

GESTRA
Wegweiser



Vorwort

Seit nunmehr drei Jahrzehnten erweist sich der GESTRA-Wegweiser als wichtiges technisches Nachschlagewerk für das Fachgebiet der Dampf- und Kondensattechnologie. Im Jahr 2005 haben wir eine überarbeitete Ausgabe aufgelegt, die das bewährte Grundkonzept des Buches beibehalten hat. Einheiten und Umrechnungstabellen sind nach den heute gültigen Standards aktualisiert worden, wobei die nicht gesetzlichen Einheiten besonders gekennzeichnet sind. Die Kapitel „Normen“ und „Abnahmebedingungen“ entsprechen den europäischen Normen EN und die amerikanischen Normen sind gemäß ASME eingebunden.

Das nachhaltige Interesse an dem GESTRA-Wegweiser hat uns auch in diesem Jahr wieder veranlasst, eine neue Auflage heraus zu geben.

Wir wünschen Ihnen eine informative Lektüre.

GESTRA AG
Österreichische
Energie- und
Flüssigkeits-
Technik-
Gesellschaft

Inhaltsverzeichnis

1. Rohrleitungen	7
2. Wärmeübertragung	35
3. Stoffwerte	43
4. Schaltbeispiele	77
5. Werkstoff- und Beständigkeitstabellen	117
6. Einheiten, Formelzeichen, Umrechnungstabellen	141
7. Abnahmebedingungen	163
8. Flansche, Rohre	171
9. Normen	225
Sachwörterverzeichnis	235

1	Rohrleitungen	
1.1	Allgemeines	9
1.1.1	PN/Class	9
1.1.2	Prüfdruck PT	9
1.1.3	Maximal zulässiger Druck PS	9
1.1.4	Minimal/maximal zulässige Temperatur TS	9
1.1.5	Druck-Temperatur-Zuordnung/p/T Rating	10
1.1.6	Nennweite DN/NPS	10
1.1.7	Kennzeichnung von Rohrleitungen	11
1.2	Druckverluste	12
1.2.1	Einführung	12
1.2.2	Begriffe	13
1.2.2.1	Reynoldssche Zahl Re	13
1.2.2.2	Rohrreibungszahl λ	13
1.2.2.3	Widerstandsbeiwert ζ	14
1.2.2.4	Gleichwertige Rohrlänge	14
1.2.2.5	Geodätische Höhe (Niveauhöhe)	14
1.2.2.6	Querschnittsänderungen	14
1.2.2.7	Druckverlust, Widerstandshöhe	15
1.2.3	Druckabfall in Dampfleitungen	16
1.2.4	Strömungswiderstand in geraden Wasserrohrleitungen	18
1.3	Nennweitenbestimmung von Rohrleitungen	20
1.3.1	Allgemeines zur Berechnung	20
1.3.2	Durchfluss in Rohrleitungen	21
1.3.3	Strömungsgeschwindigkeit in Dampfleitungen	22
1.3.4	Kondensatleitungen	23
1.3.4.1	Berechnung des Kondensatanfalles	23
1.3.4.2	Berechnung des Entspannungsdampfes	24
1.3.4.3	Kondensatleitungsnennweiten	24
1.4	Dehnung von Rohrleitungen	27
1.5	Wärmeverlust isolierter Rohrleitungen	30
1.6	Temperaturabfall in Dampfleitungen	32
1.7	Stützweiten, Wandabstände	34
1.8	Wasserschläge	34

1 Rohrleitungen

1.1 Allgemeines

1.1.1. PN/Class

Die PN-Angabe wie auch die Class-Angabe ist eine Kenngröße für die mechanischen und maßlichen Eigenschaften eines Bauteils.

PN-Stufen:

PN 2,5, PN 6, PN 10, PN 16, PN 25, PN 40, PN 63, PN 100, PN 160, PN 250, PN 320, PN 400

Class-Stufen:

Class 25, Class 75, Class 125, Class 150, Class 250, Class 300, Class 600, Class 900, Class 1500, Class 2500, Class 4500

Die PN-Angabe ist dort gebräuchlich, wo Druckangaben in bar erfolgen. Der Zahlenwert hinter den Buchstaben PN ist nach Norm (DIN EN 1333) kein messbarer Wert. In der Regel entspricht er aber dem maximal zulässigen Druck des Bauteils bei 20 °C. Bei einigen Werkstoffen, z. B. Austeniten, kann der maximal zulässige Druck bei 20 °C allerdings niedriger sein. Zu Class-Angaben erfolgten die Druckangaben ursprünglich in psig. Inzwischen halten aber auch dort Druckangaben in bar Einzug. In dem System ist der maximal zulässige Druck des Bauteils bei 20 °C je nach Werkstoff unterschiedlich. Aus der Zahl hinter dem Wort Class ist dieser Druck nicht ersichtlich.

Die nachstehende Tabelle zeigt beispielhaft die maximal zulässigen Drücke von Flanschen aus vergleichbaren EN- und ASTM-Werkstoffen bei 20 °C.

Flansch PN 40		Flansch Class 300		
EN-Werkstoff	zul. Druck	ASTM-Werkstoff	zul. Druck	
	[bar]		[psig]	[bar]
1.0460	40	A105	740	51,1
1.5415	40	A182 F1	695	48,0
1.4404	40	A182 F316L	600	41,4

Abb. 1

Der maximal zulässige Druck PS eines Bauteils hängt von mehreren Einflussgrößen ab: PN- bzw. Class-Stufe, Auslegung sowie Werkstoff des Bauteils, Temperatur usw. (s. ergänzend Abschn. 1.5, Druck-Temperatur-Zuordnung).

1.1.2 Prüfdruck PT

Der Druck, dem das Bauteil zu Prüfzwecken ausgesetzt wird (Nachweis der Druckfestigkeit).

1.1.3 Maximal zulässiger Druck PS

Der höchste Druck, für den das Bauteil – bezogen auf eine bestimmte Temperatur – ausgelegt ist (s. ergänzend Abschn. 1.5, Druck-Temperatur-Zuordnung).

1.1.4 Minimal/maximal zulässige Temperatur TS

Die minimale/maximale Temperatur, für die das Bauteil – bezogen auf einen bestimmten Druck – ausgelegt ist (s. ergänzend Abschn. 1.5, Druck-Temperatur-Zuordnung).

1.1.5 Druck-Temperatur-Zuordnung/p/T Rating

Da die Festigkeit von Werkstoffen mit zunehmender Temperatur abnimmt, ist der maximal zulässige Druck PS für ein Bauteil kein einzelner Wert; er hängt insbesondere von der Temperatur ab. Umgekehrt ist auch die zulässige maximale Temperatur TS je nach zu erwartendem Druck eine andere. Für Bauteile gelten also in der Regel ein Vielzahl von Wertepaaren PS und TS.

Diese Abhängigkeit des maximal zulässigen Druckes PS und der maximal zulässigen Temperatur TS voneinander wird als Druck-Temperatur-Zuordnung oder p/T Rating bezeichnet. Druck-Temperatur-Zuordnungen sind in entsprechenden Normen angegeben, z. B. in DIN EN 1092-1 für Flansche mit PN-Stufung.

1.1.6 Nennweite DN/NPS

Die DN-Angabe wie auch die NPS-Angabe ist eine Kenngröße für die Anschlussgröße eines Bauteiles.

Die Zahl hinter den Buchstaben DN gibt den Innendurchmesser (lichte Weite) der Anschlussbohrung eines Bauteils, z. B. eines Flansches, in Millimetern an; die Zahl hinter den Buchstaben NPS in Zoll. Hierbei handelt es sich allerdings um einen grob gerundeten Näherungswert. Der tatsächliche Innendurchmesser variiert je nach PN- oder Class-Stufe.

DN 10	DN 50	DN 150	DN 400	DN 800	DN 1400	DN 2200	DN 3200
DN 15	DN 60	DN 200	DN 450	DN 900	DN 1500	DN 2400	DN 3400
DN 20	DN 65	DN 250	DN 500	DN 1000	DN 1600	DN 2600	DN 3600
DN 25	DN 80	DN 300	DN 600	DN 1100	DN 1800	DN 2800	DN 3800
DN 32	DN 100	DN 350	DN 700	DN 1200	DN 2000	DN 3000	DN 4000
DN 40	DN 125						

Abb. 2a DN-Stufen

NPS 1/2	NPS 2	NPS 6	NPS 16	NPS 28	NPS 38	NPS 46	NPS 54
NPS 3/4	NPS 2 1/2	NPS 8	NPS 18	NPS 30	NPS 40	NPS 48	NPS 56
NPS 1	NPS 3	NPS 10	NPS 20	NPS 32	NPS 42	NPS 50	NPS 58
NPS 1 1/4	NPS 4	NPS 12	NPS 24	NPS 34	NPS 44	NPS 52	NPS 60
NPS 1 1/2	NPS 5	NPS 14	NPS 26	NPS 36			

Abb. 2b NPS-Stufen

1.1.7 Kennzeichnung von Rohrleitungen

In DIN 2403 wird die Kennzeichnung von Rohrleitungen nach dem Durchflussstoff festgelegt. Die Durchflussstoffe sind nach ihren allgemeinen Eigenschaften in 10 Farbgruppen eingeteilt. Einzelheiten und Ausführungsvorschriften s. Norm.

Durchflussstoff	Gruppe	Farbe	
Wasser	1	<i>Gelbgrün</i>	RAL 6018
Wasserdampf	2	<i>Feuerrot</i>	RAL 3000
Luft	3	<i>Silbergrau</i>	RAL 7001
Brennbare Gase	4	<i>Rapsgelb</i> ¹⁾	RAL 1021
Nichtbrennbare Gase	5	<i>Rapsgelb</i> ²⁾	RAL 1021
Säuren	6	<i>Pastellorange</i>	RAL 2003
Laugen	7	<i>Rotlila</i>	RAL 4001
Brennbare Flüssigkeiten	8	<i>Ockerbraun</i> ³⁾	RAL 8001
Nichtbrennbare Flüssigkeiten	9	<i>Ockerbraun</i> ⁴⁾	RAL 8001
Sauerstoff	0	<i>Himmelblau</i>	RAL 5015

1) *Rapsgelb* oder *Rapsgelb* mit Zusatzfarbe *Feuerrot* (RAL 3000).
2) *Rapsgelb* mit Zusatzfarbe *Tiefschwarz* (RAL 9005) oder *Tiefschwarz* (RAL 9005).
3) *Ockerbraun* oder *Ockerbraun* mit Zusatzfarbe *Feuerrot* (RAL 3000).
4) *Ockerbraun* mit Zusatzfarbe *Tiefschwarz* (RAL 9005) oder *Tiefschwarz* (RAL 9005).

Abb. 3 Kennzeichnung von Rohrleitungen.

1.2 Druckverluste

1.2.1 Einführung

Der Druckabfall in einer Rohrleitung ergibt sich aus den Einzelverlusten aller Rohrleitungsteile, wie Rohre, Formstücke und Armaturen, aus dem Einfluss der geodätischen Höhe und aus Querschnittsveränderungen. Bei Gasen ist noch die Volumenänderung durch Expansion zu beachten. Sie kann aber vernachlässigt werden, sofern der Druckabfall nur einige Prozent des absoluten Druckes beträgt. Unter dieser Voraussetzung sind die Berechnungen der Druckverluste für Flüssigkeiten und Gase gleich.

Es gilt ganz allgemein

$$\Delta p = C \frac{\rho w^2}{2} \quad (1)$$

Mit $C = \lambda \frac{l}{d}$

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho w^2}{2} \quad (2)$$

wird der Druckverlust aus der Wandreibung für Rohre

Bei Armaturen und Formstücken gilt $C = \zeta$ die Beziehung

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho w^2}{2} \quad (3)$$

In einer anderen gebräuchlichen Schreibweise der Gleichung (1) wird der Proportionalitätsfaktor C durch $\zeta \cdot a$ ersetzt – mit a als dem sogenannten Körperfaktor.

Daraus ergibt sich

$$\Delta p = \zeta a \frac{\rho w^2}{2} \quad (1a)$$

Mit $a = l/d$ wird für Rohre

$$\Delta p = \zeta \frac{l}{d} \frac{\rho w^2}{2} \quad (2a)$$

Bei Armaturen und Formstücken ist $a = 1$: folglich gilt

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho w^2}{2} \quad (3a)$$

Der ζ -Wert in (2a) entspricht dem λ -Wert in (2), und auch die Gleichungen (3) und (3a) sind identisch.

1.2.2 Begriffe

1.2.2.1 Reynoldssche Zahl Re

Die dimensionslose Kenngröße Re ist das Verhältnis von Trägheitskräften zu Zähigkeitskräften. Sie gibt Auskunft über die Art der vorliegenden Strömung. Eine Strömung verläuft laminar bei $Re < 2000$, u.U. turbulent bei $Re \geq 2000$ und meist turbulent ab $Re > 2300$ in technischen Rohrleitungen.

$$Re = \frac{w d}{\nu} \quad (4) \quad w \text{ kennzeichnende Geschwindigkeit}$$

$$Re = \frac{\rho w d}{\eta} \quad (4a) \quad d \text{ typische Längenabmessung}$$

$$Re = \frac{4 \rho \dot{V}}{\pi \eta d} \quad (4b) \quad \nu \text{ kinematische Zähigkeit}$$

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad \rho = \frac{\gamma}{g} \quad w = \frac{\dot{V}}{A} \quad A = \frac{d^2 \pi}{4}$$

1.2.2.2 Rohrreibungszahl λ

Die hier angedeuteten Zusammenhänge werden durch „Reibungsgesetze in Strömungen“ als das Ergebnis der Untersuchungen verschiedener Forscher mathematisch beschrieben. Eine graphische Darstellung dieser Gesetze erfolgt meistens im doppellogarithmischen System.

Der durch Reibung in einem Rohr entstehende Druckverlust Δp ist proportional der spezifischen Rohrlänge l/d und proportional dem Staudruck der Strömung $\rho w^2/2$. Als Proportionalitätsfaktor wird die Rohrreibungszahl λ eingeführt.

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho w^2}{2} \quad (2)$$

Die Rohrreibungszahl λ ist eine Funktion der Reynoldsschen Zahl Re und wird in bestimmten Bereichen auch von der Rohrrauigkeit beeinflusst. Im laminaren Bereich ist λ allein von Re abhängig; der Einfluss der Rauigkeit kann vernachlässigt werden. Bei turbulenter Strömung unterscheidet man hydraulisch glatte Rohre, hydraulisch raue Rohre und einen Übergangsbereich. Dabei ist für hydraulisch glatte Rohre λ nur von Re abhängig. Das hydraulisch vollständig raue Rohr unterliegt allein dem Einfluss der Rauigkeit. Im Übergangsbereich wird der λ -Wert sowohl von Re als auch von der Rauigkeit beeinflusst.

1.2.2.3 Widerstandsbeiwert ζ

Der Druckverlust Δp in Armaturen und Formstücken ist proportional dem Staudruck $\frac{\rho W^2}{2}$.

Als Proportionalitätsfaktor wird der Widerstandsbeiwert ζ eingeführt.

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho W^2}{2} \quad (3)$$

Bei mehreren Einzelwiderständen gleicher Nennweite wird der Druckverlust

$$\Delta p = \sum \zeta \frac{\rho W^2}{2} \quad (5)$$

Der Widerstandswert ζ wird durch Versuch ermittelt und ist aus Tabellen oder Diagrammen zu entnehmen. Er ist – soweit nicht anders vermerkt – stets auf die Anschlussnennweite der Armaturen bzw. Muffenanschluss auf die anzuschließende Rohrnennweite zu beziehen.

1.2.2.4 Gleichwertige Rohrlänge

Man kann den durch Rohrleitungsteile, wie Armaturen und Formstücke, gegebenen Strömungswiderstand rechnerisch durch eine gleichwertige Rohrlänge ersetzen. Betrachten wir darum die bekannten Gleichungen:

Gleichung (3) für Armaturen $\Delta p_1 = \zeta \frac{\rho W^2}{2}$

Gleichung (2) für Rohre $\Delta p_2 = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho W^2}{2}$

Für $\Delta p_1 = \Delta p_2$ wird $\zeta = \lambda \frac{l}{d}$ und daraus
$$l = \frac{\zeta}{\lambda} d \quad (6)$$

Mit dieser gleichwertigen Rohrlänge l nach (6) zuzüglich der tatsächlich gegebenen Rohrlänge wird nach (2) der Druckverlust der gesamten Rohrleitung in einem Gang berechnet.

1.2.2.5 Geodätische Höhe (Niveauhöhe)

Durch Führung einer Rohrleitung nach oben oder unten verändert man die potentielle Energie des Durchflussesstoffes. Nach dem Gesetz von der Erhaltung der Energie – Bernoulli – ändert sich demzufolge der Druck. Man kann also durch geeignete Leitungsführung z.B. den Arbeitsdruck für einen Kondensatableiter beeinflussen.

1.2.2.3 Querschnittsänderungen

Durch Querschnittsänderungen wird die kinetische Energie und damit nach Bernoulli auch der Druck verändert. Hat eine Rohrleitung verschiedene Durchmesser, dann werden die Druckverluste aus der Wandreibung für jeden Querschnitt und die zugehörige Rohrlänge getrennt berechnet. Außerdem werden die Druckveränderungen in den Querschnittsübergängen ermittelt.

1.2.2.7 Druckverlust, Widerstandshöhe

Aus Gleichung (1) erhält man mit SI-Einheiten den Druckverlust Δp in der SI-Einheit Pascal (Pa).

Für Umrechnungen auf die Einheit Bar: 1 bar = 10^5 Pa

$\Delta p = C \frac{\rho w^2}{2}$	Δp in Pa	(1)	C	Widerstandszahl	-
			ρ	Dichte	kg/m ³
			w	Geschwindigkeit	m/s
			g	Fallbeschleunigung	m/s ²

Rohrreibungswiderstände werden mitunter noch als Widerstandshöhen H_v in m (Druckhöhenverluste) angegeben.

Mit den oben vereinbarten Einheiten gilt:

$H_v = C \frac{w^2}{2g}$	H_v in m
$\Delta p = H_v \rho g$	Δp in Pa
$\Delta p = H_v \frac{\rho g}{10^5}$	Δp in bar

1.2.3 Druckabfall in Dampfleitungen

$$\Delta p = C \frac{\rho w^2}{2}$$

Armaturen und Formstücke: $C = \zeta$

Rohre: $C = \lambda l/d$ mit $\lambda = 0,0206$ nach Eberle; Δp in Pa

Für gegebene Rohrleitungsteile der gleichen Nennweite werden aus Abb. 4 die Widerstandszahlen C ermittelt. Mit der Summe aller Einzelwerte ΣC und den Betriebsdaten erhält man aus Abb. 5 den gesamten Druckabfall Δp in bar.

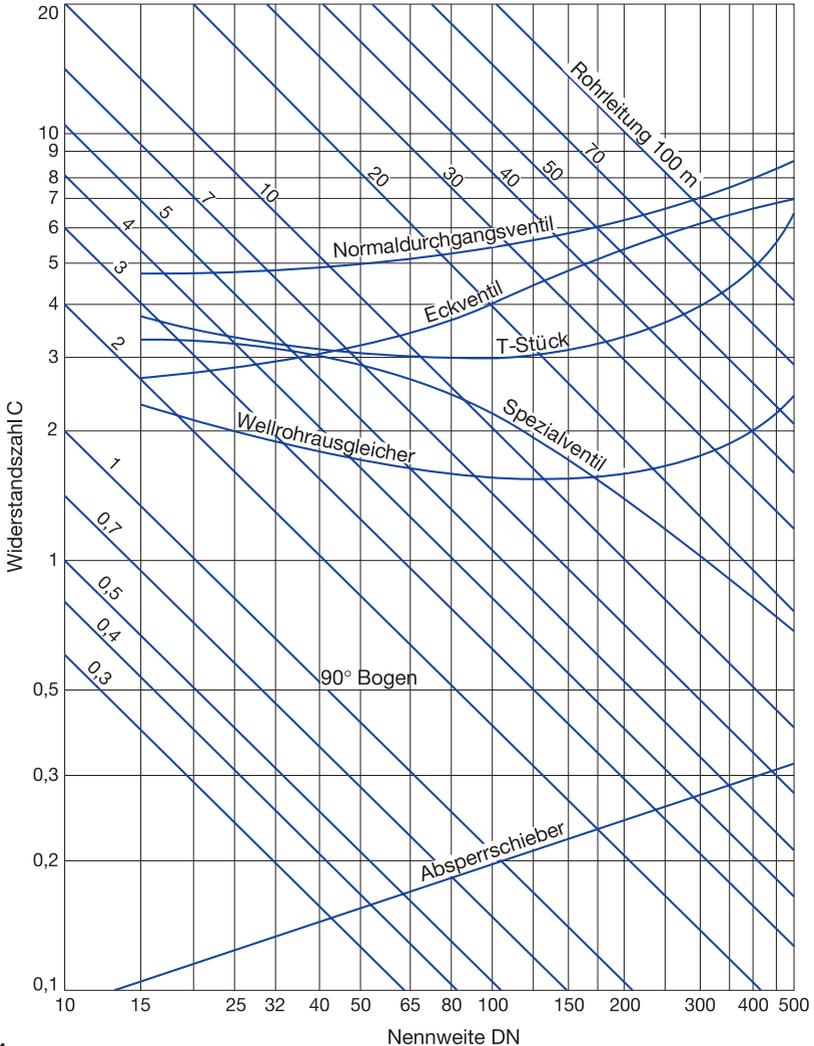


Abb. 4

Beispiel:
Rohrleitungssteile DN 50

Betriebsdaten

20 m Rohrleitung	C = 8,1
1 Eckventil	C = 3,3
2 Spezialventile	C = 5,6
1 T-Stück	C = 3,1
2 Rohrbogen, 90°	C = 1,0
	$\Sigma C = 21,1$

Temperatur	t = 300 °C
Absoluter Dampfdruck	p = 16 bar
Geschwindigkeit	w = 40 m/s

Ergebnis: $\Delta p = 1,1$ bar

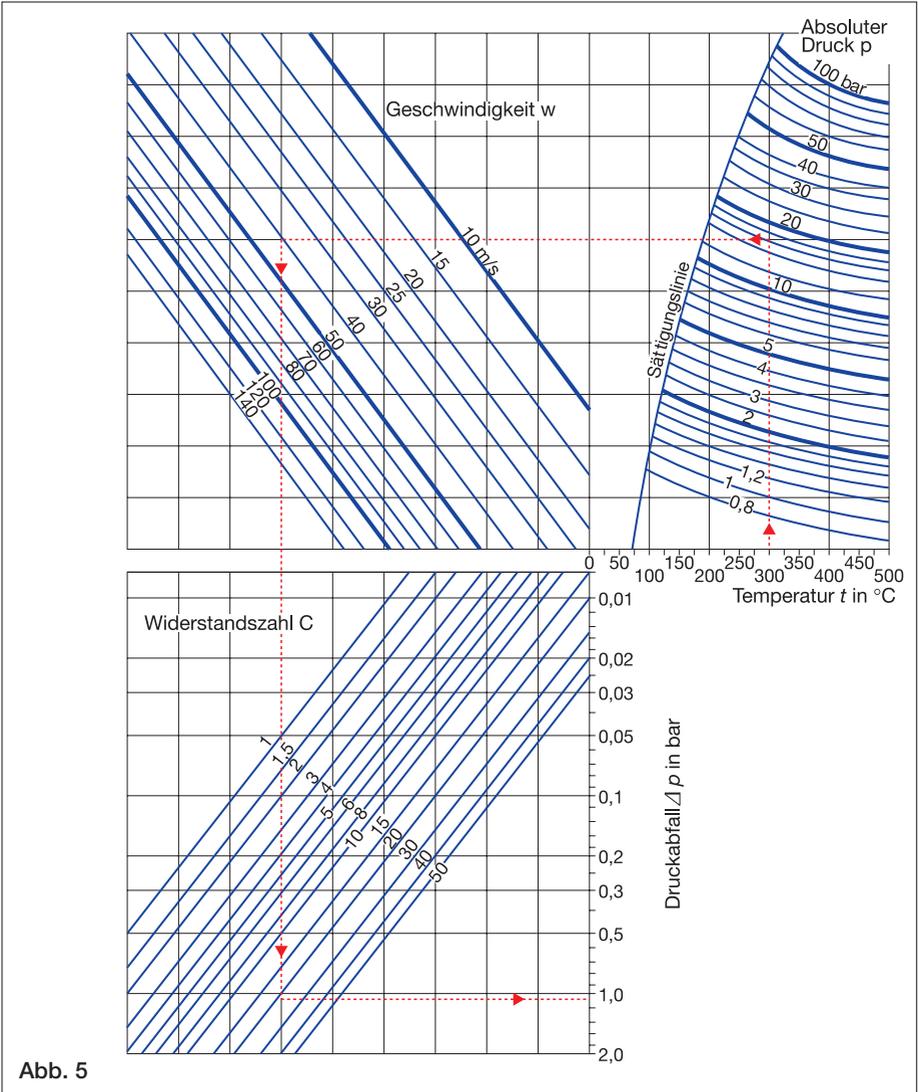


Abb. 5

1.2.4 Strömungswiderstand in geraden Wasserrohrleitungen

Widerstandshöhe

Volumenstrom

$$H_V = C \frac{w^2}{2g}$$

mit $C = \lambda l/d$

$$\dot{V} = w \cdot A = w d^2 \pi/4$$

Abbildung 6 gilt für kaltes Wasser und neue Rohre aus Grauguss. Die Druckhöhenverluste H_V sind zu multiplizieren mit

0,8 für neue, gewalzte Stahlrohre

1,25 für ältere, angerostete Stahlrohre

1,7 für inkrustierte Rohre, wobei außerdem der verengte Querschnitt maßgebend ist.

Beispiel

Gussrohr DN 80

Volumenstrom $\dot{V} = 20 \text{ m}^3/\text{h}$

Ergebnis nach Abb. 6:

Widerstandshöhe $H_V = 2,0 \text{ m}/100\text{m}$

Strömungsgeschwindigkeit $w = 1,1 \text{ m/s}$

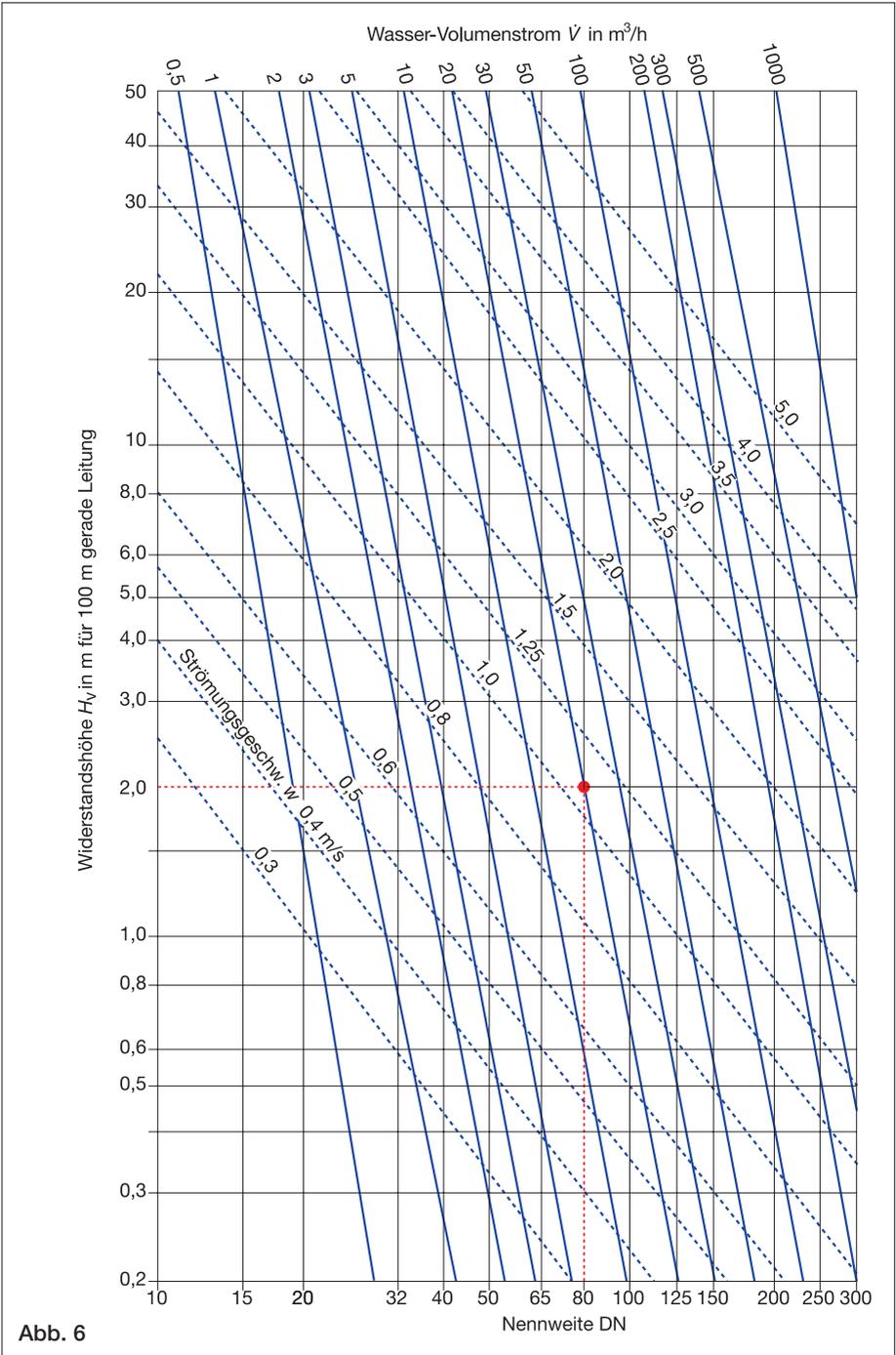


Abb. 6

1.3 Nennweitenbestimmung von Rohrleitungen

1.3.1 Allgemeines zur Berechnung

Gegeben sind meistens der Durchfluss und ein zulässiger Druckabfall; gesucht wird der erforderliche Rohrdurchmesser. Bei der Berechnung verfährt man umgekehrt. Man wählt einen Durchmesser und überprüft den Druckverlust bzw. den Durchfluss. Gegebenenfalls wird dann mit korrigiertem Durchmesser ein zweites Mal gerechnet. Für den ersten Rechenansatz kann der Durchmesser unter Annahme einer Geschwindigkeit aus dem Durchfluss berechnet werden.

Brüden- und Abdampfleitungen, Entspannungsdampf in Kondensatleitungen Sattdampfleitungen	15 – 25 m/s
bis 1 bar abs	≤ 10 m/s
1 bis 2 bar abs	10 – 15 m/s
2 bis 5 bar abs	15 – 25 m/s
5 bis 10 bar abs	25 – 35 m/s
10 bis 40 bar abs	35 – 40 m/s
40 bar abs	≤ 60 m/s
Heißdampfleitungen kleiner Leistung	ca. 35 m/s
Heißdampfleitungen mittlerer Leistung	40 – 50 m/s
Heißdampfleitungen großer Leistung	50 – 65 m/s
Speisewassersaugleitungen	0,5 – 1,0 m/s
Speisewasserdruckleitungen	1,5 – 3,5 m/s
Kühlwassersaugleitungen	0,7 – 1,5 m/s
Kühlwasserdruckleitungen	1,0 – 5,5 m/s
Trink- und Brauchwasserleitungen	1,0 – 2,0 m/s
Druckluftleitungen	15 m/s

Abb. 7 Richtwerte für Strömungsgeschwindigkeiten

1.3.2 Durchfluss in Rohrleitungen

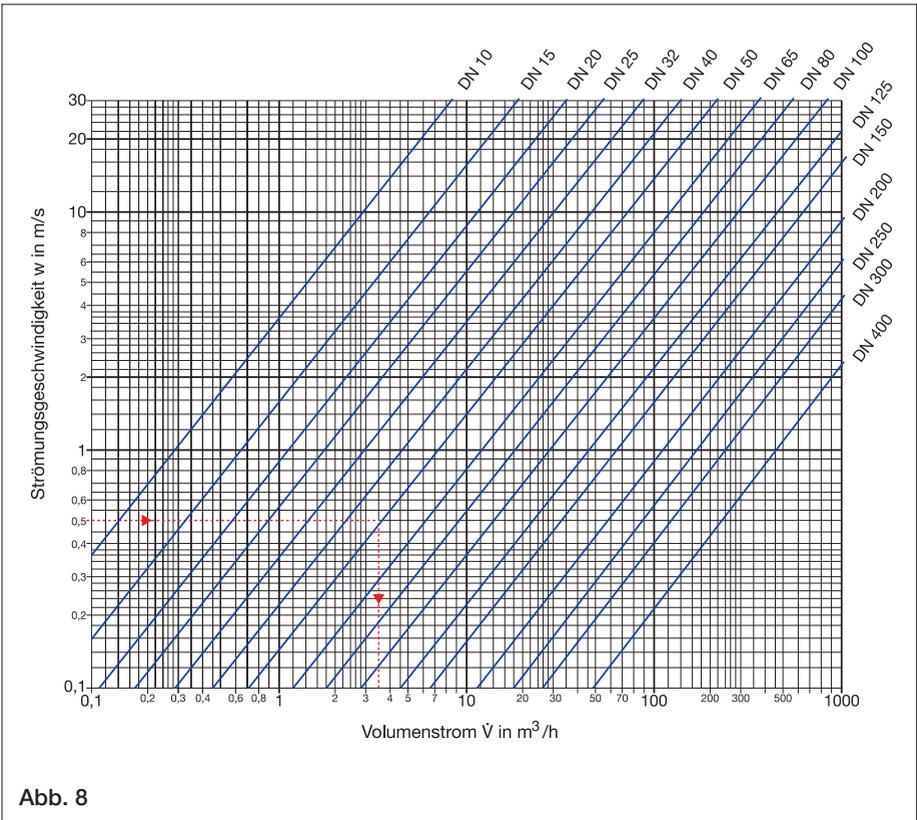
Der Volumenstrom errechnet sich aus folgenden Beziehungen:

$$\dot{V} = w \cdot A = w \cdot d^2 \pi / 4$$

$$\dot{V} = \frac{w \cdot d^2}{354}$$

\dot{V} Volumenstrom m^3/s
 w Geschwindigkeit m/s
 A Durchflussquerschnitt m^2
 d lichter Rohrdurchmesser m

\dot{V} Volumenstrom m^3/h
 w Geschwindigkeit m/s
 d lichter Rohrdurchmesser mm



Beispiel: Kondensatleitung zwischen Wärmetauschern und Kondensatableiter.

Empfohlene Geschwindigkeit 0,5 m/s
 Vorhandene Rohrleitung DN 50
 Maximale Kondensatmenge 3,6 m³/h

1.3.3 Strömungsgeschwindigkeit in Dampfleitungen

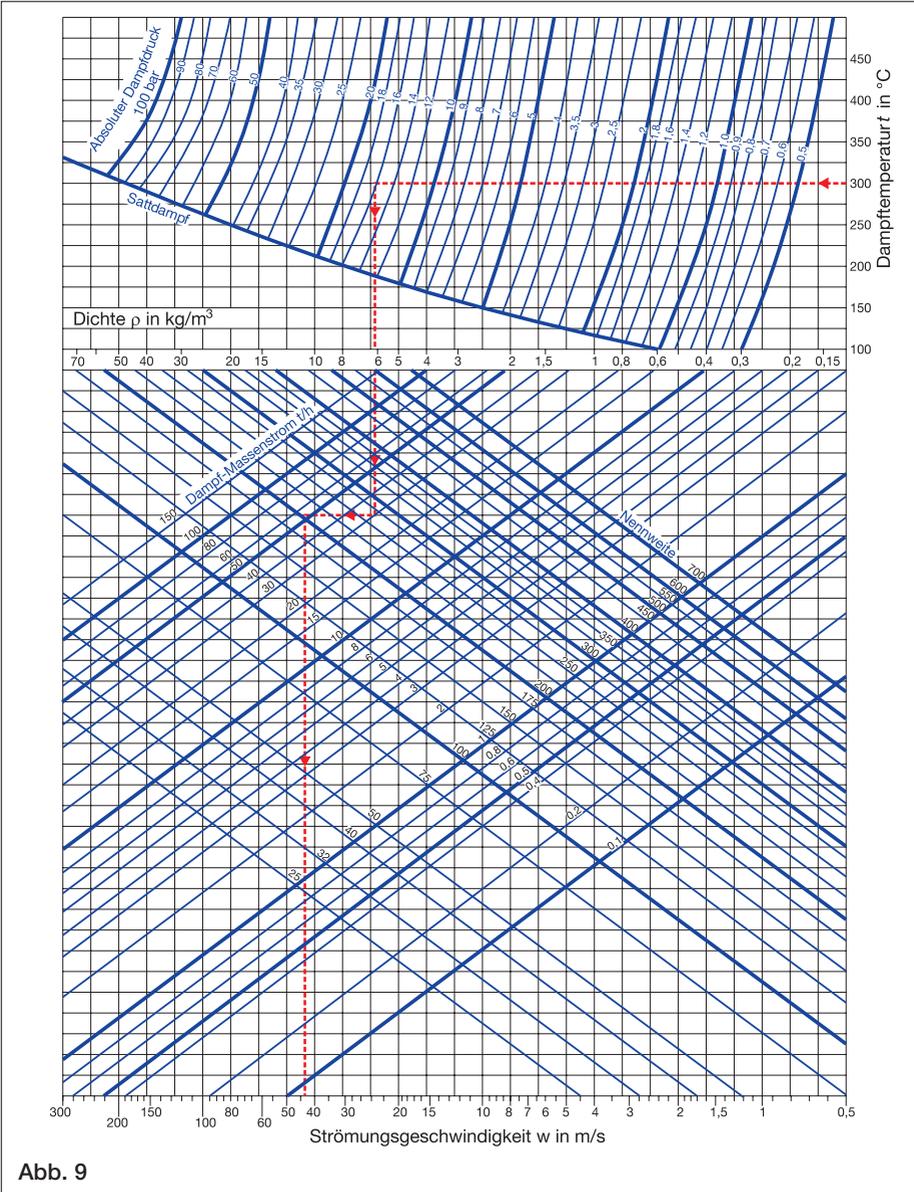


Abb. 9

Beispiel: Dampftemperatur 300 °C
 Absoluter Dampfdruck 16 bar
 Dampf-Massenstrom 30 t/h
 Nennweite DN 200

Ergebnis nach Abb. 9:
 Strömungsgeschwindigkeit $w = 43$ m/s

1.3.4 Kondensatleitungen

In dampfbeheizten Wärmetauschern wird dem Heizdampf die Verdampfungswärme und gegebenenfalls auch die Überhitzungswärme entzogen. Aus dem Kondensatanfall und weiteren Betriebsdaten ergeben sich die Größe des erforderlichen Kondensatableiters, der zu erwartende Entspannungsdampf, die Nennweite der Kondensatleitung, die durchaus nicht immer gleich der Nennweite des Ableiters ist, und die Größe des für eine Entspannungsdampfnutzung erforderlichen Entspanners.

