

# XXIII. Verdampfungsversuch und Dampfpreise.

## 1. Verdampfungsversuch.

Sehr oft läßt man sich bei Auftragserteilung auf eine Kesselanlage Leistungsgarantien in bezug auf die Dampfproduktion und Ausnützung des Brennstoffes geben. Werden Überhitzer bestellt, so wird noch die zu erwartende Dampftemperatur im Heißdampfsammelrohr bei einer bestimmten Kesselleistung und, bei Rauchgasvorwärmern, die zu erwartende Kohlenersparnis oder Wassererwärmung, bei einem vorher festzusetzenden Kohlendioxidgehalt der Rauchgase, gewährleistet.

Versuche zur Feststellung der zugesicherten Leistungen werden im allgemeinen nach den „Normen<sup>1)</sup> für Leistungsversuche an Dampfkesseln und Dampfmaschinen“ aufgestellt vom Verein deutscher Ingenieure, dem Internationalen Verbands der Dampfkessel-Überwachungsvereine und dem Verein deutscher Maschinenbauanstalten vorgenommen. Nur in bezug auf die Wärmeverteilung in Überhitzern sollten die neueren Versuche von Knoblauch und Jakob (S. 162) benutzt werden, wonach die spez. Wärme des überhitzten Wasserdampfes mit etwa 0,54 (anstatt 0,48 nach den Normen) in Rechnung zu setzen ist. Derjenige Teil der vorerwähnten Normen, welcher auf die Untersuchung der Kesselanlage Bezug hat, ist hier unten abgedruckt.

Die Normen sind so ausführlich gehalten, daß sich weitere Ausführungen darüber an dieser Stelle wohl erübrigen. Im nachstehenden sei nur ein Vordruck gebracht, der sich bei der Ausführung von Verdampfungsversuchen und diesbezüglichen Berichten als dienlich erwiesen hat.

### Auszug aus den Normen

für Leistungsversuche an Dampfkesseln, aufgestellt vom Verein deutscher Ingenieure, dem Internationalen Verbands der Dampfkessel-Überwachungsvereine und dem Verein deutscher Maschinenbauanstalten im Jahre 1899.

### 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 Heizwert 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 eine Pferdestärke-Stunde (PS-Std.);
- d) der Wärmewert des für eine PS-Std. verbrauchten Dampfes;
- e) die Schwankungen der Umlaufzahlen bei wechselnder Belastung.

Bemerkung. Sollen Dampfkessel und Dampfmaschinen nicht bloß 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 Maßstab. 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 Nr. 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 10stündiger Dauer, handelt es sich um die Menge des erzeugten oder verbrauchten Dampfes, so ist ein Versuch von mindestens 8stündiger Dauer zu machen.

Eine kürzere Dauer — beim Brennstoffverbrauch von mindestens 8, beim Dampfverbrauch von mindestens 6 Stunden — 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.

<sup>1)</sup> Verlag Boysen & Maasch, Hamburg.

**Vordruck I.**  
Vorderseite.

**Garantienachweis.**

Besitzer der Anlage: ..... in .....

Lieferant: ..... in .....

Der Verdampfungsversuch wurde ausgeführt an ..... Stück  $\frac{\text{Flamm-}}{\text{Wasser-}}$ rohrkesseln Fabrik-Nr. .... von ..... at Überdruck, ..... qm Kesselheizfläche, ..... qm Überhitzerheizfläche, ..... qm Rostfläche. Der Rauchgas-Vorwärmer hat ..... qm Heizfläche.

Bauart d. .... Kessel ..... Wasserraum ..... cbm, Dampfraum ..... cbm, Verdampfungsoberfläche ..... qm.

Verhältnis:  $\frac{\text{Rostfläche}}{\text{Heizfläche}} = 1: \dots$ ,  $\frac{\text{Rostfläche}}{\text{Rauchrohrquerschnitt}} = \dots$

Bauart d. .... Überhitzer .....

Bauart d. .... Vorwärmer .....

D. .... Kessel  $\frac{\text{ist}}{\text{sind}}$  mit mechanischer Rostbeschickung, Bauart ..... ausgerüstet.

Versuchstag: ..... Leiter des Versuches: .....

Heizer: ..... Sonstiges Personal: .....

