

	Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten Teil 15: Abnahmeversuche Deutsche Fassung prEN 12952-15	DIN EN 12952-15
Einsprüche bis 30. Apr 2000 ICS 27.040 Water-tube boilers and auxiliary installations – Part 15: Acceptance tests; German version prEN 12952-15 Chaudières à tubes d'eau – Partie 15: Essais de réception; Version allemande prEN 12952-15 Anwendungswarnvermerk Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren. Stellungnahmen werden erbeten an den Normenausschuß Überwachungsbedürftige Anlagen (NÜA) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Kamekestraße 8, 50672 Köln. Nationales Vorwort Die vorliegende Europäische Norm wurde vom CEN/TC 269 "Großwasserraum- und Wasserrohrkessel" (Sekretariat: Deutschland) erarbeitet. Das Ausgabedatum des Europäischen Norm-Entwurfs stand zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses DIN EN-Entwurfs noch nicht fest; der Entwurf wird jedoch vom ZENTRALEKRETARIAT unter der angegebenen prEN-Nummer demnächst zur CEN-Umfrage verteilt. Um der deutschen Öffentlichkeit eine möglichst lange Einspruchsfrist einzuräumen, wurde dieser Entwurf bereits vorab veröffentlicht. Der für die deutsche Mitarbeit zuständige Arbeitsausschuß im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist der als Spiegelausschuß eingesetzte Arbeitsausschuß GA 5 "Dampfkessel" des Normenausschusses Überwachungsbedürftige Anlagen (NÜA). Zur Vereinfachung des Verfahrens werden die Einsprecher gebeten, Stellungnahmen nach Abschnitten geordnet einzureichen. Für die in Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen wird im folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen: IEC 584-1 siehe DIN EN 60584-1 IEC 584-2 siehe DIN EN 60584-2 ISO 1928 siehe DIN 51900-1 ISO 3170 siehe DIN EN ISO 3170 ISO 3993 siehe DIN EN ISO 3993 ISO 6801 siehe DIN EN 26801 Fortsetzung Seite 2 und 83 Seiten prEN Normenausschuß Überwachungsbedürftige Anlagen (NÜA) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.		

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60584-1

Thermopaare – Teil 1: Grundwerte der Thermospannungen (IEC 60584-1 : 1995); Deutsche Fassung EN 60584-1 : 1995

DIN EN 60584-2

Thermopaare – Teil 2: Grenزابweichungen der Thermospannungen (IEC 60584-2 : 1982 + A1 : 1989); Deutsche Fassung EN 60584-2 : 1993/Achtung: Der Norminhalt der DIN IEC 584-2 von Juni 1992 gilt unverändert fort und ist Bestandteil der DIN EN 60584-2 von Oktober 1994

DIN 51900-1

Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe; Bestimmung des Brennwertes mit dem Bomben-Kalorimeter und Berechnung des Heizwertes; Allgemeine Angaben, Grundgeräte, Grundverfahren

DIN EN ISO 3170

Flüssige Mineralölerzeugnisse – Manuelle Probenahme (ISO 3170 : 1988 einschließlich Änderung 1 : 1998); Deutsche Fassung EN ISO 3170 : 1998

DIN EN ISO 3993

Flüssiggas und leichte Kohlenwasserstoffe – Bestimmung der Dichte oder der relativen Dichte – Verfahren mittels Druck-Araeometer (ISO 3993 : 1984); Deutsche Fassung EN ISO 3993 : 1995

DIN EN 26801

Gummi- und Kunststoffschläuche; Bestimmung der Volumenzunahme (ISO 6801 : 1983); Deutsche Fassung EN 26801 : 1993

ICS

Deskriptoren:

Deutsche Fassung

Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten Teil 15: Abnahmeversuche

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

Chaudières à tubes d'eau et installations auxiliaires
Partie 15: Essais de réception

Dieser Europäische Norm-Entwurf wird den CEN-Mitgliedern zur CEN-Umfrage vorgelegt.
Er wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 269 erstellt.

Wenn aus diesem Norm-Entwurf eine Europäische Norm wird, sind die CEN-Mitglieder 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.

