

DIN EN 12952-15



ICS 27.040

**Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten –
Teil 15: Abnahmeversuche;
Deutsche Fassung EN 12952-15:2003**

Water tube boilers and auxiliary installations –
Part 15: Acceptance tests;
German version EN 12952-15:2003

Chaudières à tubes d'eau et à tubes de fumée –
Partie 15: Essais de réception;
Version allemande EN 12952-15:2003

Gesamtumfang 91 Seiten

Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD) im DIN

Die Europäische Norm EN 12952-15:2003 hat den Status einer Deutschen Norm.

Nationales Vorwort

Diese Deutsche Norm enthält die Deutsche Fassung der Europäischen Norm EN 12952-15:2003 „Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten — Teil 15: Abnahmeversuche“.

Die Europäische Norm wurde vom CEN/TC 269 „Großwasserraum- und Wasserrohrkessel“ erarbeitet.

Der für die deutsche Mitarbeit zuständige Arbeitsausschuss im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist der als Spiegelausschuss eingesetzte Arbeitsausschuss GA 269 „Dampfkessel“ des Normenausschusses Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD).

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Deutsche Fassung

Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten Teil 15: Abnahmeversuche

Water-tube boilers and auxiliary installations —
Part 15: Acceptance tests

Chaudières à tubes d'eau et à tubes de fumée —
Partie 15: Essais de réception

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 12. Juni 2003 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, der Slowakei, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn und dem Vereinigten Königreich.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich und Zweck	5
1.1 Anwendungsbereich	5
1.2 Zweck	5
1.3 Allgemeine Hinweise	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Symbole, Einheiten, Zahlenwerte und Begriffe	7
4.1 Symbole und Einheiten	7
4.2 Zahlenwerte	11
5 Sicherstellung der Kennwerte	12
5.1 Voraussetzungen für die Sicherstellung der Kennwerte	12
5.2 Kennwerte unter Sicherstellung	13
5.3 Zusätzliche Messungen	13
5.4 Beteiligung verschiedener Hersteller an der Lieferung der Dampferzeuger-Bauteile	13
6 Grundsätzliche Versuchsbedingungen	13
6.1 Methoden der Wirkungsgradbestimmung	13
6.2 Allgemeine Bedingungen	14
6.3 Vorversuche	14
6.4 Zustand des Dampferzeugers	14
6.5 Beharrungszustand	14
6.6 Versuchsdurchführung	15
6.7 Sonstige Hinweise	18
7 Messgeräte und Messverfahren	18
7.1 Allgemeines	18
7.2 Druckmessungen	19
7.3 Temperaturmessungen	19
7.4 Masse und Massenstrom	19
7.5 Heizwerte	20
7.6 Chemische Zusammensetzung	21
7.7 Elektrische Leistung	22
8 Energiebilanz und Wärmewirkungsgrad	22
8.1 Energiebilanz und Systemgrenze	22
8.2 Bezugstemperatur	28
8.3 Zu- und abgeführte Wärmeströme und -verluste	28
8.4 Wärmewirkungsgrad	54
9 Umrechnung auf Gewährleistungsbedingungen	60
9.1 Allgemeines	60
9.2 Umrechnung bei abweichenden Eintrittskennwerten auf der Wasser-/Dampfseite	62
9.3 Umrechnung des direkt gemessenen Wirkungsgrades auf die Gewährleistungsbedingungen	62
9.4 Umrechnung des indirekt gemessenen Wirkungsgrades auf die Gewährleistungsbedingungen über die Energiebilanz	63
9.5 Umrechnung des indirekt gemessenen Wirkungsgrades auf die Gewährleistungsbedingungen mit Änderung der Rauchgastemperatur	66
9.6 Wirkungsgrad unter Gewährleistungsbedingungen	70
10 Mittelwertbildung und Messunsicherheit	71
10.1 Allgemeines	71
10.2 Mittelwertbildung und Berichtigung	71
10.3 Grundlagen der Messunsicherheitsberechnung	72
10.4 Richtwerte für Messunsicherheiten	73
10.5 Berechnung der Messunsicherheit	82

Anhang A (normativ) Statistische Verbrennungsrechnung.....	85
A.1 Allgemeines	85
A.2 Feste Brennstoffe.....	85
A.3 Heizöl.....	86
A.4 Erdgas	86
Literaturhinweise	87

Vorwort

Dieses Dokument prEN 12952-15:2003 wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 269 „Großwasserraum- und Wasserrohrkessel“, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird, erarbeitet.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis März 2004, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2004 zurückgezogen werden.

Diese Europäische Norm wurde im Rahmen eines Mandates, das dem CEN, der Europäischen Kommission und der Europäischen Freihandelszone erteilt wurde. Diese Europäische Norm ist als unterstützende Norm für Anwendungs- und Produktnormen zu betrachten, die ihrerseits eine grundlegende Sicherheitsanforderung einer Richtlinie nach der neuen Konzeption unterstützen und die als normative Verweisung darin aufgeführt wird.

Die Europäische Norm EN 12952 über Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten besteht aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Allgemeines.
- Teil 2: Werkstoffe für drucktragenden Kesselteile und Zubehör.
- Teil 3: Konstruktion und Berechnung für drucktragende Teile.
- Teil 4: Betriebsbegleitende Berechnung der Lebensdauererwartung.
- Teil 5: Verarbeitung und Bauausführung für drucktragende Kesselteile.
- Teil 6: Prüfung während der Fertigung, Dokumentation und Kennzeichnung für drucktragende Kesselteile.
- Teil 7: Anforderungen an die Ausrüstung für den Kessel.
- Teil 8: Anforderungen an Feuerungsanlagen für flüssige und gasförmige Brennstoffe für den Kessel.
- Teil 9: Anforderungen an Staubfeuerungsanlagen für den Kessel.
- Teil 10: Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen gegen Überdruck.
- Teil 11: Anforderungen an Begrenzungseinrichtungen für den Kessel und Zubehör.
- Teil 12: Anforderungen an die Speise- und Kesselwasserqualität.
- Teil 13: Anforderungen an Rauchgasreinigungsanlagen.
- Teil 14: Anforderungen Rauchgas-DENOX-Anlagen.
- Teil 15: Abnahmeversuche.
- Teil 16: Anforderungen an Rost- und Wirbelschichtfeuerungsanlagen für feste Brennstoffe für den Kessel.

CR 12952-17, Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten — Teil 17: Leitfaden für die Einbeziehung einer herstellerunabhängigen Prüforganisation.

Obwohl alle Teile der Norm einzeln zu erwerben sind, sollte bedacht werden, dass die Teile voneinander abhängig sind. Deshalb werden für Konstruktion und Herstellung der Wasserrohrkessel mehrere Teile benötigt, um die Anforderungen der Norm zu erfüllen.

ANMERKUNG Teil 4 und Teil 15 sind nicht während der Konstruktion, Fertigung und Errichtung anwendbar.

Anhang A ist normativ.

Dieses Dokument enthält Literaturhinweise.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn und Vereinigtes Königreich.

1 Anwendungsbereich und Zweck

1.1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm behandelt Dampfkessel und Heißwassererzeuger mit eigener Feuerung einschließlich der zugehörigen Hilfseinrichtungen. Im Sinne dieser Norm sind Dampfkessel und Heißwassererzeuger Behälter und Rohrleitungen, in denen:

- Wasserdampf von höherem als atmosphärischem Druck zur Verwendung außerhalb der Anlage erzeugt wird,
- Wasser auf eine höhere Temperatur als die Siedetemperatur bei atmosphärischem Druck erhitzt wird, zur Verwendung außerhalb der Anlage.

Ein Dampferzeuger besteht üblicherweise aus dem rauchgasbeheizten Verdampfer, dem Überhitzer, dem Zwischenüberhitzer, dem Speisewasser-, dem Luft- und gegebenenfalls dem Brennstoffvorwärmer und der Feuerungseinrichtung.

Unter dem Begriff „eigene Feuerung“ wird eine Einrichtung verstanden, mit deren Hilfe die chemisch gebundene Wärme eines Brennstoffes bekannter Beschaffenheit in fühlbare Wärme umgesetzt wird. Es kann sich dabei um eine Rostfeuerung, eine Wirbelschichtfeuerung oder eine Brennerfeuerung handeln.

Zu den Hilfseinrichtungen gehören die Brennstoffzuteiler, die Mahlanlage, das Frischluftgebläse, das Rauchgasgebläse, die Einrichtungen für die Abfuhr der Verbrennungsrückstände, der Dampf-, der Luft- sowie gegebenenfalls der Brennstoffvorwärmer und der Entstauber.

Diese Norm gilt nicht für:

- Anlagen für Sonderbrennstoffe (z. B. Müll);
- druckbeaufschlagte Dampferzeuger (z. B. druckbeaufschlagte Wirbelschichtfeuerungskessel);
- Dampferzeuger in Kombianlagen.

Sinngemäß kann diese Norm auch angewendet werden für die Abnahmeversuche bei:

- Anlagen ohne eigene Feuerung (z. B. Abhitzekeessel);
- Anlagen mit anderen Wärmeträgern (z. B. Gase, Thermoöle, Natrium).