1.3.4.1 Berechnung des Kondensatanfalls

Der in einem Wärmeaustauscher anfallende Kondensatstrom \dot{M} in kg/h ist oft unbekannt. Man berechnet dann zunächst den Wärmestrom \dot{Q} in kJ/h.

Dieser Wärmebedarf je Zeiteinheit ist für einen Massenstrom \dot{m} mit der spezifischen Wärmekapazität c bei Erwärmung von t_1 auf t_2 Grad Celsius (c : s. Kap. 3 Stoffwerte).

$$\dot{Q} = \dot{m} c (t_2 - t_1)$$

Soll der Massenstrom \dot{m} auf Siedetemperatur t_s erwärmt und verdampft werden, dann muss die spezifische Verdampfungswärme r des aufzuheizenden Stoffes berücksichtigt werden.

$$\dot{Q} = \dot{m} c (t_s - t_1) + \dot{m} r$$

Der Kondensatstrom \dot{M} ergibt sich nun aus folgender Gleichung. Die Verdampfungswärme r ist den Wasserdampf Tafeln zu entnehmen.

$$\dot{M} = \dot{Q}/r$$

Bei überschlägigen Berechnungen setzt man die Verdampfungswärme des Wasserdampfes $r \approx 2100$ kJ/kg. Zusätzlicher Kondensatanfall aus Wärmeverlusten wird durch einen Korrekturfaktor x (z.B. 1,25) berücksichtigt.

$$\dot{M} = \frac{\dot{Q}}{r} \cdot x$$

Der Kondensatstrom \dot{M} kann auch aus der Heizfläche A und der Wärmedurchgangszahl k berechnet werden. In der folgenden Gleichung bedeuten T_D die Dampftemperatur, t_1 und t_2 die Temperaturen des aufzuheizenden Stoffes und r die spezifische Verdampfungswärme des Wasserdampfes.

$$\dot{M} = \frac{A \cdot k (t_D - \frac{t_1 + t_2}{2})}{r}$$

Das arithmetische Mittel der Temperaturen ist ausreichend genau bei

$$\frac{t_D - t_1}{t_D - t_2} \geq 0,5 \text{ oder } \leq 2$$

Die genaue mittlere Temperaturdifferenz ist

$$t_m = \frac{(t_D - t_1) - (t_D - t_2)}{\ln \frac{t_D - t_1}{t_D - t_2}}$$

1.3.4.2 Berechnung des Entspannungsampfes

Das in einem Wärmetauscher anfallende Kondensat hat die zum vorliegenden Druck gehörende Siedetemperatur. Im Wärmetauscher wird aber außer der Verdampfungswärme zwangsläufig auch ein Teil der Flüssigkeitswärme ausgenutzt und dadurch eine Temperaturabsenkung des Kondensates erreicht, die einige Grade betragen kann. Eine weitere, wenn auch geringfügige Temperaturabsenkung ergibt sich durch die Wärmeverluste in der zum Kondensatableiter führenden Rohrleitung.

Bei Überschlagsrechnungen sollte man jedoch davon ausgehen, dass das Kondensat den Kondensatableiter mit Siedetemperatur erreicht. Dann ist allein die dem Arbeitsdruck (Druck vor abzüglich Druck hinter dem Ableiter) entsprechende Enthalpiedifferenz (freiwerdende Flüssigkeitswärme) maßgebend dafür, wieviel Entspannungsampf je kg Kondensat entsteht (Abb. 10).

Für Berechnungen gilt:

$$\dot{M}_D = \dot{M} \frac{h'_1 - h'_2}{r_2}$$

\dot{M}_D	Entspannungsampfstrom	kg/h
\dot{M}	Kondensatstrom	kg/h
h'_1	Wärmeinhalt des Kondensates vor der Entspannung	kJ/kg
h'_2	Wärmeinhalt des Kondensates nach der Entspannung	kJ/kg
r_2	Verdampfungswärme	kJ/kg

1.3.4.3 Kondensatleitungsnennweiten

Für die Rohrleitung zwischen Wärmetauscher und Kondensatableiter wird normalerweise die Nennweite des Ableiters gewählt. Bei der weiterführenden Kondensatleitung ist die Nachverdampfung zu beachten.

Fällt das Kondensat mit großer Unterkühlung an und ist der Arbeitsdruck des Kondensatableiters entsprechend niedrig, dann entsteht wenig bis kein Entspannungsampf. Bei den üblichen Arbeitsdrücken und entsprechenden Enthalpiedifferenzen ist die Nachverdampfung unter Umständen sehr groß, der verbleibende Kondensatstrom dagegen vernachlässigbar klein. Allein der Entspannungsampf bestimmt dann den Leitungsquerschnitt.

Bestimmung gemäß Tabelle, Abb. 11.

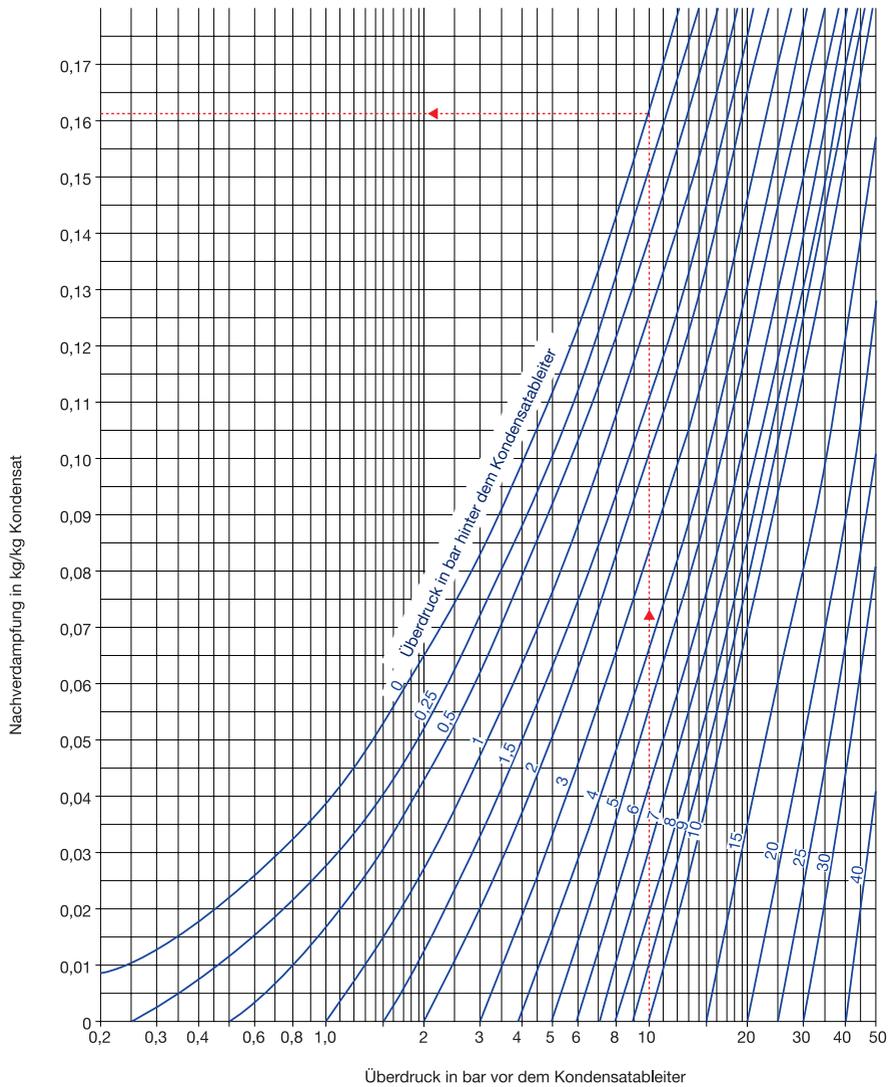


Abb. 10 Entspannungsdampfdiagramm,
 Nachverdampfung bei der Entspannung von Siedekondensat.

Beispiel: Überdruck vor dem Kondensatableiter 10 bar
 Überdruck hinter dem Kondensatableiter 0 bar
 Nachverdampfung 0,162 kg/kg
 entspricht 16,2%

Zustand des Kondensats vor Entspannung		Druck am Ende der Kondensatleitung (bar absolut)																					
Druck bar absolut	Siede- temperatur °C	0,2	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6	7	8	9	10	12	15	18	20
1,0	99	35,7	16,0	7,4																			
1,2	104	37,9	18,0	10,0	6,1																		
1,5	111	40,1	20,6	12,9	9,5	6,8																	
2,0	120	44,2	23,5	15,8	12,6	10,3	7,6																
2,5	127	46,8	25,5	17,7	14,5	12,3	9,2	5,3															
3,0	133	48,8	27,1	19,2	16,0	13,9	10,7	7,3	4,5														
3,5	138	50,4	28,4	20,4	17,1	15,0	11,9	8,5	6,0	3,8													
4,0	143	52,0	29,6	21,5	18,2	16,0	12,9	9,7	7,3	5,3	3,5												
4,5	147	53,3	30,5	22,3	19,0	16,9	13,7	10,5	8,1	6,3	4,7	3,0											
5	151	54,3	31,5	23,1	19,8	17,7	14,4	11,2	8,9	7,1	5,6	4,2	2,8										
6	155	55,7	32,3	23,9	20,5	18,4	15,2	11,9	9,6	7,9	6,5	5,1	4,0	2,7									
7	158	56,5	33,0	24,5	21,1	18,9	15,7	12,4	10,1	8,4	7,0	5,7	4,6	3,5	2,1								
8	170	59,9	35,5	26,7	23,1	20,9	17,6	14,2	11,9	10,2	8,9	7,7	6,7	5,8	4,8	4,0							
9	175	61,3	36,4	27,5	23,9	21,7	18,3	14,9	12,6	10,9	9,5	8,4	7,4	6,6	5,5	4,8	2,4						
10	179	62,3	37,2	28,2	24,6	22,3	18,9	15,5	13,1	11,4	10,0	8,9	7,9	7,1	6,0	5,3	3,3	2,1					
12	187	64,4	38,7	29,5	25,7	23,5	19,9	16,5	14,1	12,3	11,0	9,8	8,9	8,0	7,0	6,2	4,5	3,6	2,8				
15	197	66,9	40,5	31,0	27,2	24,8	21,5	17,7	15,2	13,4	12,0	10,8	9,9	9,1	8,0	7,2	5,6	4,8	4,2	2,9			
18	206	69,0	42,0	32,3	28,4	26,0	22,3	18,7	16,2	14,3	12,9	11,7	10,8	9,9	8,8	8,0	6,5	5,7	5,1	3,9	2,5		
20	211	70,2	42,9	33,0	29,0	26,6	22,9	19,2	16,7	14,8	13,4	12,2	11,2	10,4	9,2	8,4	7,0	6,2	5,6	4,4	3,1	1,7	
25	223	72,9	44,8	34,7	30,6	28,1	24,2	20,4	17,9	15,9	14,5	13,2	12,2	11,4	10,2	9,3	7,9	7,1	6,5	5,4	4,2	3,1	2,5
30	233	75,1	46,3	36,0	31,8	29,2	25,3	21,4	18,8	16,8	15,3	14,0	13,0	12,1	10,9	10,0	8,6	7,8	7,2	6,1	4,9	4,0	3,4
35	241	76,8	47,5	37,0	32,7	30,1	26,1	22,1	19,5	17,5	15,9	14,6	13,6	12,7	11,4	10,5	9,2	8,4	7,8	6,7	5,5	4,5	4,0
40	249	78,5	48,7	38,0	33,6	31,0	26,9	22,9	20,1	18,1	16,5	15,2	14,1	13,2	12,0	11,0	9,7	8,6	8,2	7,1	6,0	5,0	4,5
45	256	80,0	49,7	38,8	34,4	31,7	27,5	23,5	20,7	18,6	17,0	15,7	14,6	13,7	12,4	11,4	10,1	9,3	8,6	7,5	6,3	5,4	4,9
50	263	81,4	50,7	39,6	35,2	32,5	28,2	24,1	21,2	19,1	17,5	16,2	15,1	14,2	12,8	11,8	10,5	9,6	9,0	7,9	6,7	5,7	5,2

Zur Ermittlung des tatsächlichen Durchmessers (mm) müssen die angegebenen Werte mit folgenden Faktoren multipliziert werden:

kg/h	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1.000	1.500	2.000	3.000	5.000	8.000	10.000	15.000	20.000
Faktor	1,0	1,4	1,7	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,9	4,5	5,5	7,1	8,9	10,0	12,2	14,1

Abb. 11 Dimensionierung der Kondensatleitungen

Grundlagen für die Ermittlung der lichten (inneren) Rohrleitungsdurchmesser:

1. Es wird nur die Entspannungsdampfmenge berücksichtigt
2. Es wird mit 15 m/s Entspannungsdampfgeschwindigkeit gerechnet

1.4 Dehnung von Rohrleitungen

Rohrleitungen für heiße Durchflussmedien erfahren im Betrieb eine Längenänderung. Um unzulässige Kräfte an den Fixpunkten zu vermeiden, wird ein geeigneter Dehnungsausgleich vorgesehen. Für die Wärmeausdehnung zwischen zwei Rohrleitungspunkten ist der geradlinige Abstand der beiden Punkte maßgebend. Die Form des dazwischenliegenden Rohres hat keinen Einfluss.

$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta t$$

α = Dehnungskoeffizient

Dehnungsdiagramm für Rohrleitungen aus Flusstahl

Beispiel: Eine Rohrleitung von 45 m Länge erfährt eine Temperaturänderung von 265 K.
Nach Abb. 12 ergibt sich daraus eine Längenänderung – Dehnung – von 156 mm.

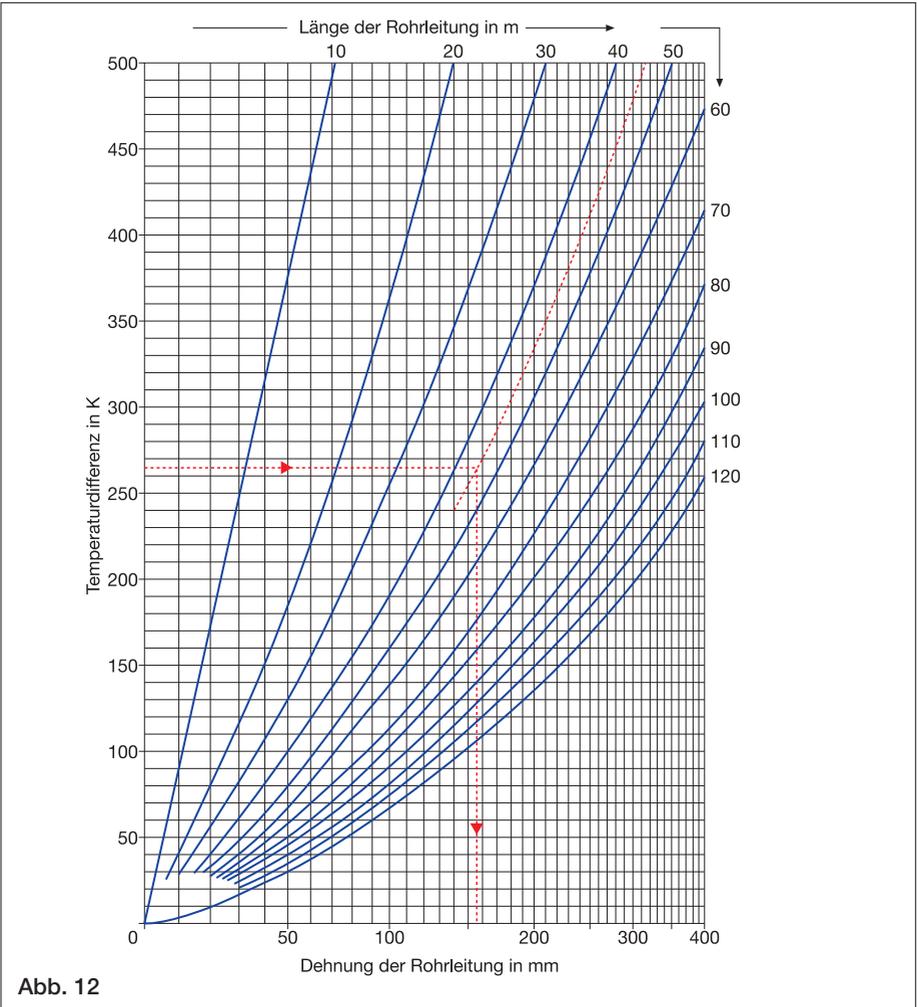


Abb. 12

Rohrschenkelausgleicher, Schenkellänge

Rohrschenkel- und U-Bogen-Ausgleicher werden aus dem Werkstoff der betreffenden Rohrleitung hergestellt. Eine Längenänderung der geraden Rohrstrecke bewirkt eine Ausbiegung des rechtwinklig zur Rohrleitung stehenden Rohrschenkels. Die Rohre werden bei der Montage um 50 % der zu erwartenden Dehnung vorgespannt. Abb. 13 gilt für Siederohre nach DIN EN 10220.

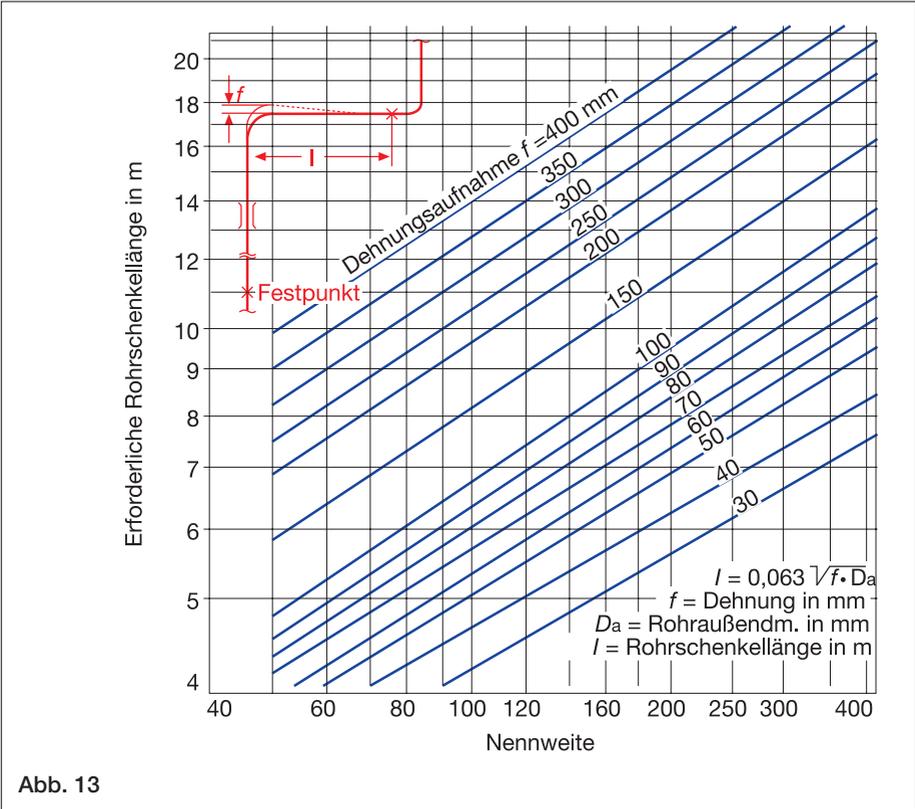


Abb. 13

Lyra-Bogen, Dehnungsaufnahme

Lyra-Bogen werden als glatte Rohre, Faltenrohre oder Wellrohre ausgeführt. Sie eignen sich für höchste Drücke und Temperaturen und bieten einen besonders betriebssicheren Dehnungsausgleich. Die Rohre werden bei der Montage um 50 % der zu erwartenden Dehnung vorgespannt. Abb. 14 gilt für eine Temperatur der Rohrleitung von $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

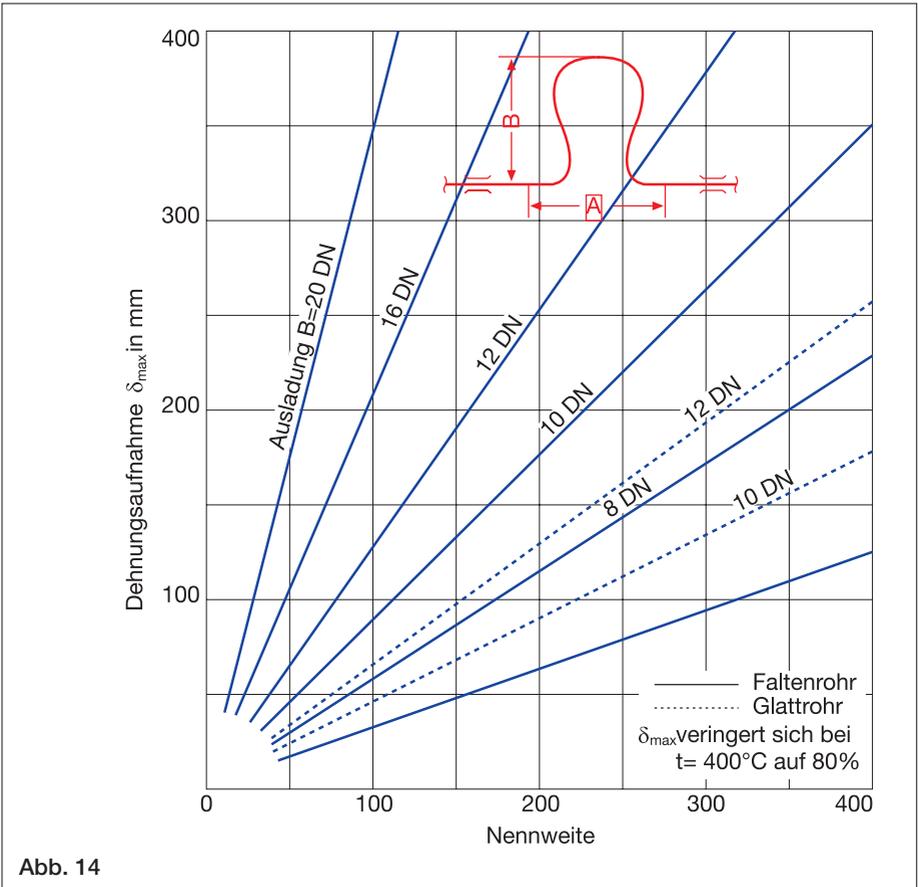


Abb. 14

1.5 Wärmeverlust isolierter Rohrleitungen

Wärmeverlust für 1 Meter Rohrlänge:

Im Inneren eines Gebäudes:

$$\dot{Q}_i = k_e \cdot f_d (t_M - t_U)$$

\dot{Q} Wärmeverlust W/m
 k_e Wärmedurchgangszahl für ebene Wände W/m² K

Im Freien:

$$\dot{Q}_f = k_e \cdot f_d \cdot f_w (t_M - t_U)$$

f_d Durchmesserfaktor für Korrektur von k_e m²/m
 t_M Temperatur des Mediums °C
 t_U Temperatur der Umgebung °C
 f_w Windfaktor

k_e , f_d und f_w erhält man aus den Diagrammen der Abb. 15 bei Kenntnis der Daten:

Dämmschichtdicke s
 Wärmeleitfähigkeit λ
 Außendurchmesser des Rohres d_a
 Wärmeleitfähigkeit λ siehe Kapitel Stoffwerte
 Richtwert: $\lambda = 0,058$ W/m K

Beispiel: Dämmschichtdicke $s = 40$ mm
 Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,058$ W/m K
 Außendurchmesser des Rohres $d_a = 48,3$ mm
 Temperatur des Mediums $t_M = 160$ °C
 Temperatur der Umgebung $t_U = 20$ °C
 Ablesung: $k_e = 1,25$ W/m² K
 $f_d = 0,27$ m²/m
 $f_w = 1,068$

Ergebnis: Im Inneren: $\dot{Q}_i = 1,25 \cdot 0,27 (160 - 20) = 47,3$ W/m
 Im Freien: $\dot{Q}_f = 1,25 \cdot 0,27 \cdot 1,068 (160 - 20) = 50,5$ W/m

Flansche und Rohraufhängungen bewirken zusätzlich Wärmeverluste. Gedämmte Flansche werden wie durchgehende Rohre erfasst, während gedämmte Flansche mit Flanschklappen durch einen Zuschlag von 1 m zur Rohrleitungslänge berücksichtigt werden. Rohraufhängungen erhöhen die Wärmeverluste in Innenräumen um ≈ 15 % und im Freien um ≈ 25 %.

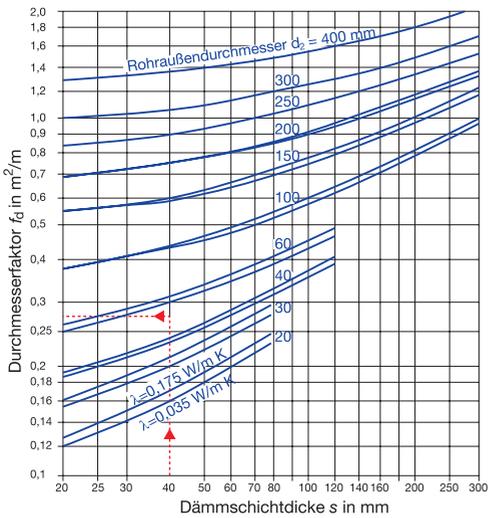
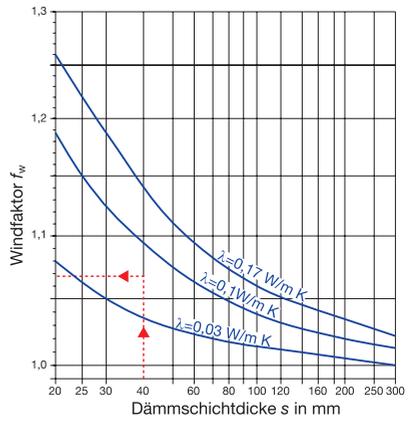
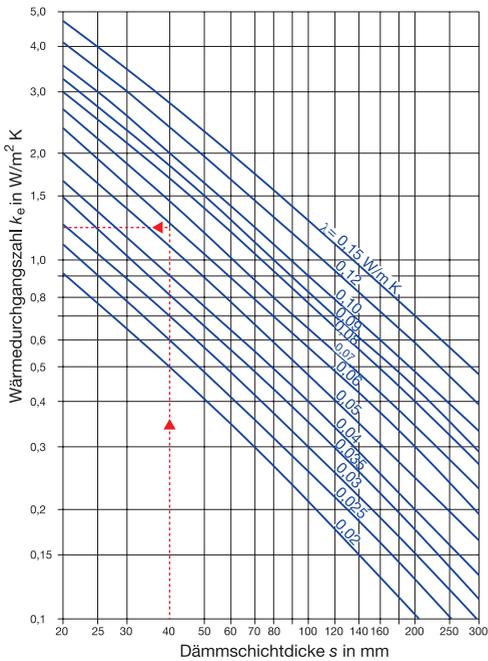


Abb. 15 Wärmehdurgangszahl k_e , Durchmesserfaktor f_d , Windfaktor f_w .

1.6 Temperaturabfall in Dampfleitungen

Temperaturabfall in Kelvin je Meter Rohrlänge:

$$\Delta t = \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m}}$$

Δt	Temperaturabfall	K/m
\dot{Q}	Wärmeverlust	W/m
c_p	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	Ws/kg K
\dot{m}	Dampf-Massenstrom	kg/s

Der Temperaturabfall Δt kann aus Abb. 16 ermittelt werden. Zuvor ist der Wärmeverlust nach Abb. 15 zu bestimmen.

Beispiel

Dampftemperatur	220 °C
Dampfdruck, absolut	10 bar
Dampf-Massenstrom	$30 \cdot 10^3 \text{ kg/h} = 8,33 \text{ kg/s}$
Wärmeverlust	50,5 W/m

Ergebnis aus Abb. 15: Temperaturabfall $\Delta t = 0,0028 \text{ K/m}$

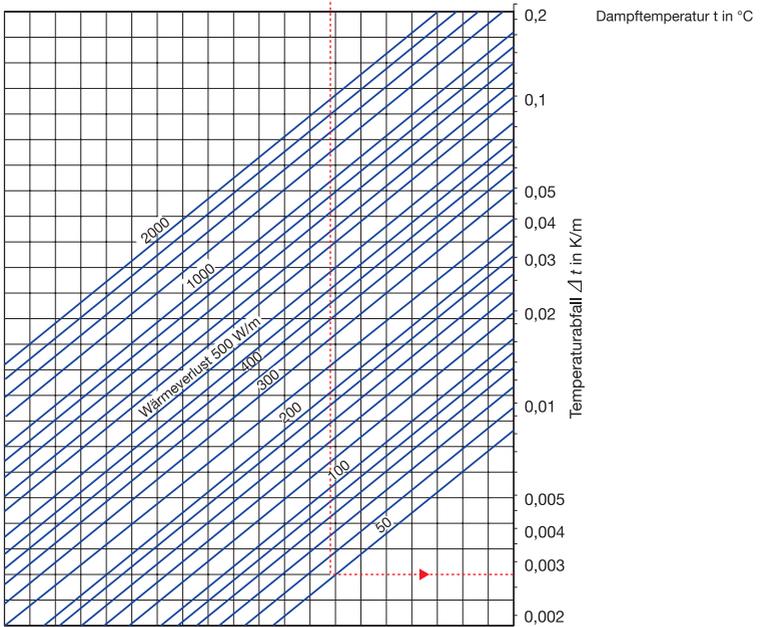
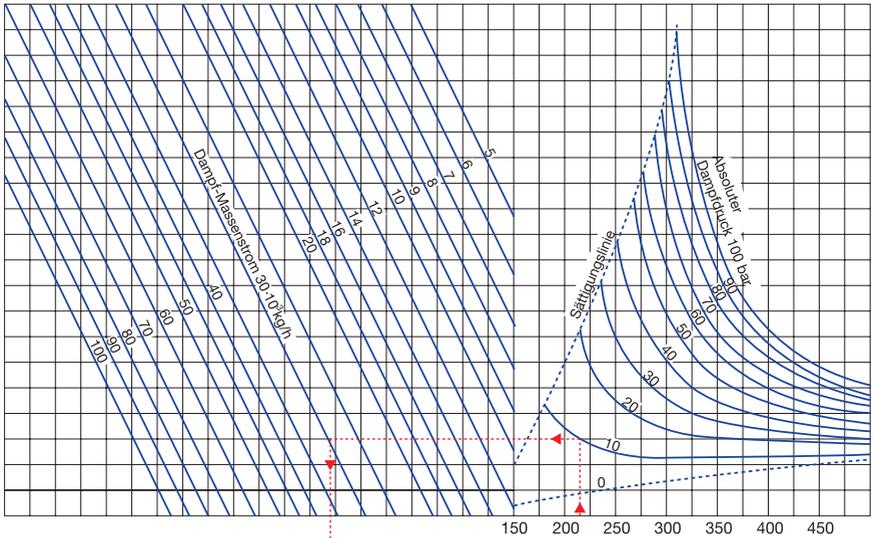


Abb. 16

1.7 Stützweiten, Wandabstände

Die Stützweite einer Rohrleitung ist von der Durchbiegung abhängig. Eine ausreichende Entleerung muss gewährleistet sein. Folglich wird mit der Durchbiegung auch das Mindestgefälle festgelegt. Die zulässige Durchbiegung ergibt sich aus den Betriebsbedingungen. Die Wandabstände bei an Gebäuden entlanggeführten Leitungen sind möglichst gering zu halten. Isolierung und Rohrflansche müssen zugänglich bleiben.

Nennweite	DN 25		DN 40		DN 50		DN 80		DN 100		DN 150	
Wandstärke des Rohres, s in mm	2,0	4,0	2,0	4,0	2,0	4,5	2,3	5,6	2,6	6,3	2,6	7,1
	zulässige Stützweiten, L1 in m											
leeres Rohr, nicht isoliert	2,9	2,9	3,5	3,5	4,5	4,4	5,5	5,4	6,3	6,2	7,6	7,5
wassergefülltes Rohr, nicht isoliert	2,7	2,8	3,1	3,3	3,9	4,1	4,6	5,0	5,1	5,6	5,8	6,6
wassergefülltes Rohr, isoliert DD 40	2,0	2,2	2,5	2,3	3,2	3,6	4,0	4,5	4,6	5,2	5,4	6,3
wassergefülltes Rohr, isoliert DD 80	1,8	2,0	2,8	3,2	2,9	3,3	3,7	4,3	4,4	5,0	5,2	6,1

Nennweite	DN 200		DN 250		DN 300		DN 350		DN 400		DN 500	
Wandstärke des Rohres, s in mm	2,9	7,1	2,9	7,1	2,9	8,0	3,2	8,8	3,2	10,0	4,0	11,0
	zulässige Stützweiten, L1 in m											
leeres Rohr, nicht isoliert	8,7	8,7	9,7	9,7	10,6	10,6	11,1	11,1	11,9	11,8	13,3	13,2
wassergefülltes Rohr, nicht isoliert	6,5	7,4	6,9	8,0	7,3	8,7	7,7	9,1	8,0	9,7	8,9	10,7
wassergefülltes Rohr, isoliert DD 40	6,1	7,1	6,6	7,7	7,0	8,4	7,4	8,8	7,7	9,5	8,7	10,5
wassergefülltes Rohr, isoliert DD 80	5,9	6,9	6,5	7,6	6,9	8,3	7,3	8,7	7,6	9,4	8,6	10,4

Abb. 17 Zulässige Stützweiten in m für Stahlrohre
nach AD 2000 - Merkblatt HP 100 R.

Nennweite	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200	DN250
Stützweite	100	110	125	140	150	165	185	215	225	260	300

Abb. 18 Stützweiten in cm für PVC-Rohre, Hart-PVC bis 20 °C.
Basiert auf Erfahrungswerten.

1.8 Wasserschläge

Jede Anlage sollte so gebaut werden, dass Wasserschläge vermieden werden. Andernfalls sind Einrichtungen zu verwenden, die Wasserschläge dämpfen. Es gibt zwei Arten von Wasserschlägen: Hydraulische Wasserschläge entstehen in Anlagen mit kalten Flüssigkeiten z.B. durch den Schnellschluss einer Leitung (zu schnelles Schließen einer Absperrarmatur). Thermische Wasserschläge treten in Dampf- und Kondensatanlagen bzw. in Heißwassernetzen auf. Sie werden von Dampfblasen verursacht, die durch Druckabsenkung oder mitgerissenen Dampf entstanden sind und in kältere, kondensatführende Anlagenteile gelangen. Dort kondensieren sie schlagartig; es kommt zur Implosion. Zu den Ursachen für Wasserschläge zählen u.a. fehlerhafte Geräte, unsachgemäße Bedienung und unzureichende Installation. Zweckmäßige Schaltungen siehe Kapitel Schaltbeispiele und GESTRA-Kondensatfibel.

2	Wärmeübertragung	
2.1	Grundlagen	37
2.1.1	Allgemeines	37
2.1.2	Wärmeleitung durch eine ebene Wand	37
2.1.3	Wärmeleitung durch eine Rohrwand	38
2.1.4	Wärmeübergang	38
2.1.5	Wärmedurchgang	39
2.1.6	Wärmestrahlung	39
2.2	Wärmetechnische Daten	40
2.2.1	Wärmeleitzahlen	40
2.2.2	Wärmeübergangszahlen	40
2.2.3	Wärmedurchgangszahlen	41

2 Wärmeübertragung

2.1 Grundlagen

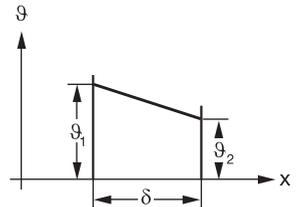
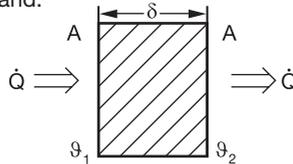
2.1.1 Allgemeines

Probleme der Wärmeübertragung lassen sich mit einfachen, durch Rechnung oder Versuch ermittelten Gleichungen darstellen, wenn man die zahlreichen Einflussgrößen zu Kenngrößen zusammenfasst. Eine Übersicht enthält DIN 1341, entsprechende Arbeitsblätter die einschlägige Fachliteratur.

Wärmeübertragung erfordert eine Temperaturdifferenz und erfolgt durch Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung. An jeder Grenzfläche zwischen verschiedenen temperierten Körpern ist eine Wärmeübertragung in den angegebenen drei Formen möglich.