Dieser Europäische Norm-Entwurf wurde von CEN in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch) erstellt. Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat 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, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CEN

EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation

Zentralsekretariat: rue de Stassart 36, B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite		Seite
Vorwort	3	7.2 Bezugstemperatur	22
1 Anwendungsbereich und Zweck	4	7.3 Zu- und abgeführte Wärmeströme und -verluste	27
1.1 Anwendungsbereich	4	7.4 Wärmewirkungsgrad	50
1.2 Zweck und Umfang	4	8 Umrechnung auf Gewährleistungs- bedingungen	56
1.3 Allgemeine Hinweise	5	8.1 Allgemeines	56
2 Normative Verweisungen	5	8.2 Umrechnung bei abweichenden Eintritts- kennwerten auf der Wasser/Dampfseite ..	57
3 Symbole, Einheiten, Zahlenwerte und Begriffe	6	8.3 Umrechnung des direkt gemessenen Wirkungsgrades auf die Gewährleistungs- bedingungen	58
3.1 Symbole und Einheiten	6	8.4 Umrechnung des indirekt gemessenen Wirkungsgrades auf die Gewährleistungs- bedingungen über die Energiebilanz	58
3.2 Zahlenwerte	11	8.5 Umrechnung des indirekt gemessenen Wirkungsgrades auf die Gewährleistungs- bedingungen mit Änderung der Rauchgas- temperatur	62
3.3 Begriffe	12	8.6 Wirkungsgrad unter Gewährleistungs- bedingungen	65
4 Gewährleistung der Kennwerte	12	9 Mittelwertbildung und Meßunsicher- heit	66
4.1 Voraussetzungen für die Gewährleistung der Kennwerte	12	9.1 Allgemeines	66
4.2 Kennwerte unter Gewährleistung	12	9.2 Mittelwertbildung und Berichtigung der Meßwerte	66
4.3 Zusätzliche Messungen	13	9.3 Grundlagen der Meßunsicherheitsberech- nung	66
4.4 Beteiligung verschiedener Hersteller an der Lieferung der Dampferzeuger-Bauteile ...	13	9.4 Richtwerte für Meßunsicherheiten	68
5 Grundsätzliche Versuchsbedingungen ..	13	9.5 Berechnung der Meßunsicherheit	76
5.1 Methoden der Wirkungsgradbestimmung ..	13	Anhang A (normativ) Statistische Verbren- nungsrechnung	79
5.2 Allgemeine Bedingungen	13	A.1 Allgemeines	79
5.3 Vorversuche	13	A.2 Feste Brennstoffe	79
5.4 Zustand des Dampferzeugers	13	A.3 Heizöl	80
5.5 Beharrungszustände	14	A.4 Erdgas	80
5.6 Versuchsdurchführung	14	Anhang B (informativ) Literaturhinweise	81
5.7 Sonstige Hinweise	17	B.1 Literaturverweisungen	81
6 Meßgeräte und Meßverfahren	17	B.2 Sonstige Literatur	82
6.1 Allgemeines	17		
6.2 Druckmessungen	18		
6.3 Temperaturmessungen	18		
6.4 Masse und Massenstrom	18		
6.5 Heizwert	19		
6.6 Chemische Zusammensetzung	20		
6.7 Elektrische Leistung	20		
7 Energiebilanz und Wärmewirkungsgrad ..	20		
7.1 Energiebilanz und Systemgrenze	20		

Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 269 "Großwasserraum- und Wasserrohrkessel", dessen Sekretariat vom DIN geführt wird, erarbeitet.

Der vorliegende Text des Norm-Entwurfes wurde zur formellen Abstimmung vorgelegt und von CEN am als EN 12952-15 angenommen.

Diese Europäische Norm wurde im Rahmen eines Mandats erarbeitet, das dem CEN von der Europäischen Kommission und der Europäischen Freihandelszone erteilt wurde. Diese Europäische Norm ist als unterstützende Norm für weitere 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.

Dieser Europäischen Norm muß der Status einer nationalen Norm entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung spätestens bis zum gegeben und entgegenstehende nationale Normen spätestens bis zum zurückgezogen werden.

In Übereinstimmung mit der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind folgende Staaten gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen:

Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, die Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

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

- Teil 1: Allgemeines
- Teil 2: Werkstoffe für drucktragende Kesselteile und Zubehör
- Teil 3: Konstruktion und Berechnung für drucktragende Teile
- Teil 4: Betriebsbegleitende Berechnungen 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 sowie Sicherheitsstromkreise für den Kessel und Zubehör
- Teil 12: Anforderungen an die Speise- und Kesselwasserqualität
- Teil 13: Anforderungen an Rauchgasreinigungsanlagen
- Teil 14: Anforderungen an Rauchgas-DENOX-Anlagen
- Teil 15: Abnahmeversuche
- Teil 16: Anforderungen an Rost- und Wirbelschichtfeuerungsanlagen für feste Brennstoffe für den Kessel

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 Kessel mehrere Teile benötigt, um die Anforderungen der Norm zu erfüllen.