Wenn diese Norm als Grundlage für die Abnahmeversuche an Wärmeübertragungssystemen dienen soll, sollten bereits bei Vertragsabschluss Vereinbarungen getroffen werden im Hinblick auf die Besonderheiten, die die Messungen und die Auswertung der Versuchsergebnisse beeinflussen können.

1.2 Zweck

Diese Norm bildet die Grundlage für die wärmetechnischen Funktionsprüfungen (Abnahmeversuche) an Dampf- und Heißwassererzeugern mit eigener Feuerung. Diese Abnahmeversuche sollen nachweisen, dass die Gewährleistungen für Wirkungsgrad und Leistung oder andere Kennwerte erfüllt sind.

Diese Norm enthält (unter anderem):

- Empfehlungen für die Durchführung der Abnahmeversuche (siehe Abschnitt 6);
- die Festlegung der Systemgrenze der Dampferzeugeranlage und die Definition des Wirkungsgrades (siehe Abschnitt 8);
- Angaben über die Messunsicherheiten (siehe Abschnitt 10).

1.3 Allgemeine Hinweise

Die Norm enthält Hinweise auf Vereinbarungen, die sich auf die Art und den Umfang der Abnahmeversuche beziehen. Diese Vereinbarungen sollten vor den Versuchen oder bereits bei Bestellung des Dampf- oder Heißwassererzeugers getroffen werden. Die Vereinbarungen können sich auf folgende Punkte beziehen:

- Lieferumfang, Systemgrenze, Bezugstemperatur;
- die Methode der Wirkungsgradbestimmung, direkte (zugeführte/abgeführte Wärmeströme) oder indirekte (Wärmeverlust) Wirkungsgradbestimmung;
- zusätzliche Messungen;
- Versuchsbedingungen, wie Verschmutzungsgrad, Beharrungszeit und Versuchsdauer;
- abweichende Versuchsbedingungen;
- Abschlämmen und Rußblasen;
- Verwendung anderer Messgeräte, als in Abschnitt 6 aufgeführt;
- zu verwendende Dampftafel und Tafeln für andere thermodynamische Eigenschaften;
- besondere Umrechnungsverfahren;
- Ort und Lage der Messstellen.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

EN 837-1, *Druckmessgeräte — Teil 1: Druckmessgeräte mit Rohrfedern — Maße, Messtechnik, Anforderungen und Prüfung.*

EN 12952-1:2001, *Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten — Teil 1: Allgemeines.*

EN 26801, *Gummi- und Kunststoffschläuche; Bestimmung der Volumenzunahme (ISO 6801:1983).*

EN 60584-1, *Thermopaare — Teil 1: Grundwerte der Thermospannungen (IEC 60584-1:1995).*

EN 60584-2, *Thermopaare — Teil 2: Grenzabweichungen der Thermospannungen (IEC 60584-2:1982 + A1:1989).*

EN 60751, *Industrielle Platin-Widerstandsthermometer und Platin-Messwiderstände (IEC 60751:1983 + A1:1986).*

EN ISO 3170, *Petroleum liquids — Manual sampling (ISO 3170:1988, including Amendment 1:1998).*

EN ISO 3993, *Liquefied petroleum gas and light hydrocarbons — Determination of density and relative density — Pressure hydrometer method (ISO 3993:1984).*

EN ISO 5167-1, *Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten — Teil 1: Blenden, Düsen und Venturirohre in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt (ISO 5167-1:1991).*

ISO 157, *Coal — Determination of forms of sulfur.*

ISO 334, *Solid mineral fuels — Determination of total sulfur — Eschka method.*

ISO 589, *Hard coal — Determination of total moisture.*

ISO 609, *Solid mineral fuels — Determination of carbon and hydrogen — High temperature combustion method.*

ISO 625, *Solid mineral fuels — Determination of carbon and hydrogen — Liebig method.*

ISO 1217, *Displacement compressors — Acceptance tests.*

ISO 1928, *Solid mineral fuels — Determination of gross calorific value by the bomb calorimetric method, and calculation of net calorific value.*

ISO 1988, *Hard coal — Sampling.*

ISO 5389, *Turbocompressors — Performance test code.*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die Begriffe der EN 12952-1 und die folgenden Begriffe.

3.1

direkte Methode (Wirkungsgradbestimmung durch zugeführte/abgeführte Wärmeströme)

dabei wird der Wirkungsgrad ermittelt als das Verhältnis der von den Betriebsmedien (Wasser und Dampf) aufgenommenen Energie zu der zugeführten Energie (chemisch gebundene Wärme plus dem Dampferzeuger zugeführte Zusatzwärmen)

3.2

indirekte Methode (Wirkungsgradbestimmung durch Wärmeverlust)

bei dieser Methode ist die Ermittlung aller wesentlichen Wärmeverluste, Zusatzwärmen und der Wärme im Brennstoff erforderlich. Der Wirkungsgrad ist dann gleich 100 minus das Verhältnis zwischen der Summe aller Wärmeverluste und der Summe aus der Wärme im Brennstoff und den Zusatzwärmen

3.3

Normzustand

der Begriff „Normzustand“ bedeutet den Zustand bei $p_n = 1,01325 \text{ bar}$ und $t_n = 0 \text{ °C}$

3.4

Verbrennungsrückstand

unter Verbrennungsrückständen werden die in Form von Flugstaub oder in flüssiger und/oder zusammengesetzter fester Form (Schlacke) anfallenden Rückstände verstanden, einschließlich des darin enthaltenen Brennstoffes

4 Symbole, Einheiten, Zahlenwerte und Begriffe

4.1 Symbole und Einheiten

Die in den Tabellen 4.1-1 bis 4.1-2 nachstehend aufgeführten Symbole stimmen so weit wie möglich mit den in Tabelle 4-1 der EN 12952-1:2001 festgelegten Symbolen überein.

Tabelle 4.1-1 — Lateinische Buchstaben

Symbol	Benennung	Einheit
A	Aschegehalt des Brennstoffes bezogen auf den trockenen und aschefreien Brennstoff	—
A_U	Einflussfaktor	—
c	spezifische Wärmekapazität ^a	kJ/(kgK)
$\bar{c}$	integrale spezifische Wärmekapazität ^a	kJ/(kgK)
f	Faktor (transiente Wärmeleistung)	—
f	(zulässige) Fehlergrenze	—
H	Brennwert	kJ/kg
h	spezifische Enthalpie	kJ/kg
i	Anzahl der Proben	—
J	Enthalpie des Rauchgases oder der Verbrennungsluft bezogen auf den Brennstoffmassenstrom	kJ/kg
L	latente Wärme (Verdampfungswärme)	kJ/kg
l	Einzelverlust	—
l	Anströmlänge	m
l_u	Verhältnis der Unverbrannten zum zugeführten Brennstoffmassenstrom	—
M	molare Masse	—
$\dot{m}$	Massenstrom (Durchsatz)	kg/s
n	Luftverhältnis am Kesselende	—
n	Kalkverhältnis	—
P	Leistung	kW
p	Druck	N/mm ²
$\dot{Q}$	Wärmestrom	kW
T	thermodynamische Temperatur	K
t	Temperatur (Celsius)	°C
u	Masseanteil des Unverbrannten	kg/kg
u_M	Messunsicherheit	—
V	Verbrennungsluft- und Rauchgasvolumen (je Brennstoffmasseneinheit)	m ³ /kg
$\dot{V}$	Volumenstrom (Durchsatz)	m ³ /h
v	spezifisches Volumen	m ³ /kg
w	Geschwindigkeit	m/s
W	Brennstoff-Wassergehalt bezogen auf den trockenen und aschefreien Brennstoff	—
x	Masseanteile von Tauchgas/Verbrennungsluft	kg/kg
x_{Ad}	Masseanteile der Verbrennungsluft	kg/kg
y	Volumenanteil	m ³ /m ³
y_{Ad}	Volumenanteile der Verbrennungsluft	m ³ /m ³
ANMERKUNG 1 1 N/mm ² = 1 MN/m ² = 1 MPa		
ANMERKUNG 2 Die angegebenen Einheiten werden üblicherweise verwendet. Bei dimensionslosen Gleichungen kann eine Umrechnung erforderlich sein.		
^a kurz „spezifische Wärme“		

Tabelle 4.1-2 — Griechische Buchstaben

Symbol	Benennung	Einheit
α	Wärmeübergangskoeffizient	W/(m ² /K)
∂	partiell Differential	—
Δ	Differenz	—
ε	relative Messunsicherheit	—
ε	Emissionsverhältnis	—
η	Wärmewirkungsgrad	—
$\eta_{S,L}$	Entschungsgrad	—
η_s	Entschwefelungsgrad	—
γ	Masseanteil des Brennstoffes	kg/kg
ν	flüchtiger Anteil der Asche	kg/kg
ρ	Dichte	kg/m ³
σ	Standardabweichung	—
μ	brennstoffmassenbezogene Verbrennungsluft- und Rauchgasmasse	kg/kg
τ	Versuchsdauer	h oder s