2.1.2 Wärmeleitung durch eine ebene Wand

Der lineare Temperaturverlauf gilt für den stationären Zustand.



Das Fourier'sche Gesetz besagt:

$$\dot{Q} = -A \lambda \frac{d\vartheta}{dx}$$

Bei linearem Temperaturverlauf, also

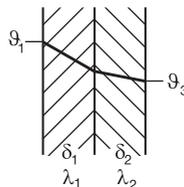
$$\frac{d\vartheta}{dx} = \frac{(\vartheta_1 - \vartheta_2)}{\delta} \quad \text{wird}$$

$$\dot{Q} = A \frac{\lambda}{\delta} (\vartheta_1 - \vartheta_2)$$

Diese Gleichung gilt für die Wärmeleitung in ebenen Wänden und hinreichend genau für dünnwandige Rohre.

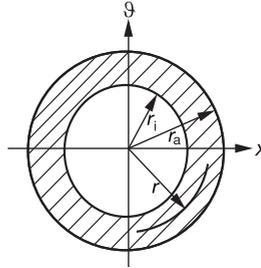
Für die Wärmeleitung mehrschichtiger Wände gilt:

$$\dot{Q} = \frac{A (\vartheta_1 - \vartheta_{n+1})}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}}$$



2.1.3 Wärmeleitung durch eine Rohrwand

$$\dot{Q} = -A \lambda \frac{d\vartheta}{dx}$$



Für die einfache Rohrwand wird mit

$$A = 2 \pi r l \text{ und } x = r$$

$$\dot{Q} = -2 \pi r l \lambda \frac{d\vartheta}{dr}$$

$$d\vartheta = -\frac{\dot{Q}}{2 \pi l \lambda} \cdot \frac{dr}{r}$$

Mit $r_i \rightarrow \vartheta = \vartheta_i$ und $r_a \rightarrow \vartheta = \vartheta_a$ wird

$$\vartheta_i - \vartheta_a = \frac{\dot{Q}}{2 \pi l \lambda} \cdot \ln \frac{r_a}{r_i}$$

$$\dot{Q} = 2 \pi l \lambda \frac{\vartheta_i - \vartheta_a}{\ln \frac{r_a}{r_i}}$$

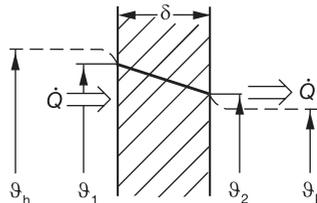
Für mehrschichtige Rohrwände gilt:

$$\dot{Q} = 2 \pi l \frac{\vartheta_i - \vartheta_{n+1}}{\frac{1}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \cdot \ln \frac{r_3}{r_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \cdot \ln \frac{r_{n+1}}{r_n}}$$

2.1.4 Wärmeübergang

Der Wärmeübergang von strömenden Heizgasen oder Flüssigkeiten auf eine Wand erfolgt durch Wärmeleitung und Konvektion. Er wird durch die Strömungsverhältnisse beeinflusst. Mit der Wärmeübergangszahl α werden alle rechnerisch nicht erfassbaren Werte berücksichtigt. Die Wärmeaustauschmenge zwischen der Wand und dem heißen strömenden Medium ergibt sich zu

$$\dot{Q} = A \alpha (\vartheta_h - \vartheta_1)$$



2.1.5 Wärmedurchgang

Bei der technischen Anwendung der Wärmeübertragung in Wärmetauschern, Vorwärmern, Kondensatoren usw. spricht man von Wärmedurchgang und meint damit die Zusammenfassung folgender Vorgänge:

Wärmeübertragung vom strömenden Medium an die Rohrwand

$$\dot{Q} = A \cdot \alpha_1 (\vartheta_h - \vartheta_1)$$

Wärmeleitung in der Rohrwand (dünnwandige Rohre, siehe Kap. 2.1.2)

$$\dot{Q} = A \cdot \frac{\lambda}{\delta} (\vartheta_1 - \vartheta_2)$$

Wärmübergang von der Rohrwand auf das andere strömende Medium

$$\dot{Q} = A \cdot \alpha_2 (\vartheta_2 - \vartheta_k)$$

Bei gleichförmiger Wärmeströmung (stationärer Zustand) ist $\dot{Q} = \text{konstant}$. Eine Addition der drei Gleichungen ergibt:

$$(\vartheta_h - \vartheta_k) = \frac{\dot{Q}}{A} \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$$

Dabei ist
$$\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{k}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Mit dieser Wärmedurchgangszahl k ergibt sich die Gleichung für den Wärmedurchgang zu

$$\dot{Q} = A \cdot k (\vartheta_h - \vartheta_1)$$

 k -Werte s. Abb. 21 – 23

Für eine aus mehreren Schichten bestehenden Trennwand ist die Wärmedurchgangszahl

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}}$$

2.1.6 Wärmestrahlung

Für die Wärmeübertragung durch Strahlung gilt das Gesetz von Stefan und Boltzmann:

$$\dot{Q}_s = C \cdot A_s \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

C Strahlungszahl in $\text{W/m}^2 \text{K}^4$
 A_s Strahlungsheizfläche in m^2
 T_1 absolute Temperatur der strahlenden Fläche in K
 T_2 absolute Temperatur der angestrahlten Fläche in K

Die Wärmestrahlung wird in vielen praktischen Fällen außer Ansatz gelassen. Man beschränkt sich auf die Berechnung der Wärmeübertragung durch Berührung (Wärmedurchgang).

2.2 Wärmetechnische Daten

2.2.1 Wärmeleitzahlen

Die Wärmeleitzahl λ ist ein von verschiedenen Faktoren, wie Temperatur, Druck, Feuchtigkeit, Gefügebau usw., abhängiger Stoffwert mit der Einheit W/m K bzw. J/m s K. Der λ -Wert gibt hier an, welcher Wärmestrom in W bzw. J/s durch eine 1 m dicke Stoffschicht hindurchströmt, wenn die 1 m² großen Flächen einen Temperaturunterschied von 1 K aufweisen. Schwankungsbereich der λ -Werte einiger Stoffe siehe Abb. 19. Einzelangaben enthält das Kapitel Stoffwerte. Faktoren für die Umrechnung in andere Einheiten siehe Kapitel „Einheiten, Formelzeichen, Umrechnungstabellen“.

Flüssigkeiten	$\lambda = 0,12 \dots 0,58$	W/m K
Luft	$\lambda = 0,02$	W/m K
Gase	$\lambda = 0,01 \dots 0,23$	W/m K
Dämmstoffe	$\lambda = 0,03 \dots 0,12$	W/m K
Legierungen	$\lambda = 12 \dots 145$	W/m K
Reinmetalle	$\lambda = 7 \dots 419$	W/m K

Abb. 19

2.2.2 Wärmeübergangszahlen

Die Wärmeübergangszahl α ist u.a. eine Funktion der Strömungsgeschwindigkeit w , also auch der Reynoldsschen Zahl Re . Sie wird durch Versuche bestimmt, aus Tabellen entnommen oder mit Hilfe von Kennzahlen berechnet.

Siedendes Wasser bei vertikalen Wandungen	$\alpha = 3489$	W/m ² K
Siedendes Wasser bei horizontalen Wandungen	$\alpha = 1745$	W/m ² K
Rauchgas	$\alpha = 4,7 \cdot w^{0,8}$	W/m ² K
Überhitzter Dampf	$\alpha = 52 \cdot w^{0,8}$	W/m ² K
Hochverdichtete Luft bei Zwischenkühlern	$\alpha = 233 \cdot w^{0,8}$	W/m ² K
Luft in Luftvorwärmern	$\alpha = 5,8 \cdot w^{0,8}$	W/m ² K
Kondensierender Wasserdampf	$\alpha = 11630$	W/m ² K
Strömendes Wasser in Vorwärmern, Kühlern usw.	$\alpha = 3489 \cdot w^{0,8}$	W/m ² K

Abb. 20 Mittelwerte für Überschlagsrechnungen
 w = Strömungsgeschwindigkeit in m/s

2.2.3 Wärmedurchgangszahlen

Die den Wärmedurchgang bestimmenden Größen sind der k -Wert (siehe Kap. 2.1.5), die Anordnung der Rohre und die Strömungsrichtung (Gleichstrom, Gegenstrom, Kreuzstrom). Nachstehende k -Werte sind Anhaltswerte für überschlägige Berechnungen.

heizendes Medium	Wandung	aufzuheizendes Medium	Wärmedurchgangszahl k W/m ² K
Wasser	Gusseisen	Luft (Rauch)	8
Wasser	Schmiedeeisen	Luft (Rauch)	12
Wasser	Kupfer	Luft (Rauch)	13
Wasser	Gusseisen	Wasser	291
Wasser	Schmiedeeisen	Wasser	349
Wasser	Kupfer	Wasser	407
Luft	Gusseisen	Luft	6
Luft	Schmiedeeisen	Luft	8
Luft	Kupfer	Luft	10
Dampf	Gusseisen	Luft	12
Dampf	Schmiedeeisen	Luft	14
Dampf	Kupfer	Luft	16
Dampf	Gusseisen	Wasser	907
Dampf	Schmiedeeisen	Wasser	1047
Dampf	Kupfer	Wasser	1163

Abb. 21 Anhaltswerte zur Berechnung von Heizschlangen, Vorwärmern...

Sattdampfdruck (absolut) bar	Tauchverdampfer		
	k-Werte in W/m ² K		
	min.	mittel	max.
2	1047	1454	1919
4	1861	2384	3140
6	2500	2908	3722
8	2733	3198	4129
10	2791	3315	4303

Umlaufverdampfer			
	min.	mittel	max.
2	2326	2733	3489
4	3489	3954	4594
6	4129	4536	5175
8	4594	4943	5466
10	4826	5234	5815

Abb. 22 Wärmedurchgangszahlen an Verdampfern und Dampfumformern
k-Werte in Abhängigkeit von Sattdampfdruck! Die Mittelwerte sind aus einer größeren Zahl von Untersuchungen als Durchschnittswerte angefallen, während die Minimal- und Maximalwerte den Schwankungsbereich der gemessenen Apparaturen darstellen.

Bauart	Medium in den Rohren	Medium außerhalb der Rohre	<i>k</i> -Wert W/m ² K
Röhrenvorwärmer Röhrenaustauscher	kaltes Wasser Wasser	kond. Wasserdampf Wasser	814 bis 1047 291 bis 349
Röhrenkondensatoren Röhrennachkühler Röhrenaustauscher Röhrenaustauscher Kastenkühler	Wasser flüss. Benzin Erdöl oder Teer Erdöl oder Teer Öldestillat	kond. Benzindampf Wasser oder Benzin kond. Benzindampf Erdöl oder Teer Wasser	233 bis 582 145 bis 291 87 bis 291 58 bis 174 58 bis 116
Konvektionsofen Destillierblase Röhrenkühler Röhrenkühler Röhrenerhitzer	Erdöl oder Teer Erdöl oder Teer Spaltgase Wasser Luft und Gase	Rauchgase Rauchgase Wasser Luft und Gase Rauchgase	23 bis 41 17 bis 23 17 bis 29 8 bis 14 6 bis 12

Abb. 23 Wärmedurchgangszahlen, Erfahrungswerte der Ölindustrie
Mittelwerte bei üblichen Strömungsgeschwindigkeiten und guter Wartung der Apparate im Dauerbetrieb. Die unterschiedliche Sauberkeit der Heiz- oder Kühlflächen, konstruktive Besonderheiten oder anormale Strömungsgeschwindigkeiten können zu erheblich abweichenden Ergebnissen führen.

3	Stoffwerte	
3.1	Dichteangaben	45
3.1.1	Allgemeines	45
3.1.2	Dichte $\rho(t)$ verschiedener Flüssigkeiten	47
3.1.3	Dichte wässriger Lösungen als Funktion der Konzentration	48
3.1.4	Dichte und spezifisches Volumen der Gase	49
3.2	Viskosität	50
3.2.1	Viskosität der Flüssigkeiten	50
3.2.2	Viskosität der Gase und des Wasserdampfes	54
3.3	Verschiedene Stoffwerte	56
3.3.1	Feste und flüssige Stoffe $\rho, t_o, t_s, \lambda, c$	56
3.3.2	Gase und Dämpfe	60
3.3.3	Kältemittel	62
3.3.4	Wärmeleitfähigkeit $\lambda(t)$ für Metalle	64
3.3.5	Wärmeleitfähigkeit $\lambda(t)$ für Isolierstoffe	65
3.4	Feuchtigkeitsgehalt der Luft	66
3.5	Dampfdruckkurven wichtiger Stoffe	67
3.6	Wasserdampf tafeln	69
3.6.1	Drucktafel für den Sättigungszustand	69
3.6.2	Spezifische Enthalpie von überhitztem Wasserdampf	72
3.6.3	Spezifisches Volumen von überhitztem Wasserdampf	74
3.6.4	h,s-Diagramm für Wasserdampf nach Mollier	76

Die angegebenen Stoffwerte sind zum Teil Mittelwerte aus verschiedenen Quellen.
Alle Angabe erfolgen nach bestem Wissen.

3 Stoffwerte

3.1 Dichteangaben

3.1.1 Allgemeines

Die Wichte γ mit den Einheiten der früheren Systeme wurde zum Beispiel bei statischen Berechnungen verwendet. Im Internationalen Einheitensystem wird generell die Dichte ρ benutzt.

Die Fallbeschleunigung g kommt also in Gleichungen nur dann noch vor, wenn wirklich ein Einfluss der Erdanziehungskraft vorliegt.

Abb. 24 bringt einen Vergleich von Dichte und Wichte für Wasser bei 4 °C und 1013 mbar. Dabei gelten folgende Beziehungen:

$\rho = m/V$
$\gamma = G/V$
$\gamma = \rho \cdot g_n$
$1 \text{ kp} = 1 \text{ kg} \cdot g_n$

ρ	Dichte
γ	Wichte (spezifisches Gewicht)
m	Masse
G	Gewichtskraft
V	Volumen
g_n	Normwert der Fallbeschleunigung ($g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$)

Einheitensystem	Dichte ρ	Wichte γ
m-kp-s	$102 \frac{\text{kp s}^2}{\text{m}^4}$	$1000 \frac{\text{kp}}{\text{m}^3}$
m-kg-s-(kp)*	$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$1000 \frac{\text{kp}}{\text{m}^3}$
Internationales Einheitensystem m-kg-s-A-K-mol-cd	$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$

Abb. 24

* Früher von der Technik bevorzugt verwendetes „Übergangssystem“ im Kilopond als Kräfteinheit anstelle von Newton (N) und Kilogramm als Masseneinheit.

Man sieht aus Abb. 24 und der Beziehung $\gamma = \rho \cdot g_n$, dass sich beim Übergang von der Wichte auf die Dichte im m-kp-s-System durch den Faktor g_n sowohl der Zahlenwert als auch die Einheit ändern. Die Masse ist in diesem System eine hergeleitete Größe. Dagegen ändert sich im m-kg-s-(kp)-System wegen $1 \text{ kp} = 1 \text{ kg} \cdot g_n$ nur die Einheit. **Der Zahlenwert – im Beispiel Abb. 24 gleich 1000 – bleibt bei Dichte und Wichte für jeden Stoff gleich groß.** Im Internationalen Einheitensystem wird – wie erwähnt – nur mit der Dichte ρ gearbeitet und für den Sonderfall der lotrecht wirkenden Gewichtskraft der Faktor g_n zusätzlich eingeführt, ohne das Produkt $\rho \cdot g$ gesondert zu berechnen.

Die Dichte kann mit Aräometern einfach und schnell ermittelt werden. In Abb. 25 stehen die Umrechnungsformeln für verschiedene Aräometerskalen.

Skala	Bezugs-temperatur	Dichte ρ kg/l	Bemerkung
Baumé (rationelle Skala)	15 °C	$\rho = \frac{144,3}{144,3 - n}$	Die Aräometergrade n sind für Flüssigkeiten leichter als Wasser mit negativen Vorzeichen in die Formel einzusetzen.
Brix-Fischer	15,625 °C	$\rho = \frac{400}{400 - n}$	
A.P.I. (American Petroleum Institute)	60 °F	$\rho = \frac{141,5}{131,5 + n}$	Für Flüssigkeiten leichter als Wasser
Twaddell	15,56 °C	$\rho = \frac{200 + n}{200}$	Für Flüssigkeiten schwerer als Wasser

Abb. 25 Umrechnungsformeln für verschiedene Aräometerskalen

Die Dichte wurde früher oft in Baumé-Graden angegeben. Grad Baumé (°Bé) ist keine Einheit. Baumé erhielt mit der Eintauchtiefe seines Aräometers in reinem Wasser und einer wässrigen Salzlösung zwei Fixpunkte, zwischen denen er linear interpolierte. Die Zahlenwerte der Fixpunkte wurden unterschiedlich gewählt, je nachdem, ob das Aräometer für Flüssigkeiten schwerer oder leichter als Wasser verwendet werden soll.

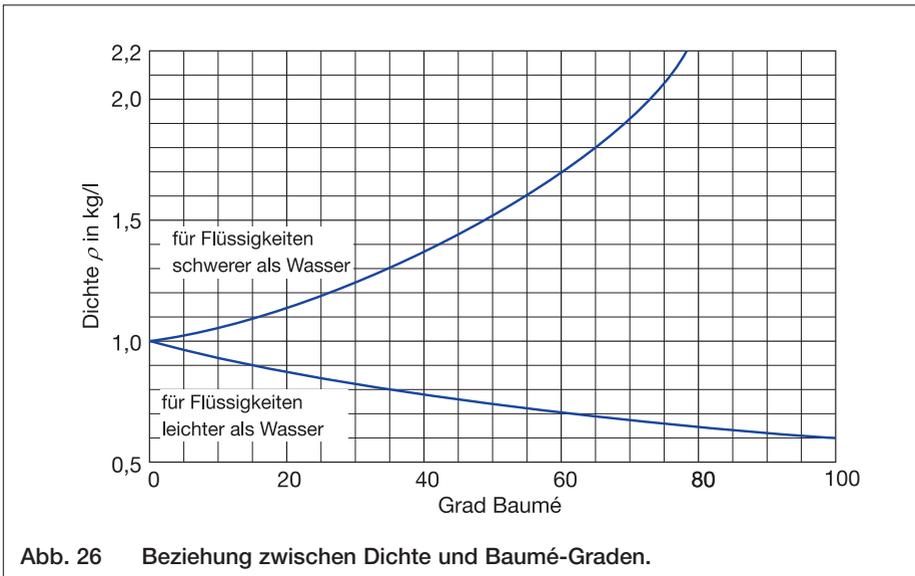


Abb. 26 Beziehung zwischen Dichte und Baumé-Graden.

3.1.2 Dichte $\rho(t)$ verschiedener Flüssigkeiten

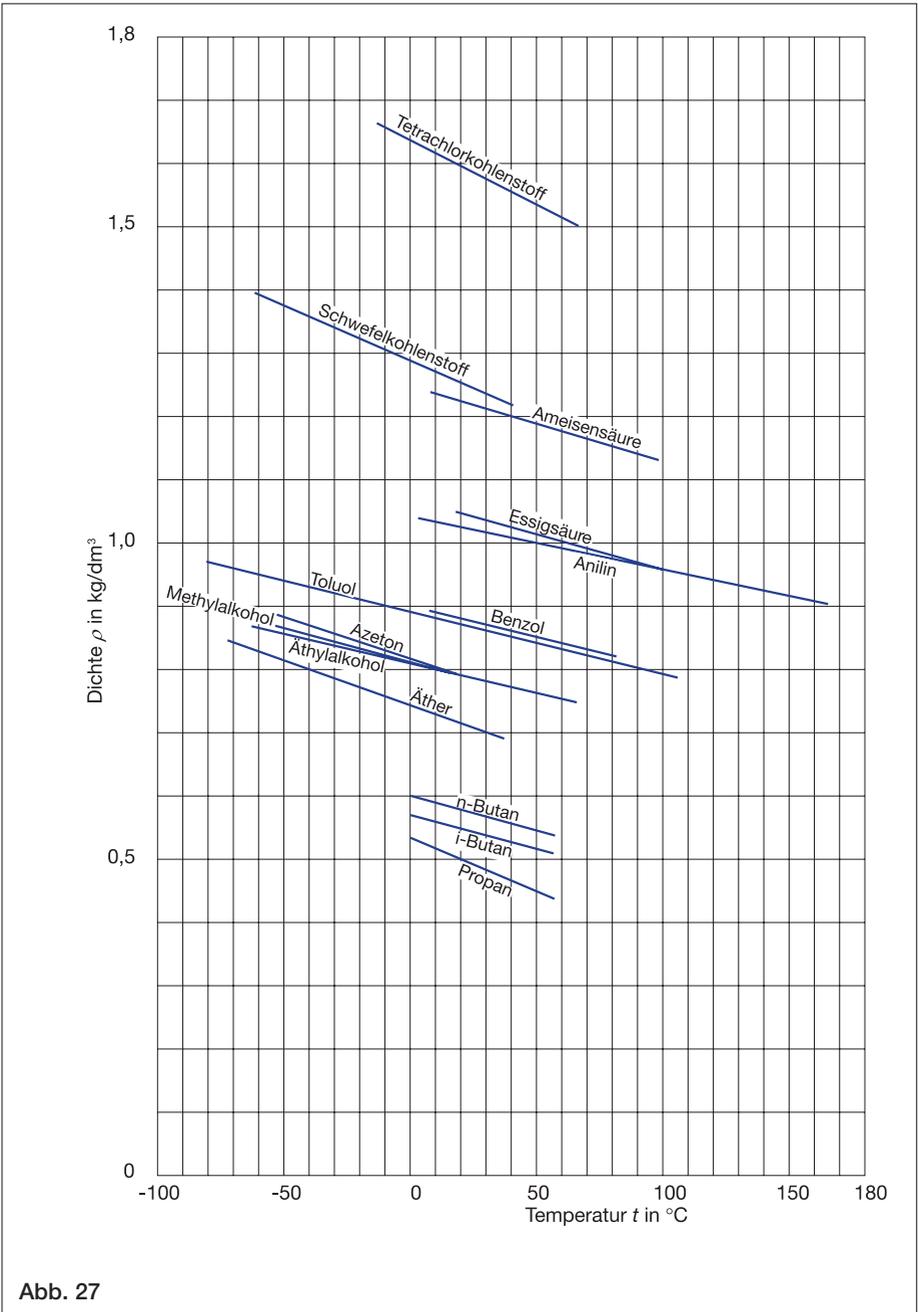
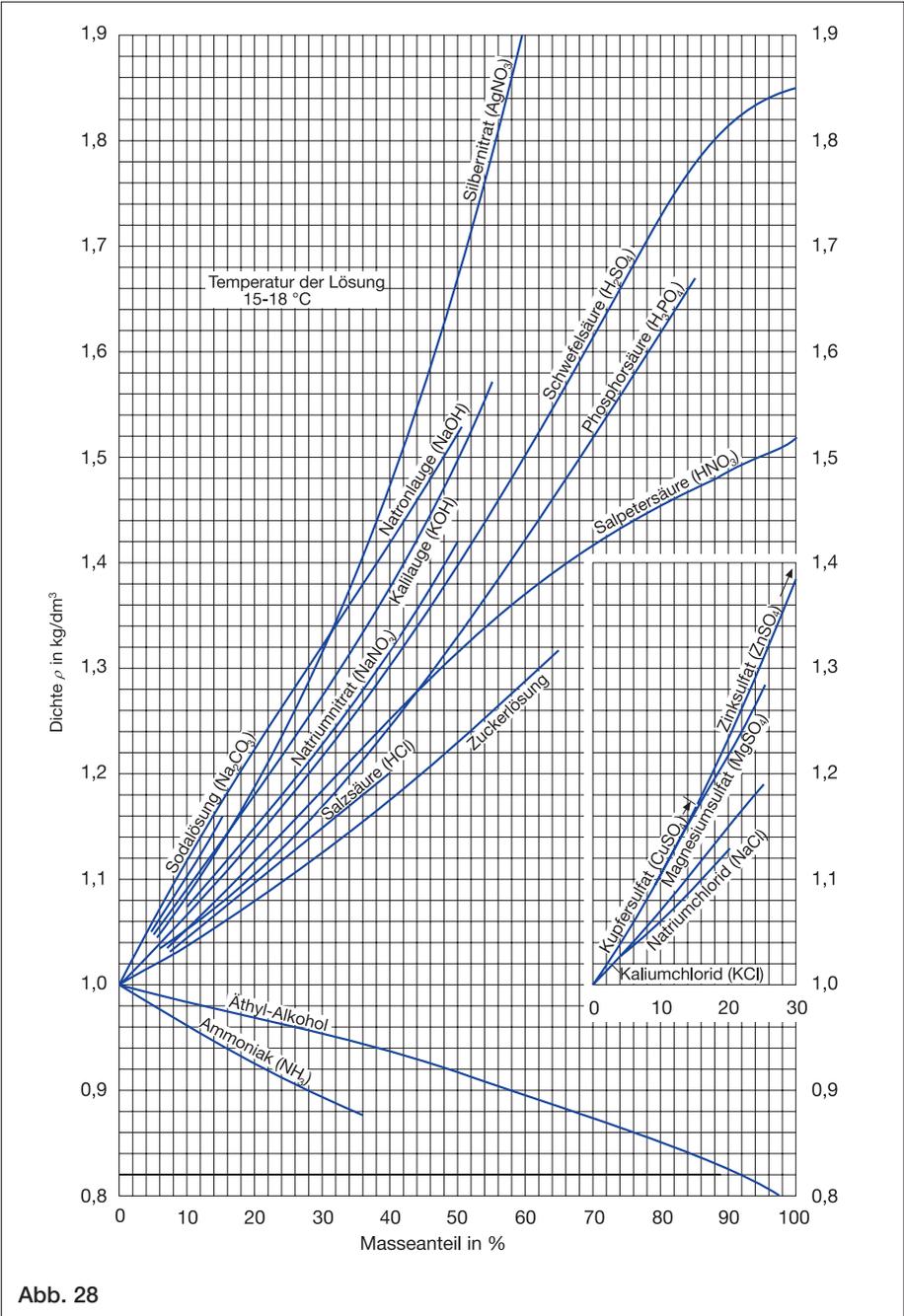


Abb. 27

3.1.3 Dichte wässriger Lösungen als Funktion der Konzentration



3.1.4 Dichte und spezifisches Volumen der Gase

Im internationalen Einheitensystem ist das spezifische Volumen der Kehrwert der Dichte.

$$v = 1/\rho \text{ in m}^3/\text{kg}$$

$$\rho = m/V \quad V = v \cdot m$$

Für reale Gase im Bereich des Normzustandes kann die allgemeine Zustandsgleichung der idealen Gase verwendet werden. Zu beachten ist, dass bei höheren Drücken oder in der Nähe des Taupunktes eine Korrektur erfolgen muss. Mit dem Kompressibilitätsfaktor K wird dann das Verhalten der realen Gase auf das der idealen zurückgeführt. ($\rho \cdot v = K \cdot R_i \cdot T$).

$$\frac{\rho_1 \cdot v_1}{T_1} = \frac{\rho_2 \cdot v_2}{T_2} = \text{konstant} = R_i$$

$$v = \frac{R_i \cdot T}{\rho} \quad \rho = \frac{1}{v} = \frac{\rho}{R_i \cdot T}$$

Zahlenwerte der Dichte – z.B. in Abb. 29 - beziehen sich meist auf den Normzustand Null °C und 1013,25 mbar. Bei der Berechnung der Dichte für einen anderen Zustand benutzt man in der Praxis oft die folgenden Zahlenwertgleichung. Sie wird aus der allgemeinen Zustandsgleichung hergeleitet; daher gelten die Einschränkungen bezüglich Druck und Taupunkt der Gase.

$$\rho = \frac{270 \rho}{T} \cdot \rho_0$$

- ρ kg/m³ Dichte im Betriebszustand
- ρ_0 kg/m³ Normdichte
- p bar absol. Druck
- T K Temperatur ($T = 273 + t$)

Luft			
(0,78 N ₂ + 0,21 O ₂ + ...)	1,293	Äthan C ₂ H ₆	1,356
Sauerstoff O ₂	1,429	Propylen C ₃ H ₂	1,915
Stickstoff N ₂	1,251	C _m H _n *	1,392
Kohlenoxid CO	1,250	Koksofen- und Ferngas	0,50
Kohlendioxid CO ₂	1,977	Generatorgas	1,15
Wasserstoff H ₂	0,090	Gichtgas	1,27
Methan CH ₄	0,717	Wassergas	0,69
Acetylen C ₂ H ₂	1,171	Ammoniak NH ₃	0,77
Äthylen C ₂ H ₄	1,261	Schwefeldioxid SO ₂	2,92

Abb. 29 Normdichte ρ_0 verschiedener Gase in kg/m³
 * Zusammensetzung in Raumteilen: 0,80 C₂H₄ + 0,20 C₃H₆

Für ein Gemisch aus verschiedenen Gasen gilt folgende Beziehung:

$$\rho_0 \text{ Gemisch} = \frac{n_1 \cdot \rho_{01} + n_2 \cdot \rho_{02} + \dots}{n_1 + n_2 + \dots}$$

- ρ_{01}, ρ_{02} Dichte der Einzelgase
- n_1, n_2 Raumteile der Einzelgase

3.2 Viskosität

3.2.1 Viskosität der Flüssigkeiten

Die Viskosität beeinflusst den Ablauf der Strömungsvorgänge und damit den Druckabfall in strömenden Medien. Viskosität ist die Eigenschaft eines flüssigen oder gasförmigen Stoffes, durch Schubverformung eine vom Geschwindigkeitsgefälle abhängige Schubspannung aufzunehmen. Neben den einen Bewegungsvorgang hemmenden inneren Reibungskräften sind in der Strömung aber auch Massenbeharrungskräfte wirksam. Deshalb gibt es zwei Arten der Viskositätsangaben:

Dynamische Viskosität η

Maß für die innere Reibung infolge gegenseitiger Verschiebung benachbarter Moleküle, nach dem Newtonschen Reibungsgesetz definiert, mit der abgeleiteten SI-Einheit Pascalsekunde (Pa · s)

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \frac{\text{N s}}{\text{m}^2}$$

Kinematische Viskosität ν

Maß für die gleichzeitige Wirkung von Reibungs- und Massenbeharrungskräften, definiert als der Quotient aus dynamischer Viskosität und Dichte ($\nu = \eta/\rho$ $\rho = \gamma/g$), mit der Einheit

$$\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Neben diesen gesetzlichen Einheiten findet man gelegentlich noch die physikalischen Einheiten nach dem cm-g-s-System und konventionelle Maße der verwendeten Viskositäts-Messeinrichtungen, z.B.:

Physikalische Einheiten

$$\frac{\text{dyn s}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ Poise (1 P)} = 100 \text{ Centipoise (100 cP)} \text{ für } \eta$$

$$\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} = 1 \text{ Stokes (1 St)} = 100 \text{ Centistokes (100 cSt)} \text{ für } \nu$$

Konventionelle Maße

Deutschland:	Engler-Grade	°E
England:	Redwood-Sekunden	Sekunde
USA:	Saybolt-Sekunden	SUS oder SSU

Redwood- und Saybolt-Skalen nennen die Auslaufzeit der Messflüssigkeit aus bestimmten Gefäßen in Sekunden. Engler-Grade bezeichnen das Verhältnis der Auslaufzeit von 200 cm³ Flüssigkeit gegenüber 200 cm³ destilliertem Wasser von 20 °C.

Einige Einheitgleichungen

$$\text{für } \eta: 1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \frac{\text{N s}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m s}} = 10 \frac{\text{g}}{\text{cm s}} = 10 \text{ P}$$

$$1 \frac{\text{kp s}}{\text{m}^2} = 9,81 \frac{\text{N s}}{\text{m}^2} = 98,1 \frac{\text{dyn s}}{\text{cm}^2} = 98,1 \text{ P}$$

$$1 \frac{\text{dyn s}}{\text{cm}^2} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm s}} = 1 \text{ P}$$

$$\text{für } \nu: 1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 10^4 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} = 10^4 \text{ St} = 10^6 \text{ cSt} = 10^6 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Die Umrechnung konventioneller Maße – z.B. in mm^2/s (= cSt) – ist ungenau. Die Umrechnung physikalischer Messwerte in konventionelle Maße ist mit Hilfe von Umrechnungstabellen möglich. Abb. 30 nennt für verschiedene Werte von ν in mm^2/s die entsprechenden Werte der konventionellen Skalen.

Reines Wasser von 20 °C hat die dynamische Viskosität $\eta = 1002 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ und die kinematische Viskosität $\nu = 1,0038 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Kinematische Viskosität ν mm^2/s	Relative Auslaufzeit $\frac{E_t}{E}$ °E	Equivalent Redwood No. I Viscosity (70 °F) Sekunde	Equivalent Saybolt Viscosity (100 °F) Sekunde (SUS)
2,0	1,119	–	32,6
3,0	1,217	–	36,0
4,0	1,307	35	39,2
5,0	1,394	38	42,4
6,0	1,480	41	45,6
7,0	1,566	43	48,8
8,0	1,653	46	52,1
9,0	1,742	49	55,4
10	1,843	52	58,8
12	2,022	58	66,0
14	2,222	65	73,5
16	2,432	71	81,4
18	2,650	78	89,5
20	2,876	85	97,8
22	3,11	93	106,3
24	3,35	100	115,0
26	3,59	108	123,7
28	3,83	116	132,6
30	4,08	123	141,5
35	4,71	143	164,0
40	5,35	164	186,8
45	6,00	184	210
50	6,65	204	233
55	7,30	224	256
60	7,95	244	279
100	13,20	406	463

Abb. 30 Umrechnungstabelle für Viskositätsangaben

Beim Engler-Gerät wird der Einfluss der Temperatur auf die Umrechnung nicht berücksichtigt. Für das Saybolt-Gerät werden bei 210 °F um 1% höhere Auslaufzeiten als bei 100 °F angegeben, beim Redwood Nr. I-Gerät bei 200 °F um 2 bis 3% höhere Auslaufzeiten als bei 70 °F.

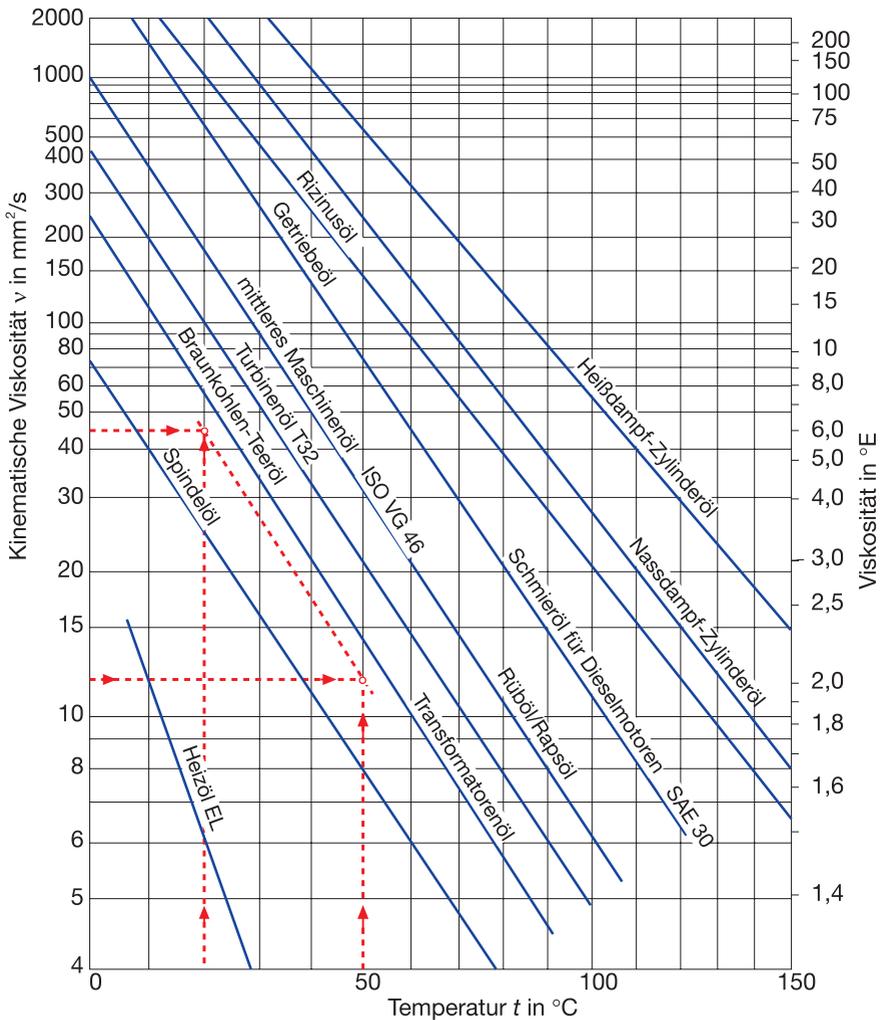


Abb. 31 Abhängigkeit der Viskosität von der Temperatur.