ANMERKUNG: Teil 4 ist nicht während der Konstruktion, Fertigung und Errichtung anzuwenden.

1 Anwendungsbereich und Zweck

1.1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm behandelt Dampf- und Heißwassererzeuger mit eigener Feuerung einschließlich der zugehörigen Hilfseinrichtungen. Im Sinne dieser Norm sind Dampf- 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 5);
- die Festlegung der Systemgrenze der Dampferzeugeranlage und die Definition des Wirkungsgrades (siehe Abschnitt 7);
- Angaben über die Meßunsicherheiten (siehe Abschnitt 9);
- Beispiele für Abnahmeversuche an verschiedenen Anlagen (siehe Abschnitt 10);
- Empfehlungen für die Probenahme (siehe 6.8).

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.

EN 837-1

Druckmeßgeräte – Teil 1: Druckmeßgeräte mit Rohrfedern – Maße, Meßtechnik, Anforderungen und Prüfung

EN 837-3

Druckmeßgeräte – Teil 3: Druckmeßgeräte mit Platten- und Kapselfedern – Maße, Meßtechnik, Anforderungen und Prüfung

EN 60751

Industrielle Platin-Widerstandsthermometer und Platin-Meßwiderstände (IEC 751 : 1983 + A1 : 1986)

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)

IEC 584-1

Thermocouples – Part 1: Reference tables

IEC 584-2

Thermocouples – Part 2: Tolerances

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 : 1975

Hard coal – Sampling

ISO 3170

Petroleum liquids – Manual sampling

ISO 3993

Liquefied petroleum gas and light hydrocarbons – Determination of density and relative density – Pressure hydrometer method

ISO 5168

Measurement of fluid flow – Estimation of uncertainty of a flow-rate measurement

ISO 5389

Turbocompressors – Performance test code

ISO 6801

Rubber or plastics hoses – Determination of volumetric expansion

ISO 6976

Natural gas – Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition

3 Symbole, Einheiten, Zahlenwerte und Begriffe

3.1 Symbole und Einheiten

Die in den Tabellen 3.1-1 bis 3.1-3 nachstehend aufgeführten Symbole stimmen soweit wie möglich mit den in Tabelle 4-1 der EN 12952-1 festgelegten Symbolen überein.

Tabelle 3.1-1: 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	–
$H_{(G)}$	Brennwert (Brutto-Heizwert)	kJ/kg
$H_{(N)}$	Heizwert (Netto-Heizwert)	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 des 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
(fortgesetzt)		

Tabelle 3.1-1: Lateinische Buchstaben (abgeschlossen)

Symbol	Benennung	Einheit
v	Spezifisches Volumen	m^3/kg
w	Geschwindigkeit	m/s
W	Brennstoff-Wassergehalt bezogen auf den trockenen und aschefreien Brennstoff	—
x	Masseanteile von Rauchgas/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

^a kurz "Spezifische Wärme".

ANMERKUNG 1: $1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ MN/m}^2 = 1 \text{ MPa}$

ANMERKUNG 2: Die angegebenen Einheiten werden üblicherweise verwendet. Bei dimensionslosen Gleichungen kann eine Umrechnung erforderlich sein.

Tabelle 3.1-2: Griechische Buchstaben

Symbol	Benennung	Einheit
α	Wärmeübergangskoeffizient	$\text{W}/(\text{m}^2/\text{K})$
δ	Partielles Differential	—
Δ	Differenz	—
ε	Relative Meßunsicherheit	—
ε	Emissionsverhältnis	—
η	Wärmewirkungsgrad	—
η_{SL}	Entaschungsgrad	—
η_{S}	Entschwefelungsgrad	—
γ	Masseanteil des Brennstoffes	kg/kg
v	Flüchtiger Anteil der Asche	kg/kg
ϱ	Dichte	kg/m^3
σ	Standardabweichung	—
μ	Brennstoffmassenbezogene Verbrennungsluft- und Rauchgasmasse	kg/kg
τ	Versuchsdauer	h s

Tabelle 3.1-3: Indizes

Symbol	Benennung
A	Luft
Ash	Asche
AS	Zerstäuberndampf bzw. -luft
B	Kessel
BD	Abschlämmwasser
c	korrigiert
C	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