Tabelle 4.1-3 — Indizes

Symbol	Benennung
A	Luft
Ash	Asche
AS	Zerstäuberndampf bzw. -luft
B	Kessel
BD	Abschlammwasser
c	korrigiert
Cn	Leitung
C	Kohlenstoff
Ca	Calcium (Kalk)
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
d	Trocken (Basis)
daf	asche- und wasserfrei
DC	Entstäuber
e	Endwert
EC	Kühlung von außen
FA	Flugstaub (Flugasche)
F	Brennstoff, verbrannter Brennstoff
Fo	zugeführter Brennstoff
FW	Speisewasser
G	Rauchgas (Verbrennungsgas)
(G)	Bruttowert
g	Gewährleistung
H	Wasserstoff
H ₂ O	Wasser
K	Kalk (als Zuschlagstoff)
L	Verlust
LA	Falschluff
M	Mühle/Mahlanlage
m	mittlere
meas	gemessen
min	Minimum
N	Nutz..., nutzbar
N	Stickstoff
(N)	Nettowert
n	Normzustand
o	stöchiometrisch
O; O ₂	Sauerstoff
p	konstanter Druck

Tabelle 4.1-3 (fortgesetzt)

Symbol	Benennung
r	Bezug
R	Strahlung
RC	Strahlung und Leitung
RH	Zwischendampf
S	Schwefel
SS	Einspritzwasser
SA	Dampfluftvorwärmer
SL	Schlacke
Sam	Probenahme
Sen	Fühler
ST	Frischdampf
tot	Gesamt
tr	tatsächlicher (Wert)
u	Unverbranntes
U	Umwälzpumpe oder Umwälzgebläse
VM	flüchtige Bestandteile
W	Wand
Z	zugeführte Wärme
0	bei 0 °C
1	vor, Eintritt
2	hinter, Austritt
I, II	Zahl der Zwischenüberhitzer
^	maximal

4.2 Zahlenwerte

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Zahlenwerte nach Tabelle 4.2-1.

Tabelle 4.2-1 — Zahlenwerte

Benennung	Symbol	Wert	Einheit
spezifische Verdampfungswärme bei 25 °C	L_r	2442,5	kJ/kg
spezifische Wärmekapazität des Dampfes zwischen 25 °C und 150 °C	$\bar{c}_{pSt}$	1,884	kJ/(kg K)
spezifische Wärmekapazität des Wassers zwischen 25 °C und 150 °C	$\bar{c}_{pW}$	4,21	kJ/(kg K)
spezifische Wärmekapazität der Luft zwischen 25 °C und 150 °C	$\bar{c}_{pA}$	1,011	kJ/(kg K)
spezifische Wärmekapazität der Asche und des Flugstaubes zwischen 25 °C und 200 °C	$\bar{c}_{Ash}, \bar{c}_{FA}$	0,84	kJ/(kg K)
spezifische Wärmekapazität der Schlacke			
bei Trockenfeuerung	$\bar{c}_{SL}$	1,0	kJ/(kg K)
bei Schmelzfeuerung	$\bar{c}_{SL}$	1,26	kJ/(kg K)
spezifische Wärmekapazität der Zuschlagstoffe zwischen 25 °C und 200 °C	$\bar{c}_{Ca}$		
	$CaCO_3$	0,97	kJ/(kg K)
	$Ca(HO)_2$	1,32	kJ/(kg K)
	CaO	0,84	kJ/(kg K)
spezifische Wärmekapazität der asche- und wasserfreien Kohle zwischen 25 °C und 150 °C	$\bar{c}_{Fdaf}$	1,03	$(1 + \gamma_{vm})$ kJ/(kg K)
Heizwert von CO	H_{CO_n}	12,633	MJ/m ³
Heizwert des Unverbrannten			
bei Steinkohle	H_{uu}	33,0	MJ/kg
bei Braunkohle	H_{uu}	27,2	MJ/kg
Heizwert des gesamten organischen Kohlenstoffs (10 °C)	H_{uu}	33,0	MJ/kg

5 Sicherstellung der Kennwerte

5.1 Voraussetzungen für die Sicherstellung der Kennwerte

Folgende Faktoren sind für die Gewährleistung der Kennwerte zu beachten:

- Brennstoffeigenschaften (Zusammensetzung, Heizwert (NCV), Mahlbarkeit, Ascheschmelzverhalten) und gegebenenfalls die Brennstoffgruppe;
- Speisewasser- und Einspritzwassereigenschaften (Druck, Temperatur);
- Druck, Temperatur und Massenstrom der kalten Zwischenüberhitzerdampfströme;
- Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Luftdruck, Unterdruck am Kessel-Austritt.

Die Kennwerte und thermodynamischen Eigenschaften gelten nur an der Systemgrenze (siehe 8.1).

5.2 Kennwerte unter Sicherstellung

Abnahmeversuche von Dampferzeugern dienen dem Nachweis, dass die Gewährleistungen erfüllt sind.

Folgende Kennwerte sind hauptsächlich zu gewährleisten:

- die maximale Dauerleistung (MCR);
- Druck und Temperatur des erzeugten Frisch- und Zwischendampfes;
- der Wirkungsgrad oder die Verluste oder die Rauchgastemperatur.

Weiter kann Gegenstand der Gewährleistung sein:

- der Wirkungsgrad oder die Verluste bei vorgegebenen Brennstoffen und Teillasten;
- der Dampfzustand bei vorgegebenen Brennstoffen und Teillasten;
- der Druckverlust im Hochdruckteil (HP) des Dampferzeugers und im Zwischenüberhitzer;
- der Druckverlust im Verbrennungsluft- und Rauchgasstrom an vereinbarten Stellen;
- das Luftverhältnis (Verhältnis von tatsächlichen zu stöchiometrischen Verbrennungsluftmassen) an vereinbarten Stellen;
- der maximale Durchsatz des Einspritzwassers im Zwischenüberhitzer;
- das Unverbrannte im Flugstaub;
- die Emission von Rauchgas.

Falls nichts anderes vereinbart wurde, beziehen sich die Gewährleistungen auf den Beharrungszustand.

5.3 Zusätzliche Messungen

Zur Beurteilung der Dampferzeugeranlage können auch die folgenden Kennwerte herangezogen werden:

- Druck und Temperatur des Wassers und Dampfes an verschiedenen Stellen;
- Druck, Temperatur und Geschwindigkeit (Durchsatz) der Verbrennungsluft an verschiedenen Stellen des Leitungsweges;
- Druck, Temperatur, Geschwindigkeit (Durchsatz) und Zusammensetzung des Rauchgases an verschiedenen Stellen des Leitungsweges.

5.4 Beteiligung verschiedener Hersteller an der Lieferung der Dampferzeuger-Bauteile

Werden einzelne Bauteile des Dampferzeugers von verschiedenen Herstellern geliefert, so können zusätzliche Messungen erforderlich werden für den Nachweis, dass die Gewährleistungen erfüllt sind.

6 Grundsätzliche Versuchsbedingungen

6.1 Methoden der Wirkungsgradbestimmung

Der Wärmewirkungsgrad eines Dampferzeugers muss durch die Anwendung der direkten oder indirekten Methode bestimmt werden (siehe Abschnitt 3).

Bei Anwendung der direkten Methode wird empfohlen, die wesentlichen Wärmeverluste ebenfalls zu ermitteln.

Entscheidend für die Auswahl der Methode sind die Messmöglichkeiten. Große Brennstoffmassenströme können z. B. bei festen Brennstoffen nicht oder nur sehr schwer genau gemessen werden. In diesem Fall kommt nur die indirekte Methode infrage, die auch angewendet werden sollte, wenn die Brennstoffeigenschaften stark schwanken. Wenn es möglich ist, den Brennstoffstrom genau zu messen, dann ist insbesondere bei kleinen Dampferzeugern wegen der Unsicherheit beim Messen des Strahlungs- und Leitungsverlustes die Wahl der direkten Methode unter Umständen besser. Die beiden Methoden unterscheiden sich auch durch die Messunsicherheiten. Es sollte stets die Methode angewendet werden, die die kleinste Messunsicherheit ergibt. Die anzuwendende Methode muss mit dem Käufer im Vertrag vereinbart und festgelegt werden.

6.2 Allgemeine Bedingungen

Vor Durchführung der Abnahmeversuche müssen die in 5.1 festgelegten Kennwerte ermittelt werden. Wenn die Betriebsbedingungen dies nicht ermöglichen, können die Versuche nach vorheriger Vereinbarung auch unter anderen Versuchsbedingungen durchgeführt werden. Die Abweichungen müssen jedoch möglichst klein gehalten werden. Der Wirkungsgrad muss dann auf die Gewährleistungsbedingungen umgerechnet werden. Einzelheiten enthält der Abschnitt 9.

6.3 Vorversuche

Dem Lieferer ist vor dem normalen Abnahmeversuch Gelegenheit zu Vorversuchen zu geben, um die Genauigkeit der Prüfmittel und -verfahren zu prüfen und das Versuchspersonal einzuweisen.

