhältnis der an den Inhalt des Dampfkessels abgegebenen Wärmemenge zu dem Heizwerte des verbrauchten Brennstoffes;
- d) die einzelnen in der Dampfkesselanlage stattfindenden Wärmeverluste.

Bemerkung. Bei Überhitzern und Vorwärmern, welche keinen Bestandteil des zu untersuchenden Dampfkessels bilden, jedoch von derselben Wärmequelle geheizt werden, sind auch deren Leistungen festzustellen, jedoch getrennt von denen des Dampfkessels.

2. Gegenstand der Untersuchung einer Dampfmaschine kann sein:

- a) die indizierte Arbeit und die Nutzarbeit;
- b) der mechanische Wirkungsgrad, d. h. das Verhältnis der Nutzarbeit zur indizierten Arbeit;
- c) der Dampfverbrauch für 1 Pferdestärken-Stunde (PS-Std.);
- d) der Wärmewert des für 1 PS-Std. verbrauchten Dampfes;
- e) die Schwankungen der Umlaufzahlen bei wechselnder Belastung.

Bemerkung. Sollen Dampfkessel und Dampfmaschinen nicht blofs in bezug auf ihre Leistung, sondern auch nach anderen Richtungen beurteilt werden, so ist die Anlage in ihren einzelnen Teilen einer besonderen Durchsicht zu unterwerfen. Die Rücksichten auf Dauerhaftigkeit und Betriebssicherheit bestimmen in erster Linie den hierbei anzulegenden Mafstab. Bei Dampfmaschinen ist überdies dem Ölverbrauch Beachtung zu schenken.

Zahl und Dauer der Untersuchungen; zulässige Schwankungen.

3. Zahl und Dauer der Versuche haben sich nach dem Zwecke der Untersuchung zu richten und sind unter Berücksichtigung der Anlage- und Betriebsverhältnisse — bei Versuchen von besonderer Wichtigkeit, deren Ergebnisse z. B. für die Abnahme, für Abzüge oder Prämien maßgebend sind, auch nach der Bedeutung des damit verknüpften Interesses — gemäß No. 4 bis 6 zu bemessen und vorher zu vereinbaren.

4. Um die zu untersuchende Anlage im Betriebe kennen zu lernen, die zur Verwendung kommenden Vorrichtungen zu prüfen und die Beobachter und Hilfskräfte anzuweisen, empfiehlt es sich, Vorversuche anzustellen.

5. Für Untersuchungen von besonderer Wichtigkeit sind mindestens zwei Versuche hintereinander auszuführen, die nur dann als gültig erachtet werden, wenn sie nicht durch Störungen unterbrochen worden sind, und wenn ihre Ergebnisse nicht um mehr voneinander abweichen, als unvermeidlichen Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden darf. Aus den Versuchen mit annähernd gleichen Ergebnissen wird der Mittelwert als endgültig angenommen.

6. Handelt es sich um die Ermittlung des Brennstoffverbrauches, so ist ein Versuch von mindestens 10 stündiger Dauer, handelt es sich um die Menge des erzeugten oder verbrauchten Dampfes, so ist ein Versuch von mindestens 8 stündiger Dauer zu machen.

Eine kürzere Dauer — beim Brennstoffverbrauch von mindestens 8, beim Dampfverbrauch von mindestens 6 Std. — ist zulässig, wenn die zu untersuchende Anlage durchaus gleichmäßig beansprucht wird.

Wird die Menge des erzeugten oder verbrauchten Dampfes durch Oberflächenkondensation festgestellt, so genügt ein kürzerer Versuch, dessen Dauer nach den Schwankungen des Betriebes zu bemessen ist.

Soll lediglich der mechanische Wirkungsgrad einer Dampfmaschine festgestellt werden, so genügen Versuche von kurzer Dauer.

Bei den vorstehenden Zeitangaben ist vorausgesetzt, daß keine Unterbrechung oder Störung des Versuches stattfindet.

7. Wie weit von der zugesagten Leistung abgewichen werden darf, ohne die Zusage als verletzt erscheinen zu lassen, ist vor den Versuchen (sei es im Lieferungsvertrage, sei es bei Aufstellung des Versuchsplanes) zu vereinbaren. Ist keine andere Vereinbarung getroffen, so gilt die Zusage noch als erfüllt, wenn die durch den

Versuch ermittelte Zahl um nicht mehr als 5% ungünstiger ist als die zugesicherte Zahl. Innerhalb derselben Grenzen muß der zugesicherte Verbrauch an Brennstoff oder Dampf auch dann noch innegehalten werden, wenn bei Schwankungen während des Versuches die Belastung der Dampfmaschine im Mittel während des ganzen Versuches um nicht mehr als $\pm 7,5\%$, im einzelnen in der Regel um nicht mehr als $\pm 15\%$ von der dem zugesicherten Brennstoff- oder Dampfverbrauch zugrunde gelegten Beanspruchung oder Belastung abgewichen ist.

Sind grössere Schwankungen im einzelnen aufgetreten, so soll der Versuch nur dann als gültig betrachtet werden, wenn das Durchschnittsergebnis dadurch nicht wesentlich beeinflusst wird.

Bemerkung. Da es bei Leistungsversuchen oft nicht möglich ist, die Dampfmaschine mit derjenigen Nutzleistung arbeiten zu lassen, auf welche sich die im Verträge ausgesprochene Zusage bezieht, so empfiehlt es sich, auch für grössere und kleinere Leistungen Zahlen des voraussichtlichen Dampfverbrauches in den Vertrag aufzunehmen. Dasselbe gilt sinngemäss auch für Dampfkessel.

Versuche mit festgestelltem Regulator sind zulässig; jedoch ist dies im Versuchsbericht zu erwähnen.

8. Unmittelbar nach Inbetriebnahme einer Anlage soll kein Abnahmeversuch ausgeführt werden; dem Lieferanten wird zu eigenen Vorversuchen und zu den etwa nötigen Verbesserungen eine Frist eingeräumt, deren Dauer und sonstige Bedingungen möglichst bei Abfassung des Lieferungsvertrages festzustellen sind.

Masse und Gewichte für die Berechnungen.

9. Alle Wärmemessungen (Wärmeeinheiten, Temperaturen) beziehen sich auf das 100teilige Thermometer (Celsius).

10. Ist ohne nähere Angabe vom Dampfdruck die Rede, so ist darunter stets der Überdruck über den Druck der Atmosphäre zu verstehen.

Spannungen, welche geringer sind als der Druck der Atmosphäre, werden als Vakuum angegeben. Man versteht unter Vakuum den Unterschied zwischen der atmosphärischen und der zu messenden Spannung, beide von 0 an gerechnet.

Die Mafseinheit für den Überdruck und für das Vakuum ist der Druck von 1 kg auf 1 qcm oder die metrische Atmosphäre.

Die absolute Dampfspannung erhält man, wenn man zum jeweiligen atmosphärischen Druck den Überdruck hinzurechnet, bzw. vom atmosphärischen Druck das Vakuum abzieht.

11. Die Zugstärke wird in Millimeter Wassersäule angegeben.

12. Unter Heizfläche ist bei Dampfkesseln der Flächeninhalt der einerseits von den Heizgasen, andererseits vom Wasser berührten Wandungen zu verstehen. Sind noch andere Wandungen vorhanden, durch welche Wärme in den Dampfkessel übergeht, und sollen sie berücksichtigt werden, so ist deren von den Heizgasen bespülte Fläche besonders anzugeben.

Alle Heizflächen sind auf der Feuerseite zu messen.