Flüssigkeit	10 °C	30 °C	50 °C	70 °C	90 °C
Aceton	0,45	0,37	0,31		
Äthylalkohol	1,85	1,27	0,90		
Benzol	0,87	0,64	0,50		
Glycerin bei 20° C: 11,9	–	4,9	–		
Phenol bei 20° C: 10,9	–	6,5	3,2		
Pyridin	1,14	0,85	–		
Schwefelkohlenstoff	0,31	0,27	–		
Tetrachlorkohlenstoff	0,71	0,53	0,41		
Tetralin bei 20°: 2,06	–	–	1,34		
Toluol	0,77	0,60	0,49		
Xylol (Mittelwerte)	0,91	0,70	0,56		
Rohöle (Anhaltswerte):					
Argentinien $\rho = 939 \text{ kg/m}^3$	–	–	600	200	50
Mexiko $\rho = 940 \text{ kg/m}^3$	–	800	250	90	32
Deutschland					
Hannover $\rho = 941 \text{ kg/m}^3$	–	500	125	42	14,5
Baku $\rho = 929 \text{ kg/m}^3$	–	260	80	31	12
Texas	300	80	30	14	–
Rumänien $\rho = 940 \text{ kg/m}^3$	270	70	25	12	5,5
Iran	140	35	13	6,5	3
Borneo	19	9	5	3,2	1,9
Galizien $\rho = 855 \text{ kg/m}^3$	12,5	6	3,5	2,3	1,4
Schwerer Braunkohlenteer	–	–	300	60	14
Leichter Braunkohlenteer	120	30	10	5	2,4
Steinkohlen-Kokereiteer	–	220	60	22	9
Schwelteer aus Ruhrkokskohle	–	170	25	7,5	2,4

Abb. 32 Kinematische Viskosität einiger Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen $10^6 \nu$ in m^2/s

Flüssigkeit	$10^6 \nu \text{ m}^2/\text{s}$	$\rho \text{ kg/m}^3$	Flüssigkeit	$10^6 \nu \text{ m}^2/\text{s}$	$\rho \text{ kg/m}^3$
Spiritus 95%	1,94	809	Bier	1,15	1020-1040
90%	2,19	823	Milch	2,90	1030
85%	2,46	836	Wein	1,15	990-1000
Naphthalin, rein	0,905	979	Kochsalzlösung in Wasser		
Benzin	0,80-0,76	700-740	5% NaCl	1,17	1036
Oliveöl	117,00	920	10% NaCl	1,25	1073
Rizinusöl	1480,00	970	20% NaCl	1,64	1150
Terpentinöl	1,86	875	Petroleum	1,75-2,85	800-825
Salpetersäure			Gasolin	0,82	737
25%	1,16	1150		0,61	708
40%	1,31	1250		0,46	680
91%	0,95	1500			
Schwefelsäure					
25%	1,66	1182			
50%	3,06	1399			
75%	10,0	1674			
100%	14,7	1836			

Abb. 33 Kinematische Viskosität und Dichte verschiedener Flüssigkeiten bei 15 °C

3.2.2 Viskosität der Gase und des Wasserdampfes

Es gelten die unter Ziffer 3.2.1 für Flüssigkeiten angegebenen Arten und Eigenheiten der Viskosität. Dichte und kinematische Viskosität der Gase und des Wasserdampfes sind aber druckabhängig, während die dynamische Viskosität bei Drücken bis 10 bar absolut und konstanter Temperatur ihren Zahlenwert nur um weniger als 1% verändert. Deshalb rechnet man bei Gasen und Dämpfen bevorzugt mit der dynamischen Viskosität η (t). Entsprechende Angaben enthalten die Diagramme Abb. 34 und 35.

Bis zu 10 bar absolut ändert sich η um weniger als 1%. Bei höheren Drücken dagegen ist z.B. für Luft von 20 °C

bei p	1	80	120	160	200	bar absolut
$10^6 \eta$	18,5	20,0	23,5	27,5	32,5	Pa · s

Die dynamische Viskosität von Gasgemischen erhält man mit guter Annäherung für alle Temperaturen aus folgender Beziehung:

$\eta_{\text{Gemisch}} \approx \frac{n_1 \eta_1 Z_1 + n_2 \eta_2 Z_2 + \dots}{n_1 Z_1 + n_2 Z_2 + \dots}$	n_1, n_2	Raumanteil der Einzelgase
	η_1, η_2	Dyn. Viskosität der Einzelgase
	Z_1, Z_2	Konstante

Die Konstanten Z_1, Z_2 der im Gemisch enthaltenen Gase betragen nach Herning-Zipperer:

Gasart	N ₂	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	C _m H _n *
Konstante	59	62	116	8	55	96

* Zusammensetzung in Raumteilen: 0,80 C₂H₄ + 0,20 C₃H₆

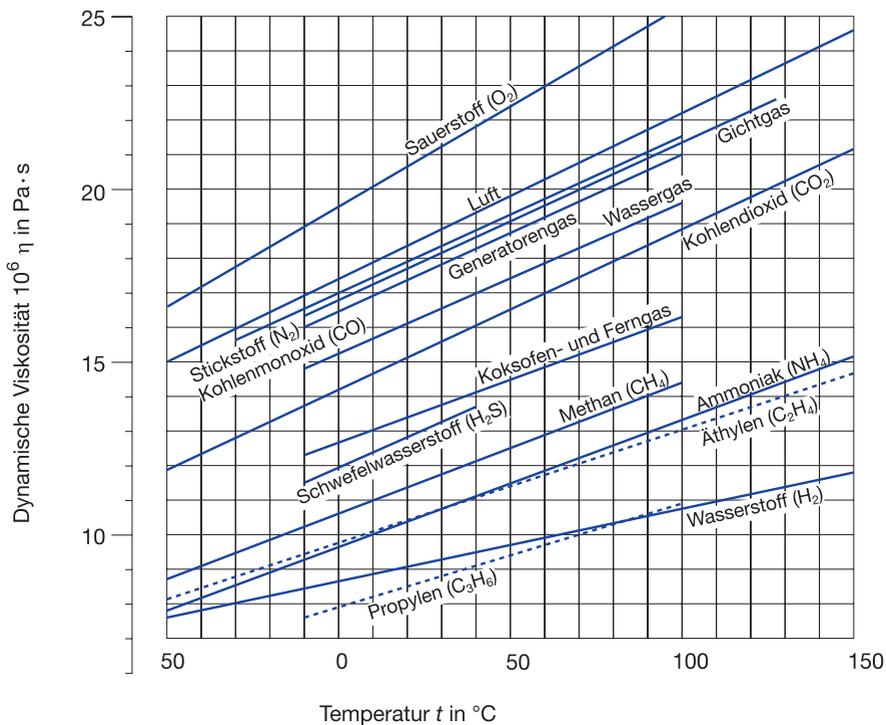


Abb. 34 Dynamische Viskosität einiger Gase bei verschiedenen Temperaturen.

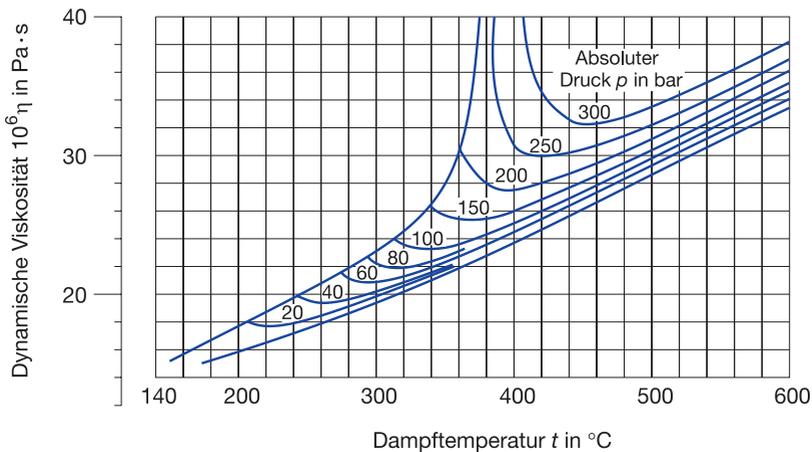


Abb. 35 Dynamische Viskosität von Wasserdampf bei verschiedenen Temperaturen nach Timroth.

3.3 Verschiedene Stoffwerte

3.3.1 Feste und flüssige Stoffe ρ , t_0 , t_s , λ , c

Spalte 1: Bezug auf +20 °C (* bedeutet +15 °C)

Spalte 2: Werte mit * sind Erweichungs- bzw. Erstarrungspunkte

Spalte 3: Bezug auf 1013,25 mbar. Für Stoffe, bei denen keine Flüssigphase auftritt (Sublimation): Zahlenwerte in Klammern.

Spalte 4: Bezug auf +20 °C bzw. auf die neben den Stoffnamen angegebenen Temperaturen.

Spalte 5: Mittelwerte für Temperaturen zwischen 0 und 100 °C.

Spalte Stoff	1 Dichte ρ kg/dm ³	2 Schmelz- punkt t_0 °C	3 Siede- punkt t_s °C	4 Wärme- leitzahl λ W/m K	5 Spez. Wärme c kJ/kg K
Alkohol, Äthyl-(95 Vol.%)	0,789	-114,2	78,3	0,167	2,395
Alkohol, Methyl-(95 Vol.%)	0,792	-97,6	64,7	0,202	2,495
Aluminium, rein (99,5%)	2,73	658,5	2270	221	0,909
Aluminium, gegossen	2,56	658	~ 2200	209	0,904
Aluminiumoxid	3,96	2046	2980	–	0,080
Ammoniaklösung (25%ig)	0,91	-77,8	-33,5	0,494	4,19
Asbest, rein	2,1...2,8	1500	–	0,17...0,19	0,816
Asbestplatten	2,0	–	–	0,7	0,75
Asche	0,7	ab 500*	–	0,70	0,80
Asphalt (Erdpech)	1,1...1,5	27*...57*	–	0,70	0,92
Äther, Diäthyl- (abs.)	0,714	-116,3	34,6	0,138	2,336
Äther, Schwefel-	0,73	-129	35	0,14	2,26
Azeton	0,791	-94,8	56,2	0,162	2,156
Bakelit	1,33	–	–	0,23	1,604
Benzin	0,71	-150	90...100	0,16	2,09
Benzol	0,879	5,4	80,2	0,14	1,80
Beton, Bims-	1,2	–	–	0,47	1,01
Beton, Kies-	1,8...2,3	–	–	1,28	0,88
Beton, Schlacken-	0,8...1,2	–	–	0,5...0,7	0,92
Bitumen (Teer)	1,1	60*...160*	–	0,167	1,63
Blei, rein	11,34	327,4	1692	27,1	0,1310
Blei, gegossen	11,25...11,37	326	1525	35	0,130
Bronze, Aluminium-	7,7	1050	2300	83	0,435
Bronze, Phosphor-	8,8	950	–	35...81	0,360
Bronze, Zinn-	8,73...8,85	1020...1070	–	35...151	0,381
Chrom	7,1	1765	2660	–	0,452
Diamant	3,51	–	(3540)	8,4	0,603
Eis bei 0 °C	0,917	0	100	2,23	2,110
Eisen, rein	7,86	1533	2730	71	0,465
Eisen, Guss-, (Grauguss)	7,25	1132...1350	2500	42...63	0,532... ...0,540
Eisen, Schmiede-	7,79...7,85	~ 1200	2500	58	0,477
Fette	0,92...0,94	30...175	~ 300	0,21	0,63...0,75

Abb. 36

Spalte Stoff	1 Dichte ρ kg/dm ³	2 Schmelz- punkt t_o °C	3 Siede- punkt t_s °C	4 Wärme- leitzahl λ W/m K	5 Spez. Wärme c kJ/kg K
Fiber	1,0...1,5	–	–	0,21	1,26
Filz	0,15...0,3	–	–	0,03...0,07	–
Gips, gebrannt, pulverig	1,81...1,82	1450	–	0,24	1,09
Gips, gegossen, trocken	0,97	450	–	0,43...0,6	0,84
Glas, Fenster-	2,4...3,0	~ 700	2600	0,76...0,80	0,75...0,80
Glas, Plexi-	1,2	80*	–	0,19	1,88
Glimmer	2,9...3,1	1300	–	0,42	0,88
Glycerin	1,26	19 bzw. 0*	290	0,28	2,43
Granit	2,6...3,0	1400*...1600*	–	2,9...4,1	0,84
Graphit, natürlicher	1,8...2,3	–	(3900)	12...174	0,82
Gummi, Hart-	1,2...1,8	–	–	0,15...0,17	1,42
Gummi, Schaum-	0,06...0,09	–	–	0,06	–
Guttapercha	0,96...1,02	148	180	0,19	–
Hanffasern, trocken	0,045	–	–	0,049	–
Holzfasерplatten	1,52...1,60	–	–	0,06...0,07	–
Jutefasern, lose zerzaust	0,056	–	–	0,036	1,34
Kalilauge (27%ig)	1,26	–	–	–	3,60
Kalk, gebrannt	0,9...1,3	2570	–	0,84	–
Kalk, gelöscht	1,15...1,25	–	–	–	–
Kalksandstein	1,80...1,92	1500*	2600	0,9...1,0	0,71
Kalkstein (amorph)	2,46...2,84	zers. 825	–	0,15...2,3	0,909
Karborundstein	3,12	> 2200	–	15,2	–
Kesselstein	2,4...2,6	~ 1200	~ 2800	0,08...2,3	0,80
Kieselgur	2,0...2,6	> 1000	–	0,06...0,17	0,88
Klinker	2,6...2,7	1600*	–	0,5...0,9	0,84
Kochsalz	2,1...2,4	801	1465	–	0,92
Kochsalzlösung, ges.	1,2	–18	108	0,48	3,27
Kohlenstoff, rein	3,51	–	(3540)	8,4	0,854
Konstantan	8,89	~ 1600	2400	22,7	0,410
Korkplatten	0,1...0,3	–	–	0,03...0,06	1,59
Korund	4,0	2050	2950	0,7	0,850
Kupfer, rein	8,93	1083	2595	393	0,389
Kupfer, gewalzt	8,9...9,0	1080	2310	372	0,389
Linoleum	1,15...1,3	–	–	0,15...0,19	–
Magnesia	3,2...3,6	2642	2800	13,4	1,01
Magnesiapulver	0,3...0,4	2642	2800	0,06...0,07	0,96
Magnesit	3,0...5,1	1600-1800	–	1,34	1,09
Magnesium, rein	1,74	650	1102	172	1,034
Mangan	7,3	1244	2152	50	0,498
Marmor	2,5...2,8	1290...1340*	2870	2,1...3,5	0,80...1,01
Mennige, Blei-	8,6...9,1	900	–	0,7	0,25
Messing	8,4...8,7	900...980	2300	81...116	0,385
Naphtalin	1,145	80,2	217,9	0,30	1,281
Natronlauge (66%ig)	1,70	–	–	–	3,77

Abb. 36 Fortsetzung

Spalte Stoff	1 Dichte ρ kg/dm ³	2 Schmelz- punkt t_o °C	3 Siede- punkt t_s °C	4 Wärme- leitzahl λ W/m K	5 Spez. Wärme c kJ/kg K
Nickel, rein	8,8	1453	3177	87	0,414
Öl, Heiz-	0,84...0,92*	-5	175...350	0,12	1,97
Öl, Lein-	0,94*	-20	316	0,15	1,97
Öl, Maschinen-	0,91	-5	380...400	0,126	1,67
Papier, Cellophan-	1,42	-	-	0,17	1,47
Papier, Zellulose-	0,7...1,1	-	-	0,07...0,14	1,34
Pappe, Asbest-	1,2	-	-	0,1...0,16	0,84
Pappe, Papier-	0,8	-	-	0,07...0,22	1,26
Paraffin	0,87...0,93	35...52	300	0,21...0,29	3,27
Phenol	1,3...1,7	40,9	181,2	0,22	1,63
Phosphor, weißgelb	1,83	44,2	287	-	0,75...0,84
Phosphor, rot	2,20	590	200	-	0,84...1,05
Platin	21,4	1774	3804	71	0,1331
Porzellan	2,3...2,5	1670	-	0,8...1,9	0,80...0,92
Quarz	2,1...2,65	1470	2590	1,26	0,80...0,92
Quecksilber	13,55	-38,89	357,25	8,4	0,138
Rotguss	8,5...8,7	950	2300	60	0,381
Ruß	1,6...1,7	-	(3540)	0,07...1,2	-
Salpetersäure (100%ig)	1,52	-47	86	0,53	1,72
Salmiak	1,52	-	-	-	-
Salzsäure (25%ig)	1,15	14	102	0,47	3,14
Sandstein, Kunst-	1,9...2,5	~ 1650	-	1,7	0,92
Sandstein, Natur-	2,6...2,7	1500*...1600*	2600	1,3...1,9	0,92
Schamottsteine	1,85...2,2	1400*...1700*	2900	0,5	0,80...0,88
Schlacke, Hochofen-	2,6...3,3	1300...1430	-	0,10...0,17	-
Schlacke, Kessel-	1,7	~ 1350	-	0,14...0,16	-
Schnee, lose (bei 0 °C)	0,1	0	100	0,05...2,2	2,1
Schwefel, kristalliner	1,96	118,95	444,6	0,29	0,720
Schwefel, natürlicher	1,96...2,07	112,8	444,6	0,27	0,75
Schwefelkohlenstoff	1,10	-111,8	46,3	0,16	1,01
Schwefelsäure (96%ig)	1,84	10,5	338	0,50	1,47
Schwefelige Säure	1,49	-73	-10	0,20	1,34
Seide, Kunst-	1,25...1,6	-	-	0,049	-
Seide, Roh-	1,56	-	-	0,042	2,307
Silber, rein	10,50	960,5	2170	419	0,234
Soda, gegläht	2,53	850	-	0,6	3,60
Soda, kristallisiert	1,45	-	-	0,6	3,56
Speckstein	2,6...2,8	1400*	-	2,7...3,4	0,88
Spiritus (95 Vol.%)	0,83	-90	78	0,16	2,39
Stahl, C- (Baustahl)	7,84...7,85	1470...1500	2500	47...58	0,477
Stahl, Cr- (VM)	7,7...7,75	1480	2500	21...40	0,46...0,50
Stahl, Cr-Ni (VA, VCN)	7,7...7,88	1370...1500	2500	13...16	0,494
Stahl, Cr-Ni-Mn- (BM)	6,4	1550	2600	20	0,498
Stahl, Ni-	7,85	1480	2500	~ 47	0,486

Abb. 36 Fortsetzung

Spalte Stoff	1 Dichte ρ kg/dm ³	2 Schmelz- punkt t_0 °C	3 Siede- punkt t_s °C	4 Wärme- leitzahl λ W/m K	5 Spez. Wärme c kJ/kg K
Stahlguss	7,86	~ 1350	2500	52	0,502
Stearin	0,94	43...68	350	–	–
Steinkohle	1,2...1,5	–	–	0,16...0,27	1,01
Glanzkohle	1,2...1,7	–	–	0,33	1,09
Grobkohle	1,2...1,5	–	–	0,21	1,26
Kohlenstaub	0,6...0,75	–	–	0,19	1,30
Presskohle (Briketts)	1,25...1,3	–	–	0,29	1,59
Steinkohlenteer	1,20	-15	300	0,19	1,67
Tetrachlorkohlenstoff	1,594	-22,9	76,7	0,107	1,26
Titan	4,43	1727	>3000	–	0,611
Toluol	0,868	-94,5	110,6	0,141	1,72
Ton, frisch	2,6	1600	2980	1,10...2,2	0,92
Ton, trocken	1,8	1600	2980	0,84	0,833
Torf, lufttrocken	0,5...0,9	–	–	0,06...0,08	1,88
Vanadium	5,6	1726	3000	–	0,50
Wachs	0,96...1,04	46	65...70	0,084	3,43
Wolfram	19,1	3380	6000	163	0,134
Wolle, Asbest-	0,3	1100*	–	0,09	–
Wolle, Baum-, trocken	1,47...1,50	–	–	0,07	1,273
Wolle, Glas-	0,1	400*	–	0,06	0,80
Wolle, Schaf-	0,2	–	–	0,041	1,72
Wolle, Schlacken-	0,2...0,3	1500*	–	0,03...0,06	0,75
Wolle, Zell-	1,5	–	–	0,08	1,357
Xylol, Meta-	0,864	-47,9	139,2	0,142	1,717
Xylol, Ortho-	0,879	-25,3	144,4	0,144	1,733
Xylol, Para-	0,861	13,3	138,4	0,13	1,700
Zelluloid	1,38	–	–	0,21	1,26
Zink, rein	7,14	419,4	907	121	0,389
Zink, gegossen	6,86	419	920	110	0,38
Zinkspritzguss	6,8	393	~ 1000	140	0,38
Zinn, rein	7,28	231,8	2430	65	0,230

Abb. 36 Fortsetzung

3.3.2 Stoffwerte für Gase und Dämpfe

Bezug auf 0 °C und 1013,25 mbar

Gas bzw. Dampf	Chem. Zeichen	Molare Masse M kg/kmol	Dichte ρ'' kg/m ³	Dichte verhältnis $\rho''/\rho_{\text{Luft}}$ für Luft = 1	Volumen v'' m ³ /kg	Schmelzpunkt		Siedepunkt			Gas-konstante R J/kg K	Wärme-leitzahl λ m K	Spezifische Wärme ¹⁾				Adiab. Expo-nent ¹⁾ x = c_p/c_v
						Tempe-ratur t_o °C	Schmelz-wärme kJ/kg	Tempe-ratur t_s °C	Ver-damp-fungs-wärme r kJ/kg	Dichte der Flüssig-keit ρ' kg/dm ³			c_p kJ/kg K	c_v kJ/kg K	C_p kJ/m ³ K	C_v kJ/m ³ K	
Alkohol, Äthyl-	C ₂ H ₆ O	46,07	2,055	2,590	0,487	- 114,2	108,0	+ 78,3	845,7	0,747	180,5	0,0138	1,524	1,344	3,132	2,763	1,134
Alkohol, Methyl-	CH ₄ O	32,04	1,429	1,106	0,700	- 97,6	103,0	+ 64,7	1101,1	0,737	259,5	0,0140	1,340	1,080	1,913	1,545	1,240
Ammoniak	NH ₃	17,03	0,771	0,597	1,296	- 77,9	339,1	- 33,4	1369,1	0,680	488,2	0,0217	2,056	1,566	1,587	1,210	1,313
Argon	Ar	39,94	1,784	1,378	0,561	- 189,3	29,3	- 185,9	159,1	1,820	208,2	0,0163	0,519	0,314	0,925	0,557	1,665
Äthan	C ₂ H ₆	30,07	1,356	1,049	0,738	- 183,3	93,0	- 88,6	489,9	0,546	276,5	0,0180	1,650	1,373	2,236	1,863	1,201
Äther, Diäthyl-	C ₄ H ₁₀ O	74,12	3,307	2,558	0,302	- 116,3	100,5	- 34,6	360,1	0,698	112,2	0,0126	1,444	1,331	4,777	4,405	1,085
Äthylen	C ₂ H ₄	28,05	1,261	0,975	0,793	- 169,5	104,7	- 103,7	523,4	0,568	296,5	0,0167	1,461	1,164	1,892	1,507	1,255
Azeton	C ₃ H ₆ O	58,08	2,590	2,003	0,386	- 94,8	96,3	+ 56,2	523,4	0,749	143,2	0,0097	1,239	1,097	3,211	2,839	1,131
Azetylen	C ₂ H ₂	26,04	1,171	0,906	0,854	- 83,3	96,3	- 83,6	829,0	0,613	319,4	0,0184	1,616	1,298	1,892	1,520	1,245
Benzol	C ₆ H ₆	78,11	3,485	2,695	0,287	+ 5,4	127,7	+ 80,1	394,4	0,894	106,5	0,0088	0,950	0,846	3,312	2,939	1,127
Butan	C ₄ H ₁₀	58,12	2,593	2,005	0,386	- 138,4	77,5	- 0,5	385,6	0,602	143,1	0,0138	1,599	1,457	4,145	3,722	1,114
Chlor	Cl	70,91	3,164	2,447	0,316	- 100,5	188,4	- 34,0	259,6	1,512	117,3	0,0085	0,473	0,356	1,499	1,126	1,329
Chlorwasserstoff	HCl	36,47	1,639	1,268	0,610	- 111,2	56,1	- 84,8	443,8	1,135	228,0	0,0084	0,795	0,569	1,302	0,934	1,397
Generatorgas ²⁾	-	(25,70)	≈ 1,15	0,886	≈ 0,873	- 210	-	- 170	-	-	≈ 323,6	0,0216	1,160	0,833	1,327	0,959	1,388
Gichtgas ²⁾	-	(28,33)	≈ 1,26	0,977	≈ 0,791	- 210	-	- 170	-	-	≈ 293,2	0,0219	1,009	0,716	1,277	0,904	1,410
Helium	He	4,003	0,179	0,138	5,602	- 270,7	3,52	- 268,9	20,9	0,125	2077,1	0,1434	5,200	3,123	0,929	0,557	1,665
Kohlendioxid	CO ₂	44,01	1,977	1,529	0,506	- 56,6	184,2	- 78,2	573,6	1,219	189,0	0,0142	0,816	0,628	1,616	1,243	1,300
Kohlenmonoxid	CO	28,01	1,250	0,967	0,800	- 205,0	30,1	- 191,6	217,7	0,801	296,8	0,0222	1,038	0,741	1,298	0,925	1,401
Luft (trocken)	-	(28,96)	1,293	1,000	0,774	- 213	-	- 192,3	196,8	0,875	287,0	0,0243	1,005	0,716	1,298	0,925	1,404
Methan	CH ₄	16,04	0,717	0,555	1,395	- 182,5	58,6	- 161,5	510,4	0,415	518,3	0,0306	2,165	1,645	1,553	1,181	1,316
Propan	C ₃ H ₈	44,09	2,019	1,562	0,495	- 187,7	80,0	- 42,1	426,2	0,585	188,6	0,0151	1,549	1,361	3,128	2,747	1,138
Propylen	C ₃ H ₆	42,08	1,877	1,452	0,530	- 185,0	70,0	- 47,8	438,4	0,686	197,6	-	1,424	1,227	2,671	2,303	1,160
Rauchgas ²⁾	-	(29,30)	≈ 1,34	1,033	≈ 0,749	- 200	-	- 180	-	-	≈ 277,5	-	1,009	0,729	1,348	0,976	1,380
Sauerstoff	O ₂	32,00	1,429	1,105	0,700	- 218,8	13,82	- 182,9	213,5	1,131	259,9	0,0242	0,909	0,649	1,298	0,925	1,400
Schwefeldioxid	SO ₂	64,07	2,926	2,264	0,342	- 75,5	116,8	- 10,0	401,9	1,460	129,8	0,0084	0,586	0,456	1,717	1,336	1,284
Schwefelkohlenstoff	CS ₂	76,14	3,397	2,628	0,294	- 111,5	57,8	+ 46,3	351,7	1,193	109,2	0,0067	0,582	0,473	1,976	1,608	1,230
Schwefeltrioxid	SO ₃	80,07	3,572	2,763	0,280	+ 16,8	311,9	+ 44,8	519,2	1,311	103,9	-	0,607	0,502	2,169	1,796	1,208
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	34,08	1,251	1,191	0,650	- 85,6	69,5	- 60,4	548,5	0,957	244,0	0,0126	0,992	0,749	1,239	0,938	1,324
Stadtgas ²⁾	-	≈ (11,7)	≈ 0,52	≈ 0,39	≈ 1,92	- 230	-	- 210	-	-	≈ 713	0,0605	2,646	1,934	1,377	1,005	1,369
Stickstoff	N ₂	28,02	1,250	0,967	0,800	- 210,5	25,7	- 195,7	201,0	0,810	296,7	0,0238	1,038	0,729	1,298	0,913	1,425
Tetrachlorkohlenstoff	CCl ₄	153,84	6,863	5,308	0,146	- 22,9	16,3	+ 76,7	195,1	1,481	54,0	-	0,523	0,469	3,592	3,220	1,116
Toluol	C ₇ H ₈	92,13	4,110	3,179	0,243	- 94,5	72,0	+ 110,6	355,9	0,781	90,2	0,0129	1,030	0,938	4,233	3,856	1,098
Wasserdampf	H ₂ O	18,02	0,804	0,622	1,244	0,0	332,4	+ 100,0	2256,3	0,958	461,5	0,0251	1,842	1,382	1,482	1,114	1,332
Wasserstoff	H ₂	2,02	0,090	0,070	11,127	- 259,2	58,2	- 252,8	460,5	0,071	4124,5	0,1754	14,051	9,931	1,264	0,892	1,415

Abb. 37

1 im Mittel zwischen 0 ... 1013 mbar

2 nur für Überschlagsrechnungen

3.3.3 Stoffwerte für Kältemittel

Neben klassischen Kältemitteln, zum Beispiel Schwefeldioxid (SO₂), Chlormethyl (CH₃Cl) und Ammoniak (NH₃), die wegen ihrer chemischen und physiologischen Wirkungen nicht allen Sicherheitsanforderungen entsprechen, und den als Sicherheitskältemittel, z.B. unter der Werksmarke „Frigen“, bekanntgewordenen fluorierten Chlorkohlenwasserstoffen werden in der industriellen Praxis auch Kühltölen verwendet.

Kühltölen sind wässrige Salzlösungen, z.B. aus Kochsalz, Calciumchlorid oder Magnesiumchlorid. Sie dienen der indirekten Kühlung auf tiefe Temperaturen, wenn Wasser nicht mehr geeignet ist oder wenn andere Verbindungen – z.B. Kohlenwasserstoffe – wegen zunehmender Zähigkeit und Erreichen des Stockpunktes ausscheiden.

Gelöster Stoff	Massenanteil %	Dichte ρ kg/l	Zugehöriger Punkt der Eiskurve	Spez. Wärme c kJ/kg K				
				+20°	0°	-10°	-20°	-30°
–	–	20°	°C	+20°	0°	-10°	-20°	-30°
NaCl	10	1,071	- 6,8	3,735	3,705			
	15	1,108	-11,5	3,567	3,546	3,534		
	20	1,148	-17,5	3,425	3,408	3,400		
	25	1,189	-11,2	3,295	3,278	3,270	3,329	
CaCl ₂	15	1,129	-10,1					
	20	1,177	-17	3,123	3,077	3,052		
	25	1,228	-27,8	2,943	2,893	2,868	2,843	
	30	1,282	-51,5	2,788	2,738	2,713	2,688	2,663
MgCl ₂	10	1,083	- 7,7	3,605	3,571			
	15	1,128	-16,4	3,341	3,291	3,270	3,245	
	20	1,176	-30,7	3,111	3,056	3,031	3,010	2,981
	25	1,225	-24,0	2,901	2,851	2,826	2,801	
	30	1,278	-16,2	2,705	2,650	2,625		

Abb. 38a

Gelöster Stoff	Dyn. Viskosität η Pa s · 10 ⁻³					Wärmeleitzahl λ W/m K			
	+20°	0°	-10°	-20°	-30°	0°	-10°	-20°	-30°
-									
NaCl	1,18 1,37 1,57 1,86	2,06 2,35 2,75 3,33	3,33 4,12 5,20			0,557 0,552 0,547 0,542	- 0,536 0,531 0,527	- - - -	- - - -
CaCl ₂	1,47 1,86 2,55 3,63	2,55 3,14 4,02 5,69	4,12 4,90 6,28 9,12	10,10 14,71	22,06	0,549 0,543 0,537 0,531	0,534 0,528 0,522 0,516	- - 0,509 0,504	- - 0,495 0,490
MgCl ₂	1,47 1,96 2,65 4,12 6,37	2,75 3,82 5,30 8,34 13,14	5,39 8,04 13,24 22,36	11,67 21,18		0,540 0,527 0,514 0,501 0,488	- 0,511 0,498 0,485 0,473	- - 0,480 0,469 -	- - 0,462 - -
Abb. 38b									

3.3.4 Wärmeleitzahl λ (t) für Metalle

Die Werte der Metalle steigen und fallen mit dem Reinheitsgrad. Sie sind außerdem strukturabhängig. Das Herstellungsverfahren und die Stoffbehandlung haben demzufolge einen beachtlichen Einfluss.

Metalle	Stoffwerte bei 20° C			Wärmeleitzahl λ in W/m K				
	ρ kg m ³	c_p kJ kg K	λ W m K	Bezugstemperatur in °C				
				0	100	200	300	400
Reinaluminium	2700	0,896	229	229	229	229	229	
Duraluminium	2780	0,883	164	159	181	194		
Zinn, rein	7280	0,226	64	66	59	57		
Zink, rein	7130	0,381	112	113	110	106	101	93
Kupfer, rein	8930	0,381	385	386	379	373	369	364
Messing, 70 Cu, 30 Zn	8500	0,385	112	107	128	144	148	148
Bronze, 75 Cu, 25 Sn	8650	0,343	26					
Aluminiumbronze, 95 Cu, 5 Al	8650	0,410	83					
Rotguss, 85 Cu, 9 Sn, 6 Zn	8700	0,385	60	58	71			
Eisen, rein	7870	0,452	72	73	67	62	55	49
Gusseisen, C \approx 4%	7250	0,42	52					
Schmiedestahl, C < 0,5%	7830	0,46	59	59	57	52	48	44
Kohlenstoffstahl, C \approx 0,5 %	7820	0,465	53	55	52	49	44	42
Kohlenstoffstahl, C \approx 1,5 %	7740	0,486	36	36	36	36	35	34
Nickelstahl, Invar, Ni = 36 %	8120	0,46	11					
Chromstahl, Cr = 10 %	7760	0,46	31	31	31	31	30	24
Chromstahl, Cr = 20 %	7670	0,46	23	23	23	23	23	29
CrNi-Stahl, 18 Cr, 8 Ni	7800	0,46	16	16	17	17	19	20

Abb. 39

3.3.5 Wärmeleitzahl $\lambda(t)$ für Isolierstoffe

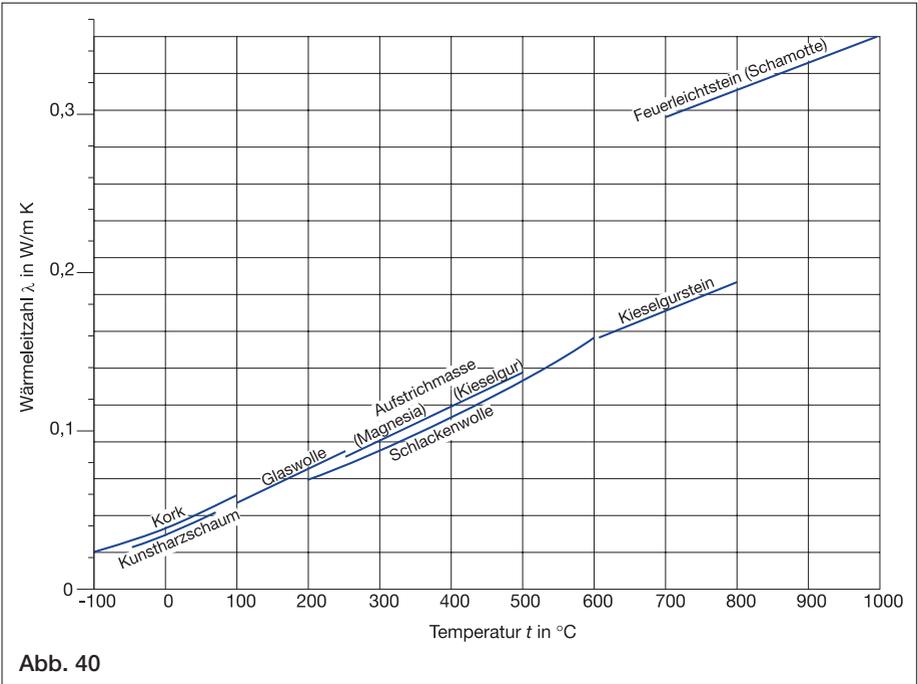


Abb. 40

3.4 Feuchtigkeitsgehalt der Luft

Luft kann bei jeder Temperatur nur eine jeweils bestimmte Höchstmenge Feuchtigkeit in Dampfform aufnehmen.

Beispiel:

- a) Luft von 23 °C hat bei Sättigung mit Wasserdampf (= 100 % relative Luftfeuchtigkeit) eine Feuchte von rund 21 g/m³.
- b) Luft von 23 °C mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 70 % enthält rund 14,5 g/m³ Feuchte und kann auf etwa 17 °C (gestrichelte Linie) abgekühlt werden. Das ist der entsprechende Taupunkt. Bei weiterer Abkühlung fällt Tauwasser aus.

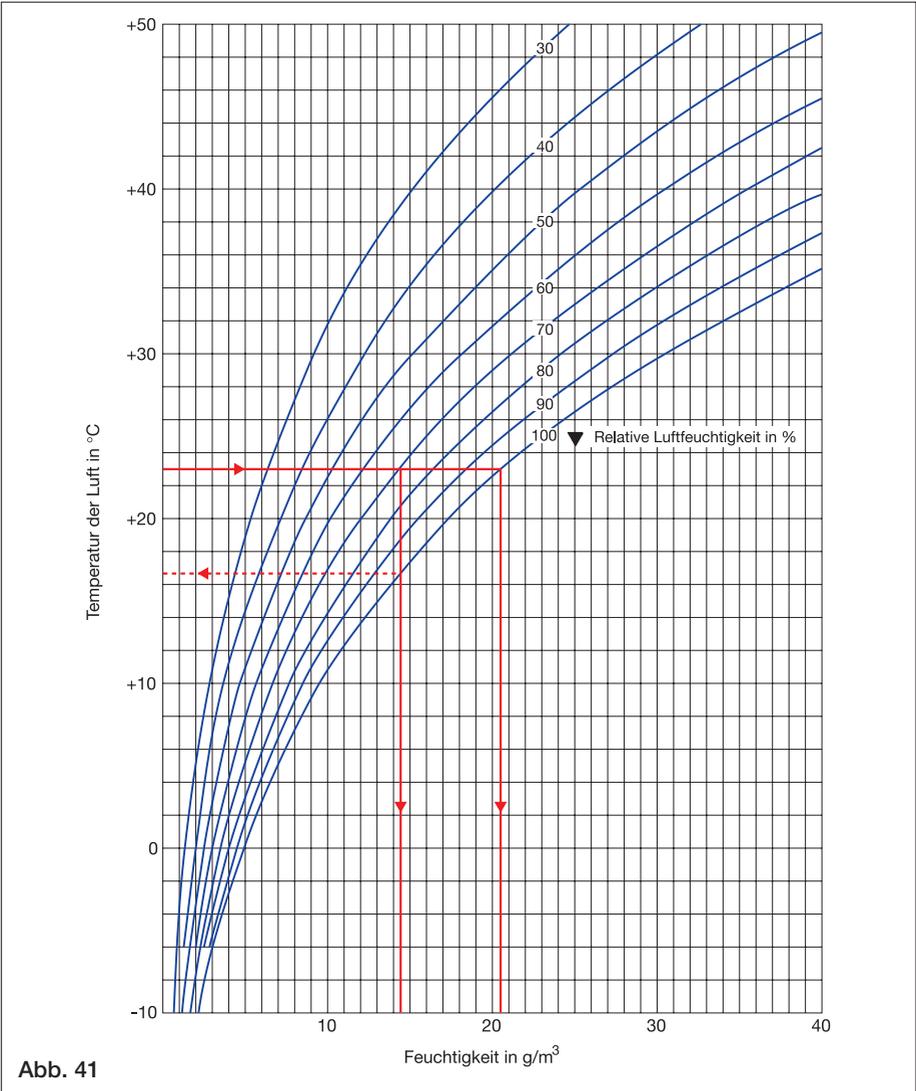


Abb. 41

3.5 Dampfdruckkurven wichtiger Stoffe

Abb. 43 enthält die Dampfdruckkurven der in Abb. 42 mit ihren chemischen Formeln genannten Stoffe, Kurven für weitere Stoffe können bei Kenntnis von mindestens zwei bis drei Punkten mit oft ausreichenden Genauigkeit nachgetragen werden. Dabei kann es zu Überschneidungen mit vorhandenen Kurvenzügen kommen. In Abb. 43 sind die Siedepunkte bei 1013 mbar durch die gestrichelte Linie gekennzeichnet. Kritische Punkte wurden mit einem Kreis markiert.