(fortgesetzt)

Tabelle 3.1-3: Indizes (fortgesetzt)

Symbol	Benennung
meas	Gemessen
min	Minimum
N	Nutz..., nutzbar
N	Stickstoff
(N)	Nettowert
n	Normzustand
0	Nullpunkt 0 °C
o	Stöchiometrisch
O	Sauerstoff
O ₂	Sauerstoff
p	Konstanter Druck
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
(fortgesetzt)	

Tabelle 3.1-3: Indizes (abgeschlossen)

Symbol	Benennung
Z	Zugeführte Wärme
1	Vor, Eintritt
2	Hinter, Austritt
I, II	Zahl der Zwischenüberhitzer
^	Maximal

3.2 Zahlenwerte

Tabelle 3.2: 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

3.3 Begriffe

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 Zusatzwärmern).

Indirekte Methode (Wirkungsgradbestimmung durch Wärmeverlust)

Bei dieser Methode ist die Ermittlung aller wesentlichen Wärmeverluste, Zusatzwärmern 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 Zusatzwärmern.

Normzustand

Der Begriff "Normzustand" bedeutet den Zustand bei $p_n = 1,01325$ bar und $t_n = 0$ °C.

4 Gewährleistung der Kennwerte

4.1 Voraussetzungen für die Gewährleistung 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 7.1).

4.2 Kennwerte unter Gewährleistung

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.

4.3 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.

4.4 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.

5 Grundsätzliche Versuchsbedingungen

5.1 Methoden der Wirkungsgradbestimmung

Der Wärmewirkungsgrad eines Dampferzeugers kann üblicherweise durch die Anwendung der direkten oder indirekten Methode bestimmt werden (siehe 3.3).

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 in Frage, 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 sollte im Vertrag vereinbart werden.

5.2 Allgemeine Bedingungen

Vor Durchführung der Abnahmeversuche sollten die in 4.1 festgelegten Kennwerte ermittelt werden. Wenn die Betriebsbedingungen dies nicht ermöglichen, können die Versuche nach vorheriger Vereinbarung auch unter anderen Versuchsbedingungen durchgeführt werden. Die Abweichungen sollten jedoch möglichst klein gehalten werden. Der Wirkungsgrad muß dann auf die Gewährleistungsbedingungen umgerechnet werden. Einzelheiten enthält der Abschnitt 8.

5.3 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.

5.4 Zustand des Dampferzeugers

Es kann 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 sollten diese Reinigungseinrichtungen vor dem Abnahmeversuch betätigt werden.

Dem Lieferer muß Gelegenheit gegeben werden, sich von dem Zustand der Heizflächen zu überzeugen.

5.5 Beharrungszustand

5.5.1 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.

5.5.2 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 Zwischenbewertungen empfehlenswert.

5.5.3 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.

5.6 Versuchsdurchführung

5.6.1 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 5.6-1 angegeben.

Tabelle 5.6-1: Empfohlene Zeiten für die Versuchsdauer

Direkte Versuche	
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 Zykluses
Festbrennstoffeinrichtungen für Bagasse und andere Festbrennstoffe mit unterschiedlichem Heizwert	6 h
Flüssige und gasförmige Brennstoffe (einschließlich Abhitze-kessel)	2 h
Elektrokessel	1 h
Indirekte Versuche	
Festbrennstoff	4 h
Flüssige und gasförmige Brennstoffe (einschließlich Abhitze-kessel)	2 h
^a Muß die Anlage zum Entfernen der Asche heruntergefahren werden, so ist die Zeitdauer zwischen den Entaschungsvorgängen die Versuchsdauer.	

5.6.2 Zustand bei Beginn und Ende des Versuches

Bei Beginn und Ende des Versuches sollten 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 sollte 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 aufnehmen zu können.

5.6.3 Zeitabstände der Ablesungen

Die Ablesungen sind so oft vorzunehmen, daß der Integrationsfehler [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.

5.6.4 Zulässige Schwankungen

5.6.4.1 Dampferzeuger

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 5.6-1. Maximal zulässige Druckschwankungen sind in Bild 5.6-2 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 5.6-1 und 5.6-2 festgelegten Grenzwerte überschritten, so kann der Versuch abgelehnt werden.