13. Der Heizwert ist auf 1 kg ursprünglichen Brennstoffes (ohne Abzug von Asche, Feuchtigkeit u. s. w.) bezogen in WE anzugeben. Die Berechnung geschieht unter der Voraussetzung, daß der im Brennstoff enthaltene Wasserstoff zu dampfförmigem Wasser verbrennt, und daß auch die Feuchtigkeit des Brennstoffes dampfförmig wird.

14. Die Verdampfung durch 1 kg ursprünglichen Brennstoffes und die Verdampfung auf 1 qm Heizfläche sind auf Wasser von 0° und trocken gesättigten Dampf von 100° (637 WE) berechnet anzugeben.

15. Die für die Beurteilung der Dampfmaschine maßgebenden Spannungen und Temperaturen des einströmenden Dampfes sind unmittelbar vor dem Eintritt in die Dampfmaschine, diejenigen des ausströmenden Dampfes im Ausströmrohr unmittelbar nach dem Austritt aus dem Dampfzylinder zu messen.

16. Für die Leistung einer Dampfmaschine gilt als Maßeinheit die Pferdestärke gleich 75 Sekundenmeterkilogramm. Falls keine weitere Bezeichnung angegeben ist, versteht man darunter stets die Nutzleistung. Soll die indizierte Leistung gemeint sein, so ist dies ausdrücklich auszusprechen. Die Angabe des Dampfverbrauches dagegen bezieht sich, wenn nicht anders bestimmt ist, auf die indizierte Leistung.

Die Angabe in nominellen Pferdestärken ist unstatthaft.

17. Als Maß für die Nutzleistung der Dampfmaschine wird der Unterschied zwischen der indizierten Leistung bei der jeweiligen Belastung (N_i) und der Leistung beim Leerlauf (N_l), als Maß für den mechanischen Wirkungsgrad das Verhältnis dieses Unterschiedes zur indizierten Leistung angesehen:

$$\left(\frac{N_i - N_l}{N_i} \right).$$

Hinsichtlich strenger Bestimmung der Nutzleistung und des mechanischen Wirkungsgrades vgl. No. 36.

18. Ist der Wärmewert des für 1 PS-Std. verbrauchten Dampfes zu berechnen, so gilt 0° als Anfangstemperatur des Speisewassers.

Ausführung der Untersuchungen.

19. Zu Anfang und zu Ende jedes Versuches sollen überall gleiche Verhältnisse vorhanden sein; Dampfkessel und Dampfmaschine sollen sich während des ganzen Versuches im Beharrungszustande befinden.

20. Handelt es sich um die Bestimmung des erzeugten oder des verbrauchten Dampfes, so sind alle für den Versuch nicht zur Anwendung kommenden Dampf- und Wasserrohre vom Versuchskessel und der Versuchsmaschine abzusperren, am besten mittels Blindflansche, die möglichst nahe am Dampfkessel und der Dampfmaschine anzubringen sind.

Untersuchung einer Dampfkesselanlage.

21. Art, Zahl und Dauer der Versuche sind nach Maßgabe der »Allgemeinen Bestimmungen« (No. 1 bis 8) zu vereinbaren.

22. Die Konstruktions- und Betriebsverhältnisse der Dampfkesselanlage sind möglichst vollständig anzugeben und durch Zeichnung zu erläutern; insbesondere sollen bei vollständigen Untersuchungen in diesen Gaben enthalten sein:

- a) die Heizfläche des Dampfkessels gemäß No. 12;
- b) die von Heizgasen bespülten Überhitzer- und Vorwärmer Heizflächen;
- c) der Inhalt des Wasser- und Dampftraumes, der Speisewasservorwärmer und der von den Heizgasen geheizten Dampfüberhitzer;
- d) die Verdampfungsoberfläche;

Bemerkung. Die vorstehenden Angaben, insofern sie vom Wasserstand beeinflusst werden, müssen dem bei der Untersuchung tatsächlich beobachteten Wasserstande entsprechen;

- e) die gesamte und die freie Rostfläche; die Größe etwaiger Schwelplatten ist besonders anzugeben;
- f) der Querschnitt der Feuerzüge an den wesentlichen Stellen;
- g) der mittlere Zugquerschnitt der sämtlichen für den Versuch in Betracht kommenden Absperrvorrichtungen während des Versuches;

h) die Höhe des Schornsteines (von der Rostfläche aus gemessen) und dessen Querschnitt an der Ausmündung oder an der engsten Stelle.

23. Vor dem Versuche ist der Dampfkessel zu reinigen, innerlich und äußerlich zu untersuchen, auf seine Dichtheit zu prüfen und in ordnungsmäßigen Zustand zu bringen.

24. Bei Beginn des Versuches muß sich der Dampfkessel tunlichst im Beharrungszustande befinden; er muß deshalb nach der Reinigung, bevor der Versuch beginnt, je nach seiner Beschaffenheit einen oder mehrere Tage im normalen Betriebe gewesen sein, und zwar mit demselben Brennstoff und derselben Beanspruchung wie während des Versuches.

25. Wasserstand und Dampfdruck sollen während des ganzen Versuches möglichst auf gleicher Höhe erhalten werden; sie werden zu Anfang und zu Ende sowie während des Versuches viertelstündlich vermerkt. Falls Überhitzer vorhanden, sind die Temperaturen der Gase vor und hinter dem Überhitzer, diejenigen des Dampfes dicht hinter dem Überhitzer viertelstündlich festzustellen.

Bemerkung. Geringe Abweichungen des Wasserstandes oder des Dampfdruckes am Ende des Versuches sind, falls sie sich nicht vermeiden lassen, nach ihrem Wärmewerte entsprechend den Spannungen am Anfang und am Ende des Versuches in Rechnung zu ziehen.

Besondere Sorgfalt verlangen in dieser Beziehung die Wasserrohrkessel und ähnliche Konstruktionen mit stark schwankendem Wasserspiegel, bei denen außerdem während der Dampfentwicklung die Wassermasse durch die im Wasser enthaltenen Dampfblasen erheblich vergrößert erscheint.

26. Das Speisewasser wird entweder gewogen oder nach seinem Rauminhalt in geeichten Gefäßen gemessen; im letzteren Falle ist der Inhalt der Gefäße nach der Temperatur des Wassers zu berichtigen. Bei Versuchen von besonderer Wichtigkeit ist nur Wägung zulässig.

Die Speisungen müssen regelmäßig und womöglich ununterbrochen geschehen; ist ununterbrochene Speisung nicht möglich, so sind mindestens 10 Minuten vor Beginn und ebenso vor Schluß des Versuches Speisungen zu vermeiden.

Die Temperatur des Speisewassers wird im Behälter, aus welchem gespeist wird, gemessen, bei genauen Versuchen je nach Umständen auch kurz vor dem Eintritt in den Dampfkessel, und zwar bei jeder Speisung, mindestens aber halbstündlich.

Die Speisung durch Injektoren ist bei genauen Leistungsver-
suchen an Dampfkesseln unstatthaft.

Es ist unzulässig, zur Speisung Dampfpumpen zu verwenden,
deren Abdampf mit dem Speisewasser in Berührung kommt, es sei
denn, daß die dem Speisewasser auf diese Weise zugeführte Wärme-
und Wassermenge genau bestimmt werden kann.

Alles Leckwasser an den Ausrüstungsteilen sowie etwa an
ihnen ausgeblasenes Wasser ist aufzufangen und in Rechnung zu
bringen.

27. Versuche, bei welchen nachweisbar erhebliche Wasser-
mengen durch den Dampf mitgerissen werden, sind ungenau, solange
nicht Verfahren und Vorrichtungen bekannt sind, welche es möglich
machen, diese Wassermengen genau zu ermitteln.