Falls alle Beteiligten einverstanden sind, kann dieser Vorabnahmeversuch bei einwandfreiem Ergebnis als Hauptabnahmeversuch anerkannt werden.

6.4 Zustand des Dampferzeugers

Es muss davon ausgegangen werden, dass ein Dampferzeuger so ausgelegt ist, dass er auch bei einer gewissen Verschmutzung die gewährleisteten Werte erreicht. Der Zeitpunkt für den Abnahmeversuch ist zwischen Betreiber und Lieferer zu vereinbaren. Der Abnahmeversuch sollte jedoch nach Nachbesserung im Anschluss an den Probebetrieb durchgeführt werden.

Ist der Dampferzeuger liefermäßig mit Reinigungseinrichtungen ausgestattet (z. B. mit Rußbläsern oder einer Kugelregen-Reinigungsanlage), so müssen diese Reinigungseinrichtungen vor dem Abnahmeversuch betätigt werden.

6.5 Beharrungszustand

6.5.1 Erreichen des Beharrungszustandes

Da sich die gewährleisteten Werte nur auf den Beharrungszustand beziehen, muss sichergestellt sein, dass der Dampferzeuger den Beharrungszustand erreicht hat (Ruhelage).

Die Zeit für die Erreichung des Beharrungszustandes hängt sehr wesentlich von der Kesselkonstruktion ab. In der Regel muss der Dampferzeuger vor dem Versuch mehrere Tage durchlaufend in Betrieb gewesen sein.

Vor Versuchsbeginn muss Beharrung erreicht worden sein. Der Beharrungszustand ist einvernehmlich durch alle beteiligten Parteien festzustellen.

Bei bestimmten Feuerungsanlagen (z. B. Schmelzkammerfeuerungen, Wirbelschichtfeuerungen) kann aber die Zeit für das Erreichen des Beharrungszustandes sehr groß sein.

6.5.2 Überprüfung des Beharrungszustandes

Während des Versuches ist durch die laufende Beobachtung besonders charakteristischer und wichtiger Messwerte nachzuweisen, dass der Beharrungszustand noch besteht. Bei direkter Wirkungsgradbestimmung sind Zwischenauswertungen empfehlenswert.

6.5.3 Einstellung der Feuerungsanlage

Der Versuchsbrennstoff muss bereits so frühzeitig vor dem Versuch verfügbar sein, dass der Lieferer genügend Zeit hat, die Feuerungsanlage einzustellen, und sicherzustellen, dass auch hinsichtlich des Brennstoffes ein Beharrungszustand erreicht wird.

6.6 Versuchsdurchführung

6.6.1 Versuchsdauer

Bei der direkten Methode wird die Versuchsdauer durch die Art des Kessels und der Feuerung sowie durch die erzielbaren Messunsicherheiten bestimmt.

Bei der indirekten Methode wird die Versuchsdauer meist durch die Netzmessungen für den Rauchgasverlust oder bei Wirbelschichtfeuerungen durch die Zeitdauer für die Ermittlung des Verlustes durch die Enthalpie und das Unverbrannte der Asche bestimmt.

Als Anleitung sind die folgenden Empfehlungen für die Versuchsdauer in Tabelle 6.6-1 angegeben.

Tabelle 6.6-1 — Empfohlene Zeiten für die Versuchsdauer

Direkte Versuche	Dauer
Festbrennstoffeinrichtungen mit gleichmäßiger Brennleistung	4 h
Festbrennstoffeinrichtungen mit möglichen zyklischen Schwankungen der Brennstoffmasse (z. B. Unterschub-, Schrägrostfeuerungen, Hand-Entaschungsanlagen) ^a	nicht weniger als 8 h und mindestens ein ganzer Brenn-Entaschungszyklus, mit Beginn und Ende am gleichen Punkt des Zyklusses
Festbrennstoffeinrichtungen für Bagasse und andere Festbrennstoffe mit unterschiedlichem Heizwert	6 h
Flüssige und gasförmige Brennstoffe (einschließlich Abhitzeessel)	2 h
Elektrokessel	1 h
Indirekte Versuche	
Festbrennstoff	4 h
Flüssige und gasförmige Brennstoffe (einschließlich Abhitzeessel)	2 h
^a Muss die Anlage zum Entfernen der Asche heruntergefahren werden, so ist die Zeitdauer zwischen den Entaschungsvorgängen die Versuchsdauer.	

6.6.2 Zustand bei Beginn und Ende des Versuches

Bei Beginn und Ende des Versuches müssen folgende Werte hinreichend übereinstimmen:

- Wasserstand und Dampfdruck;
- Dampf- und Speisewasserstrom, sowie möglichst auch die Feuerungsbedingungen;
- Druckverlust über der Wirbelschicht als Maß für den Inertmaterialgehalt;
- Luftüberschuss.

Bei Rostfeuerungen und besonders bei der direkten Methode der Wirkungsgradbestimmung muss der Brennstoffvorrat auf dem Rost am Beginn und Ende des Versuches gleich sein. Bei mechanischen Rosten muss zudem die mittlere Rostgeschwindigkeit und die Höhe der Brennstoffschicht mindestens während der Dauer eines Durchlaufes des Brennstoffvorrates auf dem Rost am Beginn und Ende des Versuches gleich sein. Die Zeit für die Messungen muss größer als die eigentliche Versuchsdauer sein. Es wird empfohlen, die oben genannten Messwerte vor Beginn und nach Abschluss des Versuches aufzuzeichnen, um den Beharrungszustand sicher zu nehmen zu können.

6.6.3 Zeitabstände der Ablesungen

Die Ablesungen sind so oft vorzunehmen, dass der Integrationsfehler (siehe auch [1]) möglichst vernachlässigbar klein wird.

Dies kann durch automatisch registrierende Messwerterfassungsanlagen erreicht werden. Werden die Messwerte manuell erfasst, so müssen die folgenden Zeitabstände für die Ablesungen eingehalten werden:

Durchflussmessungen	3 min;
Rauchgasanalysen	5 min;
Druck- und Temperaturmessungen	10 min;
Probenahme	15 min.

6.6.4 Zulässige Schwankungen

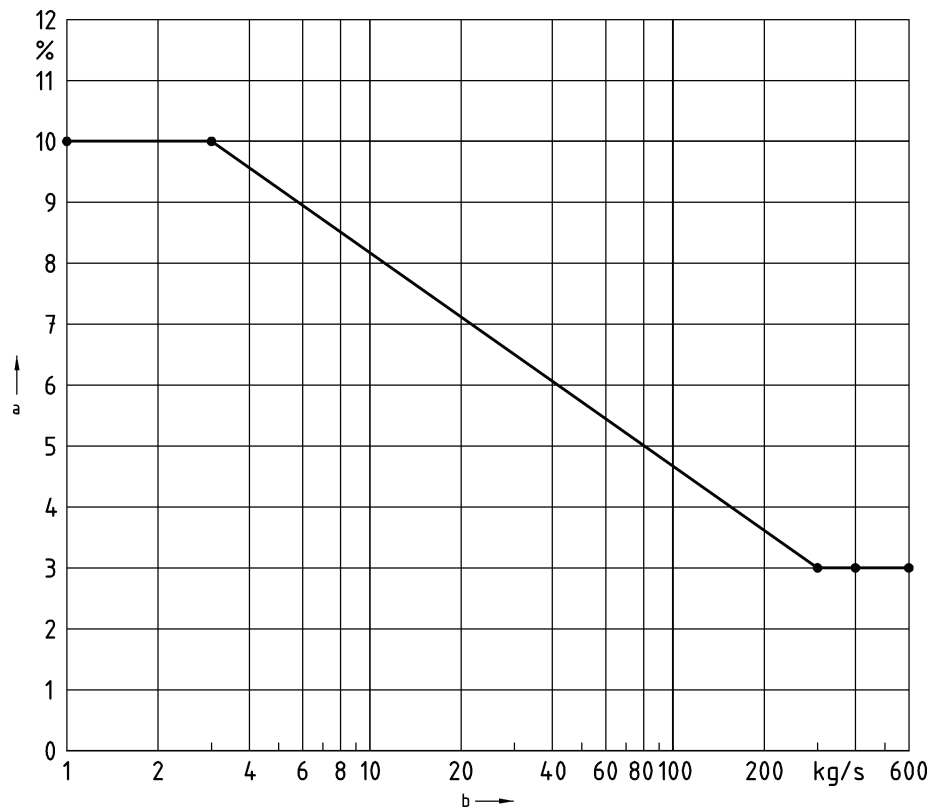
6.6.4.1 Dampfkessel

Betriebsbedingte Schwankungen des Dampfmassenstromes (Durchsatz) dürfen 3 % bis 10 % der Versuchsmittelwerte nicht überschreiten (sie dürfen jedoch nicht größer als die höchste Dauerleistung sein), genauere Einzelheiten siehe Bild 6.6-1. Maximal zulässige Druckschwankungen sind in Bild 6.6-2 dargelegt. Die Rauchgastemperatur muss im Beharrungszustand sein. Die Differenzschwankungen zwischen

- der Rauchgastemperatur am Austritt des Dampferzeugers und
- der Temperatur des kalten Mediums (Wasser oder Luft) am Eintritt des letzten Austauschers

dürfen höchstens ± 3 % betragen.