Stoffname	Formel	Stoffname	Formel
Stickstoff	N_2	Äthylchlorid	C_2H_5Cl
Sauerstoff	O_2	Methylalkohol	CH_3OH
Methan	CH_4	Äthylalkohol	C_2H_5OH
Äthylen	C_2H_4	Wasser	H_2O
Kohlendioxid	CO_2	Chlorbenzol	C_6H_5Cl
Äthan	C_2H_6	Anilin	$C_6H_5 \cdot NH_2$
Schwefelwasserstoff	H_2S	Naphthalin	$C_{10}H_8$
Propan	C_3H_8	Quecksilber	Hg
Schwefeldioxid	SO_2		

Abb. 42

Dampfdruckkurven

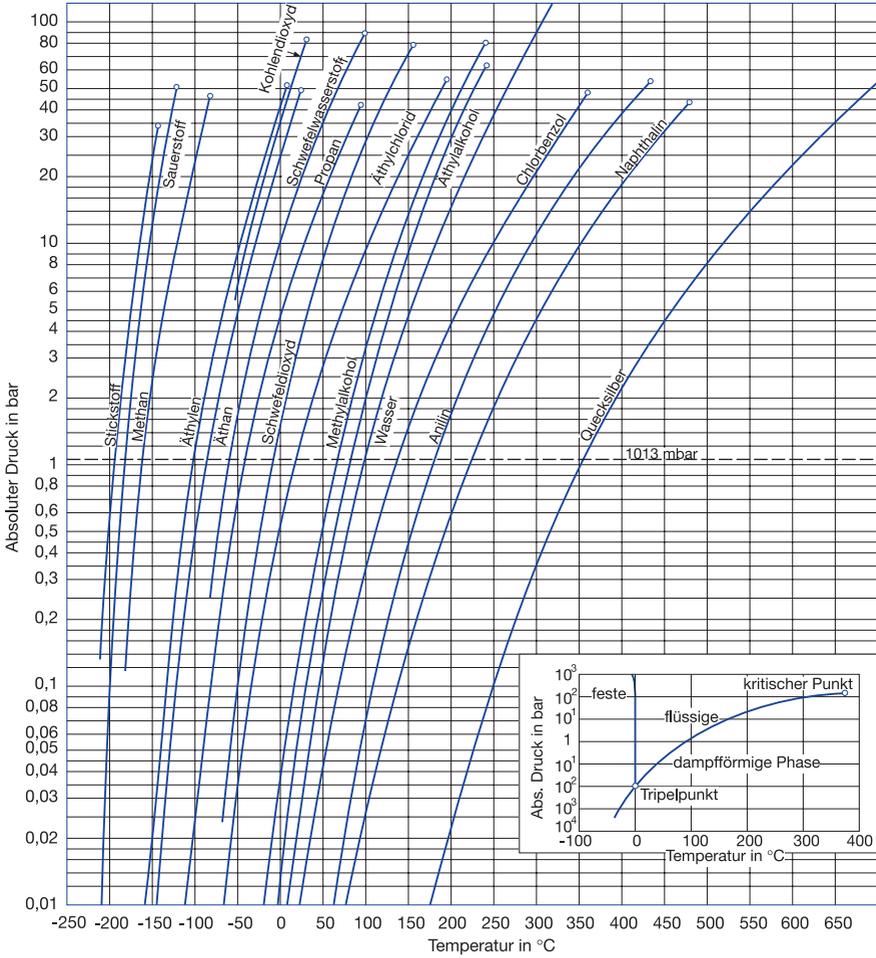


Abb. 43

3.6 Wasserdampfatafen

Im Anhang finden Sie einen Auszug aus dem h, s-Diagramm nach Mollier.

3.6.1 Drucktafel für den Sättigungszustand

Absoluter Druck p bar	Temperatur t_s °C	spezif. Volumen Siedewasser v' m ³ /kg	Dampfvolumen v'' m ³ /kg	Dampfdichte ρ'' kg/m ³	Enthalpie des Wassers h' kJ/kg	Enthalpie des Dampfes h'' kJ/kg	Verdampfungswärme r kJ/kg
0,010	6,98	0,0010001	129,20	0,00774	29,34	2514,4	2485,0
0,015	13,04	0,0010006	87,98	0,01137	54,71	2525,5	2470,7
0,020	17,51	0,0010012	67,01	0,01492	73,46	2533,6	2460,2
0,025	21,10	0,0010020	54,26	0,01843	88,45	2540,2	2451,7
0,030	24,10	0,0010027	45,67	0,02190	101,00	2545,6	2444,6
0,035	26,69	0,0010033	39,48	0,02533	111,85	2550,4	2438,5
0,040	28,98	0,0010040	34,80	0,02873	121,41	2554,5	2433,1
0,045	31,04	0,0010046	31,14	0,03211	129,99	2558,2	2428,2
0,050	32,90	0,0010052	28,19	0,03547	137,77	2561,6	2423,8
0,055	34,61	0,0010058	25,77	0,03880	144,91	2564,7	2419,8
0,060	36,18	0,0010064	23,74	0,04212	151,50	2567,5	2416,0
0,065	37,65	0,0010069	22,02	0,04542	157,64	2570,2	2412,5
0,070	39,03	0,0010074	20,53	0,04871	163,38	2572,6	2409,2
0,075	40,32	0,0010079	19,24	0,05198	168,77	2574,9	2406,2
0,080	41,53	0,0010084	18,10	0,05523	173,86	2577,1	2403,2
0,085	42,69	0,0010089	17,10	0,05848	178,69	2579,2	2400,5
0,090	43,79	0,0010094	16,20	0,06171	183,28	2581,1	2397,9
0,095	44,83	0,0010098	15,40	0,06493	187,65	2583,0	2395,3
0,10	45,83	0,0010102	14,67	0,06814	191,83	2584,8	2392,9
0,15	54,00	0,0010140	10,02	0,09977	225,97	2599,2	2373,2
0,20	60,09	0,0010172	7,650	0,1307	251,45	2609,9	2358,4
0,25	64,99	0,0010199	6,204	0,1612	271,99	2618,3	2346,4
0,30	69,12	0,0010223	5,229	0,1912	289,30	2625,4	2336,1
0,40	75,89	0,0010265	3,993	0,2504	317,65	2636,9	2319,2
0,45	78,74	0,0010284	3,576	0,2796	329,64	2641,7	2312,0
0,50	81,35	0,0010301	3,240	0,3086	340,56	2646,0	2305,4
0,55	83,74	0,0010317	2,964	0,3374	350,61	2649,9	2299,3
0,60	85,95	0,0010333	2,732	0,3661	359,93	2653,6	2293,6
0,65	88,02	0,0010347	2,535	0,3945	368,62	2656,9	2288,3
0,70	89,96	0,0010361	2,365	0,4229	376,77	2660,1	2283,3
0,75	91,79	0,0010375	2,217	0,4511	384,45	2663,0	2278,6
0,80	93,51	0,0010387	2,087	0,4792	391,72	2665,8	2274,0
0,85	95,15	0,0010400	1,972	0,5071	398,63	2668,4	2269,8
0,90	96,71	0,0010412	1,869	0,5350	405,21	2670,9	2265,6
0,95	98,20	0,0010423	1,777	0,5627	411,49	2673,2	2261,7
1,00	99,63	0,0010434	1,694	0,5904	417,51	2675,4	2257,9

Abb. 44

Absoluter Druck	Temperatur	spezif. Volumen Siedewasser	Dampf-volumen	Dampf-dichte	Enthalpie des Wassers	Enthalpie des Dampfes	Verdampfungs-wärme
p bar	t_s °C	v' m ³ /kg	v'' m ³ /kg	ρ'' kg/m ³	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	r kJ/kg
1,5	111,37	0,0010530	1,159	0,8628	467,13	2693,4	2226,2
2,0	120,23	0,0010608	0,8854	1,129	504,70	2706,3	2201,6
2,5	127,43	0,0010675	0,7184	1,392	535,34	2716,4	2181,0
3,0	133,54	0,0010735	0,6056	1,651	561,43	2724,7	2163,2
3,5	138,87	0,0010789	0,5240	1,908	584,27	2731,6	2147,4
4,0	143,62	0,0010839	0,4622	2,163	604,67	2737,6	2133,0
4,5	147,92	0,0010885	0,4138	2,417	623,16	2742,9	2119,7
5,0	151,84	0,0010928	0,3747	2,669	640,12	2747,5	2107,4
5,5	155,46	–	0,3426	2,920	655,78	2751,7	2095,9
6,0	158,84	0,0011009	0,3155	3,170	670,42	2755,5	2085,0
6,5	161,99	–	0,2925	3,419	684,12	2758,8	2074,0
7,0	164,96	0,0011082	0,2727	3,667	697,06	2762,0	2064,9
7,5	167,75	–	0,2554	3,915	709,29	2764,8	2055,5
8,0	170,41	0,0011150	0,2403	4,162	720,94	2767,5	2046,5
8,5	172,94	–	0,2268	4,409	732,02	2769,9	2037,9
9,0	175,36	0,0011213	0,2148	4,655	742,64	2772,1	2029,5
9,5	177,66	–	0,2040	4,901	752,81	2774,2	2021,4
10,0	179,88	0,0011274	0,1943	5,147	762,61	2776,2	2013,6
11	184,07	0,0011331	0,1747	5,637	781,13	2779,7	1998,5
12	187,96	0,0011386	0,1632	6,127	798,43	2782,7	1984,3
13	191,61	0,0011438	0,1511	6,617	814,70	2785,4	1970,7
14	195,04	0,0011489	0,1407	7,106	830,08	2787,8	1957,7
15	198,29	0,0011539	0,1317	7,596	844,67	2789,9	1945,2
16	201,37	0,0011586	0,1237	8,085	858,56	2791,7	1933,2
17	204,31	0,0011633	0,1166	8,575	871,84	2793,4	1921,5
18	207,11	0,0011678	0,1103	9,065	884,58	2794,8	1910,3
19	209,80	0,0011723	0,1047	9,555	896,81	2796,1	1899,3
20	212,37	0,0011766	0,09954	10,05	908,59	2797,2	1886,6
21	214,85	0,0011809	0,09489	10,54	919,96	2798,2	1878,2
22	217,24	0,0011850	0,09065	11,03	930,95	2799,1	1868,1
23	219,55	0,0011892	0,08677	11,52	941,60	2799,8	1858,2
24	221,78	0,0011932	0,08320	12,02	951,93	2800,4	1848,5
25	223,94	0,0011972	0,07991	12,51	961,96	2800,9	1839,0
26	226,04	0,0012011	0,07686	13,01	971,72	2801,4	1829,6
27	228,07	0,0012050	0,07402	13,51	981,22	2801,7	1820,5
28	230,05	0,0012088	0,07139	14,01	990,48	2802,0	1811,5

Abb. 44

Absoluter Druck	Temperatur	spezif. Volumen Siedewasser	Dampfvolumen	Dampfdichte	Enthalpie des Wassers	Enthalpie des Dampfes	Verdampfungswärme
p bar	t_s °C	v' m ³ /kg	v'' m ³ /kg	ρ'' kg/m ³	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	r kJ/kg
29	231,97	0,0012126	0,06893	14,51	999,53	2802,2	1802,6
30	233,84	0,0012163	0,06663	15,01	1008,4	2802,3	1793,9
32	237,45	0,0012237	0,06244	16,02	1025,4	2802,3	1776,9
34	240,88	0,0012310	0,05873	17,03	1041,8	2802,1	1760,3
36	244,16	0,0012381	0,05541	18,05	1057,6	2801,7	1744,2
38	247,31	0,0012451	0,05244	19,07	1072,7	2801,1	1728,4
40	250,33	0,0012521	0,04975	20,10	1087,4	2800,3	1712,9
42	253,24	0,0012589	0,04731	21,14	1101,6	2799,4	1697,8
44	256,05	0,0012657	0,04508	22,18	1115,4	2798,3	1682,9
46	258,75	0,0012725	0,04304	23,24	1128,8	2797,0	1668,3
48	261,37	0,0012792	0,04116	24,29	1141,8	2795,7	1653,9
50	263,91	0,0012858	0,03943	25,36	1154,5	2794,2	1639,7
55	269,93	0,0013023	0,03563	28,07	1184,9	2789,9	1605,0
60	275,55	0,0013187	0,03244	30,83	1213,7	2785,0	1571,3
65	280,82	0,0013350	0,02972	33,65	1241,1	2779,5	1538,4
70	285,79	0,0013513	0,02737	36,53	1267,4	2773,5	1506,0
75	290,50	0,0013677	0,02533	39,48	1292,7	2766,9	1474,2
80	294,97	0,0013842	0,02353	42,51	1317,1	2759,9	1442,8
85	299,23	0,0014009	0,02193	56,61	1340,7	2752,5	1411,7
90	303,31	0,0014179	0,02050	48,79	1363,7	2744,6	1380,9
95	307,21	0,0014351	0,01921	52,06	1386,1	2736,4	1350,2
100	310,96	0,0014526	0,01804	55,43	1408,0	2727,7	1319,7
110	318,05	0,0014887	0,01601	62,48	1450,6	2709,3	1258,7
120	324,65	0,0015268	0,01428	70,01	1491,8	2689,2	1197,4
130	330,83	0,0015672	0,01280	78,14	1532,0	2667,0	1135,0
140	336,64	0,0016106	0,01150	86,99	1571,6	2642,4	1070,7
150	342,13	0,0016579	0,01034	96,71	1611,0	2615,0	1004,0
160	347,33	0,0017103	0,009308	107,4	1650,5	2584,9	934,3
170	352,26	0,0017696	0,008371	119,5	1691,7	2551,6	859,9
180	356,96	0,0018399	0,007489	133,4	1734,8	2513,9	779,1
190	361,43	0,0019260	0,006678	149,8	1778,7	2470,6	692,0
200	365,70	0,0020370	0,005877	170,2	1826,5	2418,4	591,9
220	373,69	0,0026714	0,003728	268,3	2011,1	2195,6	184,5
221,20	374,15	0,00317	0,00317	315,5	2107,4	2107,4	0

Abb. 44

3.6.2 Spezifische Enthalpie von überhitztem Wasserdampf

Druck p bar	Spezifische Enthalpie in kJ/kg bei einer Dampftemperatur in °C									Spezifische Enthalpie in kJ/kg bei einer Dampftemperatur in °C									Druck p bar
	200	220	240	260	280	300	320	340		360	380	400	420	440	460	480	500		
1	2875,4	2915,0	2954,6	2994,4	3034,4	3074,5	3114,8	3155,3		3196,0	3237,0	3278,2	3319,7	3361,4	3403,4	3445,6	3488,1	1	
2	2870,5	2910,8	2951,1	2991,4	3031,7	3072,1	3112,6	3153,3		3194,2	3235,4	3276,7	3318,3	3360,1	3402,1	3444,5	3487,0	2	
3	2865,5	2906,6	2947,5	2988,2	3028,9	3069,7	3110,5	3151,4		3192,4	3233,7	3275,2	3316,8	3358,8	3400,9	3443,3	3486,0	3	
4	2860,4	2902,3	2943,9	2985,1	3026,2	3067,2	3108,3	3149,4		3190,6	3232,1	3273,6	3315,4	3357,4	3399,7	3442,1	3484,9	4	
5	2855,1	2898,0	2940,1	2981,9	3023,4	3064,8	3106,1	3147,4		3188,8	3230,4	3272,1	3314,0	3356,1	3398,4	3441,0	3483,8	5	
6	2849,7	2893,5	2936,4	2978,7	3020,6	3062,3	3103,9	3145,4		3187,0	3228,7	3270,6	3312,6	3354,8	3397,2	3439,8	3482,7	6	
7	2844,2	2888,9	2932,5	2975,4	3017,7	3059,8	3101,6	3143,4		3185,2	3227,1	3269,0	3311,2	3353,4	3395,9	3439,6	3481,6	7	
8	2838,6	2884,2	2928,6	2972,1	3014,9	3057,3	3099,4	3141,4		3183,4	3225,4	3267,5	3309,7	3352,1	3394,7	3437,5	3480,5	8	
9	2832,7	2879,5	2924,6	2968,7	3012,0	3054,7	3097,1	3139,4		3181,6	3223,7	3266,0	3308,3	3350,8	3393,5	3436,3	3479,4	9	
10	2826,8	2874,6	2920,6	2965,2	3009,0	3052,1	3094,9	3137,4		3179,7	3222,0	3264,4	3306,9	3349,5	3392,2	3435,1	3478,3	10	
11	2820,7	2869,6	2916,4	2961,8	3006,0	3049,6	3092,6	3135,3		3177,9	3220,3	3262,9	3305,4	3348,1	3391,0	3434,0	3477,2	11	
12	2814,4	2864,5	2912,2	2958,2	3003,0	3046,9	3090,3	3133,2		3176,0	3218,7	3261,3	3304,0	3346,8	3389,7	3432,8	3476,1	12	
13	2808,0	2859,3	2908,0	2954,7	3000,0	3044,3	3088,0	3131,2		3174,1	3217,0	3259,2	3302,5	3345,4	3388,5	3431,6	3475,0	13	
14	2801,4	2854,0	2903,6	2951,0	2996,9	3041,6	3085,6	3129,1		3172,3	3215,3	3258,2	3301,1	3344,1	3387,2	3430,5	3473,9	14	
15	2794,7	2848,6	2899,2	2947,3	2993,7	3038,9	3083,3	3127,0		3170,4	3213,5	3256,6	3299,7	3342,8	3386,0	3429,3	3472,8	15	
16	-	2843,1	2894,7	2943,6	2990,6	3036,2	3080,9	3124,9		3168,5	3211,8	3255,0	3298,2	3341,4	3384,7	3428,1	3471,7	16	
18	-	2831,7	2885,4	2935,9	2984,1	3030,7	3076,1	3120,6		3164,7	3208,4	3251,9	3295,3	3338,7	3382,2	3425,8	3469,5	18	
20	-	2819,9	2875,9	2928,1	2977,5	3025,0	3071,2	3116,3		3160,8	3204,9	3248,7	3292,4	3336,0	3379,7	3423,4	3467,3	20	
22	-	2807,5	2866,0	2920,0	2970,8	3019,3	3066,2	3112,0		3156,9	3201,4	3245,5	3289,4	3333,3	3377,1	3421,1	3465,1	22	
24	-	-	2855,7	2911,6	2963,8	3013,4	3061,1	3107,5		3153,0	3197,8	3242,3	3286,5	3330,6	3374,6	3418,7	3462,9	24	
26	-	-	2845,2	2903,0	2956,7	3007,4	3056,0	3103,0		3149,0	3194,3	3239,0	3283,5	3327,8	3372,1	3416,3	3460,6	26	
28	-	-	2834,2	2894,2	2949,5	3001,3	3050,8	3098,5		3145,0	3190,7	3235,8	3280,5	3325,1	3369,5	3413,9	3458,4	28	
30	-	-	2822,9	2885,1	2942,0	2995,1	3045,4	3093,9		3140,9	3187,0	3232,5	3277,5	3322,3	3367,0	3411,6	3456,2	30	
32	-	-	2811,2	2875,8	2934,4	2988,7	3040,0	3089,2		3136,8	3183,4	3229,2	3274,5	3319,5	3364,4	3409,2	3454,0	32	
34	-	-	-	2866,2	2926,6	2982,2	3034,5	3084,4		3132,7	3179,7	3225,9	3271,5	3316,8	3361,8	3406,8	3451,7	34	
36	-	-	-	2856,3	2918,6	2975,6	3028,9	3079,6		3128,4	3175,9	3222,5	3268,4	3314,0	3359,2	3404,4	3449,5	36	
38	-	-	-	2846,1	2910,4	2968,9	3023,3	3074,8		3124,2	3172,2	3219,1	3265,4	3311,2	3356,6	3402,0	3447,2	38	
40	-	-	-	2835,6	2902,0	2962,0	3017,5	3069,8		3119,9	3168,4	3215,7	3262,3	3308,3	3354,0	3399,6	3445,0	40	
42	-	-	-	2824,8	2893,5	2955,0	3011,6	3064,8		3115,5	3164,5	3212,3	3259,2	3305,5	3351,4	3397,7	3442,7	42	
44	-	-	-	2813,6	2884,7	2947,8	3005,7	3059,7		3111,1	3160,6	3208,8	3256,0	3302,6	3348,8	3394,7	3440,5	44	
46	-	-	-	2802,0	2875,6	2940,5	2999,6	3054,6		3106,7	3156,7	3205,3	3252,9	3299,8	3346,2	3392,3	3438,2	46	
48	-	-	-	-	2866,4	2933,1	2993,4	3049,4		3102,2	3152,8	3201,8	3249,7	3296,9	3343,5	3389,8	3435,9	48	
50	-	-	-	-	2856,9	2925,5	2987,2	3044,1		3097,6	3148,8	3198,3	3246,6	3294,0	3340,9	3387,4	3433,7	50	
55	-	-	-	-	2831,8	2905,7	2971,0	3030,5		3085,9	3138,6	3189,3	3238,5	3286,7	3334,2	3381,2	3427,9	55	
60	-	-	-	-	2804,9	2885,0	2954,2	3016,5		3074,0	3128,3	3180,1	3230,3	3279,3	3327,4	3375,0	3422,2	60	
70	-	-	-	-	-	2839,4	2918,3	2987,0		3049,1	3106,7	3161,2	3213,5	3264,2	3313,7	3362,4	3410,6	70	
80	-	-	-	-	-	2786,8	2878,7	2955,3		3022,7	3084,2	3141,6	3196,2	3248,7	3299,7	3349,6	3398,8	80	
90	-	-	-	-	-	-	2834,3	2920,9		2994,8	3060,5	3121,2	3178,2	3232,7	3285,3	3336,5	3386,8	90	
100	-	-	-	-	-	-	2783,5	2883,4		2964,8	3035,7	3099,9	3159,7	3216,2	3270,5	3323,2	3374,6	100	
110	-	-	-	-	-	-	2723,5	2841,7		2932,8	3009,6	3077,8	3140,5	3199,4	3255,5	3309,6	3362,2	110	
120	-	-	-	-	-	-	-	2794,7		2898,1	2982,0	3054,8	3120,7	3182,0	3240,0	3295,7	3349,6		
130	-	-	-	-	-	-	-	2740,6		2860,2	2952,7	3030,7	3100,2	3164,1	3224,2	3281,6	3336,8	130	
140	-	-	-	-	-	-	-	2675,7		2818,1	2921,4	3005,6	3079,0	3145,8	3208,1	3267,1	3323,8	140	
150	-	-	-	-	-	-	-	-		2770,8	2887,7	2979,1	3057,0	3126,9	3191,5	3252,4	3310,6	150	
160	-	-	-	-	-	-	-	-		2716,5	2851,1	2951,3	3034,2	3107,5	3174,5	3237,4	3297,1	160	
180	-	-	-	-	-	-	-	-		2569,1	2766,6	2890,3	2985,8	3066,9	3139,4	3206,5	3269,6	180	
200	-	-	-	-	-	-	-	-		-	2660,2	2820,5	2932,9	3023,7	3102,7	3174,4	3241,1	200	
250	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	2582,0	2774,1	2901,7	3002,3	3088,5	3165,9	250	

Abb. 45

3.6.3 Spezifisches Volumen von überhitztem Wasserdampf

Druck p bar	Spezifisches Volumen in m ³ /kg bei einer Dampftemperatur in °C									Spezifisches Volumen in m ³ /kg bei einer Dampftemperatur in °C								Druck p bar
	200	220	240	260	280	300	320	340		360	380	400	420	440	460	480	500	
1	2,172	2,266	2,359	2,453	2,546	2,639	2,732	2,824		2,917	3,010	3,102	3,195	3,288	3,380	3,473	3,565	1
2	1,0804	1,1280	1,1753	1,2224	1,2693	1,3162	1,3629	1,4095		1,4561	1,5027	1,5492	1,5956	1,6421	1,6885	1,7349	1,7812	2
3	0,7164	0,7486	0,7805	0,8123	0,8438	0,8753	0,9066	0,9379		0,9691	1,0003	1,0314	1,0625	1,0935	1,1245	1,1556	1,1865	3
4	0,5343	0,5589	0,5831	0,6072	0,6311	0,6549	0,6785	0,7021		0,7256	0,7491	0,7725	0,7959	0,8192	0,8426	0,8659	0,8892	4
5	0,4250	0,4450	0,4647	0,4841	0,5034	0,5226	0,5416	0,5606		0,5795	0,5984	0,6172	0,6359	0,6547	0,6734	0,6921	0,7108	5
6	0,3520	0,3690	0,3857	0,4021	0,4183	0,4344	0,4504	0,4663		0,4821	0,4979	0,5136	0,5293	0,5450	0,5606	0,5762	0,5918	6
7	0,2929	0,3147	0,3292	0,3435	0,3575	0,3714	0,3852	0,3989		0,4125	0,4261	0,4396	0,4531	0,4666	0,4801	0,4935	0,5069	7
8	0,2608	0,2740	0,2869	0,1995	0,3119	0,3241	0,3363	0,3483		0,3603	0,3723	0,3842	0,3960	0,4078	0,4196	0,4314	0,4432	8
9	0,2303	0,2423	0,2539	0,2653	0,2764	0,2874	0,2983	0,3090		0,3197	0,3304	0,3410	0,3516	0,3621	0,3726	0,3831	0,3936	9
10	0,2059	0,2169	0,2276	0,2379	0,2480	0,2580	0,2678	0,2776		0,2873	0,2969	0,3065	0,3160	0,3256	0,3350	0,3445	0,3540	10
11	0,1859	0,1961	0,2060	0,2155	0,2248	0,2339	0,2429	0,2518		0,2607	0,2695	0,2782	0,2870	0,2956	0,3043	0,3129	0,3215	11
12	0,1692	0,1788	0,1879	0,1968	0,2054	0,2139	0,2222	0,2304		0,2386	0,2467	0,2547	0,2627	0,2707	0,2787	0,2866	0,2945	12
13	0,1551	0,1641	0,1727	0,1810	0,1890	0,1969	0,2046	0,2123		0,2198	0,2273	0,2348	0,2422	0,2496	0,2570	0,2643	0,2716	13
14	0,1429	0,1515	0,1596	0,1674	0,1749	0,1823	0,1896	0,1967		0,2038	0,2108	0,2177	0,2246	0,2315	0,2384	0,2452	0,2520	14
15	0,1324	0,1406	0,1483	0,1556	0,1628	0,1697	0,1765	0,1832		0,1898	0,1964	0,2029	0,2094	0,2158	0,2223	0,2287	0,2350	15
16	-	0,1310	0,1383	0,1453	0,1521	0,1587	0,1651	0,1714		0,1777	0,1838	0,1900	0,1961	0,2021	0,2082	0,2142	0,2202	16
18	-	0,1150	0,1217	0,1282	0,1343	0,1402	0,1460	0,1517		0,1573	0,1629	0,1684	0,1738	0,1793	0,1847	0,1900	0,1954	18
20	-	0,1021	0,1084	0,1144	0,1200	0,1255	0,1308	0,1360		0,1411	0,1461	0,1511	0,1561	0,1610	0,1659	0,1707	0,1756	20
22	-	0,09152	0,09752	0,10309	0,10837	0,11343	0,11833	0,12311		0,12780	0,13243	0,13700	0,14152	0,14602	0,15048	0,15492	0,15934	22
24	-	-	0,08839	0,09367	0,09863	0,10336	0,10793	0,11237		0,11672	0,12100	0,12522	0,12940	0,13355	0,13766	0,14175	0,14582	24
26	-	-	0,08064	0,08567	0,09037	0,09483	0,09912	0,10328		0,10734	0,11133	0,11526	0,11914	0,12299	0,12681	0,13061	0,13438	26
28	-	-	0,07397	0,07880	0,08328	0,08751	0,09156	0,09548		0,09929	0,10303	0,10671	0,11035	0,11395	0,11752	0,12106	0,12458	28
30	-	-	0,06816	0,07283	0,07712	0,08116	0,08500	0,08871		0,09232	0,09584	0,09931	0,10273	0,10611	0,10946	0,11278	0,11608	30
32	-	-	0,06305	0,06759	0,07173	0,07559	0,07926	0,08279		0,08621	0,08955	0,09283	0,09606	0,09925	0,10241	0,10554	0,10865	32
34	-	-	-	0,06295	0,06695	0,07068	0,07419	0,07756		0,08082	0,08400	0,08711	0,09017	0,09319	0,09618	0,09915	0,10209	34
36	-	-	-	0,05880	0,06270	0,06630	0,06968	0,07291		0,07603	0,07906	0,08202	0,08494	0,08781	0,09065	0,09347	0,09626	36
38	-	-	-	0,05508	0,05888	0,06237	0,06564	0,06875		0,07174	0,07464	0,07747	0,08025	0,08300	0,08570	0,08838	0,09104	38
40	-	-	-	0,05172	0,05544	0,05883	0,06200	0,06499		0,06787	0,07066	0,07338	0,07604	0,07866	0,08125	0,08381	0,08634	40
42	-	-	-	0,04865	0,05231	0,05562	0,05870	0,06160		0,06437	0,06706	0,06967	0,07222	0,07474	0,07722	0,07967	0,08209	42
44	-	-	-	0,04585	0,04946	0,05270	0,05569	0,05850		0,06119	0,06378	0,06630	0,06876	0,07117	0,07355	0,07590	0,07823	44
46	-	-	-	0,04328	0,04685	0,05003	0,05294	0,05568		0,05828	0,06079	0,06321	0,06559	0,06791	0,07020	0,07247	0,07470	46
48	-	-	-	-	0,04444	0,04757	0,05042	0,05309		0,05561	0,05804	0,06039	0,06268	0,06493	0,06714	0,06931	0,07147	48
50	-	-	-	-	0,04222	0,04530	0,04810	0,05070		0,05316	0,05551	0,05779	0,06001	0,06218	0,06431	0,06642	0,06849	50
55	-	-	-	-	0,03733	0,04034	0,04302	0,04549		0,04780	0,05001	0,05213	0,05419	0,05620	0,05817	0,06011	0,06202	55
60	-	-	-	-	0,03317	0,03614	0,03874	0,04111		0,04330	0,04539	0,04738	0,04931	0,05118	0,05302	0,05482	0,05659	60
70	-	-	-	-	-	0,02946	0,03198	0,03420		0,03623	0,03812	0,03992	0,04165	0,04331	0,04494	0,04653	0,04809	70
80	-	-	-	-	-	0,02426	0,02681	0,02896		0,03088	0,03265	0,03431	0,03589	0,03740	0,03887	0,04030	0,04170	80
90	-	-	-	-	-	-	0,02269	0,02484		0,02669	0,02837	0,02993	0,03140	0,03280	0,03415	0,03546	0,03674	90
100	-	-	-	-	-	-	0,01926	0,02147		0,02331	0,02493	0,02641	0,02779	0,02911	0,03036	0,03158	0,03276	100
110	-	-	-	-	-	-	0,01628	0,01864		0,02049	0,02208	0,02351	0,02483	0,02608	0,02726	0,02840	0,02950	110
120	-	-	-	-	-	-	-	0,01619		0,01811	0,01969	0,02108	0,02236	0,02355	0,02467	0,02575	0,02679	
130	-	-	-	-	-	-	-	0,01401		0,01604	0,01764	0,01902	0,02025	0,02140	0,02247	0,02350	0,02440	130
140	-	-	-	-	-	-	-	0,01200		0,01421	0,01586	0,01723	0,01844	0,01955	0,02059	0,02157	0,02251	140
150	-	-	-	-	-	-	-	-		0,01256	0,01428	0,01566	0,01686	0,01794	0,01895	0,01989	0,02080	150
160	-	-	-	-	-	-	-	-		0,01104	0,01287	0,01427	0,01546	0,01653	0,01751	0,01842	0,01929	160
180	-	-	-	-	-	-	-	-		0,008104	0,01040	0,01191	0,01311	0,01416	0,01510	0,01597	0,01678	180
200	-	-	-	-	-	-	-	-		-	0,008246	0,009947	0,01120	0,01224	0,01315	0,01399	0,01477	200
250	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	0,006014	0,007580	0,008696	0,009609	0,01041	0,01113	250

Abb. 46

3.6.4 h,s-Diagramm für Wasserdampf nach Mollier

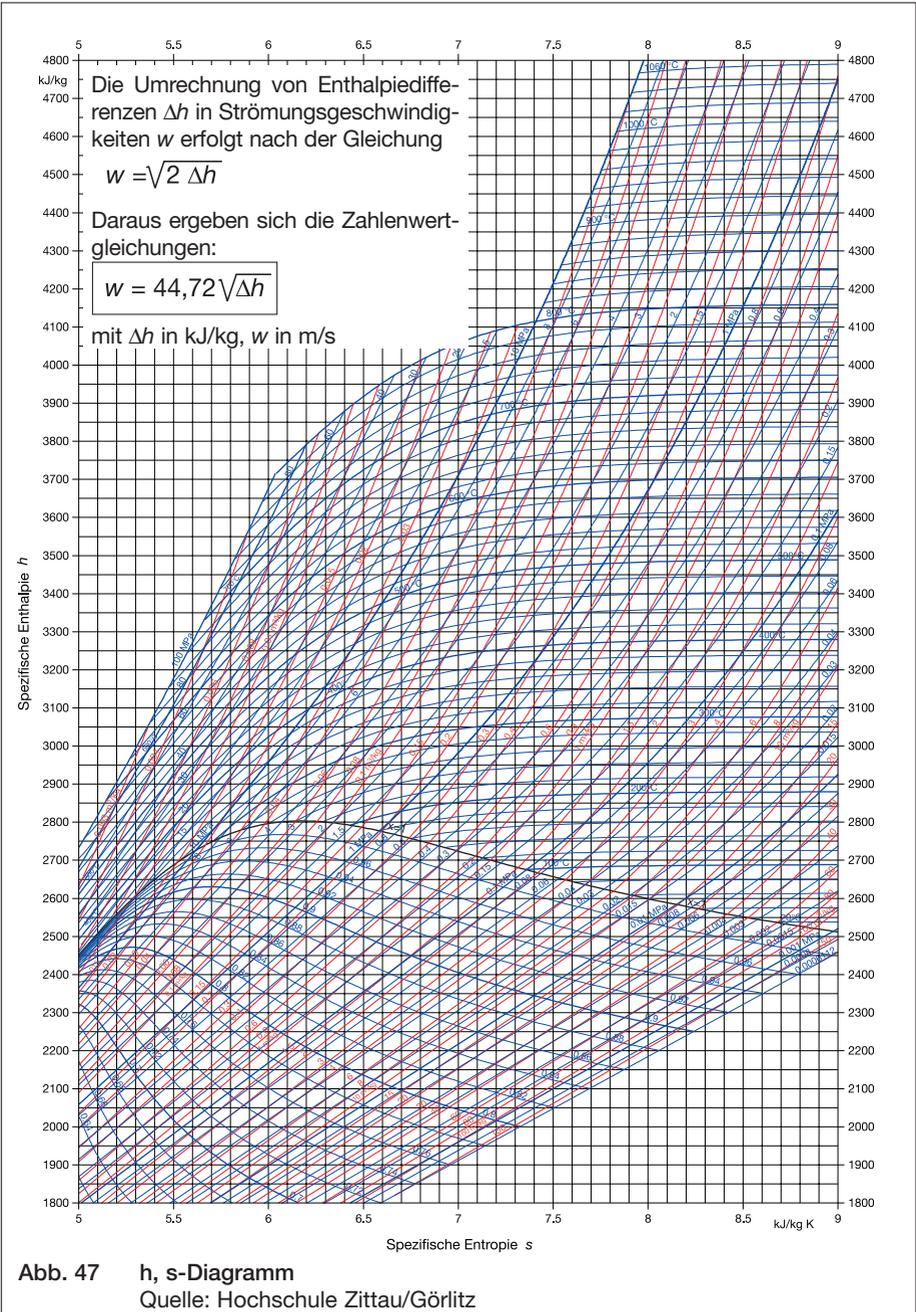


Abb. 47 h, s-Diagramm
Quelle: Hochschule Zittau/Görlitz

4	Schaltbeispiele für Heiz- und Kühlsysteme	
4.1	Grundlagen	79
4.1.1	Sinnbilder für Wärmekraftanlagen	79
4.1.2	International gebräuchliche Symbole und Kurzzeichen	84
4.2	Schaltbeispiele für Dampf- und Kondensatanlagen	85
4.2.1	Kondensatableitung	85
4.2.1.1	Dampfverteiler	85
4.2.1.2	Dampfleitungsentwässerung	87
4.2.1.3	Kondensat-Sammelstationen	89
4.2.1.4	Kondensatentspanner	92
4.2.1.5	Sammel- oder Einzelentwässerung	93
4.2.1.6	Anfahrentwässerung	95
4.2.1.7	Heizflächenüberwachung und Kondensatableiterkontrolle	97
4.2.1.8	Schmutzsicherheit	98
4.2.1.9	Frostsicherheit	99
4.2.2	Nutzung der Kondensatwärme	99
4.2.3	Entlüftung von Dampfverbrauchern	102
4.2.4	Maßnahmen gegen Wasserschläge	104
4.3	Schaltbeispiele für Heizsysteme mit flüssigen Wärmeträgern	108
4.3.1	Allgemeines	108
4.3.2	Rücklauftemperaturbegrenzer (Kalorimaten)	108
4.3.3	Beispiele für den Einsatz von Kalorimaten	109
4.4	Schaltbeispiele für Kühlsysteme: Kühlwasser und Kühlsole	112
4.4.1	Allgemeines	112
4.4.2	Kühlwasserbegrenzer CW	114
4.4.3	Mechanische Temperaturregler-Systeme Clorius	115

4 Schaltbeispiele für Heiz- und Kühlsysteme

4.1 Grundlagen

4.1.1 Sinnbilder für Wärmekraftanlagen

Auszug aus DIN 2481: Wärmekraftanlagen, graphische Symbole. Aufbau und Darstellungsart der einzelnen Pläne sind freizügig dem jeweiligen Verwendungszweck anzupassen. Es ist derjenigen Darstellungsart der Vorzug zu geben, die einfacher, übersichtlicher und einprägsamer ist als eine andere.