28. Zum Beginne des Versuches muß das Feuer in einen
normalen Zustand der Beschickung und Reinigung gebracht, Asche
und Schlacke aus dem Aschenfall entfernt werden; ist es nicht
möglich, den Aschenfall zu entleeren (Schrägrostfeuerung), so sind
die Rückstände darin vor und nach dem Versuche bis auf eine
bestimmte Höhe zu bringen und abzugleichen. In demselben Zu-
stande wie beim Beginn muß sich das Feuer am Ende des Ver-
suches befinden. Die Dauer und der Brennstoffverbrauch des An-
heizens werden vermerkt, bleiben aber außer Berechnung.

Der während des Versuches zur Verwendung kommende Brenn-
stoff ist zu wägen.

29. Um eine richtige Durchschnittsprobe dieses Brennstoffes
zu erlangen, kann man in folgender Weise verfahren. Von jeder
Ladung (Karre, Korb u. dergl.) des zugeführten Brennstoffes wird
eine Schaufel voll in ein mit einem Deckel versehenes Gefäß ge-
worfen. Sofort nach Beendigung des Verdampfungsversuches wird
der Inhalt des Gefäßes zerkleinert, gemischt, quadratisch aus-
gebreitet und durch die beiden Diagonalen in vier Teile geteilt.
Zwei einander gegenüberliegende Teile werden fortgenommen, die
beiden anderen wieder zerkleinert, gemischt und geteilt. In dieser
Weise wird fortgefahren, bis eine Probemenge von etwa 10 kg übrig
bleibt, welche in gut verschlossenen Gefäßen zur Untersuchung
gebracht wird. Außerdem ist während des Versuches eine Anzahl
von Proben in luftdicht verschließbare Gefäße zu füllen. (Feuch-
tigkeitsproben.)

30. Die Zusammensetzung des Brennstoffes ist durch chemische
Analyse zu ermitteln. Es soll der Gehalt an Kohlenstoff (*C*), Wasser-
stoff (*H*), Sauerstoff (*O*), Schwefel (*S*), Asche (*A*) und Wasser (*W*)

in Prozenten des Brennstoffgewichtes angegeben werden. Der Gehalt des Brennstoffes an Stickstoff (N) kann unberücksichtigt bleiben. Das Verhalten in der Hitze ist durch Verkokungsprobe zu ermitteln.

31. Der Heizwert des Brennstoffes ist kalorimetrisch zu ermitteln.

Bemerkung. Aufgrund der chemischen Analyse kann der Heizwert von Steinkohlen und Braunkohlen angenähert mittels der sog. Verbandsformel:

$$81 C + 290 \left(H - \frac{O+N}{8} \right) + 25 S - 6 W$$

berechnet werden.

32. Die Temperatur der abziehenden Heizgase wird an der Stelle, wo sie den Kessel verlassen, jedenfalls aber vor dem Schieber, durch Quecksilberthermometer oder thermoelektrische Pyrometer gemessen. Diese Geräte sind mit sorgfältiger Abdichtung in den Rauchkanal so einzusetzen, daß sich die Quecksilberkugel oder die Lötstelle mitten im Gasstrom befindet. Die Ablesungen erfolgen möglichst oft, längstens aber viertelstündlich, und zwar womöglich bei Entnahme der Gasproben.

Die Temperatur der in die Feuerung tretenden Luft wird nahe der Feuerung gemessen, wobei das Thermometer vor Wärmestrahlung zu schützen ist. Aus den einzelnen Ablesungen wird das Mittel genommen.

33. Während des Heizversuches werden entweder ununterbrochen oder in gleichmäßigen Zwischenräumen möglichst oft, längstens aber alle 20 Minuten, durch ein luftdicht neben dem Thermometer eingesetztes Rohr, dessen untere Mündung mitten in den Gasstrom reicht, Gasproben entnommen. Der Gehalt an Kohlensäure (k) ist regelmäßig zu bestimmen. Vollständige Untersuchungen der Heizgase auf Kohlensäure, Sauerstoff, Kohlenoxyd und Stickstoff sind nach Bedarf vorzunehmen. Hierzu dienen am besten Durchschnittsproben, welche mittels gleichmäßig saugender Aspiratoren entnommen werden.

Soll der Verlust durch unvollständig verbrannte Gase festgestellt werden, so ist die Zusammensetzung der Gase nach genauen Verfahren festzustellen, da hierfür die üblichen Verfahren der technischen Gasanalyse nicht ausreichen.

Um zu ermitteln, wieviel Luft in die Feuerzüge eindringt, können an verschiedenen Stellen derselben Gasproben entnommen und auf ihren Gehalt an Kohlensäure und Sauerstoff untersucht werden.

Bemerkung. Auf einfache Weise kann man in der Regel starke Undichtheiten des Mauerwerkes nachweisen, indem man den im Betriebe befindlichen Rost mit stark rauchendem Brennstoffe beschickt und hierauf den Zugschieber schließt, oder auch dadurch, daß man beobachtet, ob die Flamme eines an dem Kesselmauerwerk entlang bewegten Lichtes angesaugt wird.

Für die Berechnung der Wärme, die in den abziehenden Heizgasen verloren geht, ist die Zusammensetzung derjenigen Heizgase maßgebend, die neben dem Thermometer entnommen sind.

Untersuchung einer Dampfmaschinenanlage.

34. Art, Zahl und Dauer der Versuche sind nach Maßgabe der »Allgemeinen Bestimmungen« (No. 1 bis 8) zu vereinbaren.

35. Die Konstruktions- und Betriebsverhältnisse der Dampfmaschine sind möglichst vollständig anzugeben und durch Zeichnung zu erläutern; insbesondere sollen bei vollständigen Untersuchungen in diesen Angaben enthalten sein:

- a) die Bauart der Maschine, Beschreibung und Zeichnung ihrer Hauptteile; die Abmessungen der Zylinder; die Größe der schädlichen Räume; der Kolbenhub und sonstige in Betracht kommende Abmessungen;
- b) die normale Umlaufzahl, deren zulässige Schwankungen und der Ungleichförmigkeitsgrad;
- c) die Spannung und die Temperatur des Dampfes, mit dem die Dampfmaschine arbeiten soll, und die höchste Spannung, für die sie gebaut ist;
- d) die Leistung, auf welche sich der zugesagte Dampfverbrauch und der mechanische Wirkungsgrad beziehen, die zugesagte größte Leistung und die entsprechenden Füllungsgrade;
- e) der für die indizierte oder für die Nutzleistung zugesagte Dampfverbrauch;
- f) die im Verträge vorausgesetzte Temperatur und Menge des Einspritz- oder Kühlwassers und das dieser Voraussetzung entsprechende Vakuum.

Im Sinne des Absatzes 2 der Einleitung liegt es außerdem, die Länge und den Durchmesser der Dampfzu- und -ableitungsrohre, die Entwässerungsvorrichtungen, die Weite der Dampfkanäle, die Abmessungen der Luftpumpen sowie die Bauart und die Betriebsverhältnisse der Dampfkesselanlage anzugeben.

36. Eine strenge Ermittlung der wirklichen Nutzleistung und damit der sogenannten zusätzlichen Reibung ist nur mittels der Bremse möglich; jedoch ist dieses Verfahren bei größeren Maschinen schwierig und mit Gefahren verknüpft und deshalb nur ausnahmsweise anzuwenden (vergl. Nr. 17).

Ist eine Dynamomaschine mit der Dampfmaschine unmittelbar gekuppelt, so kann aus der dem Anker der Dynamomaschine entnommenen elektrischen Arbeit die Nutzarbeit der Dampfmaschine bestimmt werden, falls der Wirkungsgrad des Ankers der Dynamomaschine unter den obwaltenden Temperatur- und Belastungsverhältnissen genau bekannt ist.