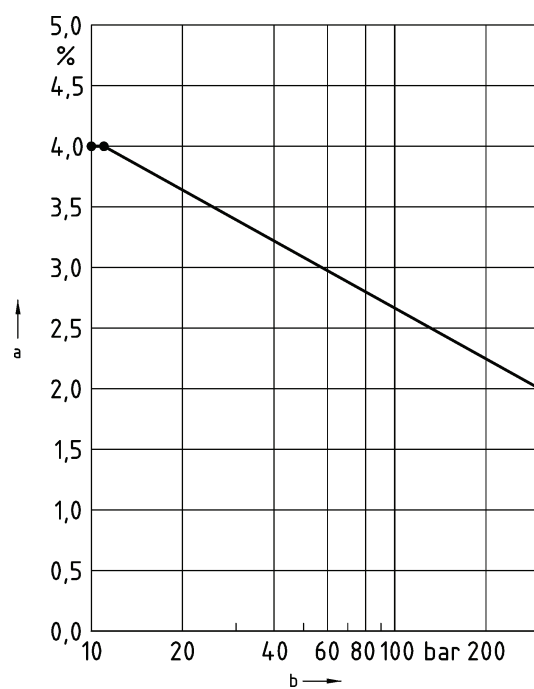
Werden die in den Bildern 6.6-1 und 6.6-2 festgelegten Grenzwerte überschritten, so darf der Versuch abgelehnt werden.



Legende

- a maximale Massenstromschwankungen
b Dampfmassenstrom, $\dot{m}_{St}$

Bild 6.6-1 — Maximal zulässige Schwankungen des Dampfmassenstromes



Legende

- a maximale Druckschwankungen
b Druck, p

Bild 6.6-2 — Maximal zulässige Schwankungen des Dampfdruckes

6.6.4.2 Heißwassererzeuger

Beim Abnahmeversuch an einem Heißwassererzeuger kann die Situation vorliegen, dass die Nutzleistung des Kessels größer oder kleiner ist als die Energie, die an das Heizsystem abgeführt wird. Damit verbunden ist ein allmählicher Anstieg bzw. Rückgang der mittleren Heißwassertemperatur und folglich auch eine Änderung der mittleren Wassertemperatur im Heißwasserkessel. Bei der Nutzwärme muss daher auch ein instationärer Anteil berücksichtigt werden, der sich aus dem Wasserinhalt und der Kesselmasse berechnen lässt. Da diese Rechnung aber mit Unsicherheiten verbunden ist, sollte die maximale Temperaturänderung je Stunde $\Delta t_\tau/\tau$, folgenden Wert nicht überschreiten:

$$\frac{\Delta t_\tau}{\tau} < \left| 0,03 \frac{\dot{V} (t_2 - t_1)}{1,15 V_B} \right| \text{ in } \frac{K}{h} \quad (6.6-1)$$

Dabei ist

- $\dot{V}$ das beim Abnahmeversuch gemessene Wasserstromvolumen, in m³/h;
- V_B der Wasserinhalt des Heißwassererzeugers, in m³;
- t_1 die mittlere Temperatur des Kessel-Eintritts während des Versuches ($t_1 = 0,5 (t_{1E} + t_{1A})$), in °C;
- t_2 die mittlere Temperatur des Kessel-Austritts während des Versuches ($t_2 = 0,5 (t_{2E} + t_{2A})$), in °C;
- τ die Versuchsdauer, in h;
- Δt_τ die Änderung der mittleren Heißwassertemperatur während der Versuchsdauer ($\Delta t_\tau = t_{mE} - t_{mA} = 0,5 ((t_{1E} + t_{2E}) - (t_{1A} + t_{2A}))$), in °C.

Dabei bedeutet der Index A den Beginn des Versuches und der Index E das Ende Versuches.

Ist der Temperaturanstieg größer, kann der Abnahmeversuch abgelehnt werden.

6.7 Sonstige Hinweise

Es ist darauf zu achten, dass auf der Wasser-/Dampfseite durch Undichtheiten in den Leitungen und Absperrvorrichtungen oder durch Nebenströme keine Fehler bei den Massenstrommessungen verursacht werden. Unbenutzte Leitungen müssen daher mit Blindflanschen versehen werden oder wenn dies nicht durchführbar ist, so müssen Vorkehrungen für eine ständige Überwachung getroffen werden.

Während des Versuches sollte nicht abgeläslmt werden. Ist dies nicht zu vermeiden, so ist das Volumen des abgelassenen Kesselwassers zu bestimmen. Falls nichts anderes vereinbart wurde, ist die vom abgelassenen Wasser im Kessel aufgenommene Wärme der Nutzleistung des Dampfkessels zuzurechnen.

Rußblasen sollte während des Versuches, wenn irgend möglich, unterbleiben.

7 Messgeräte und Messverfahren

7.1 Allgemeines

Nur solche Messgeräte und/oder Messumformer dürfen verwendet werden, deren Anzeige- und/oder Ausgangswerte sich nachprüfen lassen und deren Grenzwerte bekannt sind. Hierzu gehören:

- a) Messgeräte, für die eine Prüfbescheinigung (Eichzeugnis einer Behörde) vorgelegt wird;
- b) eichfähige Messgeräte, die durch Vergleich mit geeichten Messgeräten nach a), möglichst unter Versuchsbedingungen, kalibriert worden sind, und zwar vor und nach dem Versuch für steigenden und fallenden Druck;

- c) genormte Messgeräte mit bekannten Grenzabweichungen;
- d) andere anerkannte Messgeräte mit bekannten Grenzabweichungen, deren Verwendung zwischen den beteiligten Parteien vereinbart wurde.

Die Messeinrichtungen dürfen während des Versuches keine nennenswerten bleibenden Änderungen erfahren.

Die Ablesungen können analog oder digital erfolgen und die Messwerte manuell oder automatisch aufgezeichnet werden. Im Prüfbericht sind die verwendeten Messgeräte und ihre Grenzabweichungen einzeln aufzuführen.

Werden die Messwerte mit einer automatischen Messwerterfassungsanlage erfasst, so ist durch Stichproben die richtige Verarbeitung der Messsignale zu überprüfen.

7.2 Druckmessungen

Für die Druckmessungen müssen geeignete Druckmessgeräte oder Druckmessumformer eingesetzt werden. Druckdifferenzen müssen möglichst direkt und mit geeigneten Messgeräten (z. B. U-Rohre, Schrägrohr-Mikromanometer oder Wirkdruckmessumformer) gemessen werden. Als Anzeigeflüssigkeit dienen Quecksilber, Wasser oder Flüssigkeiten geeigneter Dichte.

ANMERKUNG Für die Einzelheiten der Messanordnungen wird auf [2] verwiesen.

Vor und nach dem Versuch sind die Druckmessgeräte für steigenden und fallenden Druck zu kalibrieren. Weitere Empfehlungen für die Druckmessungen bei Luft oder anderen Gasen sind in ISO 1217, ISO 5389 und EN 26801 angegeben.

7.3 Temperaturmessungen

Für die Temperaturmessungen sind Präzisionsgeräte nach 7.1 a) und b) (z. B. Quecksilberthermometer, Thermoelemente und Widerstandsthermometer, letztere in Verbindung mit geeigneten Messschaltungen oder Messumformern) zu verwenden (siehe auch [3]).

Wenn bei Messungen in Rohren mit großem Durchmesser unterschiedliche Temperaturen an verschiedenen Stellen des gleichen Querschnitts zur selben Zeit ermittelt werden, so ist zu prüfen, ob diese Temperaturunterschiede tragbar sind. Andernfalls ist der Temperatur-Mittelwert durch Netzmessung zu bestimmen. Dazu ist der Messquerschnitt in eine Anzahl gleicher Teilbereiche aufzuteilen, wobei sicherzustellen ist, dass die Messquerschnitte (siehe auch [4] und [5]) keine Quer- und Rückströmungen aufweisen. Als Mittelwert wird im Allgemeinen das arithmetische Mittel der gemessenen Temperaturen eingesetzt. In Sonderfällen kann vereinbart werden, dass auch die Geschwindigkeit oder der Wirkdruck gemessen und das gewogene Mittel eingesetzt wird. Da der Einfluss von Unterschieden der Dichte und der spezifischen Wärmekapazität sehr gering ist, kann er vernachlässigt werden.

7.4 Masse und Massenstrom

7.4.1 Wägung

Die zur Gewichtsbestimmung benutzten Waagen sind vor dem Versuch auf Übereinstimmung mit den entsprechenden Vorschriften für Gewichte und Maße zu prüfen.