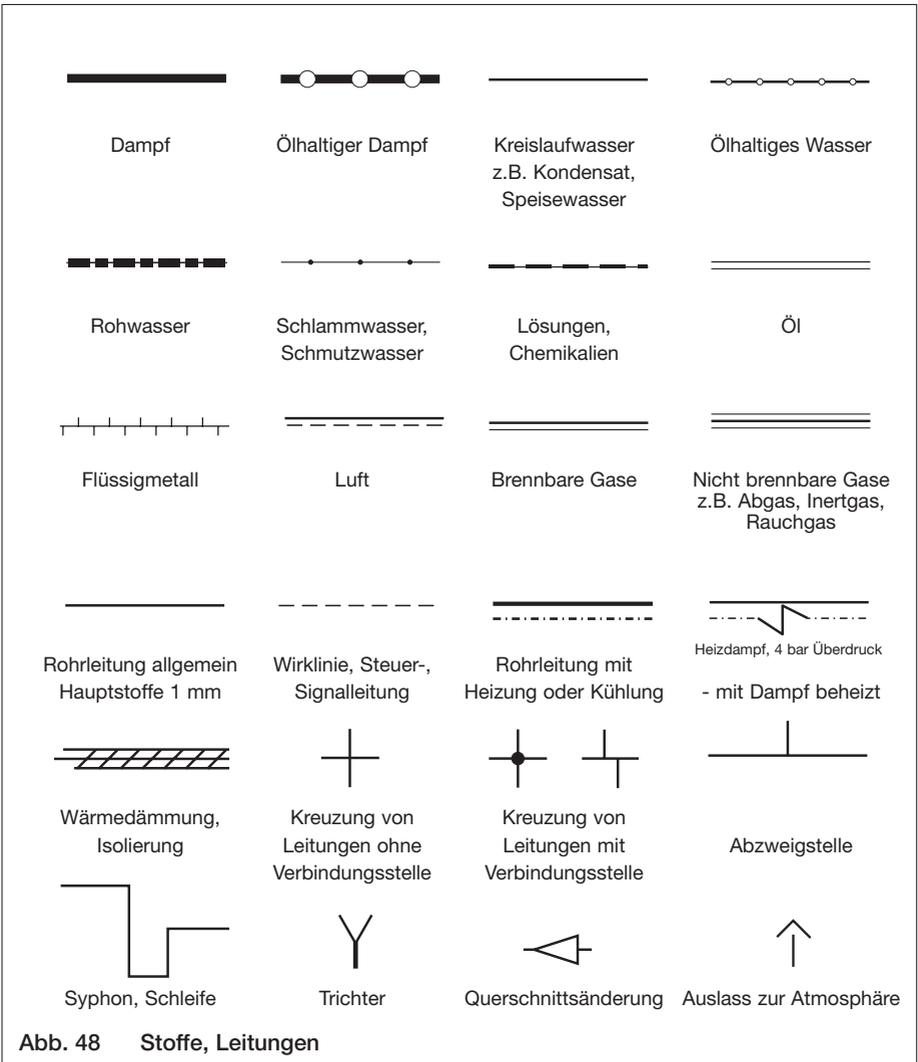


Abb. 48 Stoffe, Leitungen



Absperrarmatur
allgemein



Ventil



Schieber



Hahn



Durchgangsventil



Eckventil



Dreiwegeventil



Druckminderungsventil



Ventil mit stetigem
Stellverhalten



Ventil mit
Sicherheitsfunktion



Federbelastetes
Sicherheitsventil



Gewichtsbelastetes
Sicherheitsventil



Rückschlagventil



Rückschlagklappe



Absperrklappe



Klappe mit stetigem
Stellverhalten



Absperrarmatur mit
Antrieb von Hand



- mit Antrieb
durch Elektromotor



- mit Antrieb
durch Elektromagnet



- mit
Kolbenantrieb



Absperrarmatur mit
Membranantrieb



- mit Antrieb
durch Fluide



- mit
Druckluftantrieb



- mit
Druckölantrieb



Kondensatableiter



Kondensatableiter



Absperrarmatur
geschlossen



Absperrarmatur
geöffnet

Abb. 49 Armaturen

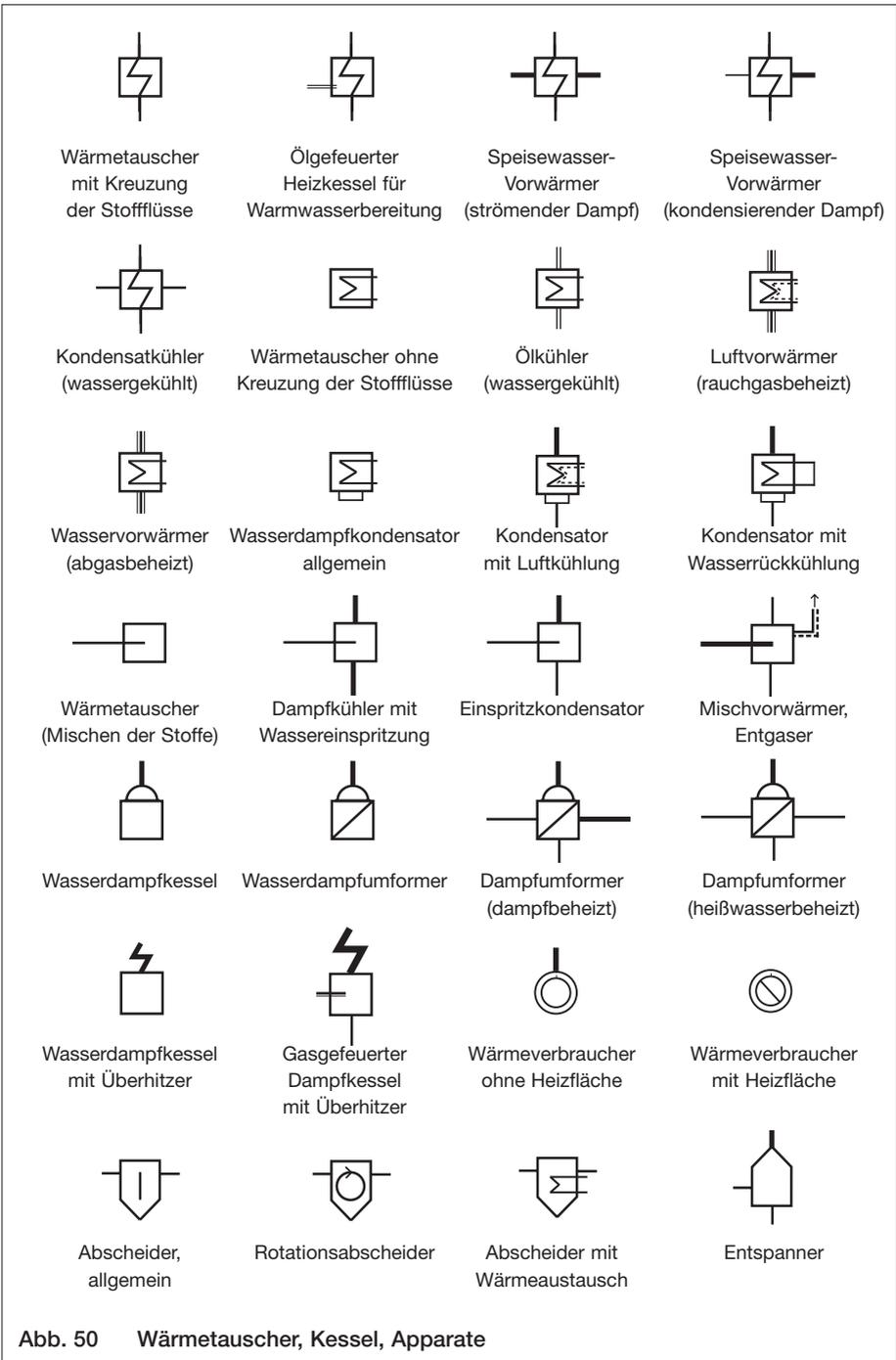


Abb. 50 Wärmetauscher, Kessel, Apparate

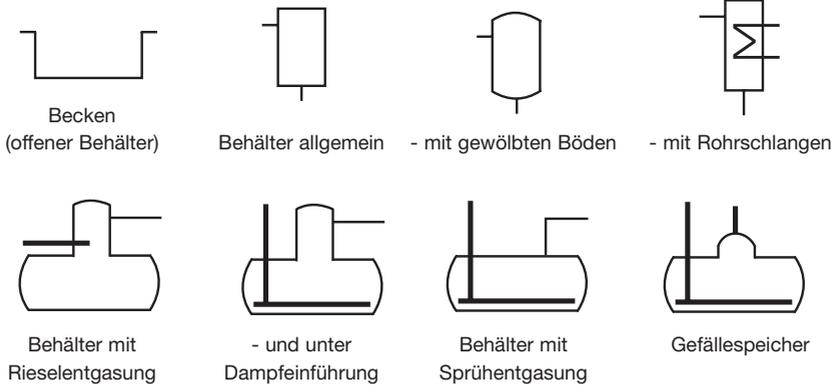


Abb. 51 Behälter

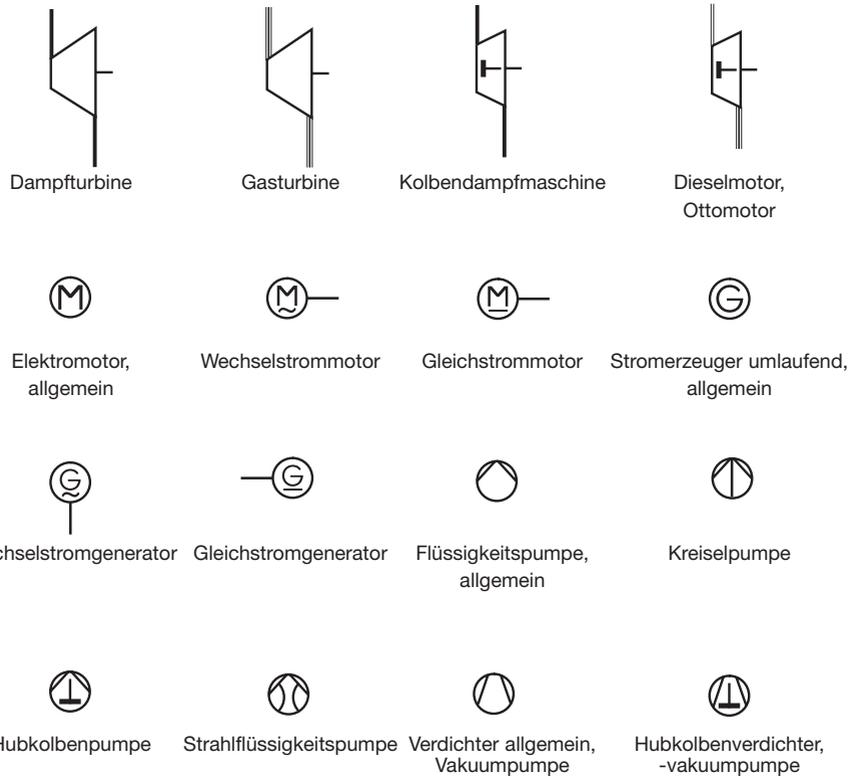


Abb. 52 Maschinen.

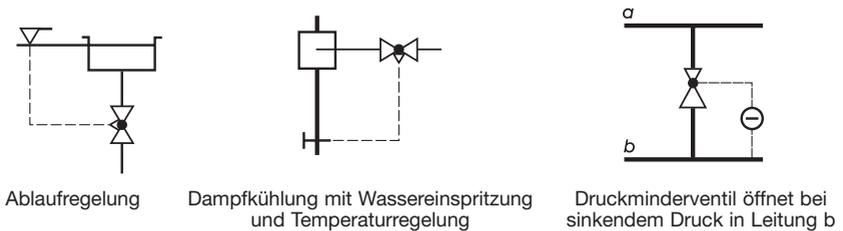


Abb. 53 Messung und Regelung.

1) Anwendung dieser Symbole auch ohne den umhüllenden Kreis.

4.1.2 International gebäuchliche Symbole und Kurzzeichen

Sie ermöglichen einfache und übersichtliche Pläne für die Instrumentierung einer Anlage unter Verzicht auf gerätetechnische Details. Alle wichtigen Details werden in getrennten Dokumenten, z.B. im Angebot, in der Beschreibung oder in Ausführungsplänen zusammengestellt.

Symbole	Bedeutung einiger Kennbuchstaben in Kurzzeichen	
	an erster Stelle	als Folgebuchstaben
Prozessleitungen		
Dampf	—————	
Wasser	=====	
Luft	-----	
Instrumentierung		
Grundleitung	—————	
Kapillarsystem	×××××	
Pneumatische Signalleitung	///	
Elektrische Signalleitung	-----	
Kreissymbole für Geräte		
Örtlich montiert	○	
Tafelmontage	⊖	
Gestellmontage	⊕	
	<p>1) PD = Druckdifferenz, TD = Temperaturdifferenz usw. 2) S = Switch (Schalter, schaltend) kann auch Safety (Sicherheit, Schutz im Notfall) bedeuten.</p> <p>Beispiel für Aufbau und Bedeutung eines Kurzzeichens: Die Messgröße Druck (P) soll angezeigt (I) und geregelt (C) werden. PIC - 110 bedeutet: Pressure Indicating Controller = angezeigter Druckregler für den Regelkreis 110.</p>	

Abb. 54 Teilübersicht in Anlehnung an ANSI/ISA-5.1 (siehe auch DIN 19227-1/-2).

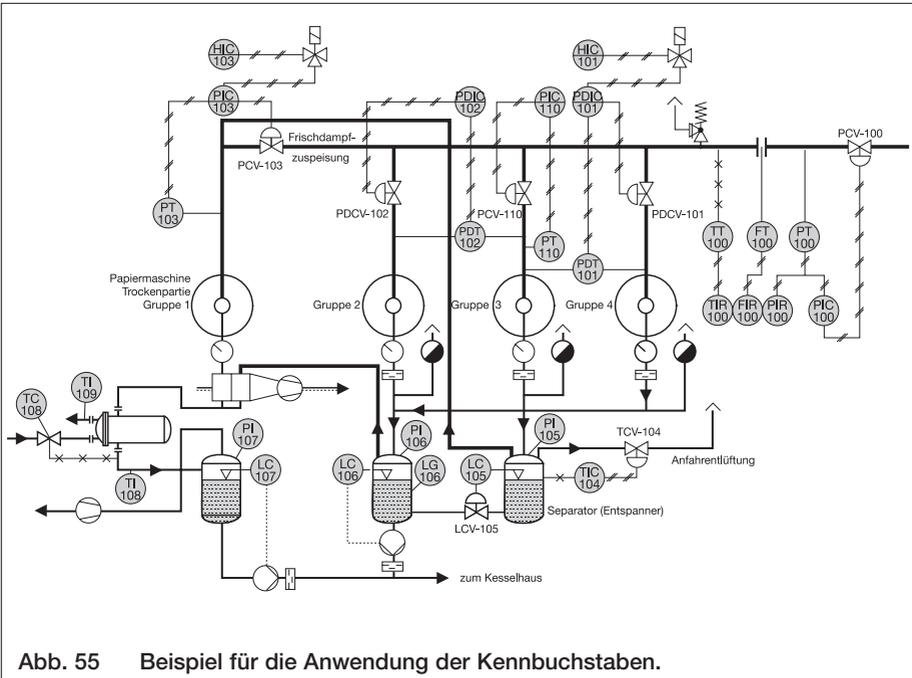


Abb. 55 Beispiel für die Anwendung der Kennbuchstaben.

4.2 Schaltbeispiele für Dampf- und Kondensatanlagen

4.2.1 Kondensatableitung

4.2.1.1 Dampfverteiler

Die Dampfeinspeisung für mehrere Verbraucher, Wärmetauscher oder Begleitheizstrecken wird an Schwerpunkten und nach Druckstufen getrennt zu Dampfverteilerstationen zusammengefasst. Dampfverteiler sind so anzuordnen, dass Bedienung und Wartung vom Boden bzw. von Bühnen aus leicht möglich ist. Die Dampfführungsleitungen müssen an den tiefsten Punkten und an den Leitungsenden kontinuierlich entwässert werden.

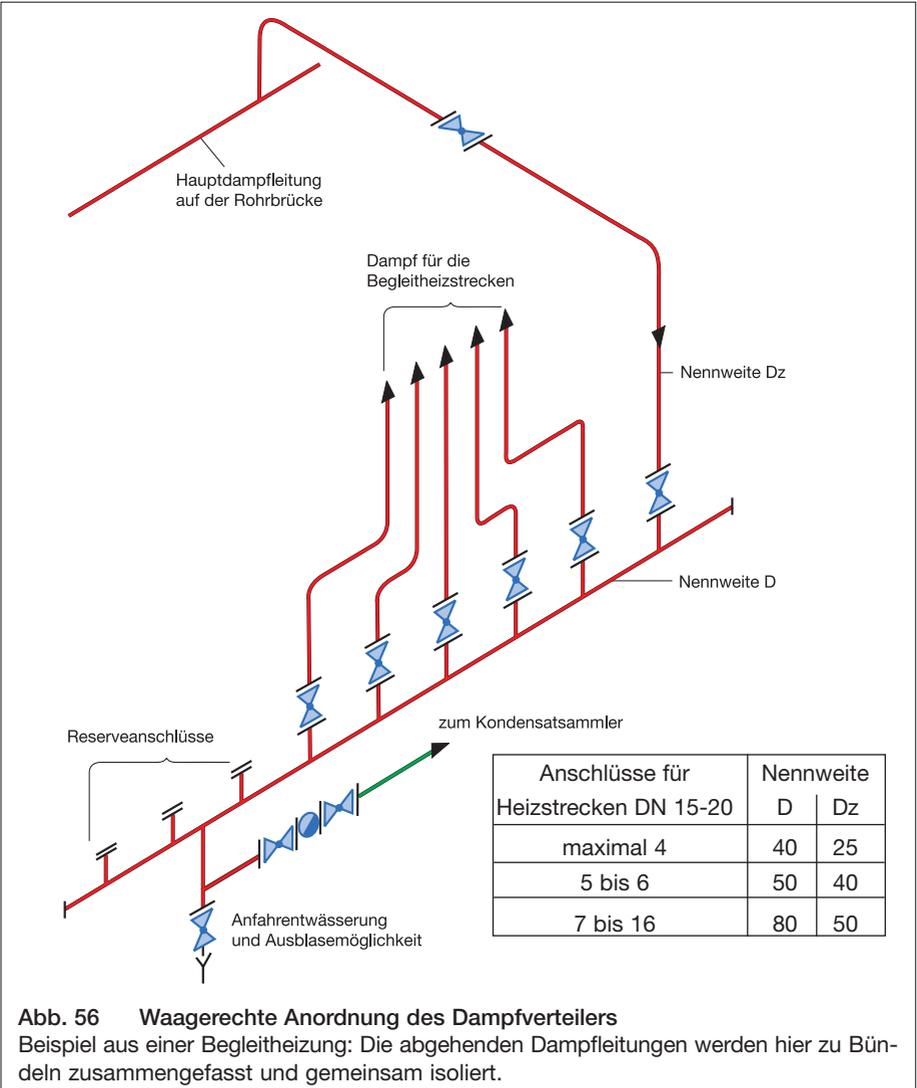


Abb. 56 Waagerechte Anordnung des Dampfverteilers

Beispiel aus einer Begleitheizung: Die abgehenden Dampfleitungen werden hier zu Bündeln zusammengefasst und gemeinsam isoliert.

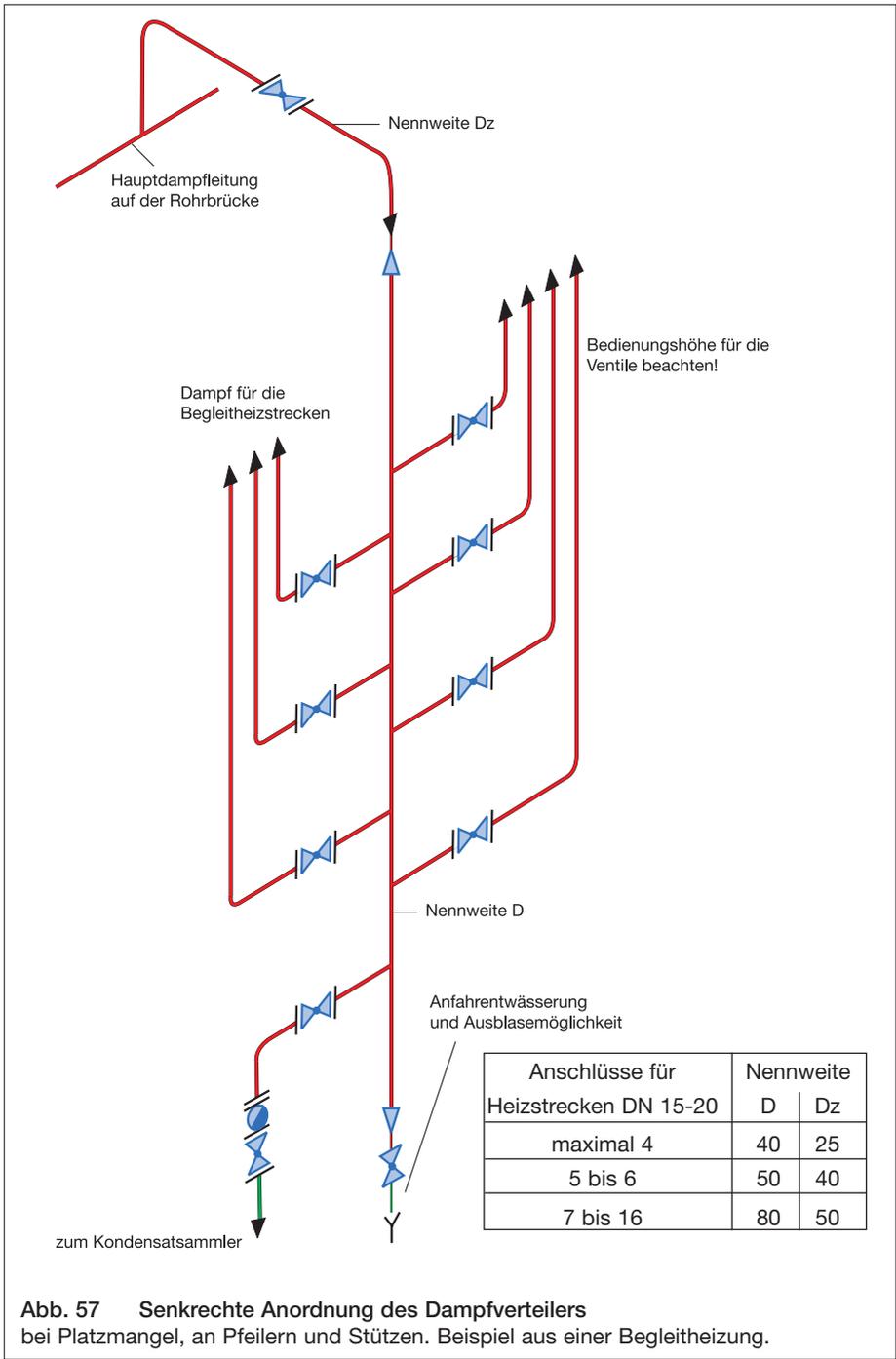


Abb. 57 Senkrechte Anordnung des Dampfverteilers bei Platzmangel, an Pfeilern und Stützen. Beispiel aus einer Begleitheizung.

4.2.1.2 Dampfleitungsentwässerung

Entwässerungsstellen sind vor jedem nach oben gehenden Richtungswechsel, an Tiefpunkten, am Leitungsende und mit Abständen von etwa 100 m im geraden Leitungsverlauf erforderlich. Die Entwässerungsleitungen werden – unter Beachtung der Druckstufen – an den nächstliegenden Kondensatsammler angeschlossen. Das lohnt sich allerdings nicht bei weit entfernt liegenden Entwässerungsstellen. Das dort anfallende Kondensat wird deshalb ins Freie geleitet.

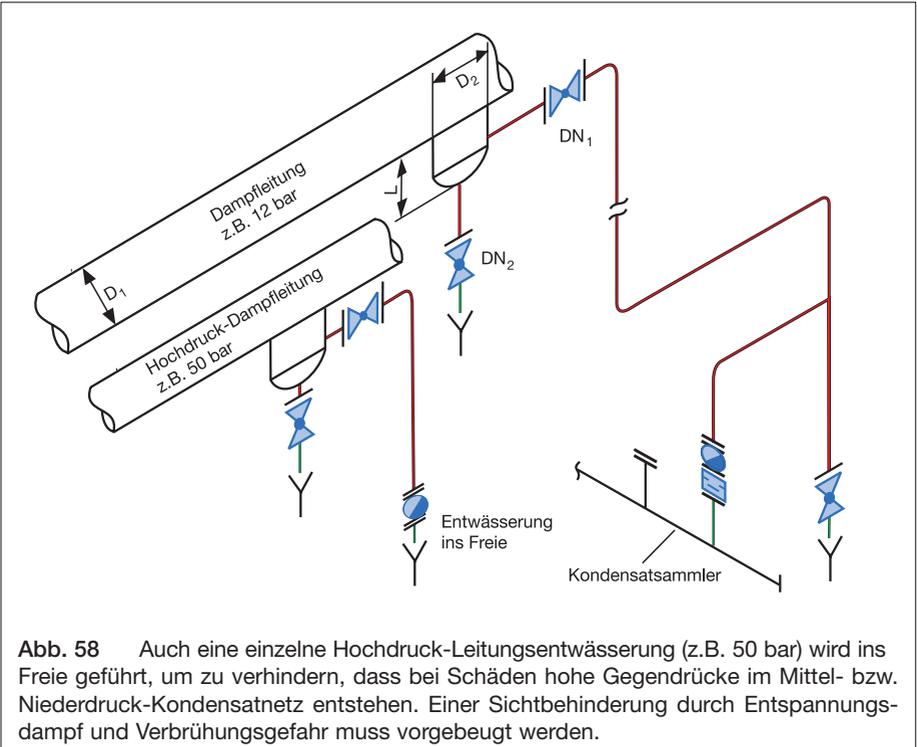


Abb. 58 Auch eine einzelne Hochdruck-Leitungsentwässerung (z.B. 50 bar) wird ins Freie geführt, um zu verhindern, dass bei Schäden hohe Gegendrucke im Mittel- bzw. Niederdruck-Kondensatnetz entstehen. Einer Sichtbehinderung durch Entspannungs-dampf und Verbrühungsgefahr muss vorgebeugt werden.

D ₁	mm	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600
	in	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24
D ₂	mm	50	65	80	80	80	100	150	150	200	200	200	250	250	250
	in	2	2 1/2	3	3	3	4	6	6	8	8	8	10	10	10
L	mm	für alle DN: L ≥ 250													
DN ₁	mm	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DN ₂	mm	20	25	25	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50

Abb. 59 Nennweiten der Dampf- und Entwässerungsleitungen.

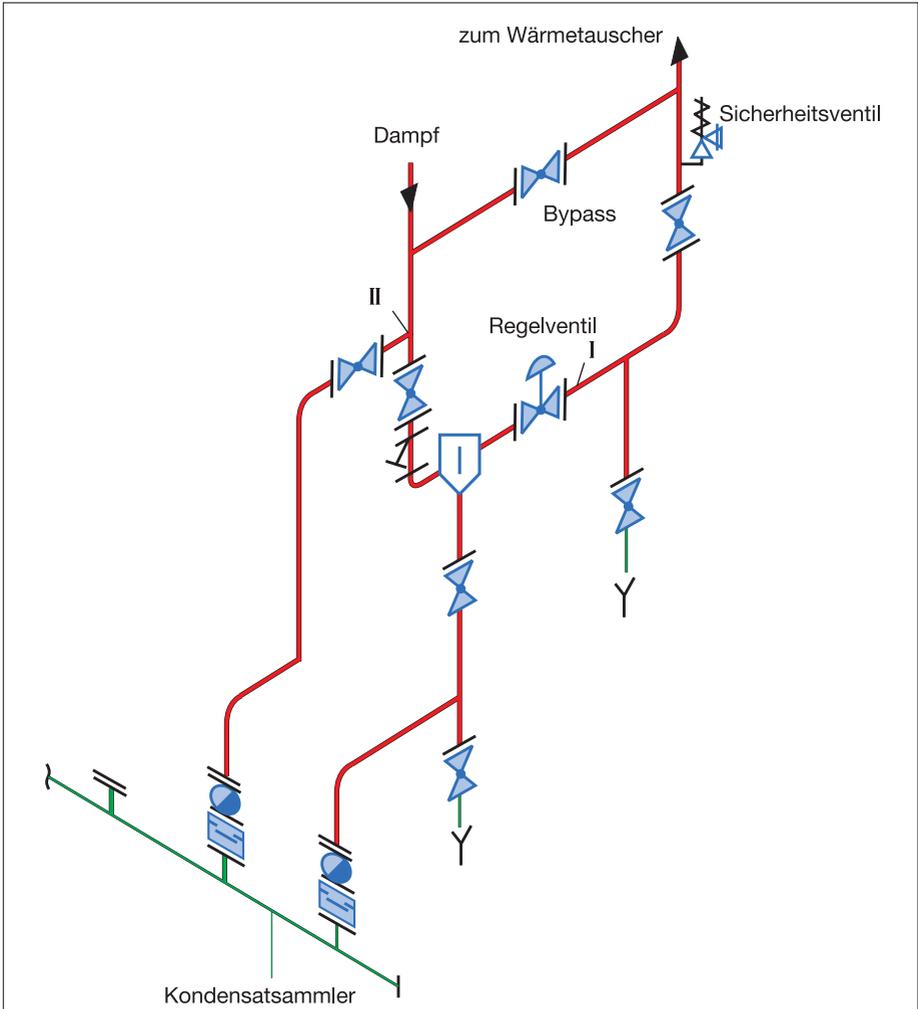
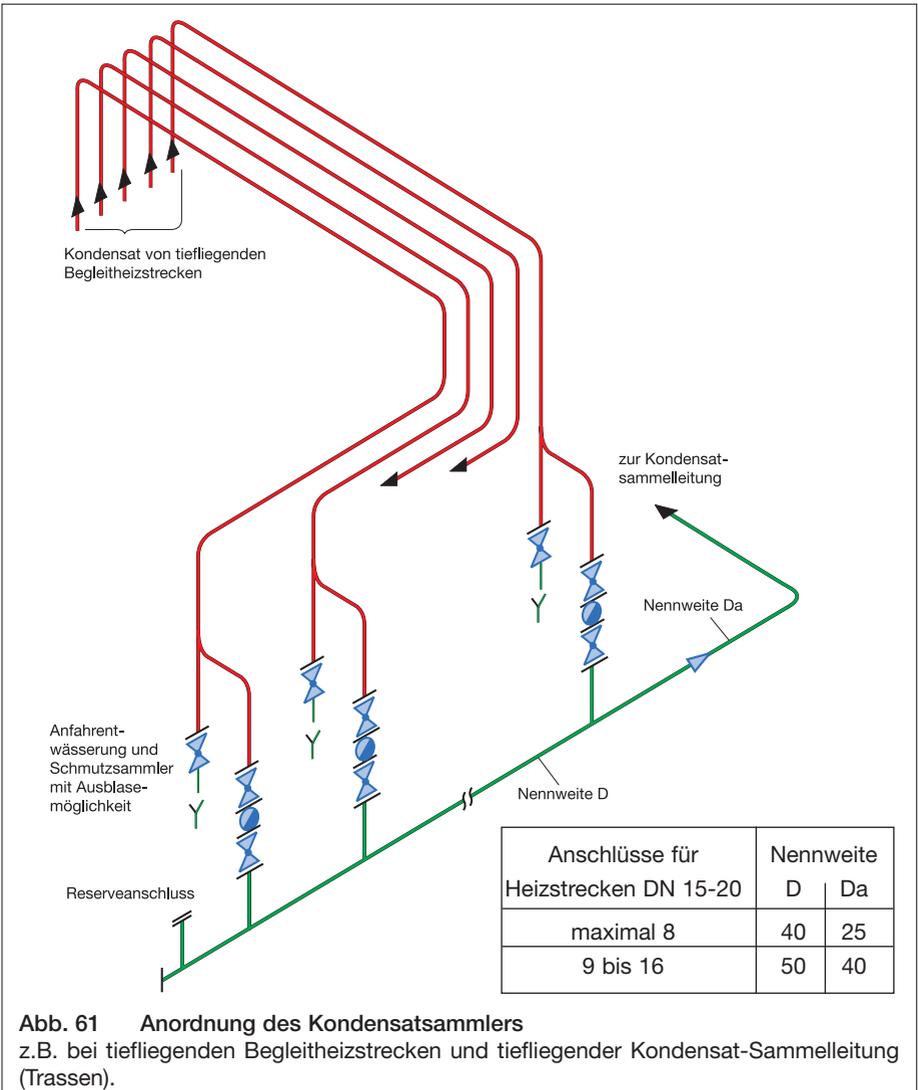


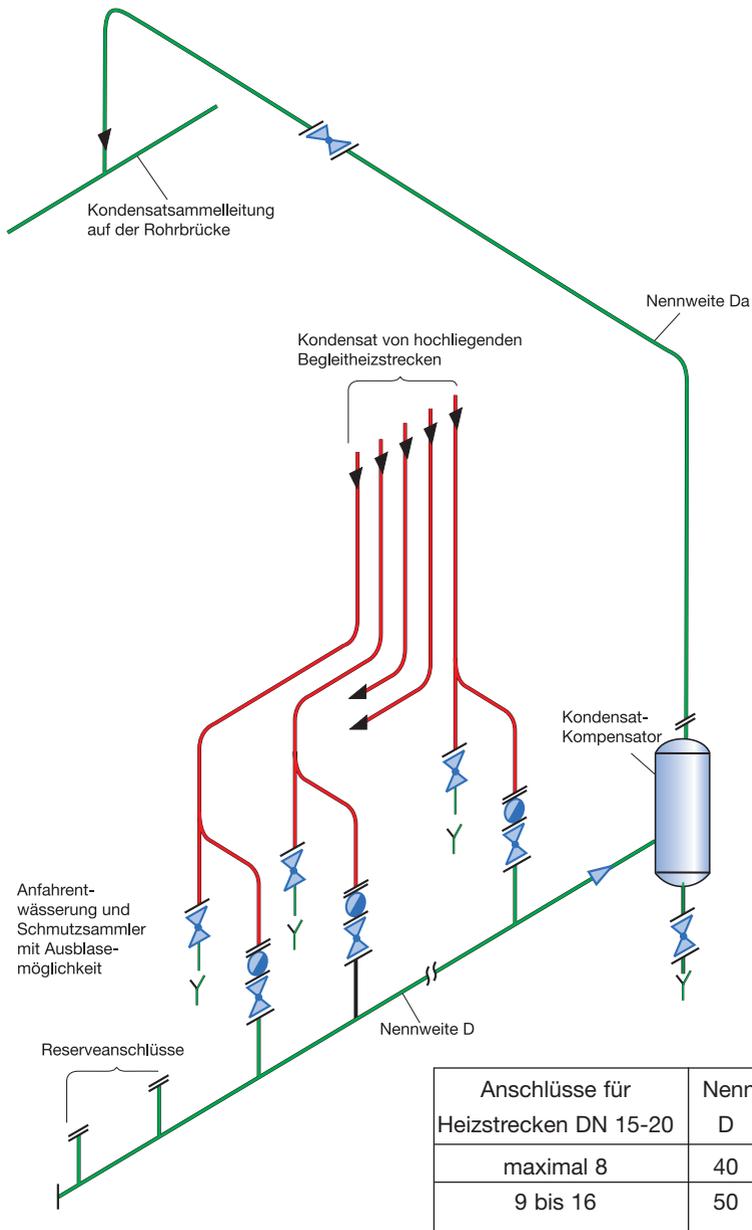
Abb. 60 Entwässerung einer Dampfregelstation

Diese Ventilgruppe für einen dampfseitig geregelten Wärmetauscher wird über Abzweigstelle I vor dem Dampfregelventil mit Hilfe des Dampftrockners entwässert. Gleichzeitig werden vorhandene Wassertröpfchen und Schmutzteile separiert. Hierdurch wird das Regelventil wirksam vor Erosion geschützt. Der Dampftrockner wird kontinuierlich über einen Kugelschwimmerableiter entwässert. Der Bypass wird im Bedarfsfall über einen thermischen Ableiter entwässert. II ist normalerweise abgesperrt und wird als Entwässerungsstelle nur dann benutzt, wenn die Dampfzufuhr für den Wärmetauscher über den Bypass erfolgen muss (z.B. Wartungsarbeiten).