Die Geräte, mit denen die elektrischen Messungen vorgenommen werden, müssen geeicht sein.

37. Die Indikatoren sind möglichst unmittelbar am Zylinder ohne lange und scharf gekrümmte Zwischenleitungen anzubringen, und zwar an jedem Zylinderende ein Indikator. Zu dem Zwecke ist jedes Zylinderende mit einer Bohrung für 1" Whitworth zu versehen.

Die Indikatoren und ihre Federn sind vor und nach dem Versuch entweder durch unmittelbare Belastung oder an offenen Quecksilber- bzw. Eichmanometern bei einer der mittleren Dampfspannung des Versuches entsprechenden Temperatur zu prüfen. Ergeben sich Unterschiede, so ist der Mittelwert maßgebend. Sind tägliche Federprüfungen während der Versuchszeit ausführbar, so sind diese vorzuziehen.

Die Maßstäbe sehr schwacher Vakuumfedern sind in derselben Lage zur Wagerechten zu berichtigen, welche sie während des Versuches inne haben.

38. Bei Leistungsversuchen, die zur Ermittlung des Dampfverbrauches dienen, sind folgende Regeln zu beobachten:

Der Versuch soll nicht eher beginnen, als bis in der Maschine und den Meßgeräten Beharrungszustand bezüglich der Kräfte und Temperaturen eingetreten ist.

Erstreckt sich der Versuch bei regelmäßigem Fabrikbetriebe auf die Dauer eines Arbeitstages, so sind die erste und die letzte Stunde des Arbeitstages von der eigentlichen Versuchszeit auszuschließen; ebenso die Tage vor und nach Sonn- und Feiertagen.

Dampfspannung, Belastung der Maschine und Überhitzungstemperatur (s. Bemerkung zu Nr. 40) müssen während der Versuchsdauer möglichst gleichmäßig erhalten werden; erforderlichenfalls ist die Gleichmäßigkeit der Belastung künstlich herzustellen (vgl. Nr. 7).

Die Umlaufzahl der Maschine wird durch Hubzähler gemessen und stündlich vermerkt. Bei wechselnder Belastung empfiehlt es sich, die Schwankungen der Umlaufzahl mit Hilfe eines Tachographen oder dergl. zu ermitteln.

In regelmäßigen Zwischenräumen (alle 10 bis 20 Minuten) werden der Wasserstand und die Spannung im Kessel, die Spannung und, falls der Dampf überhitzt ist, die Temperatur unmittelbar vor der Maschine, die Spannungen in den Zwischenbehältern, im Ausströmrohr unmittelbar hinter dem Dampfzylinder und im Kondensator, außerdem die Temperaturen des Einspritz- oder Kühlwassers sowie des ausfließenden Kondensationswassers vermerkt. Der Barometerstand ist, gebotenenfalls mehrmals, zu verzeichnen, und ebenso, falls ein Gradierwerk benutzt wird, die Temperatur und der Feuchtigkeitsgrad der Luft.

Während des Versuches sind alle 10 bis 20 Minuten (womöglich gleichzeitig mit den soeben genannten Ablesungen) Diagramme an jedem Zylinderende abzunehmen, bei starken Schwankungen der Belastung tunlichst noch öfter. Die Diagramme erhalten Ordnungsnummern und Angaben über die Zeit der Entnahme.

Die Diagrammflächen werden mit Hilfe eines Polarplanimeters oder in anderer zuverlässiger Weise ausgerechnet, und zwar der Sicherheit wegen wiederholt.

Der Durchmesser des Dampfzylinders (in möglichst betriebswarmem Zustand) und der Kolbenhub sind zu messen, der Querschnitt der Kolbenstange in Rechnung zu nehmen.

39. Der Dampfverbrauch wird durch das in den Dampfkessel gespeiste Wasser gewogen bzw. gemessen (vergl. Nr. 26). Es ist unzulässig, zur Speisung Dampfpumpen zu verwenden, welche ihren Dampf aus demselben Dampfkessel entnehmen wie die zu untersuchende Dampfmaschine, oder deren Abdampf mit dem Speisewasser in unmittelbare Berührung kommt, es sei denn, daß der Dampfverbrauch dieser Pumpen genau ermittelt werden kann.

Bei Oberflächenkondensation kann der Dampfverbrauch der Dampfmaschine durch das Gewicht des niedergeschlagenen Dampfes festgestellt werden.

Die Berechnung des Dampfverbrauches aus dem Diagramm ergibt kein richtiges Maß dieses Verbrauches und ist deshalb unstatthaft.

Das in der Dampfleitung niedergeschlagene Wasser muß vor dem Eintritt in die Maschine abgefangen und von der Speisewassermenge abgezogen werden.

Das innerhalb der Maschine (Zwischenbehälter, Mantel usw.) niedergeschlagene Wasser gehört zum Verbrauch der Maschine und soll möglichst an jeder Entnahmestelle getrennt bestimmt werden.

Bemerkung. Die Vorrichtungen zum Abfangen des niedergeschlagenen Wassers (Kühlschlangen und dergl.) sind derart einzurichten, daß Verluste durch Wiederverdampfung vermieden werden; zu dem Ende soll es in diesen Vorrichtungen auf mindestens 40° abgekühlt werden.

40. Bedeutet t_1 die Sättigungstemperatur, die zum Drucke des einströmenden Dampfes unmittelbar vor der Dampfmaschine gehört, t_1' die Temperatur des überhitzten Dampfes an derselben Stelle, so ist der Wärmewert von 1 kg des verbrauchten Dampfes (s. Nr. 18) ausgedrückt durch:

$$606,5 + 0,305 t_1 + 0,48 (t_1' - t_1) \text{ W.-E.}$$

Hiernach ermittelt sich der Wärmewert des für 1 PS-Std. verbrauchten Dampfes.

Bemerkung. Bei Ermittlung der Temperatur des überhitzten Dampfes ist darauf zu achten, daß der Siedepunkt der Flüssigkeit, in welche das Thermometer eintaucht, höher liegt als die zu messende Temperatur des Dampfes.

41. Die Dichtheit der Kolben, Dampfmäntel, Schieber und Ventile usw. ist nicht durch Indikatormessungen zu prüfen, sondern durch besondere Versuche an der betriebswarmen Maschine, derart, daß die eine Seite des Kolbens, Ventiles usw. bei abgespreiztem Schwungrade mit Dampf belastet wird. Diese Belastung geschieht bei normalem Dampfdruck, und die betreffenden Dichtungsflächen sind für undicht zu erachten, wenn der Dampf in anderer Form als in der von feinem Nebel oder Wasserperlen auf der anderen Seite zum Vorschein kommt.

Anhang.

Der weitergehenden wissenschaftlichen Verwertung der Versuchsergebnisse zur Bestimmung der Wärme- und Arbeitsverluste dienen die folgenden Bemerkungen.

Bestimmung der Wärmeverluste einer Dampfkessel Anlage.

- a) Der Wärmeverlust, welcher dadurch entsteht, daß die Heizgase den Dampfkessel mit der Temperatur T verlassen, welche höher ist als die Temperatur t der Außenluft, berechnet sich aus der Menge ihrer Bestandteile, ihrer spez. Wärme und dem Unterschiede $T-t$.

Die Heizgasmenge aus 1 kg verheizten Brennstoffes wird aus der Zusammensetzung des Brennstoffes und dem Kohlenstoffgehalt der Heizgase in folgender Weise berechnet:

Ist C der Kohlenstoffgehalt des Brennstoffes und k der Kohlenstoffgehalt der Heizgase, so liefert 1 kg Brennstoff $\frac{C}{0,536 k}$ cbm Heizgas (ohne Wasserdampf) von 0° und 760 mm Barometerstand.