	Garantieverpflichtung lt. Vertrag	Mittlere Ergebnisse der nachstehenden Aufzeich- nungen
Leistung pro qm Heizfläche und Stunde: ..... kg		
Dampftemperatur am Überhitzer: ..... ° C		
Speisewassertemperatur: kalt ..... „		
vorgewärmt ..... „		
Brennstoff: Heizwert ..... WE		
Wasser ..... v. H.		
Asche und Schlacke ..... „		
Verdampfung: 1 kg Brennstoff verdampft dabei Wasser: ..... kg		
auf Normaldampf (637 WE) bezogen ergibt dieses ..... „		
Ausnutzung des Brennstoffes deshalb $\frac{\text{einschl. Rauchgas-}}{\text{ohne Abdampf-}}$ Vorwärmer v. H.		
Kraftverbrauch der mechanischen Rostbeschickung: ..... PS		
„ „ Kohlenförderung: ..... „		
Einrichtung für künstlichen $\frac{\text{direkten Saugzug}}{\text{indirekten Druckzug}}$ { Kraftverbrauch ..... „		
Dampfverbrauch ..... kg		

Bemerkungen: .....

**Vordruck I.**

Linke Innenseite.

Lfd. Nr.	Abgewogene Mengen						Temperaturen ° C									
	Kohle			Wasser			Zeit	Wasser		Rauchgase				Luft im Kessel- haue	Dampf am Über- hitzer- austritt	
	Zeit	Diffe- renz	kg	Zeit	Diffe- renz	kg		kalt	vorge- wärmt	vor dem	hinter Überhitzer	am Kes- selende	vor dem			hinter Vorwärmer
1																
2																
3																

**Vordruck I.**

Rechte Innenseite.

Lfd. Nr.	Zeit	Dampfdruck im Kessel at	Zugstärke mm WS				Rauchgasanalyse in v. H.									
			über dem Rost	am Kessel- ende	Differenz- zugmesser	vor dem Vorwärmer	Zeit	CO <sub>2</sub> (Kohlen- säure)	O (Sauer- stoff)	CO (Kohlen- oxyd)	H (Wasser- stoff)	N (Stick- stoff)	gemessen vor hinter dem			
1																
2																
3																

Vordruck I.  
Rückseite.

Mittelwerte und sonstige Notierungen.

<i>Brennstoff:</i> verheizt im ganzen .....	kg
in der Stunde .....	„
in der Stunde auf 1 qm Rostfläche .....	„
<i>Rückstände:</i> Asche .....	„
Schlacke .....	„
in v. H. des verheizten Brennstoffes:	
Asche .....	v. H.
Schlacke .....	„
Verbrennliches in den Rückständen:	
in der Asche .....	v. H.
in der Schlacke .....	„
<i>Speisewasser:</i>	
verdampft im ganzen .....	kg
„ in der Stunde .....	„
„ in der Stunde auf 1 qm Heizfläche .....	„
Temperatur vor dem Vorwärmer .....	° C
„ hinter „ „ .....	„
„ vor dem Kessel .....	„
<i>Dampf:</i> Überdruck .....	at
Temperatur am Überhitzer .....	° C
Erzeugungswärme .....	WE
Gesamtwärme .....	„
<i>Heizgase:</i> am Kesselende Gehalt an	
CO <sub>2</sub> .....	v. H.
O .....	„
CO .....	„
H .....	„
N .....	„
Temperatur vor dem Überhitzer .....	° C
hinter dem Überhitzer .....	„
am Kesselende .....	„
vor dem Vorwärmer .....	„
hinter dem „ .....	„
<i>Verbrennungsluft:</i> Temperatur .....	„
relativer Feuchtigkeitsgehalt .....	v. H.
<i>Luftüberschuß</i> .....	fach
<i>Zugstärke:</i> über dem Rost .....	mm WS
am Kesselende .....	„ „
Differenz-Zugmesser .....	„ „
vor dem Vorwärmer .....	„ „
hinter dem „ .....	„ „
<i>Verdampfung:</i>	
1 kg Brennstoff verdampfte Wasser .....	kg
desgl. berechnet auf Dampf von 100° C aus	
Wasser von 0° (637 WE) .....	„
<i>Wärmebilanz:</i>	
<i>nutzbar gemacht zur Dampfbildung:</i>	WE v. H.
im Kessel .....	
im Überhitzer .....	
im Rauchgasvorwärmer .....	
<i>verloren:</i>	
1. in den Rückständen: Asche .....	
Schlacke .....	
2. durch unverbrannte Gase .....	
3. durch Ruß .....	
4. an fühlbarer, d. h. freier, mit den Gasen in	
in den Schornstein abziehender Wärme .....	
5. Rest (durch Leitung und Strahlung) .....	
Summe = Heizwert der Kohle .....	100,0

*Brennstoff:*  
 Bezeichnung .....