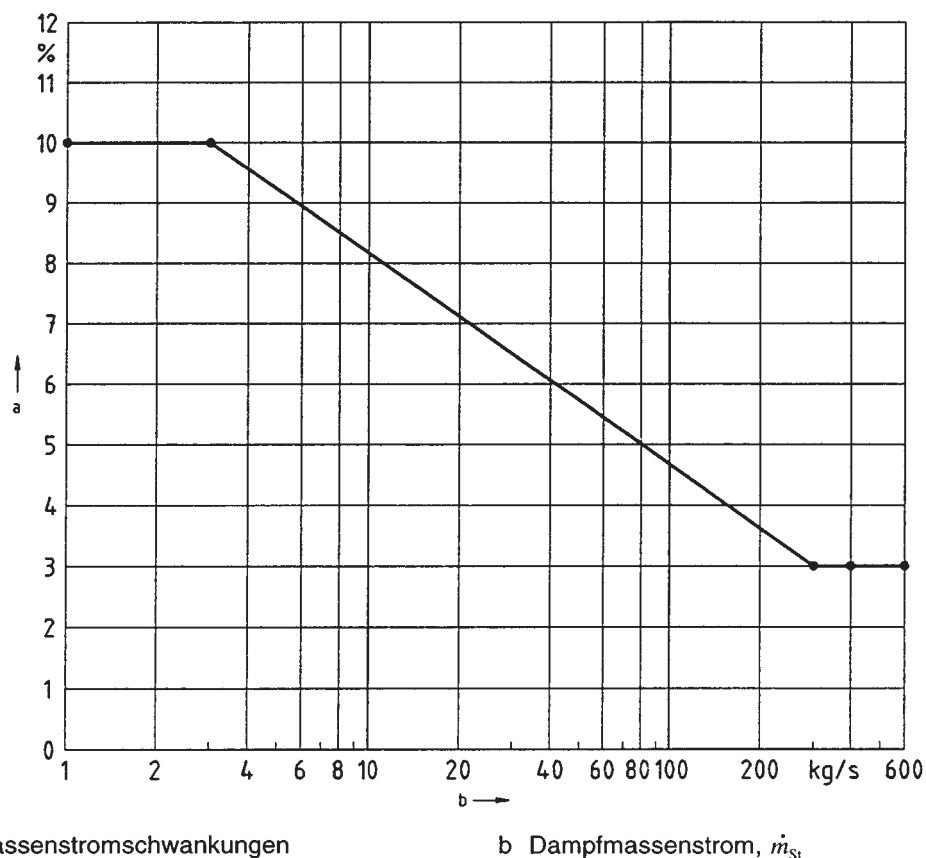


Bild 5.6-1: Maximal zulässige Schwankungen des Dampfmassenstromes

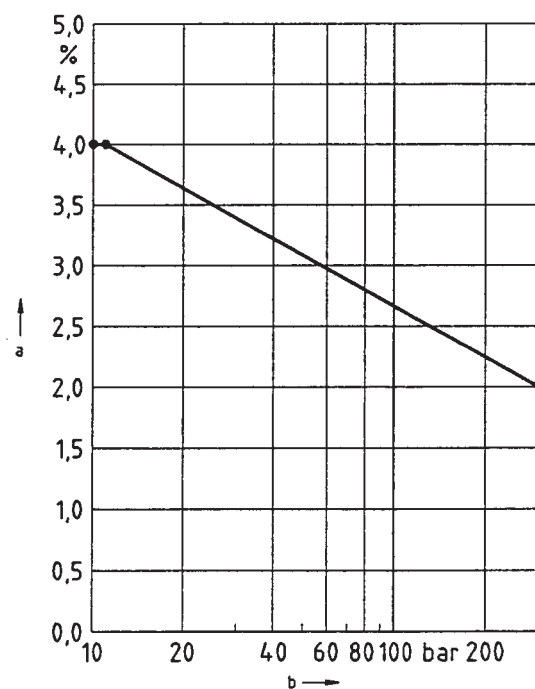


Bild 5.6-2: Maximal zulässige Schwankungen des Dampfdruckes

5.6.4.2 Heißwassererzeuger

Beim Abnahmeversuch an einem Heißwasserkessel 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:

$$\frac{\Delta t_\tau}{\tau} < \left| 0,03 \frac{\dot{V} (t_2 - t_1)}{1,15 V_B} \right| \text{ in } \frac{K}{h} \quad (5.6-1)$$

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 des Versuches.

Ist der Temperaturanstieg größer, kann der Abnahmeversuch abgelehnt werden.