Bemerkung. Die großen Buchstaben bedeuten Gewichtsprozent des Brennstoffes, die kleinen Buchstaben Volumenprozent der Heizgase.

Das Gewicht des bei der Verbrennung entstandenen Wasserdampfes ist $\frac{9 H + W}{100}$, worin H den Prozentgehalt an Wasserstoff und W den Prozentgehalt an Wasser im Brennstoff bedeutet.

Bemerkung. Das Volumen des Wasserdampfes bei 0° und 760 mm Barometerstand ist

$$\frac{9 H + W}{0,804 \cdot 100}$$

Das Gesamtvolumen des aus 1 kg Brennstoff entstandenen Gasmengens ist also

$$\frac{C}{0,536 k} + \frac{9 H + W}{0,804 \cdot 100} \text{ cbm}$$

bei 0° und 760 mm Barometerstand.

Nimmt man 0,32 als mittlere spez. Wärme für 1 cbm Heizgas (Wärmekapazität) und 0,48 als spez. Wärme für 1 kg

Wasserdampf an, so ist der Wärmeverlust durch die Heizgase für 1 kg Brennstoff:

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

Bemerkung, Die zur Verbrennung von 1 kg Brennstoff erforderliche Luftmenge berechnet sich wie folgt:

1 kg Brennstoff, welcher aus C kg Kohlenstoff, H kg Wasserstoff, S kg Schwefel und O kg Sauerstoff besteht, erfordert:

$$\left(\frac{8}{3} C + 8 H + S - O \right) \frac{100}{23} = L \text{ kg Luft.}$$

und damit $\frac{L}{1,29} = L_1$ cbm Luft

Haben die Gasanalysen außer k Vol.-% Kohlensäure o Vol.-% Sauerstoff und n Vol.-% Stickstoff ergeben, so ist das Verhältnis der gebrauchten Luftmenge zu der theoretisch erforderlichen ($v:1$), der sog. Luftüberschusskoeffizient:

$$\frac{21}{21 - 79 \frac{o}{n}}$$

- b) Der Wärmeverlust durch Unverbranntes in den Herdrückständen (Schlacke und Asche) wird in folgender Weise ermittelt. Nach Beendigung des Versuches wird das Gewicht der trockenen Verbrennungsrückstände bestimmt und in einer Durchschnittsprobe der Gehalt an unverbrannten Bestandteilen festgestellt. Das »Verbrennliche« in den Herdrückständen wird hier als Kohlenstoff mit 8100 WE in 1 kg in Rechnung gesetzt.

Der Wärmeverlust durch Entfernen heißer Schlacken aus dem Brennraum ist gering und kann vernachlässigt werden.

Bemerkung. Der Wärmeverlust durch unverbrannte Gase und Rufs kann bei qualmender Feuerung bedeutend sein; soll er bestimmt werden, so ist der Gehalt an unverbrannten Bestandteilen nach bekannten Verfahren zu ermitteln und in Rechnung zu stellen

- c) Zur Aufstellung der Wärmebilanz sind die vorstehend im einzelnen ermittelten Wärmeverluste sowie die an das Wasser im Dampfkessel abgegebene Wärmemenge in % des kalorimetrisch ermittelten Heizwertes anzugeben. Was an 100 fehlt, stellt, abgesehen von unvermeidlichen Versuchsfehlern, den Verlust durch Strahlung und Leitung sowie durch unverbrannte Gase und Rufs dar.

Bestimmung der Arbeitsverluste einer Dampfmaschine.

Die Bestimmung der Arbeitsverluste einer Dampfmaschine kann in folgender Weise geschehen:

Es bedeuten:

p_1 den Druck des einströmenden Dampfes unmittelbar vor der Maschine in kg/qcm abs.;

T_1' die zugehörige absolute Temperatur im Falle überhitzten Dampfes;

x_1 die zugehörige spez. Dampfmenge im Falle gesättigten Dampfes in kg;

v_1 das zugehörige spez. Volumen in cbm;

u_1 das zugehörige Volumen des trocken gesättigten Dampfes, vermindert um dasjenige des flüssigen Wassers, in cbm;

p_0 den Druck im Ausströmrohr unmittelbar hinter dem Niederdruckzylinder im kg/qcm abs.

$\varepsilon = \frac{\text{schädlicher Raum} + \text{Hubvolumen im Niederdruckzylinder}}{\text{schädlicher Raum} + \text{Füllungsvolumen im Hochdruckzylinder}}$
den gesamten Expansionsgrad der Maschine (wobei das Füllungsvolumen mit Hilfe des Gesetzes der gleichseitigen Hyperbel auf den Druck p_1 bezogen ist).

a) gesättigter Dampf.

Die Gleichung der adiabatischen Expansion lautet $pv^\mu = \text{Const.}$, wo $\mu = 1,035 + 0,1 x_1$ ist.

Die indizierte Arbeit N_i^o in PS, die von 1 kg Dampf eine Stunde lang in der untersuchten Maschine bei dem vorhandenen Expansionsgrade, bei der Eintrittsspannung p_1 und der Austrittsspannung p_0 geleistet würde, wenn Arbeitsverluste durch den schädlichen Raum, durch die Wärmebewegung in der Wandung, durch Drosselung und durch Undichtheiten nicht vorhanden wären, ist

$$N_i^o = \frac{p_1 v_1}{27} \left\{ \frac{\mu}{\mu - 1} - \frac{1}{\mu - 1} \frac{1}{\varepsilon^{\mu - 1}} - \varepsilon \frac{p_0}{p_1} \right\}$$

und für $x_1 = 1$ (anfänglich trocken gesättigten Dampf)

$$N_i^o = \frac{p_1 v_1}{27} \left\{ 8,41 - \frac{7,41}{\varepsilon^{0,135}} - \varepsilon \frac{p_0}{p_1} \right\}$$

Hierin ist $v_1 = x_1 u_1$ aus den Dampftabellen zu bestimmen.

b) überhitzter Dampf.

v_1 bestimmt sich aus der Gleichung

$$p_1 v_1 = R T_1' - C p_1^n,$$

wo

$$R = 0,00509$$

$$C = 0,193 \quad n = 1/4.$$

Die Gleichung der adiabatischen Expansion lautet, so lange der Dampf überhitzt ist

$$p v^k = \text{Const. mit } k = 1,333;$$

für gesättigten Dampf wie früher $p v^\mu = \text{Const. mit } \mu = 1,135$. Druck und Volumen in demjenigen Zustande, in dem der Dampf gerade trocken gesättigt ist, hängen durch die Gleichung $p v^\nu = D$ (Gleichung der Grenzkurve) zusammen mit $\nu = 1,0646$, $D = 1,762$.

Zunächst wird nun aus v_1 das Volumen v_g bestimmt, bei dem der Dampf trocken gesättigt ist. Dies geschieht aus der Gleichung

$$v_g = \frac{p_1^{\frac{1}{k-\nu}} v_1^{\frac{k}{k-\nu}}}{D^{\frac{1}{k-\nu}}} = \frac{p_1^{3,72} v_1^{4,97}}{8,23}$$

Dann werden die Expansionsgrade $\varepsilon_1 = \frac{v_g}{v_1}$ und $\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}$ gebildet.