Herkunft .....

Stückgröße .....

Heizwert .....

Gewicht der Probe .....

Der Versand derselben erfolgte in .....

Die Probe wurde untersucht am .....

von .....

in .....

Die calorimetrische Untersuchung ergab einen Heizwert von .....

WE für die ursprüngliche Kohle und .....

WE für die bei 110° C getrocknete Kohle.

Die Elementaranalyse ergab:

	ursprüngl. Kohle	getrocknete Kohle
Wasser W (H <sub>2</sub> O) .....	v. H.	
Asche .....	„	
Kohlenstoff (C) .....	„	
Wasserstoff (H) .....	„	
Sauerstoff (O) .....	„	
Stickstoff (N) .....	„	
Schwefel (S) .....	„	
Summa		

wonach sich nach der Verbandsformel:

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

der Heizwert der Kohle mit ..... WE berechnet.

Die Verkokungsprobe ergab: Koks ..... v. H.

fixer Kohlenstoff ..... v. H.

flüchtige Bestandteile ..... v. H.

*Bemerkungen:*  
 Art der Kohlenwägung .....

Die Rauchgasanalysen wurden genommen mit .....

Der Verlust durch unverbrannte Gase wurde festgestellt: .....

Die Rußbestimmung erfolgte .....

Der Schornstein von ..... mm oberer und ..... mm unterer Lichtweite, bei ..... mm Gesamthöhe dient zum Betriebe von ..... Kesseln mit zusammen ..... qm wasserberührter Heizfläche und ..... qm Vorwärmer-Heizfläche.

Die künstliche  $\frac{\text{direkte}}{\text{indirekte}}$  Saugzug-Druckzug-Anlage besteht aus .....

Der Dampfverbrauch für den künstlichen Zug

$$= \left\{ \begin{array}{l} \text{..... kg für die Stunde,} \\ \text{..... v. H. des verdampften Wassers} \end{array} \right.$$

wurde dem Betriebskessel entnommen und ist in vorstehendem Ergebnis enthalten.

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 v. H. 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  $\pm 7,5$  v. H., im einzelnen in der Regel um nicht mehr als  $\pm 15$  v. H. 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 Vertrage 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 Dampfessel.

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 Maßeinheit 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 Dampfesseln der Flächeninhalt der einerseits von den Heizgasen, andererseits vom Wasser berührten Wandungen zu verstehen. Sind noch andere Wandungen vorhanden, durch welche Wärme in den Dampfessel 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 usw.) 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  $0^\circ$  und trocken gesättigten Dampf von  $100^\circ$  (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. Nr. 36.

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

#### Ausführung der Untersuchungen.

19. Zu Anfang und zu Ende jedes Versuches sollen überall gleiche Verhältnisse vorhanden sein; Dampfessel 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 Versuchessel und der Versuchmaschine abzusperrern, am besten mittels Blindflansche, die möglichst nahe am Dampfessel und der Dampfmaschine anzubringen sind.

#### Untersuchung einer Dampfesselanlage.

21. Art, Zahl und Dauer der Versuche sind nach Maßgabe der „Allgemeinen Bestimmungen“ (Nr. 1 bis 8) zu vereinbaren.

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

- a) die Heizfläche des Dampfessels gemäß Nr. 12;
- b) die von Heizgasen bespülten Überhitzer- und Vorwärmer-Heizflächen;
- c) der Inhalt des Wasser- und Dampfzuges, der Speisewasser-Vorwärmer 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 Dampfessel 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 Dampfessel 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 Leistungsversuchen 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 Anrüstungsteilen sowie etwa an ihnen ausgeblasenes Wasser ist aufzufangen und in Rechnung zu bringen.