5.7 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; ist dies nicht durchführbar, so müssen Vorkehrungen für eine ständige Überwachung getroffen werden.

Während des Versuches sollte nicht abgeschlämmt 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 Dampferzeugers zuzurechnen. Rußblasen sollte während des Versuches, wenn irgend möglich, unterbleiben.

6 Meßgeräte und Meßverfahren

6.1 Allgemeines

Nur solche Meßgeräte und/oder Meßumformer dürfen verwendet werden, deren Anzeige- und/oder Ausgangswerte sich nachprüfen lassen und deren Grenzabweichungen 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.

6.2 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 ISO 6801 angegeben.

6.3 Temperaturmessungen

Für die Temperaturmessungen sind Präzisionsgeräte nach 6.1 a) und b) (z. B. Quecksilberthermometer, Thermoelemente und Widerstandsthermometer, letztere in Verbindung mit geeigneten Meßschaltungen oder Meßumformern) zu verwenden [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 [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.

6.4 Masse und Massenstrom

6.4.1 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 [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 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 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.

6.4.2 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 %).

6.4.3 Durchflußmessung

6.4.3.1 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.

6.4.3.2 Durchflußmessung mit Geschwindigkeitssonden

Bei Durchflußmessungen mit Geschwindigkeitssonden (Staurohre oder Anemometer) ist nach ISO 1217, ISO 5389 oder ISO 6801 zu verfahren.

6.4.4 Staubmassenstrommessung

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

6.4.5 Dichtebestimmung

Zur Bestimmung des Massenstromes wird die Dichte unter Verwendung der Zustandsgrößen, d. h. Druck und Temperatur sowie Zusammensetzung, aus den einschlägigen Tabellen [19] entnommen.

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

6.5 Heizwerte

6.5.1 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.

6.5.2 Probenahme von Brennstoffen

Die Probenahme und Probenvorbereitung fester Brennstoffe ist nach ISO 1988 durchzuführen. Die Probenahme flüssiger oder gasförmiger Brennstoffe ist nach ISO 3170 [10] 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.

6.5.3 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 3.2 einzusetzen.

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

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.

6.6 Chemische Zusammensetzung

6.6.1 Brennstoffe

Bei Bedarf kann die Elementaranalyse von festen und flüssigen Brennstoffen nach ISO 589, ISO 609, ISO 625, ISO 334, ISO 157 und [11] und die von gasförmigen Brennstoffen mittels Gasanalyse vorgenommen werden.

6.6.2 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, die Höhe der Prüftemperatur ein wesentlicher Faktor ist. Entsprechende Informationen sind aus ISO 609 und ISO 625 zu entnehmen.

6.6.3 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 Gasanalysengeräten 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 Netzmessungen gilt sinngemäß Abschnitt 6.3.

6.7 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.

7 Energiebilanz und Wärmewirkungsgrad

7.1 Energiebilanz und Systemgrenze

7.1.1 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 gegenseitigem Einvernehmen den Erfordernissen entsprechend neu festgelegt werden. Dabei kann in bestimmten Fällen eine Umrechnung einzelner Meßwerte auf die Bedingungen der Liefergrenze notwendig werden.

Bild 7.1-1 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.

7.1.2 Normal-System

Dieses System umfaßt das gesamte Dampf-Wasser-System mit den Umwälzpumpen, die 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 7.1.3.4).

7.1.3 Weitere Systeme

7.1.3.1 Allgemeines

Aus praxisrelevanten Gründen kann es zweckmäßig sein, andere Grenzen als in 7.1.2 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 7.3 aufgeführten zu berücksichtigen sind. Einige mögliche Alternativen für die Systemgrenze sind nachstehend aufgeführt.

7.1.3.2 System ohne Dampfluftvorwärmer

Der Dampfluftvorwärmer liegt außerhalb der Systemgrenze, die dem im ASME-Test-Code vorgeschriebenen Bilanzraum entspricht (siehe Bild 7.1-2).

ANMERKUNG: ANSI-Power-Test-Code 4.1 [12].

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 7.3.1).

7.1.3.3 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 7.1-1, 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.

7.1.3.4 System mit Entstauber oder mit Entstauber und Rauchgasgebläse

Dieses System kann 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 zugrundeliegende Systemgrenze zurückgerechnet werden.

7.1.3.5 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 7.1-3). 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 7.3.3.5) auf. Daher müssen die Zusammensetzung, der Massenstrom und der Staubgehalt des Rauchgases ebenfalls gemessen werden.