Schließlich wird die von 1 kg Dampf 1 Std. lang geleistete indizierte Arbeit der verlustlosen Maschine

$$\begin{aligned} N_i^o &= \frac{p_1 v_1}{27} \left\{ \frac{k}{k-1} + \frac{k-\mu}{(k-1)(\mu-1)} \frac{1}{\varepsilon_1^{k-1}} - \frac{1}{\mu-1} \frac{1}{\varepsilon_1^{k-1} \varepsilon_2^{\mu-1}} - \varepsilon \frac{p_0}{p_1} \right\} \\ &= \frac{p_1 v_1}{27} \left\{ 4 + 4,41 \frac{1}{\varepsilon_1^{0,333}} - 7,41 \frac{1}{\varepsilon_1^{0,333} \varepsilon_2^{0,135}} - \varepsilon \frac{p_0}{p_1} \right\}. \end{aligned}$$

Bezeichnet D_i^o den Dampfverbrauch der verlustlosen Maschine für 1 PS-Std., so ist $D_i^o = \frac{1}{N_i^o}$

Ist D_i der durch die Versuche bestimmte wirkliche Dampfverbrauch für 1 PS-Std. und damit $N_i = \frac{1}{D_i}$ die von 1 kg Dampf auf die Dauer einer Stunde wirklich geleistete indizierte Arbeit, so sind die Arbeitsverluste auf 1 kg Dampf $N_v = N_i^o - N_i$, oder, im Verhältnisse der Arbeit der verlustlosen Maschine

$$\eta_v = \frac{N_i^o - N_i}{N_i^o}$$

Das Verhältnis der wirklich geleisteten Arbeit zu derjenigen der verlustlosen Maschine ist

$$\eta_g = \frac{N_i}{N_i^o} = \frac{D_i^o}{D_i}$$

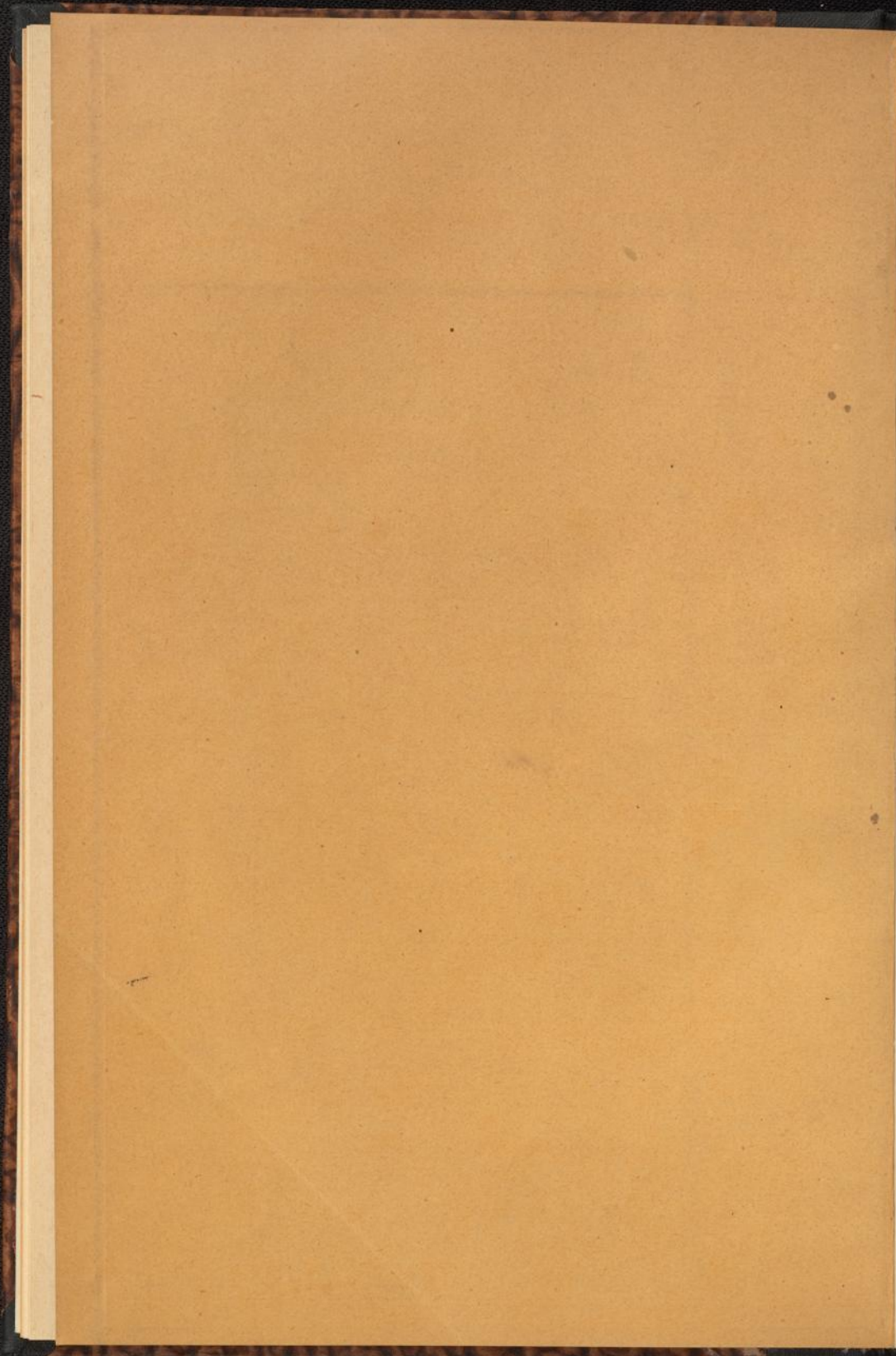


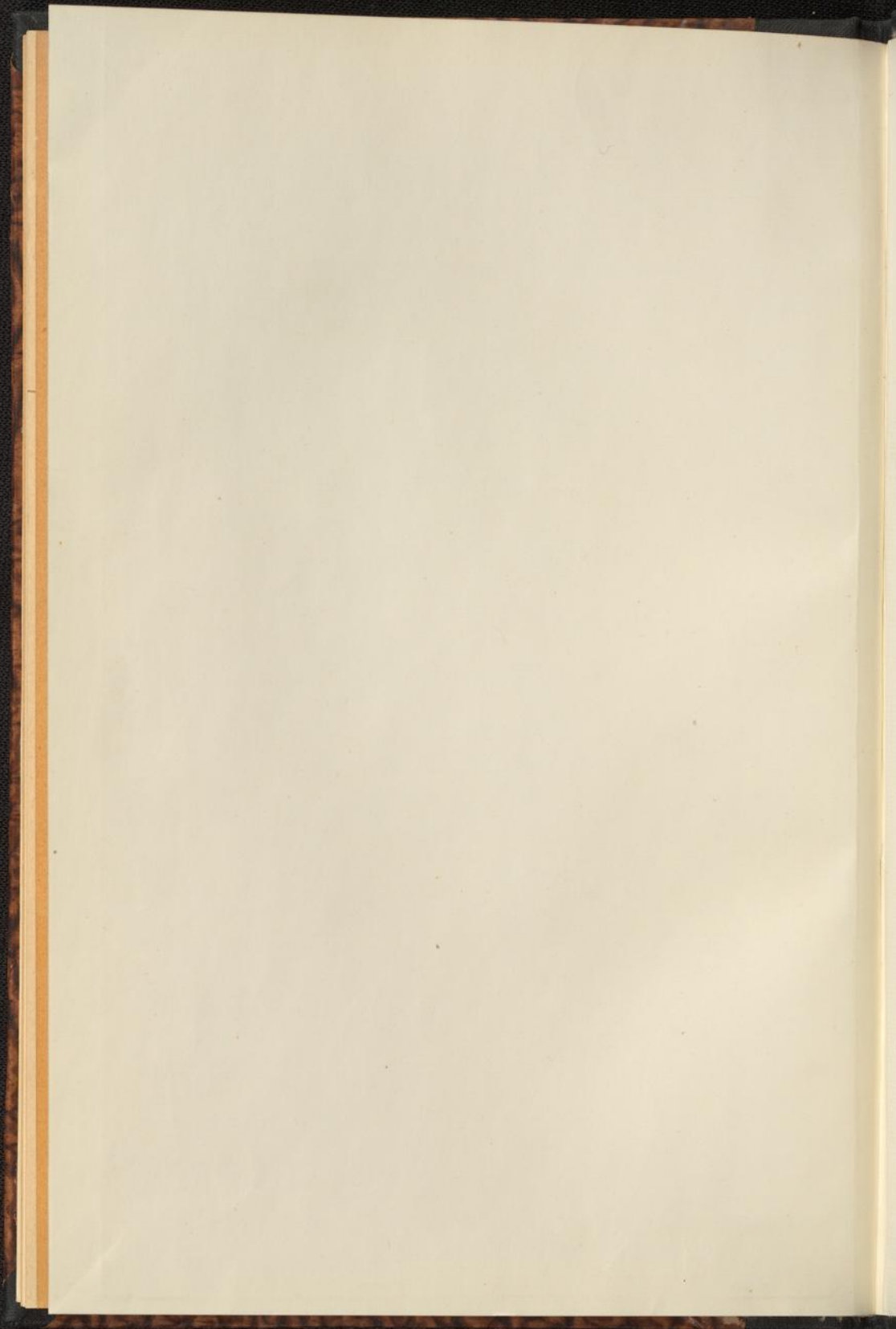
Dr. H. Bunte, Zur Beurteilung der Brennstoffe und der Leistung von Dampfkesseln vom chemischen Standpunkt aus.