27. Versuche, bei welchen nachweisbar erhebliche Wassermengen 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 (Schrägrostfeuerungen), so sind die Rückstände darin vor und nach dem Versuche bis auf eine bestimmte Höhe zu bringen und abzugleichen. In demselben Zustande, wie beim Beginn, muß sich das Feuer am Ende des Versuches befinden. Die Dauer und der Brennstoffverbrauch des Anheizens werden vermerkt, bleiben aber außer Berechnung.

Der während des Versuches zur Verwendung kommende Brennstoff ist zu wägen.

29. Um eine richtige Durchschnittsprobe dieses Brennstoffes zu erlangen, kann man in folgender Weise verfahren. 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 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 (Feuchtigkeitsproben).

30. Die Zusammensetzung des Brennstoffes ist durch chemische Analyse zu ermitteln. Es soll der Gehalt an Kohlenstoff (C), Wasserstoff (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 calorimetrisch zu ermitteln.

Bemerkung. Auf Grund der chemischen Analyse kann der Heizwert von Steinkohlen und Braunkohlen angenähert mittels der sogenannten Verbandsformel:

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

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 Mauerwerks nachweisen, indem man den im Betriebe befindlichen Rost mit stark rauchendem Brennstoff 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.

### Anhang.

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

Bestimmung der Wärmeverluste einer Dampfkesselanlage.

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 Kohlensäuregehalt der Heizgase in folgender Weise berechnet:

Ist C der Kohlenstoffgehalt des Brennstoffes und  $k$  der Kohlensäuregehalt 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  $\frac{9H + W}{100}$ , 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

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

Das Gesamtvolumen des aus 1 kg Brennstoff entstandenen Gasgemenges ist also

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

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:

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

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:

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

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

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

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

**Zahlentafel Nr. 118.**  
**Beispiel Nr. 36 zur Berechnung von Dampfpreisen.**

Art des Kesselsystems	Zweiflammrohrkessel		Kombinierte Flammrohr- rauchrohrkessel		Wasserrohrkessel	
	Steinkohle mit .... v. H. Asche	.... v. H. Wasser	Steinkohle mit .... v. H. Asche	.... v. H. Wasser	Steinkohle mit .... v. H. Asche	.... v. H. Wasser
1. Brennstoff . . . . .						
Heizwert des Brennstoffes . . . . . WE	7300		7300		7300	
Wirkungsgrad der Kesselanlage . . . . . v. H.	70		75		70	
1 kg Brennstoff erzeugt Normaldampf . . kg	$\frac{7300 \cdot 0,7}{637} = 8,0$		$\frac{7300 \cdot 0,75}{637} = 8,6$		$\frac{7300 \cdot 0,7}{637} = 8,0$	
Kosten ab Zeche für 10000 kg Brennstoff M.	130,—		130,—		130,—	
„ der Anfuhr für 10000 kg Brennstoff M.	20,—		20,—		20,—	
„ der Aschen- und Schlackenabfuhr für 10000 kg Brennstoff . . . . . M.	5,—		5,—		5,—	
1000 kg Normaldampf kosten unter 1. . . „	$\frac{130+20+5}{10000 \cdot 8,0} = 1,93$		$\frac{130+20+5}{10000 \cdot 8,6} = 1,80$		$\frac{130+20+5}{10000 \cdot 8,0} = 1,93$	
2. Dampfleistung der Kesselanlage für die Std. kg	5000		5000		5000	
Größe der Kesselanlage . . . . . qm	2 · 125		2 · 180		2 · 150	
Kesselbeanspruchung für 1 qm Heizfl. u. St. kg/qm	20		14		17	
Anschaffungspreis der Kessel mit Über- hitzer, Armatur und Rostanlage . . . M.	23 000,—		28 000,—		25 000,—	
Anschaffungspreis für die mechanische Kohlen- und Ascheförderung . . . . . „	4 000,—		4 000,—		4 000,—	
Kosten für Frachten und Anfuhr obiger Teile frei Kesselhaus . . . . . „	1 000,—		1 500,—		900,—	
Montagekosten einschl. Hilfe, Rüst- und Hebezeuge . . . . . „	300,—		450,—		600,—	
Kosten für Einmauerung einschl. Funda- mente . . . . . „	5 900,—		7 600,—		6 800,—	
Summa M.	34 200,—		41 550,—		37 300,—	
a) Für Verzinsung 5 v. H. u. Abschreibung 7½ v. H., zusammen 12½ v. H. . . . M.	$\frac{34200 \cdot 12,5}{100} = 4275,—$		$\frac{41550 \cdot 12,5}{100} = 5200,—$		$\frac{37300 \cdot 12,5}{100} = 4660,—$	
Anschaffungspreis für Speisevorrichtungen „ „ Rohrleitungen im Kesselhaus . . . . . „	5 000,—		5 000,—		5 000,—	
„ „ Wasserreinigung . . . . . „	4 000,—		4 000,—		4 000,—	
	9 800,—		9 800,—		9 800,—	
b) Für Verzinsung 5 v. H. u. Abschreibung 7½ v. H., zusammen 12½ v. H. . . . „	$\frac{9800 \cdot 12,5}{100} = 1220,—$		$\frac{9800 \cdot 12,5}{100} = 1220,—$		$\frac{9800 \cdot 12,5}{100} = 1220,—$	
Kosten für den Schornstein . . . . . „	5 000,—		5 000,—		5 000,—	
„ „ Gebäude und Grunderwerb . . . . . „	9 000,—		6 000,—		6 000,—	
	14 000,—		11 000,—		11 000,—	
c) Für Verzinsung 5 v. H., Abschreibung 2½ v. H., zusammen 7½ v. H. . . . . „	$\frac{14000 \cdot 7,5}{100} = 1050,—$		$\frac{11000 \cdot 7,5}{100} = 825,—$		$\frac{11000 \cdot 7,5}{100} = 825,—$	
	a + b + c	6545,—	7245,—	7245,—	6705,—	6705,—
1000 kg Normaldampf kosten unter 2. . . „	$\frac{6545}{3000 \cdot 5} = 0,44$		$\frac{7245}{3000 \cdot 5} = 0,48$		$\frac{6705}{3000 \cdot 5} = 0,45$	
3. Arbeitslohn einschl. Versicherung des Per- sonals (Heizer und ev. Kohlenfahrer) im Jahr . . . . . M.	2 000,—		2 000,—		2 000,—	
Versicherung gegen Feuer- u. Explosions- gefahr . . . . . „	200,—		200,—		200,—	
Instandhaltung und Reparaturen . . . . . „	300,—		400,—		450,—	
Kesselreinigung . . . . . „	100,—		150,—		250,—	
3 PS für mechanische Feuerung, Kohlen- und Aschentransport . . . . . „	900,—		900,—		900,—	
Rohwasser . . . . . „	—,—		—,—		—,—	
Verbrauch an Chemikalien (Kalk und Soda) für die Wasserreinigung . . . . . „	250,—		250,—		250,—	
Summa M.	3 750,—		3 900,—		4 050,—	
1000 kg Normaldampf kosten unter 3. . . „	$\frac{3750}{3000 \cdot 5} = 0,25$		$\frac{3900}{3000 \cdot 5} = 0,26$		$\frac{4050}{3000 \cdot 5} = 0,27$	
<b>Gesamtkosten für 1000 kg Normaldampf . M.</b>	<b>1. + 2. + 3. = 2,67</b>		<b>1. + 2. + 3. = 2,54</b>		<b>1. + 2. + 3. = 2,65</b>	

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 Verbrennungsraum ist gering und kann vernachlässigt werden.

Bemerkung. Der Wärmeverlust durch unverbrannte Gase und Ruß kann bei qualmender Feuerung bedeutend sein; soll er bestimmt werden, so ist der Gehalt an unverbrannten Bestandteilen nach bekanntem 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 v. H. des calorimetrisch ermittelten Heizwertes anzugeben. Was an 100 fehlt, stellt, abgesehen von unvermeidlichen Versuchsfehlern, den Verlust durch Strahlung und Leitung sowie durch unverbrannte Gase und Ruß dar.