4.2.1.3 Kondensat-Sammelstationen

Das in Wärmetauschern, Begleitheizungen, Dampfverteilern und an anderen Entwässerungsstellen anfallende Kondensat der gleichen Druckstufe wird nach Möglichkeit den an zentralen Stellen errichteten Kondensat-Sammelstationen zugeführt. Die Trennung nach Druckstufen ist anzustreben, um unzulässige Gegendrücke in Kondensatnetzen kleinerer Druckstufen zu verhindern. Steigleitungen machen den Einbau eines Kondensat-Kompensators erforderlich, um die geräuscharme und schlagfreie Kondensat-Weiterleitung zu gewährleisten (Abb. 62). Ein Kondensat-Kompensator ist überflüssig, wenn der Sammler aus Platzgründen senkrecht steht und die nach oben führende Sammelleitung als Tauchrohr (im Sammler) ausgeführt wird (Abb. 63).





Anschlüsse für Heizstrecken DN 15-20	Nennweite	
	D	Da
maximal 8	40	25
9 bis 16	50	40

Abb. 62 Anordnung des Kondensatsammlers mit Kondensat-Kompensator, z.B. bei hochliegenden Begleitheizstrecken und hochliegender Kondensat-Sammelleitung (Rohrbrücken).

4.2.1.4 Kondensatentspanner

In der Schaltung nach Abb. 63 wird das Kondensat aus mehreren Dampfverbrauchern in einen Kondensatentspanner geleitet und der entstehende Entspannungsdampf z.B. in ein Niederdrucknetz eingespeist. Weitere Entspannerschaltungen und andere Möglichkeiten siehe Ziffer 4.2.2.

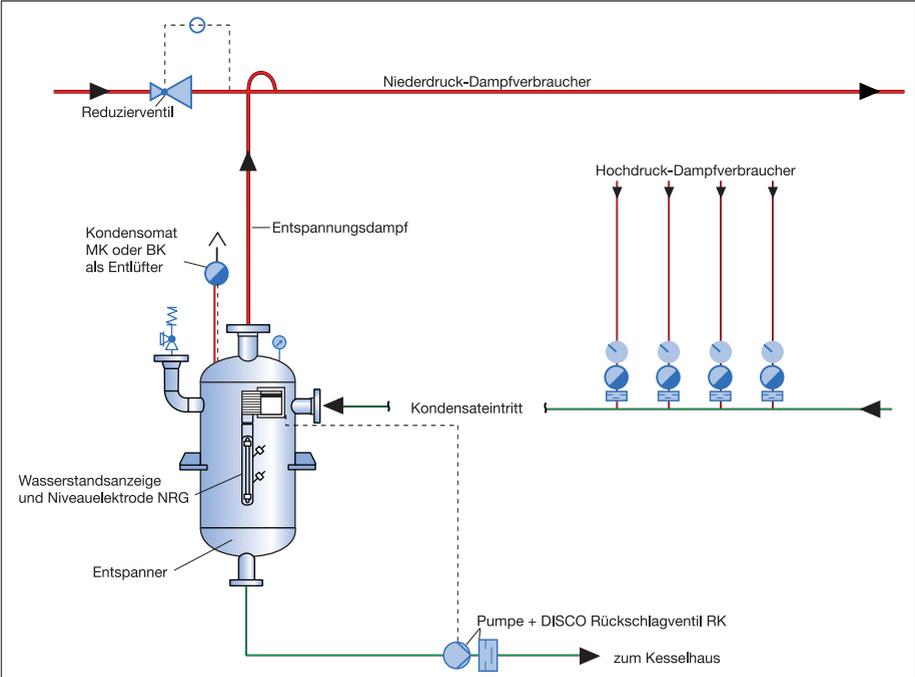


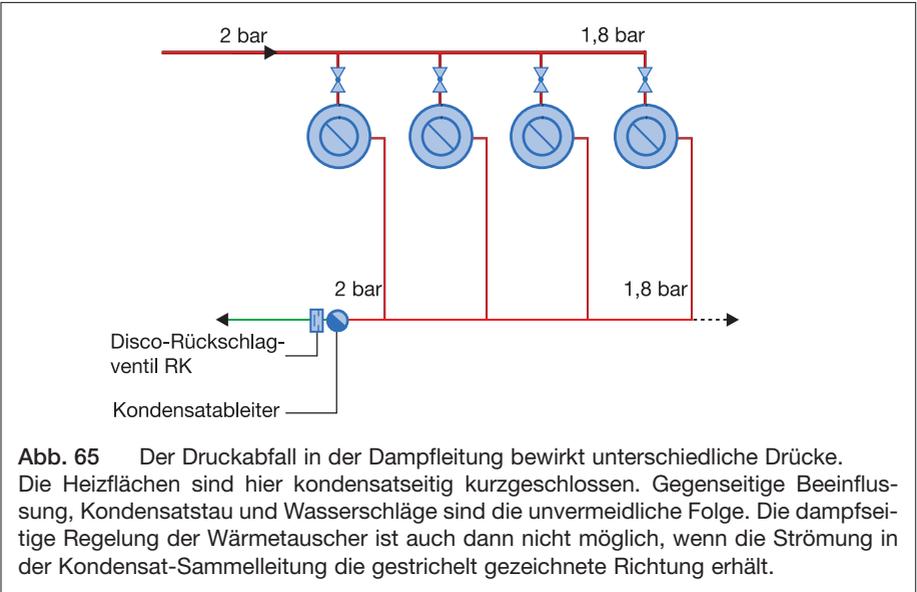
Abb. 64 Entspannerschaltung

Einzelentwässerung einer Gruppe von HD-Dampfverbrauchern. Das Kondensat fließt zunächst in den Entspanner. Der Entspannungsdampf und über das Reduzierventil bedarfsweise zugespeister Frischdampf beheizen nachgeschaltete ND-Dampfverbraucher. Die Rückführung des Kondensats aus dem Entspanner in das Kesselhaus erfolgt hier über eine Pumpe in Abhängigkeit vom Niveau im Entspanner. Für die Ansteuerung der Pumpe ist eine Niveauelektrode mit integriertem Schaltverstärker eingesetzt. Die Kondensatableitung aus dem Entspanner kann auch über einen Schwimmerableiter erfolgen, wenn der Betriebsdruck ausreicht und das Kondensat nicht gehoben werden muss.

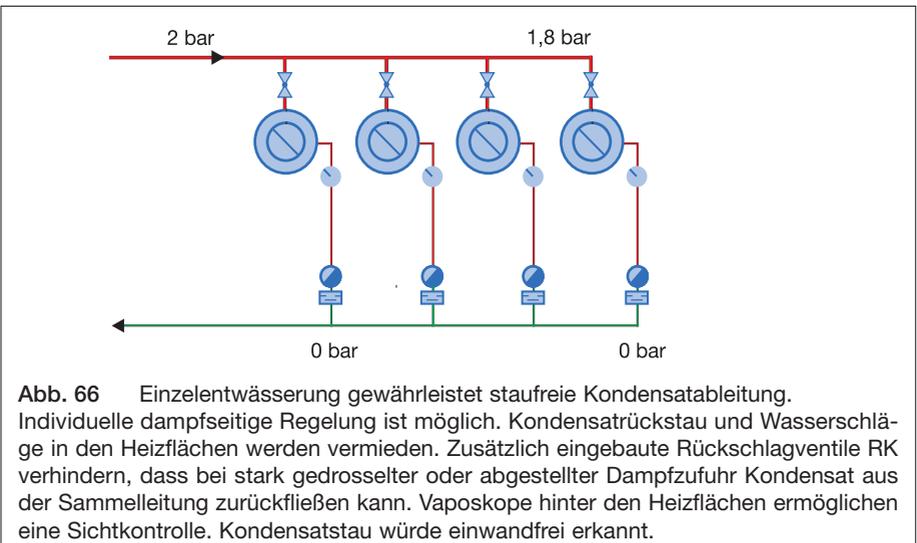
4.2.1.5 Sammel- oder Einzelentwässerung

Sammelentwässerung ist nicht zu empfehlen.

Dabei wird zwar nur ein einziger Kondensatableiter, und zwar in der Sammelleitung, benötigt – man muss aber mit erheblichen Störungen rechnen.



Nur mit der Einzelentwässerung aller Wärmetauscher kann die einwandfreie Kondensatableitung gewährleistet werden. Dabei werden zwar mehrere Kondensatableiter benötigt – man kann aber jeden Wärmetauscher dampfseitig regeln und höhere Temperaturen erreichen.



Der Einfluss der geodätischen Höhe auf die Leistung eines Kondensatableiters ist besonders in Anlagen mit kleinen Drücken zu beachten.

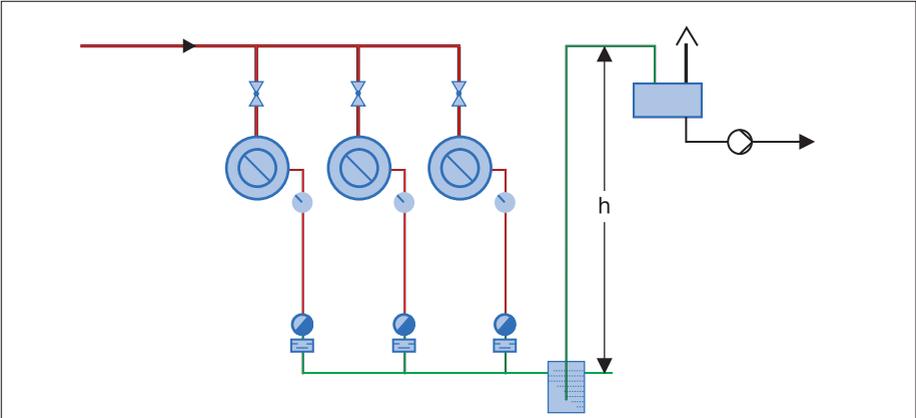


Abb. 67 Einfluss der geodätischen Förderhöhe

Wird das Kondensat hinter einem Kondensatableiter gehoben, dann verringert sich der Differenzdruck (Arbeitsdruck) praktisch um 1 bar je 7 m Förderhöhe. Die geräuscharme und schlagfreie Kondensatableitung in Steigleitungen macht den Einbau eines Kondensat-Kompensators erforderlich.

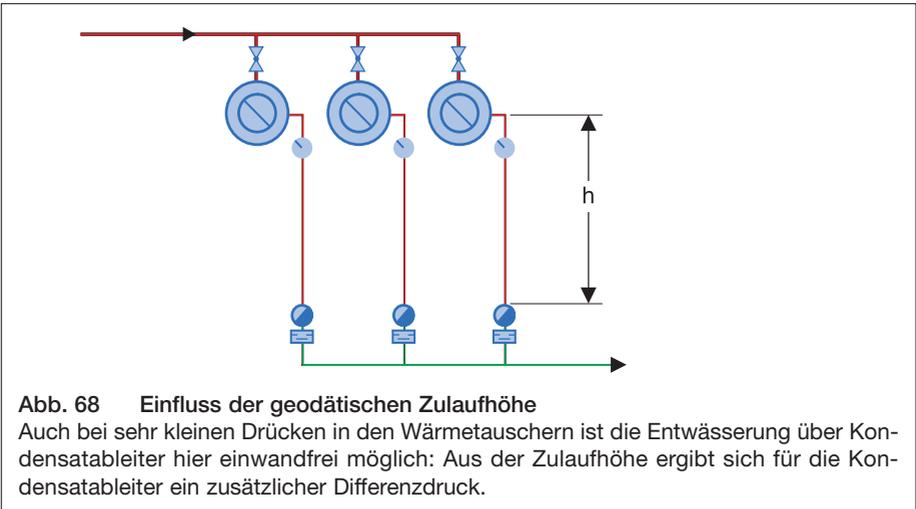


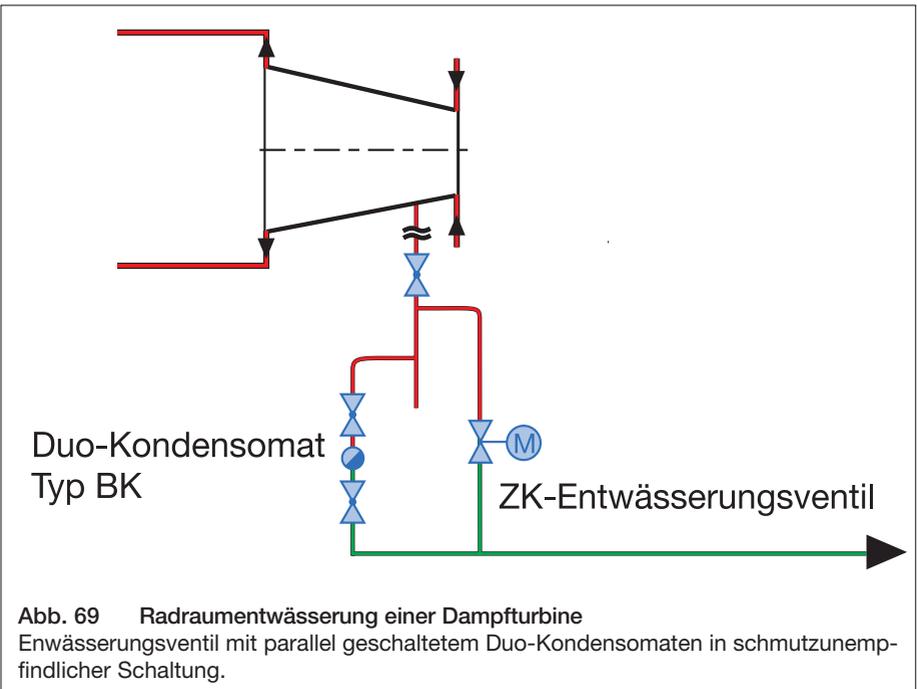
Abb. 68 Einfluss der geodätischen Zulaufhöhe

Auch bei sehr kleinen Drücken in den Wärmetauschern ist die Entwässerung über Kondensatableiter hier einwandfrei möglich: Aus der Zulaufhöhe ergibt sich für die Kondensatableiter ein zusätzlicher Differenzdruck.

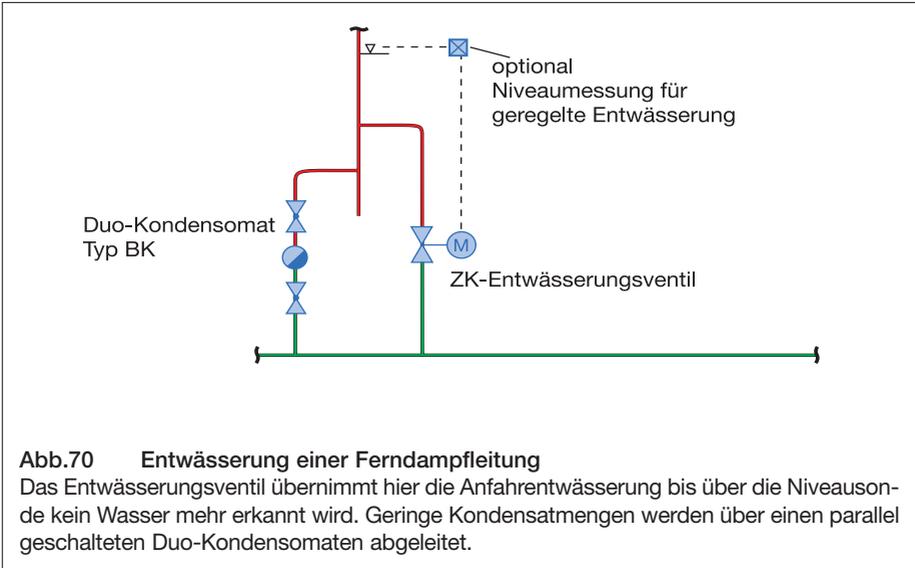
4.2.1.6 Anfahrentwässerung

Die Kaltwasserleistungen der Kondensatableiter sind größer als ihre Heißwasserleistungen. Deshalb können die Ableiter an dampfbeheizten Wärmetauschern auch die Anfahrentwässerung vornehmen.

Ein besonderes Problem ist die Anfahrentwässerung z.B. an einer Dampfturbine. Druck und Temperatur werden hier ganz allmählich nach einem vorgegebenen Zeitplan hochgefahren, um Schäden an den Turbinenteilen infolge zu schneller und ungleichmäßiger Wärmedehnungen zu vermeiden. Es fallen bei zunächst sehr kleinen Drücken und Temperaturen relativ große Kondensatmengen an, für die ein Kondensatableiter sehr groß dimensioniert werden müsste. Für diese Phase des Anfahrvorganges empfiehlt sich der Einsatz eines speziellen Entwässerungsventils, Typ ZK. Bei einem bestimmten Betriebszustand während des Anfahrens ist die Turbine so weit erwärmt, dass nur noch wenig Kondensat anfällt. Es genügt jetzt ein thermischer Kondensatableiter, der dem Entwässerungsventil parallel geschaltet wird.



Das häufige und schnelle Anfahren verschiedener Anlagenteile, z.B. einer Ferndampfleitung, erfordert ebenfalls die Ableitung größerer Kondensatmengen. Der geringe Kondensatanfall im Dauerbetrieb wird mit einem parallel geschalteten Duo-Kondensomaten abgeleitet.



4.2.1.7 Heizflächenüberwachung und Kondensatableiterkontrolle

Im Bereich der Kondensatableitung sind Kontrollen erwünscht, die z.B. die Funktion der Kondensatableiter oder die Leistung der Heizflächen betreffen. Frischdampfverluste durch Kondensatableiter sind immerhin denkbar. Kondensatstau in den Heizflächen würde deren Wirksamkeit reduzieren. Wasserschläge sollten vermieden werden, Schmutzanfall sollte erkennbar sein. Die Ursachen vieler Störungen – z.B. durch Dampfdurchschlag oder Stau – können mit dem Strömungskontroll-Durchsichtgerät Vaposkop einwandfrei nachgewiesen werden.

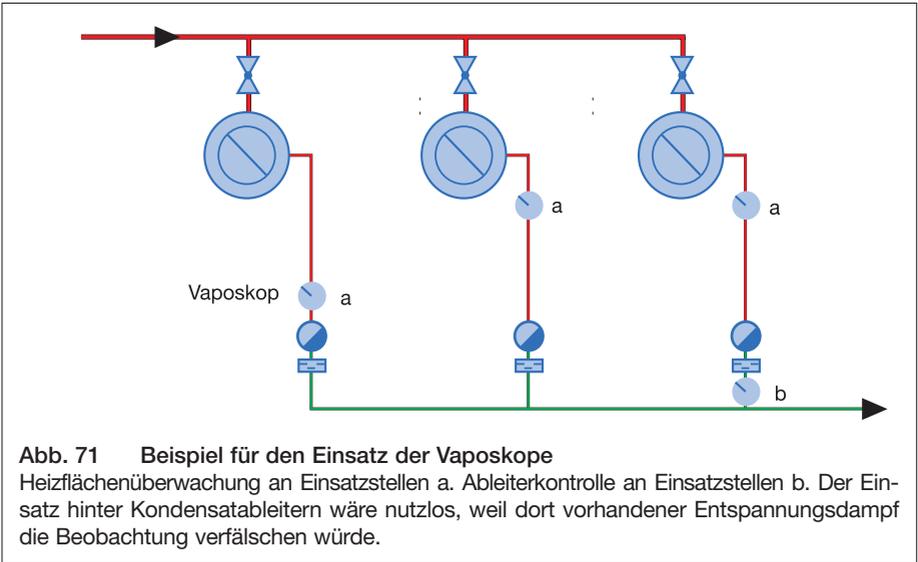


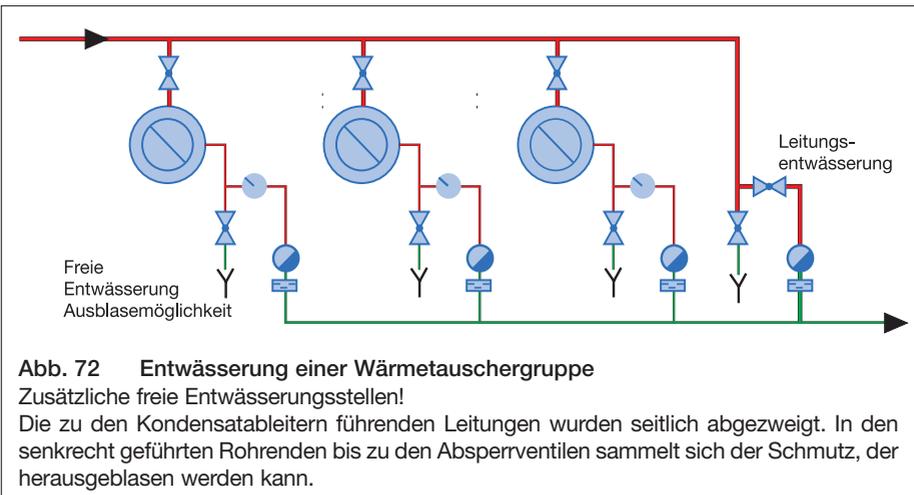
Abb. 71 Beispiel für den Einsatz der Vaposkope

Heizflächenüberwachung an Einsatzstellen a. Ableiterkontrolle an Einsatzstellen b. Der Einsatz hinter Kondensatableitern wäre nutzlos, weil dort vorhandener Entspannungsdampf die Beobachtung verfälschen würde.

4.2.1.8 Schmutzsicherheit

Dampf- und Kondensatanlagen schmutzsicher zu machen heißt verhindern, dass Fremdkörper, Schmutz und Korrosionsprodukte Störungen und Schäden hervorrufen können. Darum werden neue Anlagen vor der Inbetriebnahme gespült und besonders empfindliche Armaturen und Aggregate erst nach dem Spülvorgang eingebaut. Weiterer Schmutzanfall im späteren Betrieb ist dadurch allerdings nicht ausgeschlossen.

Mitunter werden – z.B. an Wärmetauschern – außer der Entwässerung über Kondensatableiter auch Direktentwässerungsstellen erforderlich. Man will damit erreichen, dass bei Störungen auf der Kondensatseite der Heizbetrieb nicht unterbrochen werden muss. Die Kondensatableitung kann in solchen Fällen vorübergehend ins Freie erfolgen. Bei richtiger Installation der Rohrabzweigstellen ist hier beiläufig eine erhöhte Schmutzsicherheit zu erzielen mit der Möglichkeit, den Schmutz aus der Anlage zu entfernen.



4.2.1.9 Frostsicherheit

Eine Freianlage winterfest machen heißt, gefährdete Anlagenteile vor dem Einfrieren schützen, Produkte gegen das Eindicken und Erstarren sichern, Entleerungsmöglichkeiten einplanen und Zerfriergefahren ausschalten. Deshalb müssen solche Anlagen beheizt, die Leitungen mit Gefälle verlegt und Wassersäcke möglichst vermieden werden. An allen Tiefpunkten, an Behältern und sonstigen Sammelstellen sind Entleerungsmöglichkeiten erforderlich. Die Rohrleitungsteile müssen außerdem auch vom Werkstoff her zerfriersicher sein. In Raffinerieanlagen werden die schweren Produkte durch Begleitrohre z.B. mit 12 bar Dampf beheizt. Für die Beheizung der anderen Anlagenteile ist ein Dampfdruck von ca. 2,5 bar ausreichend und wirtschaftlicher (kleinere Haltetemperaturen, höhere Verdampfungswärme). Besteht die Gefahr der Produktüberhitzung, wird die Begleitheizung als Abstandsheizung ausgeführt.

Bei Flüssigkeiten mit einem Stockpunkt von 0 °C soll durch die Beheizung eine Mindesttemperatur von 3 °C gehalten werden. Für Produkte mit einem höheren Stockpunkt sollte die Mindesttemperatur ca. 5 °C über dem Stockpunkt liegen.

Kondensatableiter sollten generell so eingebaut werden, dass die Rohrverbindung vom Ableiter bis zur Sammelstelle möglichst kurz ist. Bei längeren Rohrstrecken hinter dem Ableiter und gleichzeitig geringem Kondensatanfall besteht Einfriergefahr. Erfolgt die Entwässerung über einen Kondensatableiter ins Freie, dann ist das Auslaufstück möglichst kurz zu halten, um das Einfrieren vom Austritt her zu verhindern. Können Wassersäcke z.B. wegen der hochliegenden Sammelleitung nicht vermieden werden, dann sind Entleerungsmöglichkeiten an der Tiefpunkten der Leitung vorzusehen.

4.2.2 Nutzung der Kondensatwärme

In einem dampfbeheizten Wärmetauscher wird dem Heizdampf seine Verdampfungswärme und gegebenenfalls auch die Überhitzungswärme entzogen. Lässt man Kondensatwärmenutzung durch Kondensatunterkühlung in der Heizfläche außer acht, dann geht bei einer Entwässerung ins Freie die gesamte Flüssigkeitswärme verloren.

Da das Kondensat nur eine bestimmte, mit dem Druck sich ändernde Wärmemenge speichern kann, jede Kondensatableitung aber ein Druckgefälle erfordert, wird ein Teil der anfänglichen Flüssigkeitswärme hinter dem Kondensatableiter frei. Das führt zwangsläufig zu einer Nachverdampfung; ein Teil des Kondensats wird Entspannungsdampf. Die gesamte, aus dem Heizprozess ausgeschiedene Flüssigkeitswärme geht also teilweise mit dem Kondensat und teilweise mit dem Entspannungsdampf verloren.

Um diese Wärmeverluste zu vermeiden, wird der Entspannungsdampf für die Beheizung nachgeschalteter Wärmetauscher verwendet und das gesamte Kondensat der Kessel-speisung zugeführt. Nachstehend einige Schaltbeispiele:

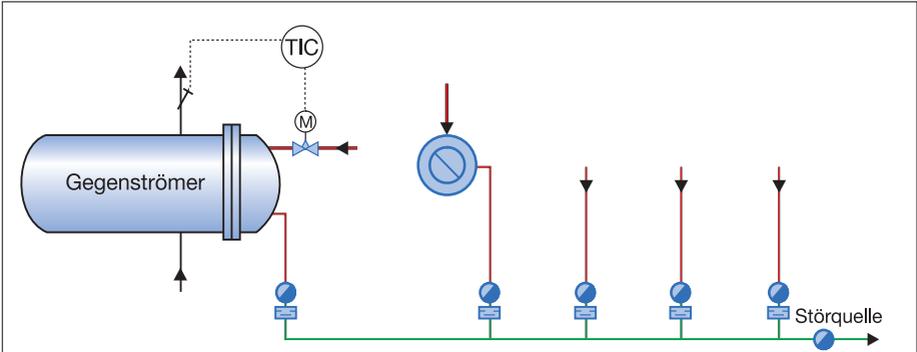


Abb. 73 Häufige Fehlschaltung

Strömt das heiße Kondensat ($t = 100\text{ °C}$) aus der Wärmetauschergruppe direkt in den offenen Sammelbehälter, dann entweicht Entspannungsdampf. Es entstehen also Wärmeverluste, die mitunter bewusst in Kauf genommen werden. Störend ist in jedem Fall die Tatsache, dass diese Dampfverluste sichtbar und nicht von Frischdampfverlusten zu unterscheiden sind. Der Versuch, hier Abhilfe zu schaffen, führt oft zu einer Fehlschaltung. Der zusätzlich in die Sammelleitung eingebaute Kondensatableiter erzwingt die Kondensation des Entspannungsdampfes in der Rohrleitung. Dadurch entsteht für die anderen Ableiter ein Gegendruck, der bis zum Vordruck ansteigen kann. Die vorher einwandfreie Kondensatableitung wird so erheblich gestört.

Folgerungen:

Keine Reihenschaltung von Kondensatableitern. Ausnutzung des Entspannungsdampfes in nachgeschalteten Wärmetauschern und Kondensatrückführung ins Kesselhaus. Kontrolle auf staufreie Heizflächen und Frischdampfverluste an Kondensatableitern durch den Einbau von Schaugläsern, Typ GESTRA Vaposkop.

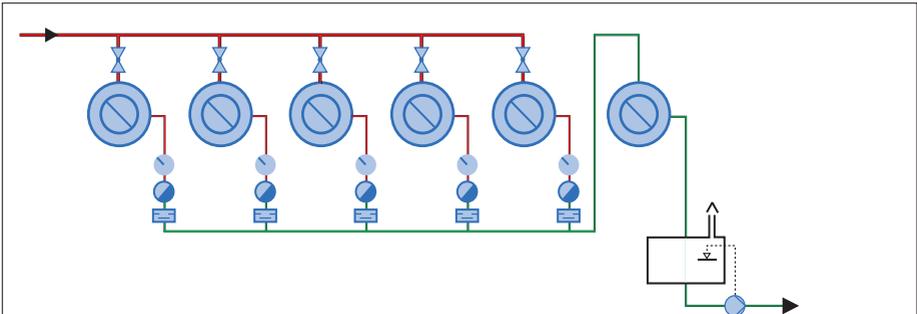


Abb. 74 Kondensatunterkühlung

Die betrieblichen Verhältnisse sind entscheidend dafür, welche Möglichkeit der Kondensatwärmenutzung im Einzelfall zweckmäßig ist. Besteht ein untergeordneter Wärmebedarf, wobei es auf genaue Temperaturhaltung nicht ankommt, dann kann die hier abgebildete Schaltung als einfachste Lösung in Erwägung gezogen werden.

Die Flüssigkeitswärme des in der Wärmetauschergruppe anfallenden Kondensats wird in einer direkt nachgeschalteten Heizfläche soweit genutzt, dass das Kondensat mit einer Temperatur unter 100 °C in den Sammelbehälter abfließt; Nachverdampfung ist dadurch ausgeschlossen. Die nachgeschaltete Heizfläche kann nicht geregelt werden. Die verfügbare Wärmemenge schwankt mit dem Kondensatanfall.

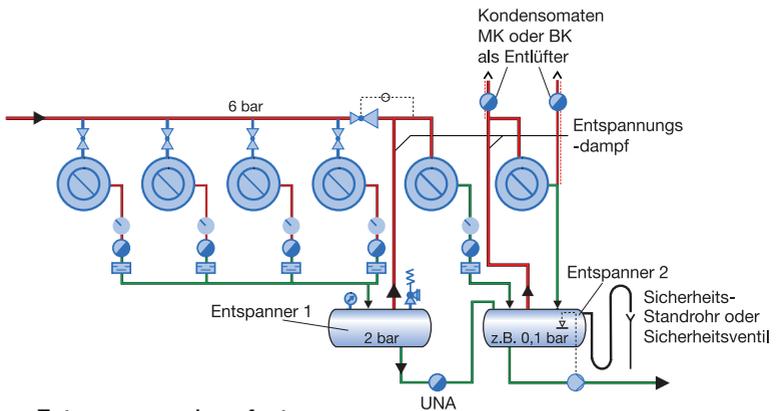


Abb. 75 Entspannungs-dampfnutzung

Entspannerschaltungen ermöglichen die mehrfache Kondensatentspannung auf frei bestimmbare Gegendrücke. Der durch die freiwerdende Flüssigkeitswärme in der jeweiligen Druckstufe entstehende Entspannungsdampf wird vom Restkondensat getrennt und für den Dampfbetrieb der nachgeschalteten Wärmetauscher verwendet. Mit der gleichzeitigen Kondensatrückführung ins Kesselhaus ist eine gezielte und wirtschaftliche Kondensatwärmenutzung gegeben.

Das Kondensat aus der mit 6-bar-Dampf beheizten Wärmetauschergruppe wird in Entspanner 1 geleitet und von dort niveauabhängig in Entspanner 2 geführt. Die ebenfalls niveaugesteuerte Kondensatrückführung aus Entspanner 2 ins Kesselhaus erfolgt durch eine Pumpe.

Der Dampfdruck in der ersten Entspannerstufe wird durch Zuspiesung von im Druck reduzierten Frischdampf aus dem 6-bar-Netz konstant gehalten. Die Entwässerung erfolgt in den Entspanner 2 hinein.

Die zweite Entspannerstufe ist wegen des geringeren Druckes auf Thermosiphon-Umlauf geschaltet. Damit dieser Wärmekreislauf ohne Differenzdruck zustande kommen kann, muss das Heizflächenkondensat unterhalb des Entspanner-2-Niveaus abfließen und eine einwandfreie Entlüftung z.B. durch Kondensomaten erfolgen.

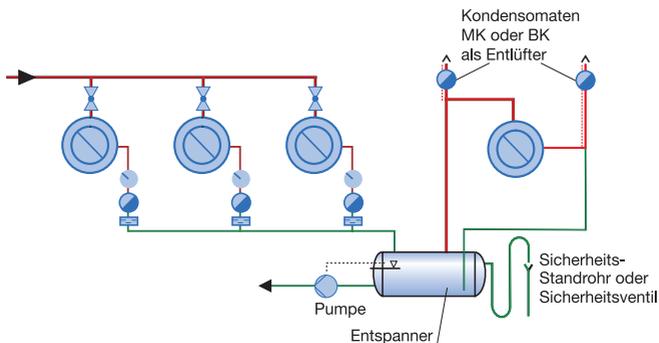


Abb. 76 Einfache Entspannerschaltung mit Thermosiphon-Umlauf.

Die Entspannungsdampfmenge ist vom Kondensatanfall abhängig und kann schwankendem Bedarf nicht angeglichen werden.

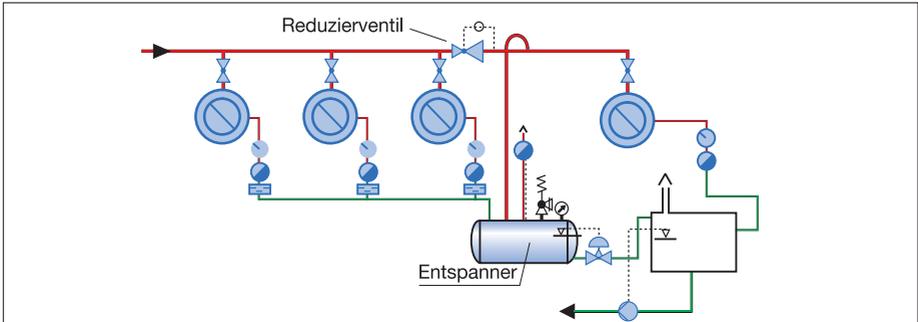


Abb. 77 Entspannungsampfnutzung

Bei größerem Dampfbedarf der nachgeschalteten Heizfläche wird hier über das Reduzierventil Frischdampf zugespeist.

4.2.3 Entlüftung von Dampfverbrauchern

Man muss immer damit rechnen, dass bei Dampf- und Kondensatanlagen trotz mehrfacher Entgasung des Kesselspeisewassers Luft und andere Gase in den Kreislauf gelangen. Es sind außerdem, besonders während der Stillstandszeiten einer Anlage, Lufteinbrüche von außen her zu erwarten.

Luft und andere Gase in einem Wärmetauscher verschlechtern den Wirkungsgrad, behindern mitunter die Kondensatableitung und verursachen Korrosion. Bei einfach aufgebauten Wärmetauschern, die über geeignete Kondensatableiter – z.B. GESTRA Kondensomaten MK und BK – entwässert werden, ist eine ausreichende Anfahr- und Dauarentlüftung gleichzeitig mit der Kondensatableitung gegeben.

In großvolumigen Dampfsystemen und komplizierter aufgebauten Wärmetauschern können sich jedoch Luft- und Gaspolster bilden, die nicht zum Kondensatableiter gelangen. Auch für die zusätzliche automatische Entlüftung solcher Dampfzonen eignen sich die oben bereits erwähnten Kondensomaten. Ihre Wirkung als Entlüfter beruht auf der Tatsache, dass bei steigendem Luftanteil der Dampfpartialdruck abfällt. Dabei sinkt aber auch die Dampftemperatur, während der Gesamtdruck des Dampf-Luft-Gemisches erhalten bleibt. Für die thermischen Kondensatableiter MK und BK ergibt sich daraus ein Öffnungsimpuls. Durch eine unisolierte Rohrstrecke zwischen Dampfraum und Entlüfter wird die Entlüftungsleistung vergrößert. Nachstehend einige Einsatzfälle:

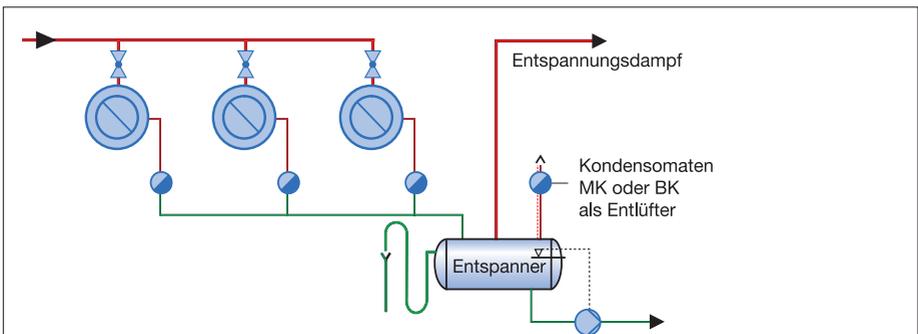


Abb. 78 Der GESTRA Kondensomat als Entlüfter am Entspanner verhindert, dass nicht kondensierende Gase mit dem Entspannungsampf in den nachgeschalteten Wärmetauscher gelangen.