Die folgenden Eichfehlergrenzen gelten (siehe auch [6]):

- a) Dezimalwaagen: 0,5 g für jedes kg der Belastung, jedoch nicht weniger als ein Fünftel der Fehlergrenze für die Höchstlast. Die Verkehrsfehlergrenze beträgt das Doppelte der Eichfehlergrenze.
- b) Gleiswaagen: 3 g bis 4 g für jedes kg der Belastung. Die Verkehrsfehlergrenze beträgt das 1,5fache der Eichfehlergrenze.
- c) Seilzugwaagen bei Wägung des vollen und entleerten Behälters: 1 g bis 2 g für jedes kg der Belastung, jedoch nicht weniger als die Hälfte der Fehlergrenze für die Höchstlast. Die Verkehrsfehlergrenze beträgt das 1,5fache der Eichfehlergrenze.

Becherwerk-, Förderband-, Kipp- und Federwaagen sind zulässig, wenn sie vor und nach dem Versuch durch Wägung geförderter Mengen bei etwa gleicher Förderleistung geprüft werden.

7.4.2 Volumenstrommessungen

Die Volumenstrommessungen werden mittels Volumenzähler vorgenommen, die vor und gegebenenfalls nach dem Versuch zu kalibrieren ist. Hinter Kolbenpumpen sind nur echte Volumenzähler (d. h. keine Flügelradmesser) zulässig. Auf die Einhaltung des gleichen spezifischen Volumens oder der gleichen Dichte während der gesamten Versuchsdauer ist zu achten.

Die Volumenbestimmung kann auch mit Behältern erfolgen, die aus geeichten Gefäßen oder Behältern aufgefüllt und sorgfältig abgemessen oder mit gewogenem Wasser geprüft wurden.

Bei Unterschieden der Flüssigkeitstemperatur während des Versuches und der Kalibrierung sind die Dichteänderungen der Flüssigkeit und die Wärmedehnung des Messbehälters zu berücksichtigen. (Das Volumen eines Stahlbehälters vergrößert sich z. B. bei einer Erwärmung um 100 K um etwa 0,4 %).

7.4.3 Durchflussmessung

7.4.3.1 Durchflussmessung mit Blenden und Düsen

Bei der Durchflussmessung mit Blenden und Düsen gilt EN ISO 5167-1. Werden bei Dampferzeugern großer Leistung, die in EN ISO 5167-1 festgelegten Anwendungsgrenzen überschritten, sind andere Festlegungen anzuwenden (siehe auch [7] und [8]).

Bei der Durchflussmessung mit Einschweiß-Drosselgeräten ist Folgendes zu beachten.

Da eine Prüfung der Abmessungen oder eine Messung vor dem Abnahmeversuch nicht möglich ist, muss der Versuch vor den Schweißarbeiten durchgeführt und die Ergebnisse aufgezeichnet werden. Einlaufströmungen werden in EN ISO 5167-1 behandelt.

Werden Durchflussmessumformer verwendet, so sind vor dem Versuch die Betriebseigenschaften unter Versuchsbedingungen zu bestimmen oder eine Kalibrierkurve aufzustellen.

7.4.3.2 Durchflussmessung mit Geschwindigkeitssonden

Bei Durchflussmessungen mit Geschwindigkeitssonden (Staurohre oder Anemometer) ist nach ISO 1217, ISO 5389 oder EN 26801 zu verfahren.

7.4.4 Staubmassenstrommessung

Für die Messung des Staubmassenstromes in einem bestimmten Querschnitt ist ein geeignetes Verfahren zu vereinbaren (siehe auch [4] und [9]).

7.4.5 Dichtebestimmung

Zur Bestimmung des Massenstromes wird die Dichte unter Verwendung der Zustandsgrößen, d. h. Druck und Temperatur sowie Zusammensetzung, aus den einschlägigen Tabellen (siehe auch [10]) entnommen.

Bei Gasen unbestimmter Zusammensetzung ist die Dichte mit einem Gasdichtemesser (z. B. nach „Bunsen-Schilling“) nach EN ISO 3993 zu bestimmen.

7.5 Heizwerte

7.5.1 Heizwerte der Brennstoffe

Der Brennwert $H_{(G)}$ und der Heizwert $H_{(N)}$ fester und flüssiger Brennstoffe sind nach ISO 1928 zu bestimmen. Bei Gasen mit bekannter und unveränderlicher Zusammensetzung können über eine Gasanalyse der Brennwert und der Heizwert nach ISO 6976 bestimmt werden. Bei einigen gasförmigen Brennstoffen (Erd- und Raffineriegase) kann die Bestimmung des Heizwertes über die Gasanalyse zu Ungenauigkeiten führen (wenn z. B. geringe Anteile schwerer Kohlenwasserstoffe bei der Gasanalyse nicht erfasst werden). In diesen Fällen sind der Brennwert und der Heizwert fortlaufend mittels Handkalorimeter zu bestimmen. Die Verwendung eichfähiger automatischer Kalorimeter zur Bestimmung des Brennwertes ist ebenfalls zulässig.

7.5.2 Probenahme von Brennstoffen

Die Probenahme und Probenvorbereitung fester Brennstoffe ist nach ISO 1988 durchzuführen. Die Probenahme flüssiger oder gasförmiger Brennstoffe ist nach EN ISO 3170 (siehe auch [11]) durchzuführen. Die entnommenen Proben müssen der Art, Zusammensetzung und Qualität des während des Versuches verfeuerten Brennstoffes entsprechen. Dies gilt besonders für Brennstoffe mit schwankender Zusammensetzung. Proben sind in der Zusammensetzung zu entnehmen, die derjenigen an der Systemgrenze entspricht.

7.5.3 Heizwert und Probenahme der Verbrennungsrückstände

Der für die Berechnung des Feuerungsverlustes durch Unverbranntes erforderliche Heizwert der Verbrennungsrückstände ist nach ISO 1928 zu bestimmen.

Eine vereinfachte Bestimmung des Heizwertes über den Kohlenstoffgehalt oder über den Glühverlust kann zwischen den beteiligten Parteien vereinbart werden. Wurde keine Bestimmung des Heizwertes vereinbart, so sind als Heizwert des Gesamtkohlenstoffes die Werte nach 4.2 einzusetzen.

Die Probenahme der Verbrennungsrückstände erfolgt wie bei den festen Brennstoffen nach ISO 1988. Werden die Verbrennungsrückstände nass gewogen, ist sicherzustellen, dass der Wassergehalt der Probe dem mittleren Wassergehalt der Rückstände entspricht. Dient die Messung des anfallenden Verbrennungsrückstandes zur Bestimmung des Wirkungsgrades nach der indirekten Methode, so wird empfohlen, die festgestellte Menge im Rahmen einer Aschebilanz zu prüfen.

7.6 Chemische Zusammensetzung

7.6.1 Brennstoffe

Bei Bedarf muss die Elementaranalyse von festen und flüssigen Brennstoffen nach ISO 157, ISO 334, ISO 589, ISO 609 und ISO 625 (siehe auch [12]) und die von gasförmigen Brennstoffen mittels Gasanalyse vorgenommen werden.

7.6.2 Flugstaub und Asche

Für Flugstaub und Schlacke muss bei der indirekten Wirkungsgradbestimmung für die Berechnung der Verluste jeweils das Unverbrannte bestimmt werden. Über die Methode der Bestimmung muss eine Vereinbarung getroffen werden. Dies gilt insbesondere für den Gesamtkohlenstoff in der Asche von Wirbelschichtfeuerungen, da die Höhe der Prüftemperatur ein wesentlicher Faktor ist. Entsprechende Informationen sind aus ISO 609 und ISO 625 zu entnehmen.

7.6.3 Rauchgas

Die Zusammensetzung des Rauchgases ist mit Hilfe von chemischen, physikalisch-chemischen oder rein physikalisch arbeitenden Analysegeräten, die diskontinuierlich oder kontinuierlich arbeiten, zu bestimmen. Die Geräte müssen so bemessen sein, dass der Streubereich der Messwerte unter Berücksichtigung einer statistischen Sicherheit von 95 % folgenden Werten entspricht:

Kohlenstoffdioxid: $\pm 0,2$ % Punkte

Sauerstoff: $\pm 0,15$ % Punkte

Volumenkonzentration des Kohlenstoffmonoxid: ± 1 % vom Messbereichsendwert, aber nicht kleiner als $\pm 0,01$ % Punkte.

Beim Einsatz automatisch arbeitender Gasanalysengeräte ist die vor Beginn des Versuches vorgenommene Einstellung des Nullpunktes und der Empfindlichkeit nach dem Versuch zu kontrollieren (z. B. durch Zuführung von Prüfgasen).

Bei der CO₂-Messung mit chemisch arbeitenden Analysegeräten ist zu beachten, dass der CO₂- und SO₂-Gehalt auf trockenes Rauchgas bezogen gemessen werden.

Die Umgebungstemperatur im Bereich des Messwertgebers sollte konstant gehalten werden. Für die Messungen gilt sinngemäß 7.3.

7.7 Elektrische Leistung

Die durch die elektrischen Antriebe aufgenommene Leistung ist mit Eichzählern oder mit Leistungsmessungen nach der 3- oder 2-Wattmeter-Methode zu ermitteln. Für die Ermittlung der abgegebenen Leistung sind vom Lieferer die Leistungskennwerte der Motoren beizustellen.