7.1.3.6 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 Einschuß des Luftvorwärmers nicht möglich. Die Systemgrenze für diesen Dampferzeuger sollte 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 sollte die Gewährleistung auf die Rauchgasaustrittstemperatur aus dem Dampferzeuger bei einer vereinbarten Dampferzeugerleistung beschränkt werden.

7.1.3.7 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.

7.2 Bezugstemperatur

Für die Berechnung der zu- und abgeführten Energien ist die Festlegung eines Nullniveaus notwendig. Da die Druckabhängigkeit der Enthalpien der Massenströme auf der Rauchgasseite bei den praktisch vorkommenden Drücken nur sehr gering ist, genügt hier die Festlegung der Temperatur. Die Bezugstemperatur t_r sollte bei Abnahmeversuchen mit 25 °C gewählt werden; es können auch andere Temperaturen vereinbart werden, dann muß jedoch der Heizwert/Brennwert nach Gleichung (7.2-1) umgerechnet werden:

$$H_{(N)r} = H_{(N)} + \left[(1 - \gamma_{Ash} - \gamma_{H_2O}) c_{Fdaf} + \mu_{Aod} c_{pAd} - \mu_{God} c_{pGod} + \gamma_{H_2O} c_w - \mu_{H_2O} c_{pST} \right] (t_r - 25 \text{ °C}) \quad (7.2-1N)$$

$$H_{(G)r} = H_{(G)} + \left[(1 - \gamma_{Ash} - \gamma_{H_2O}) c_{Fdaf} + \mu_{Aod} c_{pAd} - \mu_{God} c_{pGod} + \gamma_{H_2O} c_w - \mu_{H_2O} c_{pST} \right] (t_r - 25 \text{ °C}) \quad (7.2-1G)$$

Dabei ist

- $H_{(N)}$ der Heizwert bei 25 °C;
- $H_{(N)r}$ der Heizwert bei der gewählten Bezugstemperatur t_r ;
- $H_{(G)}$ der Brennwert bei 25 °C;
- $H_{(G)r}$ der Brennwert bei der gewählten Bezugstemperatur t_r .

Da die Bezugstemperaturen in einem relativ engen Bereich liegen, können für die integrale spezifische Wärmekapazität bei 25 °C die folgenden Werte in kJ/(kg K) eingesetzt werden:

Wasser:	$c_w = 4,19 \text{ kJ/(kg K)}$;
Dampf:	$c_{pST} = 1,86 \text{ kJ/(kg K)}$;
trockene Luft:	$c_{pAd} = 1,005 \text{ kJ/(kg K)}$;
trockenes Rauchgas:	$c_{pGod} = 1,0 \text{ kJ/(kg K)}$;
Steinkohle:	$c_{Fdaf} = (1 + 0,95 \gamma_{VF}) 0,877 \text{ kJ/(kg K)}$;
Braunkohle:	$c_{Fdaf} = 1,7 \text{ kJ/(kg K)}$;
Heizöl S:	$c_F = 1,7 \text{ kJ/(kg K)}$;
Methan:	$c_F = 2,2 \text{ kJ/(kg K)}$;

Da der Kesselwirkungsgrad (nach 7.4) von der gewählten Bezugstemperatur abhängig ist, muß eine von 25 °C abweichende Temperatur vor der Abgabe der Gewährleistung durch den Hersteller des Dampferzeugers festgelegt werden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß durch die Bezugstemperatur nur ein willkürlich wählbares Nullniveau festgelegt wird, die nichts mit der Umgebungstemperatur zu tun hat.

Tabelle 7.1-1: Benummerung in Bild 7.1-1

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	Frischluffgebläse (P_{FD})
6	Zerstäuberndampf ($\dot{m}_{AS}, h_{AS}$)	27	Dampf ($\dot{m}_{SA}, h_{SA1}$)
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 ($\dot{m}_G, h_G$)
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 ($\dot{m}_{RHI1}, h_{RHI1}$)
16	oder	38	Verlust durch Strahlung und Leitung ($\dot{Q}_{RC}$)
17	Eigendampf	39	Einspritzwasser ZÜ-Dampf II ($\dot{m}_{SRII}, h_{SRII}$)
18	oder	40	Einspritzwasser ZÜ-Dampf I ($\dot{m}_{SRI}, h_{SRI}$)
18a	$\dot{Q}'_N$	41	Normalsystemgrenze
19	Luftvorwärmer	42	ZÜ-Dampf II Austritt ($\dot{m}_{RHI2}, h_{RHI2}$)
20	Flugstaubrückführung	43	ZÜ-Dampf I Austritt ($\dot{m}_{RHI2}, h_{RHI2}$)
21	Treibluft zu $\dot{m}_{ALa}$	44	HD-Dampf ($\dot{m}_{ST}, h_{ST}$)