Tabelle I.
Chemische Zusammensetzung, Heizwert deutscher Brennstoffe. Von H. Bunte und P. Eitner.

Bezeichnung	Zusammensetzung der luftgetrockneten Kohle In 100 Teilen Kohle sind enthalten						Brennbare Substanz in 100 Teilen Rohkohle	Zusammensetzung der wasser- und aschefreien Substanz in 100 Teilen				100 Teile Kohle geben			Berechneter Heizwert ¹⁾	Kalorimetrisch ermittelter Heizwert des Brennstoffes	Kalorimetrisch ermittelter Heizwert der brennbaren Substanz
	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff u. Stickstoff	Schwefel	Wasser	Asche		Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff u. Stickstoff	Schwefel	Coke-Ansichte	Fester Kohlenstoff	Flüchtige Bestandteile			
A. Ruhrkohlen.																	
1. Bickfeld	85,63	4,04	3,56	1,99	0,80	3,98	95,32	89,95	4,24	3,74	2,09	85,97	81,99	13,23	8024	8077	8486
2. Bonifazius	79,60	4,23	6,77	1,71	1,09	6,60	92,31	86,23	4,59	7,37	1,20	82,27	75,67	16,64	7467	7537	8172
3. Konsolidation	81,82	4,85	6,12	0,96	1,14	5,11	95,75	87,27	5,17	6,53	1,03	75,15	70,04	23,71	7828	7827	8370
4. Dahlbusch	69,49	4,23	6,37	0,85	2,07	16,99	80,94	85,85	5,23	7,87	1,05	73,10	56,11	24,83	6633	6618	8191
5. Dannenbaum	85,15	4,38	4,39	1,06	1,84	3,15	95,01	89,65	4,62	4,62	1,11	77,12	73,97	21,04	8026	8080	8516
6. Ewald	79,27	5,13	10,36	0,63	2,18	2,43	95,30	83,10	5,38	10,86	0,66	—	—	—	7533	7590	7971
7. Friedrich Ernestine	80,59	4,94	6,85	1,12	1,54	4,96	93,50	86,19	5,28	7,33	1,20	70,08	65,12	28,38	7731	7736	8283
8. Fröhliche Morgensonne	89,27	4,41	2,74	1,25	0,70	1,63	97,67	91,40	4,51	2,81	1,28	85,18	83,55	14,12	8438	8441	8646
9. General	81,96	4,81	6,62	1,57	1,42	3,62	94,96	86,31	5,07	6,97	1,65	70,54	66,92	28,04	7824	7840	8265
10. Graf Benst	79,05	4,93	10,52	1,62	0,59	3,29	96,12	82,24	5,13	10,95	1,68	74,43	71,14	24,98	7488	7486	7792
11. Graf Moltke	75,25	4,54	6,72	1,58	1,51	10,40	88,09	85,43	5,15	7,63	1,79	73,90	63,50	24,59	7199	7236	8225
12. Horde	80,08	3,68	4,11	1,49	0,80	9,84	89,36	89,62	4,12	4,59	1,67	86,16	76,32	13,94	7435	7482	8379
13. Holland	83,37	4,77	5,00	1,01	0,99	4,86	94,15	88,55	5,07	5,31	1,07	78,82	73,96	20,19	7973	7900	8308
14. Lothringen	82,63	4,85	6,32	1,02	1,49	4,09	94,42	87,52	4,82	6,58	1,08	76,28	72,19	22,23	7804	7840	8313
15. Matthias Stinnes	81,65	4,49	4,02	1,53	1,28	7,03	91,69	89,65	4,90	4,38	1,67	78,73	71,70	19,99	7800	7842	8560
16. Mont-Cenis	66,20	4,30	7,43	1,70	2,50	17,87	79,63	83,14	5,40	9,33	2,13	71,83	63,96	25,67	6368	6424	8086
17. Oberhausen	79,30	4,36	4,66	0,96	0,57	10,15	89,28	88,82	4,88	5,22	1,08	82,11	71,96	17,32	7539	7520	8426
18. Pluto	80,97	5,05	9,27	0,41	1,52	2,78	95,70	84,60	5,28	9,70	0,42	—	—	—	7688	7742	8099
19. Recklinghausen	81,22	5,11	6,32	1,43	1,44	4,48	94,08	86,33	5,43	6,72	1,52	71,38	66,90	27,18	7859	7871	8376
20. Shamrock	82,36	4,79	3,63	1,19	1,10	6,98	91,07	89,55	5,21	3,95	1,29	78,46	71,53	20,44	7633	7978	8682
21. Viktoria Matthias	80,72	4,80	8,66	1,66	0,98	3,28	95,74	84,31	5,01	9,05	1,63	73,74	70,46	25,28	7650	7637	7983
22. Vollmond	79,76	4,77	5,44	1,30	0,92	7,81	91,27	87,39	5,23	5,96	1,42	77,96	69,75	21,52	7674	7679	8420
23. Westende	81,36	4,76	3,33	1,53	1,18	7,84	90,98	89,43	5,23	3,66	1,68	80,27	72,43	18,55	7881	7907	8699
24. Zollverein	79,77	4,75	5,68	1,86	1,64	6,30	92,06	86,65	5,16	6,17	2,02	73,33	67,03	25,03	7670	7646	8316
B. Saarkohlen.																	
1. Dudweiler	78,26	5,11	8,57	0,97	1,32	5,77	92,91	84,23	5,50	9,22	1,05	65,49	59,72	33,19	7527	7538	8122
2. Frankenholtz	77,40	5,03	7,90	1,26	1,99	6,42	91,59	84,51	5,50	8,62	1,37	60,80	54,38	37,21	7461	7463	8166
3. Friedrichstal	76,20	4,98	9,28	1,11	2,03	6,40	91,57	83,21	5,45	10,13	1,21	60,83	54,43	37,14	7296	7343	8032
4. Heinitz	70,27	4,64	9,61	0,78	2,24	12,46	85,30	82,38	5,44	11,27	0,91	68,59	56,13	29,17	6696	6709	7881
5. von der Heydt	69,07	4,21	10,93	1,12	3,90	10,77	85,33	80,95	4,93	12,81	1,31	61,70	50,93	34,40	6424	6478	7619
6. St. Ingbert	81,49	4,99	8,41	0,65	1,73	2,83	95,44	85,38	5,23	8,71	0,68	68,46	65,63	29,81	7752	7798	8181
7. Itzenplitz	75,11	4,85	10,68	1,05	3,61	4,70	91,69	81,92	5,29	11,65	1,14	63,72	59,02	32,67	7108	7170	7850
8. König	76,69	5,20	8,05	2,10	1,21	6,75	92,04	83,32	5,65	8,75	2,28	61,07	54,32	37,72	7475	7571	8233