8 Energiebilanz und Wärmewirkungsgrad

8.1 Energiebilanz und Systemgrenze

8.1.1 Allgemeines

Die wichtigste Voraussetzung für die Berechnung des Wirkungsgrades ist die Festlegung der Systemgrenze, über den sich die Energiebilanz des Dampferzeugers erstreckt.

Die Systemgrenze für die Wärmemenge muss sich einmal mit der Liefergrenze des Dampferzeugers decken, zum anderen müssen die für die Ermittlung des Wirkungsgrades wichtigen Energieströme eindeutig messbar sein. Sind an der Systemgrenze im Lieferzustand keine einwandfreien Messungen möglich, so kann diese in Einvernehmen zwischen Hersteller und Käufer den Erfordernissen entsprechend neu festgelegt werden. Dabei kann in bestimmten Fällen eine Umrechnung einzelner Messwerte auf die Bedingungen der Liefergrenze notwendig werden.

8.1.2 Normal-System

Dieses System umfasst das gesamte Dampf-Wasser-System mit den Umwälzpumpen, der Feuerung einschließlich der Mahlanlage (bei Kohlenstaubfeuerung), das Rauchgasumwälzgebläse, die Flugstaubrückführung und den Dampfluftvorwärmer. In diesem System sind nicht enthalten eine Öl- oder Gasvorwärmung, der Entstauber, das Frischluft- und das Rauchgasgebläse. Dieses System soll im Normalfall dem Abnahmeversuch zugrunde gelegt werden. Findet bei dieser bestimmten Systemgrenze eine Rückführung des Flugstaubes statt, so müsste nach der Definition der zu- und abgeführten Wärmeströme der Enthalpiestrom des Flugstaubes vor dem Entstauber als Verlustwärme und der Enthalpiestrom der rückgeführten Asche als zugeführte Wärme eingesetzt werden. Dieses Verfahren wäre, wenn auch formal richtig, etwas sinnwidrig. Da die Temperatur der rückgeführten Asche aber nur sehr wenig von der Rauchgastemperatur abweicht, wird empfohlen, anzunehmen, dass der rückgeführte Flugstaub vor dem Entstauber (d. h. noch innerhalb der Systemgrenze) abgeschieden wird, so dass die Rückführung immer innerhalb der Systemgrenze erfolgt. Kann man diese Annahme nicht machen, so muss der Entstauber in die Systemgrenze mit einbezogen werden (siehe 8.1.3.4).

Bild 8.1-1 zeigt das Diagramm eines Dampferzeugers, in das die Systemgrenze mit allen zu- und abgeführten Massen- und Wärmeströmen eingetragen ist, die aus den während des Versuches gemessenen Werten ermittelt wurden.

8.1.3 Weitere Systeme

8.1.3.1 Allgemeines

Aus praxisrelevanten Gründen kann es zweckmäßig sein, andere Grenzen als in 8.1.2 beschrieben für die Feststellung der Energiebilanz zugrunde zu legen. Wird von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht, so muss in jedem Fall festgelegt werden, welche zu- und abgeführten Wärmeströme zusätzlich zu den unter 8.3 aufgeführten zu berücksichtigen sind.

Einige mögliche Alternativen für die Systemgrenze sind nachstehend aufgeführt.

8.1.3.2 System ohne Dampfluftvorwärmer

Der Dampfluftvorwärmer liegt außerhalb der Systemgrenze, die dem im ASME-Test-Code vorgeschriebenen Bilanzraum entspricht (siehe Bild 8.1-2).

ANMERKUNG ANSI-Power-Test-Code 4.1 [13].

Wird der Dampfluftvorwärmer mit Fremddampf beheizt, so ist die Leistung in der Energiebilanz nur indirekt enthalten, da der Enthalpiestrom der Verbrennungsluft zur Leistung des Dampfluftvorwärmers hinzugezählt wird. Wird der Dampfluftvorwärmer dagegen mit Eigendampf beheizt, so muss die Leistung des Dampfluftvorwärmers zur Nutzwärme zugezählt werden (siehe 8.3.1).

8.1.3.3 System mit Frischluftgebläse

Ist das Frischluftgebläse innerhalb der Systemgrenze, ist die Messung der Heißluftströme nicht erforderlich, obwohl die Wellenleistung des Frischluftgebläses mit berücksichtigt werden muss (siehe Bild 8.1-1, strichpunktierte Grenze). Dieses System wird sinnvoll angewendet, wenn zwischen dem Frischluftgebläse und dem Luftvorwärmer kein geeigneter Messquerschnitt vorhanden ist oder wenn mit Heißlufrückführung gearbeitet wird.

8.1.3.4 System mit Entstauber oder mit Entstauber und Rauchgasgebläse

Dieses System muss verwendet werden, wenn sich im Rauchgaskanal vor dem Entstauber oder bis zum Rauchgasgebläse keine geeignete Messebene für das Rauchgas finden lässt. In diesen Fällen kommen als weitere Energien die elektrische Leistung eines Elektrofilters (P_{DC}) und die Wärmeverluste des Entstaubers (Q_{DC}) oder die Wellenleistung des Rauchgasgebläses (P_G) hinzu. Über die Höhe der Energien des Entstaubers muss vor dem Versuch eine Vereinbarung getroffen werden, falls keine allgemeinen Erfahrungswerte vorliegen. Bei dieser Systemgrenze muss die gemessene Rauchgastemperatur auf die den Gewährleistungen zu Grunde liegende Systemgrenze zurückgerechnet werden.

8.1.3.5 System mit einer Brüdenabscheidung an der Mahlanlage

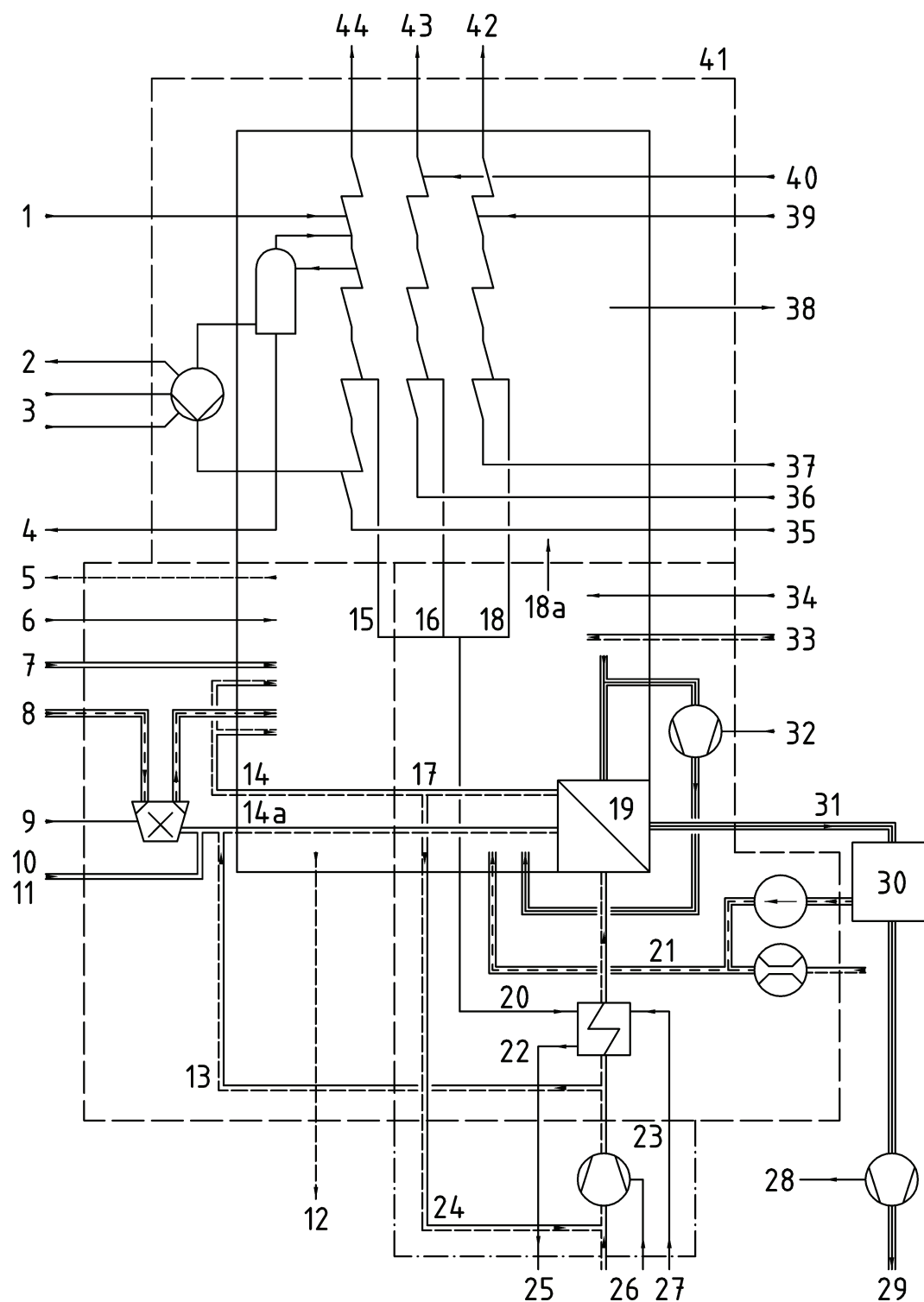
Bei Braunkohlen, die einen relativ hohen Wassergehalt haben, ist unter Umständen eine Brüdenabscheidung an der Mühle notwendig, d. h. der beim Mahl- und Trocknungsprozess entstandene Wasserdampf wird nur zum Teil in den Dampferzeuger geführt. In diesem Fall muss die Brüdenabscheidung mit in das System einbezogen werden. Das Gleiche gilt für die Rauchgasrückführung vom Kesselende, d. h. auch die Entnahmestelle muss innerhalb der Systemgrenze liegen (siehe Bild 8.1-3). Ist dies nicht möglich, so sind vorher gegebenenfalls notwendige Korrekturen vor der Festlegung der Systemgrenze zu vereinbaren. Bei der Brüdenabscheidung tritt der Rauchgasstrom zum Brüdenkamin als „weiterer Verlust“ (siehe 8.3.3.5) auf. Daher müssen die Zusammensetzung, der Massenstrom und der Staubgehalt des Rauchgases ebenfalls gemessen werden.