## 2. Dampfpreise.

Der Dampfpreis ist unter gegebenen Verhältnissen der wichtigste Maßstab für die Wertbestimmung bzw. Wahl eines Brennstoffes. Meist werden mit Dampfpreis nur die Gesteungskosten von 1000 kg Normaldampf von 637 WE (Erzeugung von Dampf von 100° C aus Wasser von 0°) bezeichnet, die sich aus den Kosten für den Brennstoff franko Fabrikhof ergeben. Richtiger ist es, bei der Berechnung des Dampfpreises folgende drei Punkte zu berücksichtigen:

1. Verbrauch an Brennstoff zur Dampfbildung, die Transportkosten desselben bis zur Verbrauchsstelle und die Abfuhrkosten für Asche und Schlacke.

2. Kosten für Verzinsung und Abschreibung der Kessel-, Pumpen-, Rohrleitungs-, Wasserreiniger-, Schornstein- und Gebäudeanlage usw.

3. Arbeitslöhne und Versicherung für die Bedienung, Instandhaltung und Reinigung der Kessel mit Nebenanlagen, ev. Kraftverbrauch für den Antrieb von Kohlenförderung, mechanischer Rostbeschickung, Pumpen, und in besonderen Fällen auch die Kosten für Rohwasser.

Der Verbrauch an Brennstoff ist wesentlich abhängig von dem Zustand der Kessel- und besonders auch der Rostanlage und der Art der Bedienung. Bei minderwertigen Brennstoffen (2000 bis 3000 WE) rechnet man durchschnittlich mit einer Ausnützung desselben in der Kesselanlage von 60 bis 65 v. H., bei mittleren (3000 bis

6000 WE) = 65 bis 70 v. H. und bei Material von über 6000 WE mit 70 bis 75 v. H. des Heizwertes der Kohle. Hat z. B. eine Kohle 7300 WE Heizwert und wird sie mit 70 v. H. in der Kesselanlage ausgenützt, so hat sie eine  $\frac{7300 \cdot 0,7}{637} = 8$ fache Verdampfung. Bei der Berech-

nung des Dampfpreises wird am besten Normaldampf von 637 WE zugrunde gelegt, da die Verhältnisse in den einzelnen Anlagen so verschieden sind, daß sonst ein Vergleich verschiedener Betriebe nur schwer möglich wäre. Dabei wird der Heizwert in WE des ursprünglichen Brennstoffes, also einschließlich Asche und Feuchtigkeit, in Rechnung gesetzt. Die Kosten für den Brennstoff richten sich in erster Linie nach dem Heizwert desselben, Asche und Feuchtigkeitsgehalt beeinflussen die Verdampfung aber oft sehr, so daß man außer dem Heizwert auch diese beim Ankauf von Brennstoff berücksichtigen sollte. Die Transportkosten sind sehr verschiedene, sie richten sich nach der geographischen und lokalen Lage der Verbrauchsstellen und deren Zugänglichkeit.

Bei dem in Zahlentafel Nr. 118 (S. 389) aufgestellten Beispiel über die Berechnung von Dampfpreisen, ist eine Anlage angenommen zur Erzeugung von 5000 kg Stundendampf, bestehend aus zwei Dampfkesseln von 12 at Überdruck mit Überhitzung auf 350° C. Vorwärmer und Reservekessel sind nicht berücksichtigt, jedoch sind Schornstein und Gebäude für eine Betriebserweiterung um 50 v. H. ausreichend groß gewählt. Vorausgesetzt ist ferner Tagesbetrieb mit 3000 Arbeitsstunden pro Jahr. Der Brennstoff zum Anheizen der Kessel und die Kosten für das Speisewasser — Rohwasser — sind nicht mit in Rechnung gesetzt. Da die Dampfpreise, wie oben erläutert, für die einzelnen Kesselsysteme verschieden ausfallen, sind, der besseren Übersicht wegen, die bei einer Neuanlage in Betracht zu ziehenden Kesselbauarten tabellarisch nebeneinanderzustellen. Nur auf diese Weise kann man bei Beschaffung einer Dampfanlage einen richtigen Überblick über die zu gewärtigenden Betriebsausgaben gewinnen. Kommt künstlicher Zug in Frage, so sind dessen Anschaffungskosten unter 2. und die Betriebskosten (Kraft- oder Dampfverbrauch) unter 3. entsprechend zu berücksichtigen. Natürlich sind die in Zahlentafel Nr. 118 errechneten Zahlen nur als annähernde zu betrachten, da sie fast in jedem Fall wechseln und für vorliegende Verhältnisse jeweils genau ermittelt werden müssen.