9. Kohlwald	73,48	5,03	10,86	0,93	4,05	5,65	90,30	81,37	5,57	12,03	1,03	60,21	54,66	35,74	7016	6989	7766
10. Püttlingen	68,67	4,57	10,80	0,80	3,93	11,23	84,84	80,94	5,39	12,73	0,94	64,93	53,72	30,12	6492	6533	7729
11. Reden	72,98	5,06	11,30	0,99	3,45	6,22	90,33	80,79	5,60	12,51	1,10	62,30	56,08	34,25	6974	6971	7740
C. Schlesische Kohlen.																	
1. Deutschland (Gottesberg)	71,90	4,56	17,37	1,15	1,58	5,44	94,98	75,70	4,80	18,29	1,21	65,73	62,29	32,69	6536	6627	6987
2. Viktor	81,12	4,24	4,93	1,23	1,65	6,83	91,62	88,64	4,63	5,30	1,34	81,46	74,03	16,89	7643	7646	8365
3. Guldo	77,79	4,85	10,07	0,57	1,67	5,05	93,28	83,29	5,20	10,80	0,61	—	—	—	7349	7429	7983
4. Königin Luise	70,60	4,30	8,77	1,57	2,28	12,48	85,24	82,83	5,04	10,29	1,84	71,68	58,70	26,54	6671	6662	7837
5. Mathilde	78,31	4,70	9,87	0,75	2,05	4,22	93,03	83,64	5,02	10,54	0,80	67,82	63,50	30,13	7356	7414	7931
6. Paulus	73,96	4,40	15,16	1,41	1,95	3,12	94,93	77,91	4,64	15,97	1,48	64,19	61,07	33,86	6739	6804	7180
D. Sächsische Kohlen.																	
1. Kaisergrube Gersdorf bei Oelsnitz	71,45	4,76	10,06	1,30	8,91	3,32	87,57	81,59	5,44	11,49	1,48	59,75	56,23	31,94	6782	6750	7769
2. Vereinigt Feld Bockwa-Hohndorf	74,63	4,97	9,60	1,80	3,50	5,50	91,00	82,00	5,46	0,55	1,99	—	—	—	7162	7169	7901
3. Zwickau-Oberhohndorf Wilhelmsch.	75,95	5,35	11,17	0,63	3,68	3,22	93,10	81,58	5,74	12,00	0,68	—	—	—	7292	7299	7864
E. Oberbayerische Molassekohlen.																	
1. Haushamer Grobkohle	68,01	5,42	12,02	4,87	7,37	13,31	79,32	73,14	5,57	15,15	6,14	56,50	43,19	36,13	5623	5623	7144
2. Penzberger Förderkohle II	47,78	3,83	10,92	5,24	10,18	22,05	67,77	70,50	5,65	16,12	7,73	55,13	33,08	34,69	4655	4710	7040
F. Sächsische Braunkohlen.																	
1. Alfred	41,41	3,29	9,84	2,12	36,26	7,08	56,66	73,08	5,81	17,37	3,74	30,35	23,27	33,39	3787	3741	6987
2. Bach bei Ziebingen	35,93	2,56	13,20	0,99	45,33	1,99	52,62	68,20	4,86	25,06	1,88	26,44	24,45	28,23	2927	2960	6154
3. Meuselwitz, Fortschritt	44,47	3,67	14,69	1,72	27,13	8,32	64,55	68,89	5,09	22,76	2,66	35,59	27,27	37,28	4014	4059	6541
4. Gnadenhütte bei Klein-Mühlungen	37,16	3,39	9,62	1,66	38,68	9,49	51,83	71,70	6,54	18,56	3,20	28,30	18,81	33,02	3434	3426	7058
5. Greppen	43,97	3,25	17,54	1,53	22,85	11,06	66,09	65,62	4,92	26,54	2,92	38,51	27,45	38,64	3732	3870	6063
6. Lützkendorf	31,12	2,79	9,42	3,87	47,45	5,35	47,20	65,93	5,91	19,96	8,20	24,98	19,63	27,58	2800	2818	6574
7. Marie Luise	45,40	3,73	10,72	3,59	29,27	7,29	63,44	71,57	5,88	19,89	5,66	34,90	27,61	35,83	4285	4319	7085
G. Lignit und Torf.																	
1. Lignit von Josefszeche in Schwanenkirchen	28,80	2,54	9,55	2,87	40,35	15,89	43,76	65,81	5,81	21,82	6,56	34,00	18,11	25,65	2552	2578	6421
2. Profstorf von Hofmark-Steinfeld	49,31	4,48	24,07	0,39	16,47	5,28	78,25	63,92	5,73	30,76	0,49	31,25	25,97	32,28	4331	4364	5794
3. Ostrach (Torf)	45,93	4,70	29,18	0,61	14,96	5,52	80,42	57,11	5,84	36,29	0,76	33,16	27,64	32,78	3956	3993	5070
4. Torf von Pechorrschwalbe	38,76	3,66	21,27	0,26	29,14	6,91	63,93	60,61	5,72	33,26	0,41	29,60	22,69	41,26	3261	3283	5407
H. Steinkohlenbriketts																	
1. Dahlhausen Tiefbau	83,24	4,05	3,13	1,26	1,06	7,26	91,68	90,79	4,42	3,41	1,38	84,78	77,52	14,16	7829	7816	8392
2. Haniel & Co	81,96	4,15	3,14	0,88	1,77	8,10	90,13	90,94	4,60	3,48	0,98	85,00	77,50	12,63	7741	7804	8671
3. Hugo Stinnes, Straßburg	80,85	4,45	4,82	1,19	1,76	6,93	91,31	88,55	4,87	3,28	1,30	76,55	69,42	21,89	7685	7616	8353
4. Stachelhaus & Buchloh	82,69	4,10	3,60	1,36	2,10	6,15	91,75	90,13	4,47	3,92	1,48	83,92	77,77	13,98	7778	7822	8539
J. Braunkohlenbriketts.																	
1. Stempel Fürst Bismarck	54,35	4,66	15,21	2,28	15,77	7,73	76,50	71,05	6,09	19,88	2,98	39,87	32,14	44,36	5165	5098	6787
2. Würfel-Brikett C* Ise	55,91	4,07	19,14	0,78	14,77	5,33	79,90	70,00	5,09	23,93	0,98	40,17	34,84	45,06	4947	4899	6243
3. Würfel-Brikett S* Rechenberg & Co	51,74	4,24	18,57	1,09	18,95	5,90	75,55	68,49	5,61	24,58	1,32	38,92	33,42	42,13	4659	4583	6214
4. Stempel Rositz	51,73	4,34	16,37	1,50	19,40	6,68	73,92	69,98	5,84	22,15	2,03	—	—				

Die 11. Sitzung der Kommission für die
Karteographie der Provinz
am 11. März 1871





N11< 41166346 090

UB Karlsruhe (07/96)