8.1.3.6 System bei integrierten Rauchgasentschwefelungs- und Denox-Anlagen

Liegen zwischen dem Luftvorwärmer und dem Dampferzeuger in dem Rauchgas- und/oder Luftweg Teile der Rauchgasentschwefelungsanlage oder die Denox-Anlage, so ist die übliche Energiebilanz unter Einschluss des Luftvorwärmers nicht möglich. Die Systemgrenze für diesen Dampferzeuger muss daher nur noch als durch die heißen Luft- und Rauchgaswege ausgelegt definiert werden. In diesem Fall ist eine Berechnung oder Gewährleistung des Wirkungsgrades nicht möglich, daher muss die Gewährleistung auf die Rauchgasaustrittstemperatur aus dem Dampferzeuger bei einer vereinbarten Dampferzeugerleistung beschränkt werden.

8.1.3.7 Sonderfälle

Für bestimmte Dampferzeuger können andere als die aufgeführten Systemgrenzen zweckmäßig sein. Hier müssen bereits bei der Gewährleistungsabgabe im Liefervertrag die Systemgrenzen festgelegt und über die Messungen oder Berechnungen von zu- und abgeführten Wärmeströmen, die nicht in dieser Norm enthalten sind, Vereinbarungen getroffen werden.

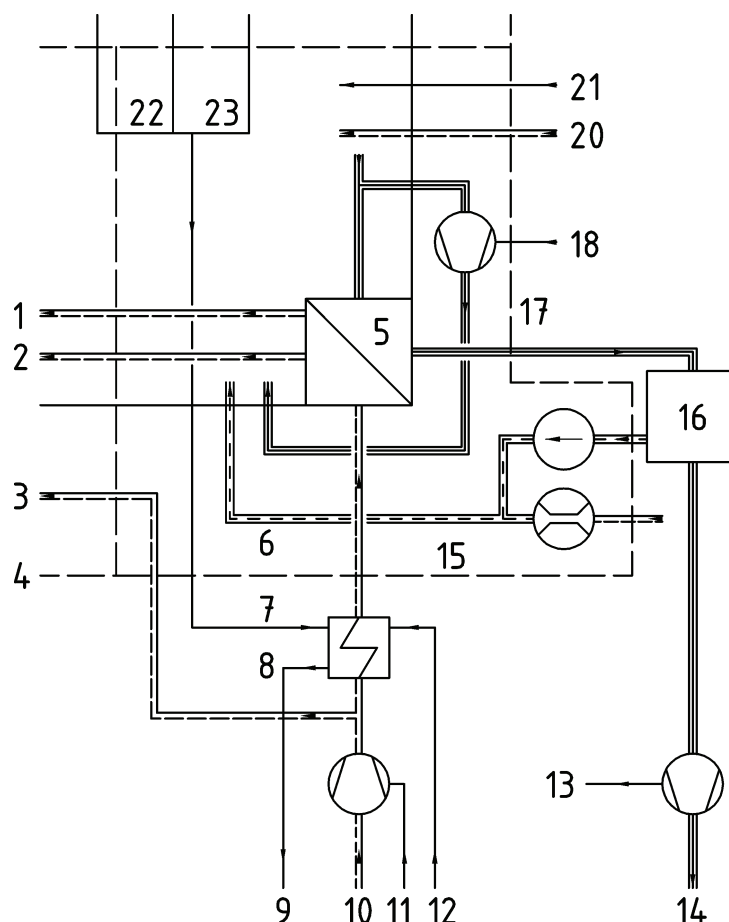


Legende
siehe Tabelle 8.1-1

Bild 8.1-1 — Dampferzeugerdiagramm mit den zu- und abgeführten Wärme- und Massenströmen (Normalsystem)

Tabelle 8.1-1 — Benummerung in Bild 8.1-1

Nr	Benennung	Nr	Benennung
1	Einspritzwasser ($\dot{m}_{SS}, h_{SS}$)	22	Dampfluftvorwärmer
2	Pumpenkühlung ($\dot{Q}_U$)	23	Fremddampf
3	Umwälzpumpe (P_U)	24	Heißluftrückführung
4	Abschlammung ($\dot{m}_{BD}, h_{BD}$)	25	Kondensat (h_{SA2})
5	externe Kühlung ($\dot{Q}_{EC}$)	26	Frischluftheizgebläse (P_{FD})
6	Zerstäuberndampf ($\dot{m}_{AS}, h_{AS}$)	27	Dampf ($\dot{m}_{AS}, h_{AS}$)
7	Öl, Gas ($\dot{m}_H, H_{(N)H}, h_H$)	28	Rauchgasgebläse (P_G)
8	Kohle ($\dot{m}_{Fo}, H_{(N)F}, h_F$)	29	Verlust durch den Flugstaub ($\dot{Q}_{FA}$)
9	Mühlen- und Gebläseleistung (P_M)	30	Entstauber ($\dot{Q}_{DC}, P_{DC}$)
10	Mühle	31	Verlust durch Kohlenstoffmonoxid-Abgas ($\dot{m}_F, h_G$)
11	Mühlenzusatzfeuerung (Öl, Gas) ($\dot{Q}_M$)	32	Rauchgasumwälzgebläse (P_{UG})
12	Verlust durch die Schlacke ($\dot{Q}_{SL}$)	33	Falschluff ($\dot{m}_{LA}, h_{LA}$)
13	Mühlenkaltluft	34	sonstige elektrische Leistungen (P)
14	Sekundärluft	35	Speisewasser ($\dot{m}_{FW}, h_{FW}$)
14a	Mühlenwarmluft	36	ZÜ-Dampf I Eintritt ($\dot{m}_{RHI1}, h_{RHI1}$)
15	entweder	37	ZÜ-Dampf II Eintritt ($\dot{m}_{RHII1}, h_{RHII1}$)
16	oder	38	Verlust durch Strahlung und Leitung ($\dot{Q}_{RC}$)
17	Eigendampf	39	Einspritzwasser ZÜ-Dampf II ($\dot{m}_{SRII1}, h_{SRII1}$)
18	oder	40	Einspritzwasser ZÜ-Dampf I ($\dot{m}_{SRI1}, h_{SRI1}$)
18a	$\dot{Q}_N$	41	Normalsystemgrenze
19	Luftvorwärmer	42	ZÜ-Dampf II Austritt ($\dot{m}_{RHII2}, h_{RHII2}$)
20	Flugstaubrückführung	43	ZÜ-Dampf I Austritt ($\dot{m}_{RHI2}, h_{RHI2}$)
21	Treibluft zu ($\dot{m}_{ALa}$)	44	HD-Dampf ($\dot{m}_{ST}, h_{ST}$)



Legende
siehe Tabelle 8.1-2

Bild 8.1-2 — System ohne Dampfluftvorwärmer

Tabelle 8.1-2 — Benummerung Bild in 8.1-2

Nr	Benennung	Nr	Benennung
1	Sekundärluft	12	Fremddampf
2	Mühlenwarmluft	13	Rauchgasgebläse (P_G)
3	Mühlenkaltluft	14	Verlust durch den Flugstaub
4	Systemgrenze	15	Treibluft zu $\dot{m}_{LA}$
5	Luftvorwärmer	16	Entstauber ($\dot{Q}_{DC}$, P_{DC})
6	Flugstaubrückführung	17	Verlust durch Kohlenstoffmonoxid-Abgas ($\dot{m}_G$, h_G)
7	Eigendampf	18	Rauchgasumwälzgebläse (P_{UG})
8	Dampfluftvorwärmer	20	Falschluf ($\dot{m}_{LA}$, h_{LA})
9	Kondensat (h_{SA2})	21	sonstige elektrische Leistungen (P)
10	Frischlufgebläse (P_{FD})	22	oder
11	Dampf ($\dot{m}_{SA}$, h_{SA1})	23	oder