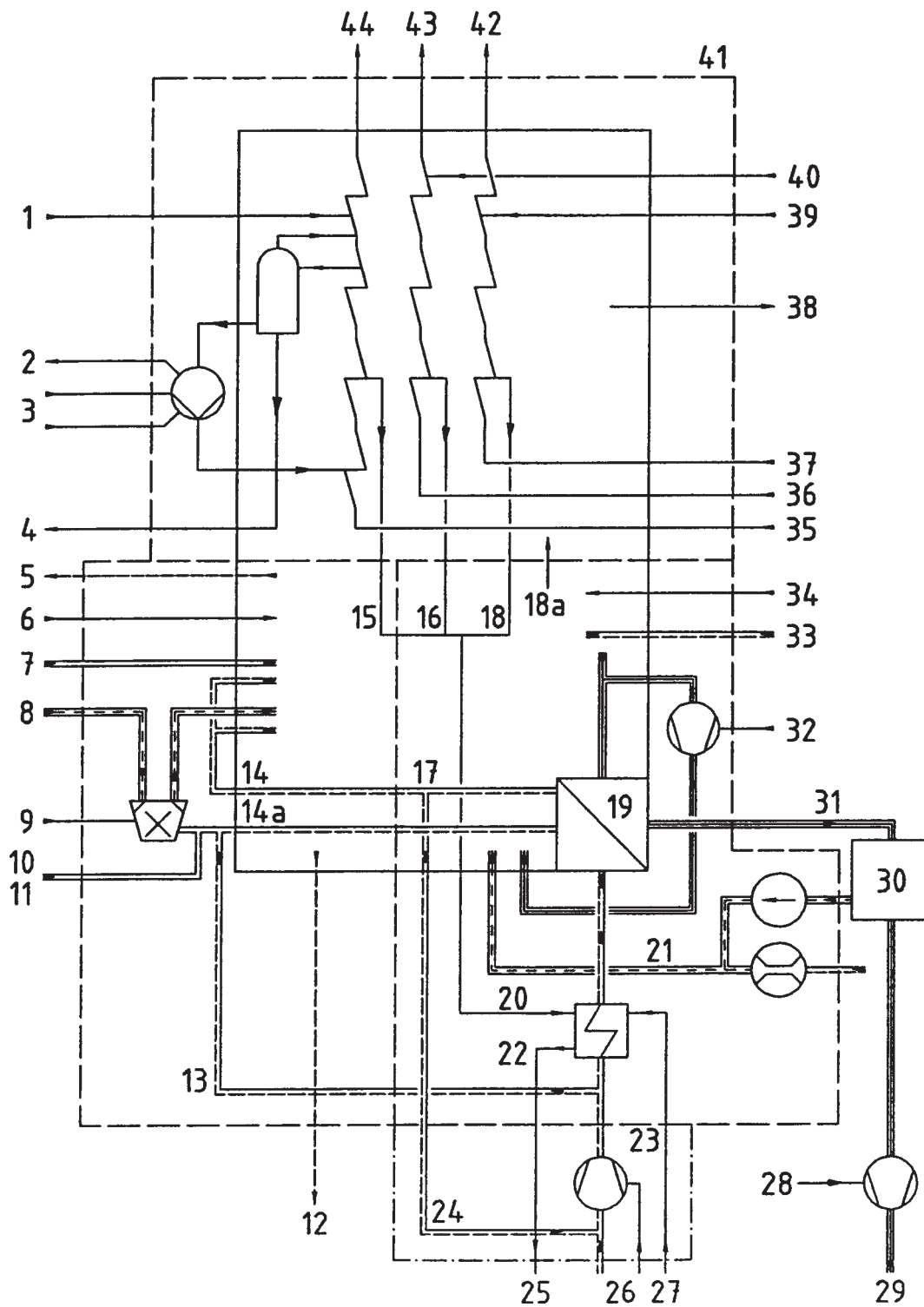


Bild 7.1-1: Dampferzeugerdiagramm mit den zu- und abgeführten Wärme- und Massenströmen (Normalsystem)