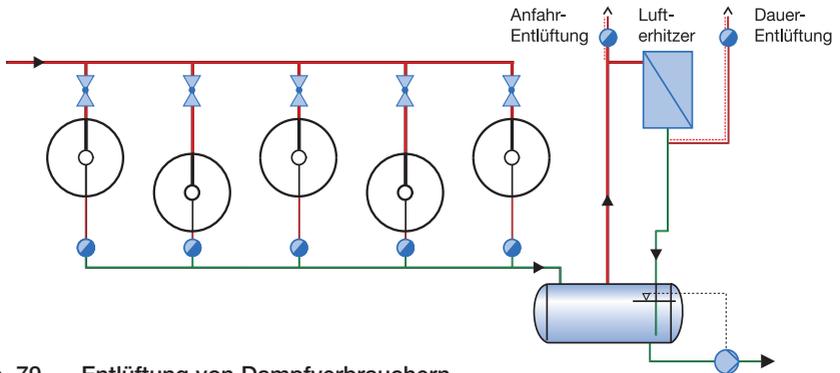


Abb. 79 Entlüftung von Dampfverbrauchern

Der im Thermosiphon-Umlauf mit Entspannungsdruck beheizte Lufterhitzer erfordert eine einwandfreie Anfahr- und Dauerentlüftung, damit der praktisch drucklose Wärme-kreislauf (ohne Differenzdruck) überhaupt zustande kommen kann.

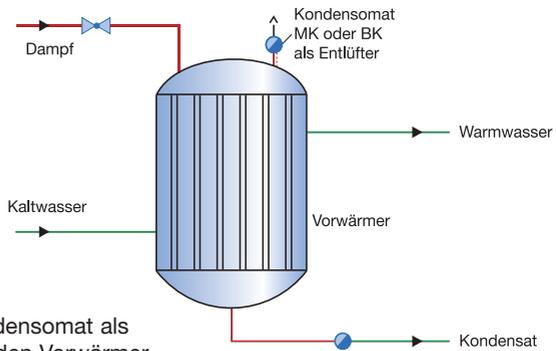


Abb. 80 GESTRA Kondensomat als Entlüfter an einem stehenden Vorwärmer.

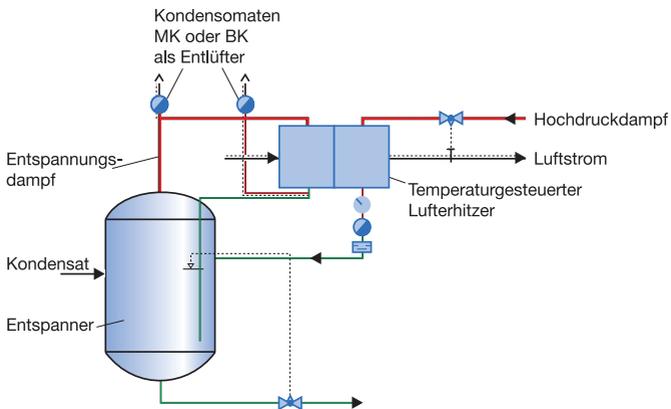


Abb. 81 GESTRA Kondensomaten als Entlüfter der mit Entspannungsdruck beheizten Vorstufe eines Lufterhitzers.

4.2.4 Maßnahmen gegen Wasserschläge

Beispiele aus der Praxis: Die Abbildungen 82 - 87 a) zeigen Anlagenteile, in denen Wasserschläge auftreten können. Die Abbildungen 82 - 87 b) zeigen Verbesserungen, die dazu beitragen, Wasserschläge zu vermeiden bzw. zu dämpfen.

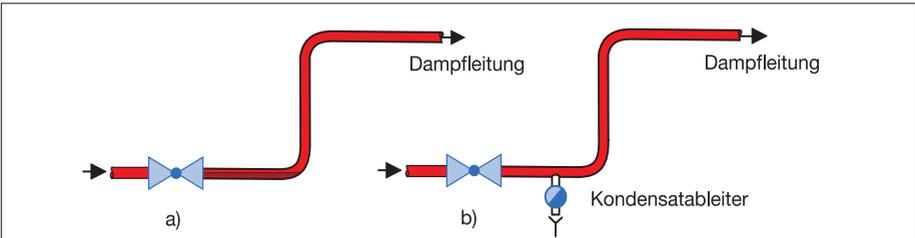


Abb. 82 Wasserschläge in Dampfleitungen

- Nach jedem Schließen des Absperrventils kondensiert der in der Leitung noch vorhandene Dampf. Das Kondensat sammelt sich im unteren Teil der Leitung und kühlt ab. Beim Öffnen des Absperrventils kommt der einströmende Dampf mit dem kalten Kondensat in Berührung. Es entstehen Wasserschläge.
- Ist eine Änderung der Leitungsführung nicht möglich, so sollte die Leitung entwässert werden, auch wenn sie relativ kurz ist (s. Ziffer 4.2.1.2).

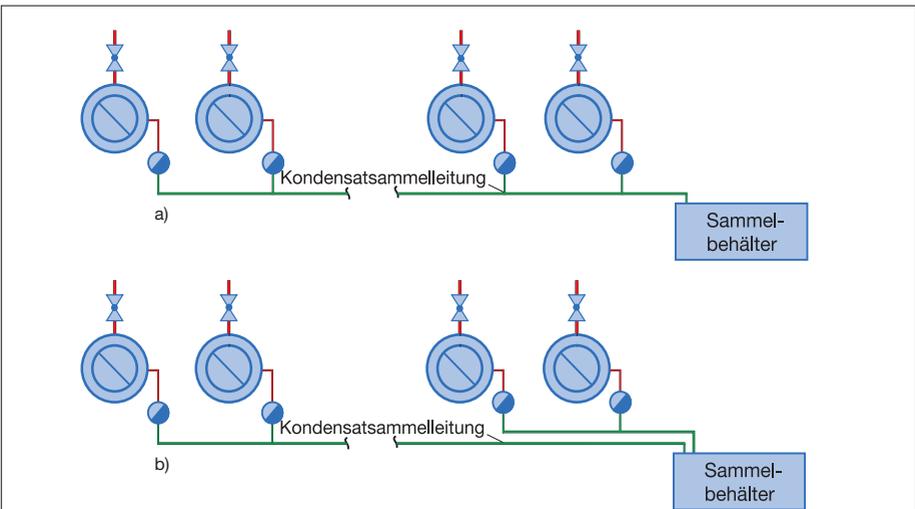


Abb. 83 Wasserschläge in Kondensatleitungen

- Das Kondensat der weit entfernt liegenden Verbraucher kühlt auf dem Wege zum Sammelbehälter stark ab. Das Kondensat mit dem Entspannungsdampf aus den nahe gelegenen Verbrauchern trifft auf jenes kältere Kondensat. Es kommt zu Wasserschlägen, weil der Entspannungsdampf schlagartig kondensiert.
- Wasserschläge werden vermieden, wenn das Kondensat getrennt zum Sammelbehälter geführt wird. Kondensat von Verbrauchern verschiedener Betriebsdrücke sollte nicht in einer gemeinsamen Sammelleitung, sondern getrennt dem Behälter zugeleitet werden.

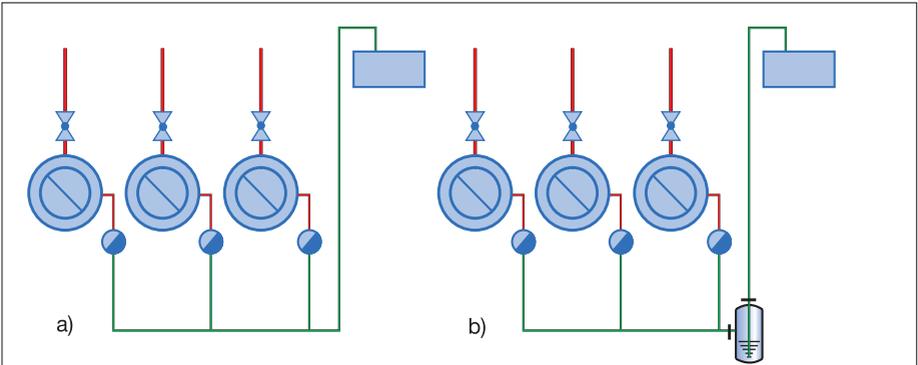


Abb. 84 Wasserschläge bei Kondensathebung

- a) Wasserschläge können entstehen, wenn Kondensat gehoben werden muss.
- b) Nach dem Einbau eines Kompensators wird das Kondensat geräuscharm weitergeleitet, Wasserschläge werden gedämpft.

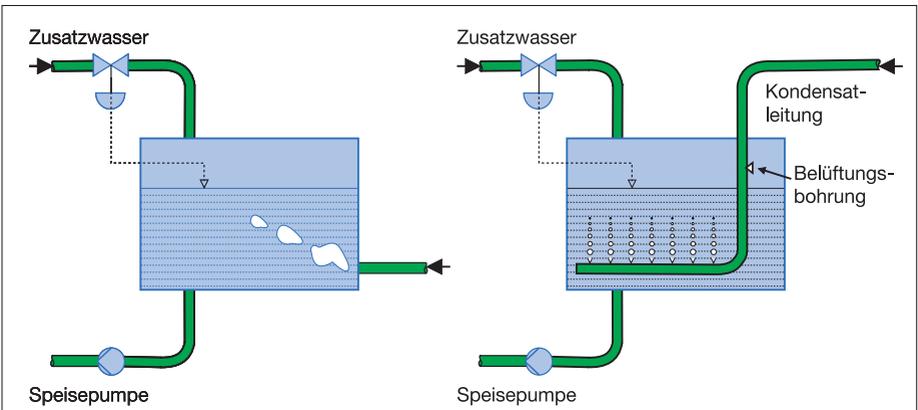


Abb. 85 Wasserschläge beim Einleiten von Kondensat in Speisewasserbehälter

- a) Hinter den Kondensatableitern entsteht normalerweise Entspannungsdampf. Damit er nicht verlorenght, kann das Kondensat mit dem Entspannungsdampf unter Niveau in den Behälter geführt werden. Hier trifft der Entspannungsdampf jedoch mit relativ kaltem Wasser zusammen. Beim Eintritt in den Behälter bilden sich Dampfblasen, die schnell kondensieren. Dadurch entstehen Wasserschläge und Geräusche. Bei abgeschalteten Dampfverbrauchern kann Wasser rückwärts in die Kondensatleitung gelangen. Beim Anfahren der Verbraucher können Wasserschläge entstehen.
- b) Wegen der vielen kleinen Bohrungen des Einlaufrohres können sich keine großen Dampfblasen bilden. Merkbare Wasserschläge und Geräusche werden vermieden. Die Führung der Kondensatleitung von oben in den Behälter verhindert normalerweise das Zurückströmen des Wassers bei abgeschalteten Dampfverbrauchern.

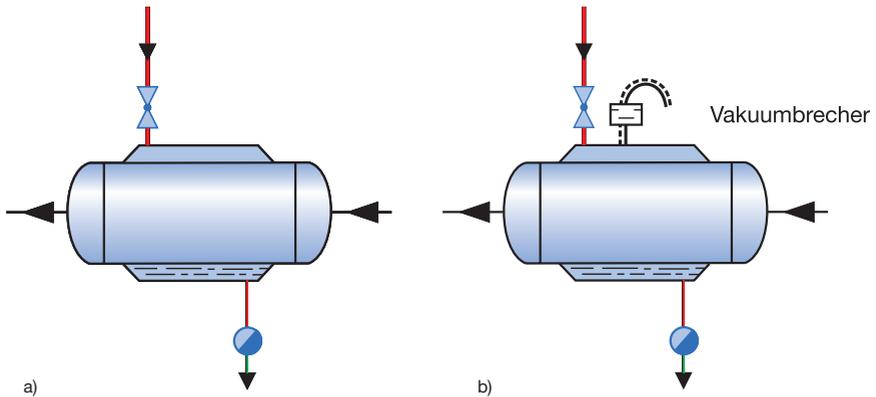


Abb. 86 Wasserschläge in Wärmetauschern

- a) In abgestellten Anlagen entsteht Vakuum, wenn der Restdampf kondensiert. Damit droht die Gefahr, dass das Kondensat in die Heizfläche zurückgesaugt wird bzw. das Restkondensat aus der Heizfläche nicht abläuft (zu schweigen von der Gefahr einer bleibenden Verformung des Wärmetauschers). Wenn die Anlage wieder angestellt wird, dann strömt Dampf über die Wasserfläche, kondensiert schlagartig und verursacht Wasserschläge.
- b) Der Einbau eines DISCO-Rückschlagventils als Vakuumbrecher verhindert Vakuumbildung. Kondensat kann nicht zurückgesaugt werden, und das Restkondensat kann abfließen. Es entstehen keine Wasserschläge mehr.

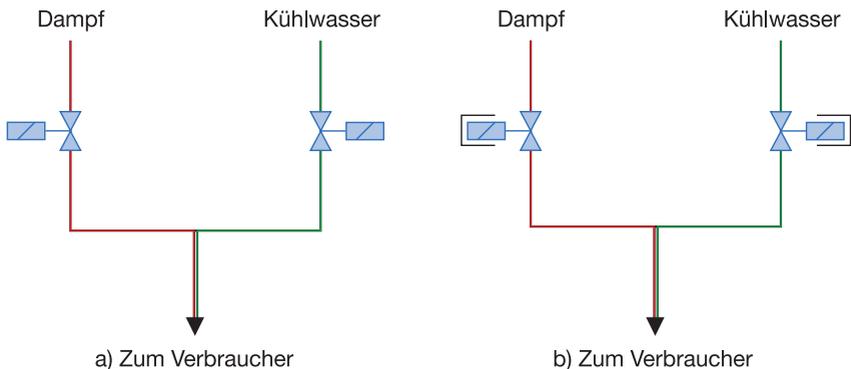


Abb. 87 Wasserschläge in Anlagen für Heizen und Kühlen

- a) Durch das schnelle Öffnen bzw. Schließen der Magnetventile beim Umschalten von Heizen auf Kühlen oder umgekehrt kommt es zu hydraulischen und thermischen Wasserschlägen.
- b) Durch langsames Öffnen und Schließen der Umschaltventile können Wasserschläge weitgehend vermieden werden. Zweckmäßig sind entweder Magnetventile mit hydraulischer Dämpfung oder Motorventile.

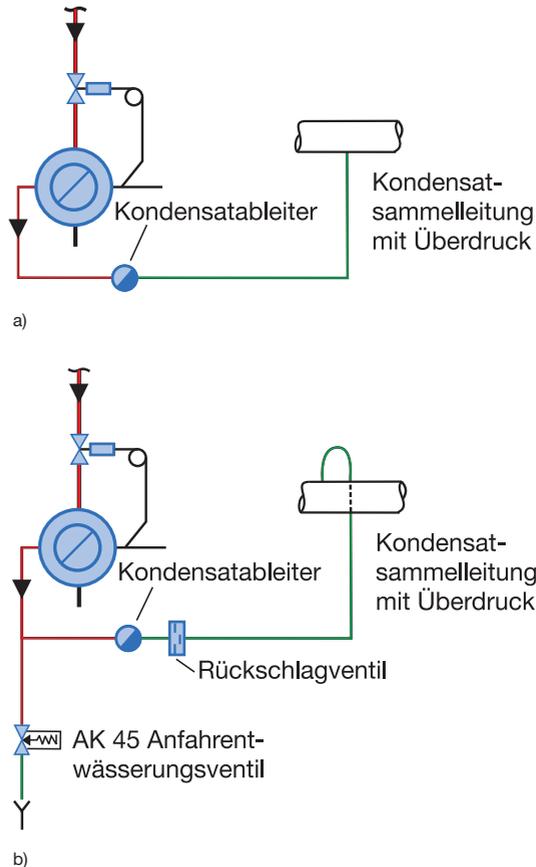


Abb. 88 Wasserschläge in dampfseitig geregelten liegenden Gegenströmern

Wärmetauscher, z.B. für die Heißwasserbereitung, werden oft auf dem Boden des Raumes aufgestellt. Eine Hochmontage an der Wand oder unter der Decke ist lohnend, weil dadurch Entwässerungsschwierigkeiten und Wasserschläge vermieden werden können.

- a) Bei Schwachlastregelung überflutet ein Teil der Heizfläche, da der Druck im Gegenströmer nicht mehr ausreicht, um das Kondensat hoch zu drücken. Das Kondensat kühlt aus. Sobald der Zudampfregler weiter öffnet, strömt mehr Dampf ein. Der Druck und damit die Dampftemperatur steigen an. Dampf strömt über die große Wasserfläche und kondensiert schlagartig. Es entstehen Wasserschläge.
- b) Für Wärmeüberträger im Chargenbetrieb (z.B. Kochapparate, Autoklaven oder Verdampfer) ist schnelles An- und Abfahren bei häufigem Chargenwechsel erwünscht. Das GESTRA AK 45 macht schnelleres Anfahren möglich, weil das Anfahrkondensat frei ablaufen kann. Wasserschläge können nicht mehr entstehen. Das GESTRA AK 45 lässt nach Abschalten der Anlage das Restkondensat ablaufen, verhindert dadurch Frostschäden sowie Deformierungen durch Vakuumbildung und mindert die Stillstandskorrosion.

4.3 Schaltbeispiele für Heizsysteme mit flüssigen Wärmeträgern

4.3.1 Allgemeines

Heizsysteme mit flüssigen Wärmeträgern besitzen in den meisten Fällen weit verzweigte Netze zur Versorgung der vielen Wärmeverbraucher, die sich in ihrem Wärmebedarf und im Durchflusswiderstand voneinander unterscheiden. Der Wärmeträger strömt naturgemäß bevorzugt durch die Verbraucher mit geringen Widerständen. Seine bedarfsgerechte Verteilung auf alle Verbraucher erfordert also den Abgleich der Widerstände.

Der starre Ausgleich der Widerstände durch Blenden oder Ventile ist ungenügend, weil die Belastungen im Netz nur selten konstant sind. Wird aber an einem Verbraucher eine andere Durchflussmenge erforderlich, muss also dort der Widerstand verändert werden, dann ist es in einem unregelmäßigen Netz fast immer unumgänglich, alle Verbraucher neu abzugleichen, um Über- oder Unterbeheizungen zu vermeiden.

In Zentralheizungen und Fernheizanlagen, in Begleitheizungen und an Wärmetauschern erfordern das hier aufgezeigte Versorgungsproblem und die wirtschaftliche Nutzung des Wärmeträgers den Einsatz von Rücklauftemperaturbegrenzern (Kalorimaten) Nachstehend einige Kurzbetrachtungen.

4.3.2 Rücklauftemperaturbegrenzer (Kalorimaten)

Der Kalorimat ist ein direktgesteuerter thermischer Regler, der in den Heizungsrücklauf des Wärmeverbrauchers eingebaut wird. Er hält die einmal eingestellte Rücklauftemperatur des Wärmeträgers in Abhängigkeit seines P-Bereiches konstant. Bei ebenfalls konstanter Vorlauftemperatur wird die für jeden Verbraucher gewünschte Temperaturspreizung eingehalten.

Der Kalorimat reagiert auf geringste Änderungen der eingestellten Rücklauftemperatur, z.B. infolge einer Belastungsänderung, mit einer entsprechenden Änderung seines Durchflussquerschnitts. Der Durchflusswiderstand des betreffenden Verbrauchers wird stetig dem produktseitig erforderlichen Wärmebedarf angepasst. Es fließt immer die gerade erforderliche Wärmeträgermenge. Der Kalorimat arbeitet also als Mengenregler, strenggenommen als Wärmemengenregler und indirekt als Produkttemperaturregler. Er verhindert Über- und Unterbeheizungen, Kurzschlüsse und Totstrecken auch in weit verzweigten Netzen. Als Zirkulationsventil zwischen Vorlaufverteiler und Rücklaufsammler in einer Begleitheizung verhindert der Kalorimat das Auskühlen des im Verteiler befindlichen Wassers bei abgestellten Heizregistern. Das hat Bedeutung für das schnelle Wiederanfahren der Anlage. Kalorimaten an Strang- und Netzenden bewirken eine für den Einfrierschutz ausreichende Zirkulation bei tiefen Temperaturen.

Der Kalorimat in der Zirkulationsleitung z.B. eines Fernheiz-Hausanschlusses wird so eingestellt, dass die vereinbarte Anschlussstemperatur auch bei zwischenzeitlich fehlender Abnahme aufrechterhalten bleibt.

Es kommt vor, dass in Rohrleitungen großer Netzweiten z.B. bei Schwachlast gefährliche Wärmeschichtungen entstehen, deren Folgen Kalorimaten als Zirkulationsventile verhindern.

4.3.3 Beispiele für den Einsatz der Kalorimaten

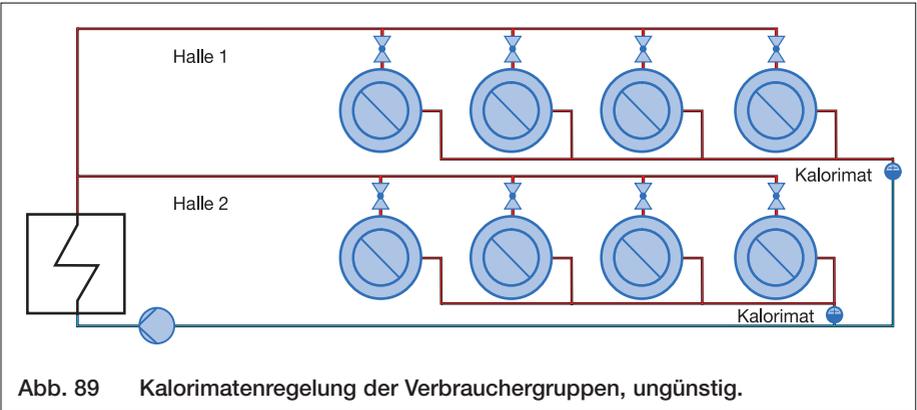


Abb. 89 Kalorimatenregelung der Verbraucherguppen, ungünstig.

Ein starrer Abgleich durch Blenden oder Ventile ist unzureichend. Ungleiche Netz Widerstände – Rohrleitungen und Verbraucher – können durch Blenden oder Ventileinstellungen abgeglichen werden. Wird jedoch an einem einzelnen Verbraucher eine andere Beheizung verlangt, dann muss unter Umständen das ganze Netz neu einreguliert werden.

Eine Kalorimatenregelung der Verbraucherguppen kann unterschiedliche Beheizung innerhalb der Gruppen nicht verhindern.

Durch den Einbau von Kalorimaten in die Sammelleitungen der Verbraucherguppen erreicht man einen Abgleich der beiden Verbraucherguppen. Wird eine andere Beheizung z.B. des ersten Verbrauchers in Halle 2 verlangt, dann sind alle Verbraucher dieser Gruppe neu einzuregulieren.

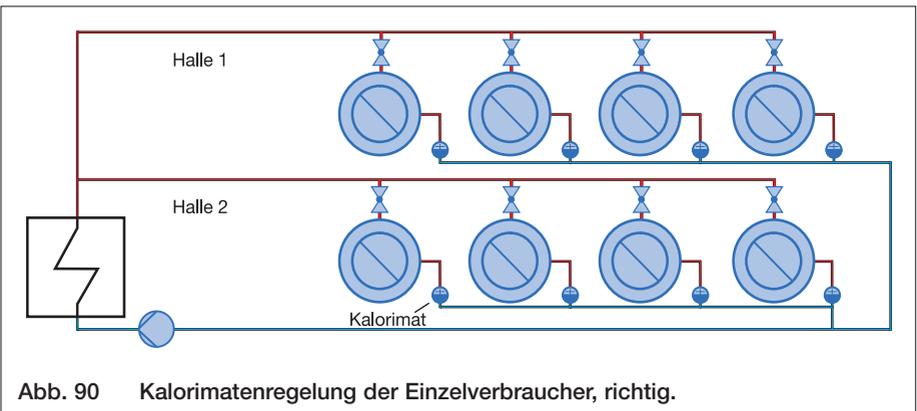


Abb. 90 Kalorimatenregelung der Einzelverbraucher, richtig.

Kalorimatenregelung der Einzelverbraucher macht jeden manuellen Abgleich überflüssig. Bei dieser Schaltung wird jeder Verbraucher individuell geregelt. Die bedarfsgerechte Verteilung des Wärmeträgers ist für alle Verbraucher sichergestellt. Verschiedene Beheizung unterschiedlicher Verbraucher ist ohne erneuten Abgleich jederzeit möglich.

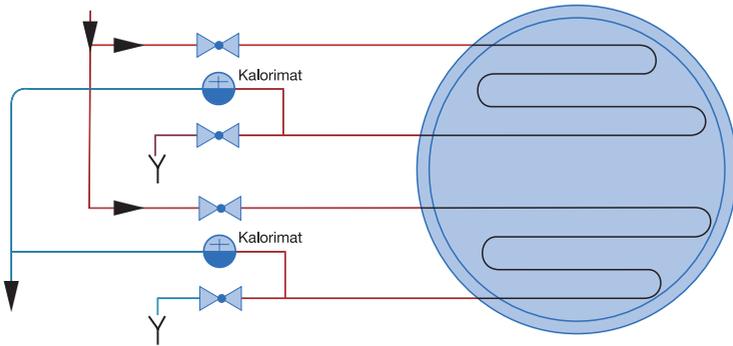


Abb. 91 Kalorimaten an einem mit Heißwasser beheizten Tank.

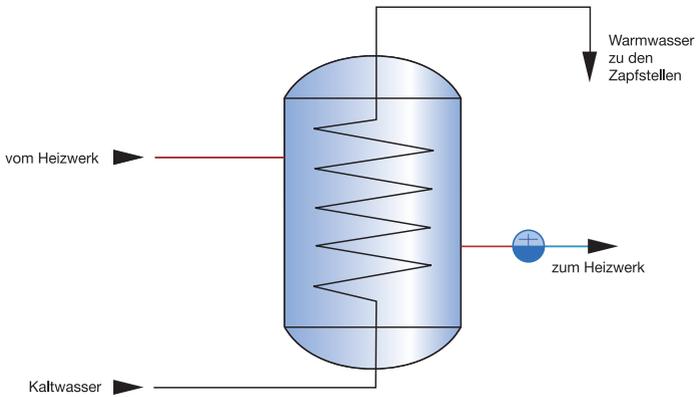


Abb. 92 Kalorimat in der Austrittleitung eines Durchlaufheizgerätes.

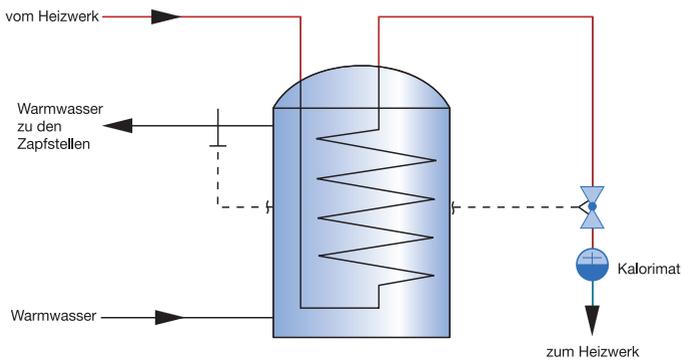


Abb. 93 Kalorimat an einem Speicherheizgerät.

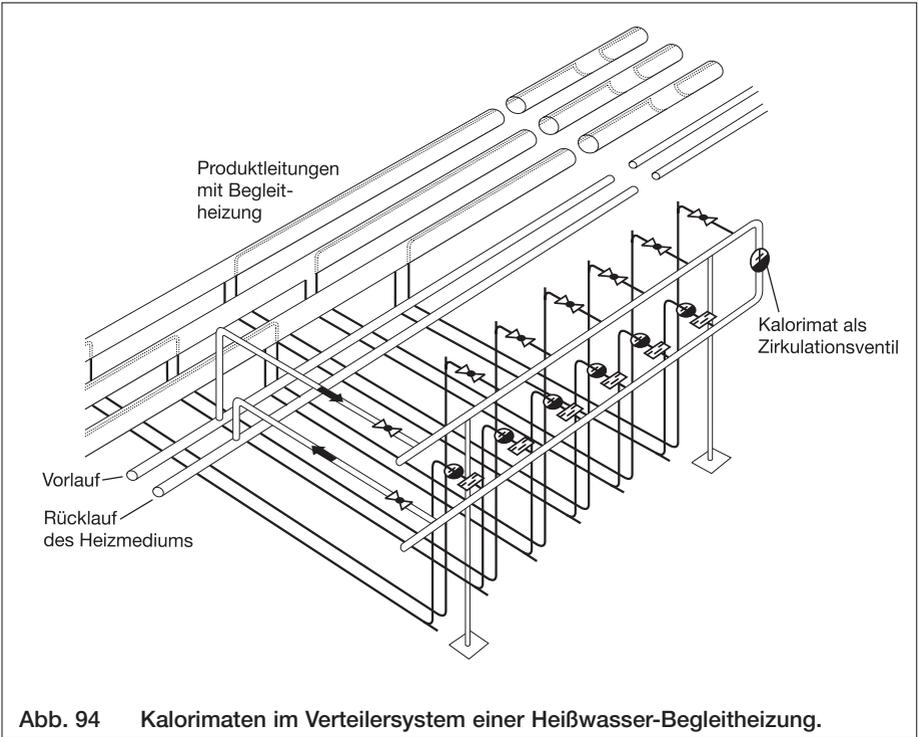


Abb. 94 Kalorimaten im Verteilersystem einer Heißwasser-Begleitheizung.

Das Heißwasser strömt über die Vorlaufleitung und den Verteiler in die Begleitrohre ein. Es fließt über den Rücklaufsammler und die Sammelleitung zurück. Die Begleitrohre sind vorlaufseitig mit Absperrventilen versehen. In den Leitungen am Rücklaufsammler befinden sich Kalorimaten. Die dort eingebauten Disco-Rückschlagventile RK erlauben Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten, ohne dass die Gesamtbeheizung abgeschaltet werden muss.

Um zu verhindern, dass bei abgestellten Heizregistern das Wasser im Verteiler auskühlt, ist am Ende des Vorlaufverteilers ein Kurzschluss mit dem Rücklaufsammler vorgesehen, den der als Zirkulationsventil dort eingesetzte Kalorimat bei entsprechender Temperatur automatisch herstellt.

4.4. Schaltbeispiele für Kühlsysteme: Kühlwasser, Kühlsole

4.4.1 Allgemeines

In Kühlwassernetzen ist ebenso wie in Heizungsnetzen ein Abgleich der unterschiedlichen Widerstände erforderlich, um die bedarfsgerechte Versorgung aller Verbraucher zu erreichen. Der starre Abgleich der Netzwidestände kann auch hier nicht genügen, weil die Belastungen im Netz nur selten konstant sind.

Mit dem Einsatz von Kühlwasserbegrenzern (GESTRAMAT) an allen Verbrauchern ergibt sich ein stetiger Abgleich der Widerstände und die jederzeit – auch bei Laständerungen – bedarfsgerechte Versorgung. Kühlwasserbegrenzer halten außerdem die eingestellten Rücklauftemperaturen in engen Grenzen konstant, so dass mit ihrem Einsatz zugleich eine bessere Nutzung der Kühlfähigkeit des Wassers ermöglicht wird.

Erfahrungen aus der Praxis haben bestätigt, dass an den meisten Kühlern höhere Rücklauftemperaturen des Kühlmittels durchaus zulässig sind und bei Verwendung von Kühlwasserbegrenzern gefahren werden können. Daraus ergeben sich beträchtliche Einsparungen an Kühlwasser und Pumpenenergie.

Beispiel: Kühlleistung (Wärmestrom): $\dot{Q} = 930 \text{ kW} (= 930 \text{ kJ/s})$

Kühlwassereintritt, -austritt: $t_e = 10 \text{ °C}, t_a = 20 \text{ °C}$

Spezifische Wärmekapazität: $c = 4,18 \text{ kJ/kg K}$

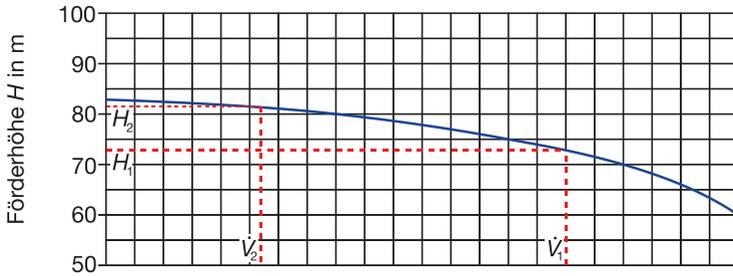
Wasserdurchsatz (Förderstrom): $\dot{V}_1 = \frac{\dot{Q}}{c(t_a - t_e)} = 22,2 \text{ kg/s} = 80 \text{ m}^3/\text{h}$

Bei einer Kühlwasser-Austrittstemperatur von 40 °C sinkt der erforderliche Wasserdurchsatz auf:

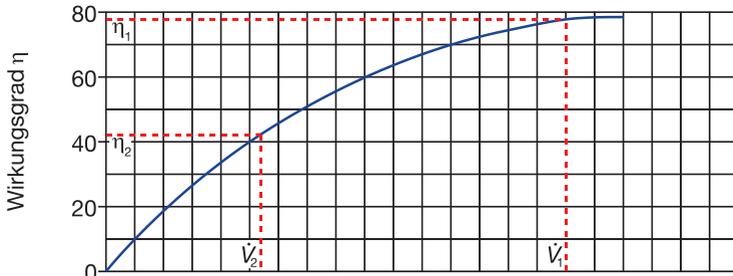
$$\dot{V}_1 = 26,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Das bedeutet eine Ersparnis:

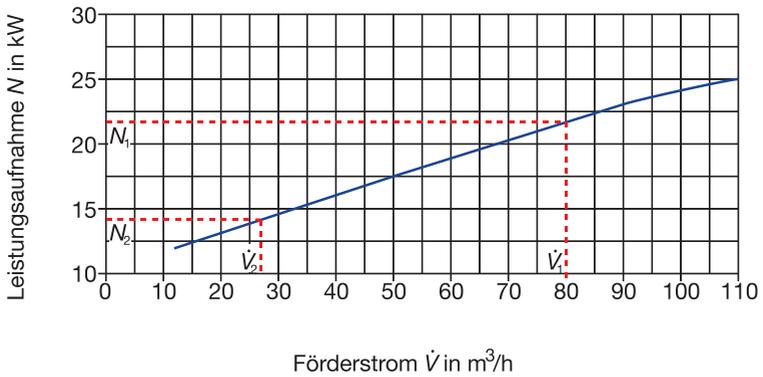
Kühlwasser	66%
Pumpenenergie	35%



Kennlinie einer handelsüblichen Kreiselpumpe



Pumpenwirkungsgrad in Abhängigkeit vom Förderstrom



Leistungsaufnahme in Abhängigkeit vom Förderstrom

Abb. 95

4.4.2 Kühlwasserbegrenzer CW

Kühlwasserbegrenzer (GESTRAMAT) – auch für Kühlsole geeignet – und Kalorimaten (s. Ziffer 4.3.2) haben vergleichbare Funktionen. In einfachster Betrachtungsweise kann man Folgendes sagen:

Der Kühlwasserbegrenzer bewirkt, dass sich das Kühlmittel auf die gewünschte Rücklauf-temperatur erwärmt. Der Kalorimat dagegen stellt sicher, dass sich der Wärmeträger auf die durch Einstellung festgelegte Rücklauf-temperatur abkühlt. Diese Temperaturen werden auch bei Lastschwankungen in engen Grenzen konstant gehalten ($\pm 1^\circ\text{C}$).

Der Kühlwasserbegrenzer ist wie der Kalorimat ein Rücklauf-temperatur-Begrenzer, der außerdem die Durchflussmenge dem Bedarf entsprechend regelt. Werden alle Verbraucher eines Netzes mit diesen Reglern ausgerüstet, dann ist die bedarfsgerechte Verteilung bei bestmöglicher Nutzung sichergestellt.

Kühlwasserbegrenzer eignen sich für alle druckbelastbaren Kühler; sie werden im Kühlwasserrücklauf montiert. Es ist zweckmäßig, die Geräte so zu installieren, dass sie während einer Betriebspause nicht austrocknen können.

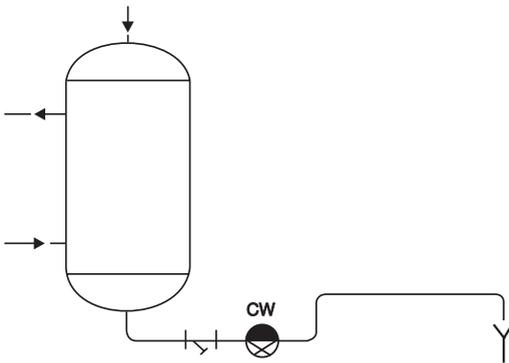


Abb. 96 Einsatz an einem Gegenstromkühler.

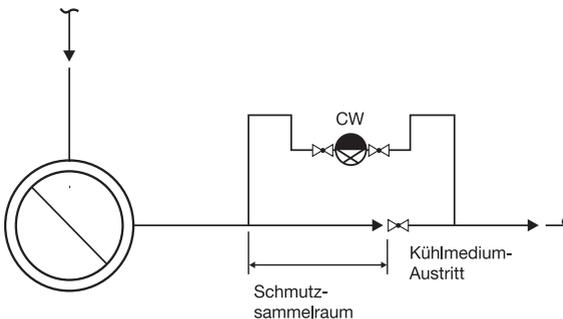
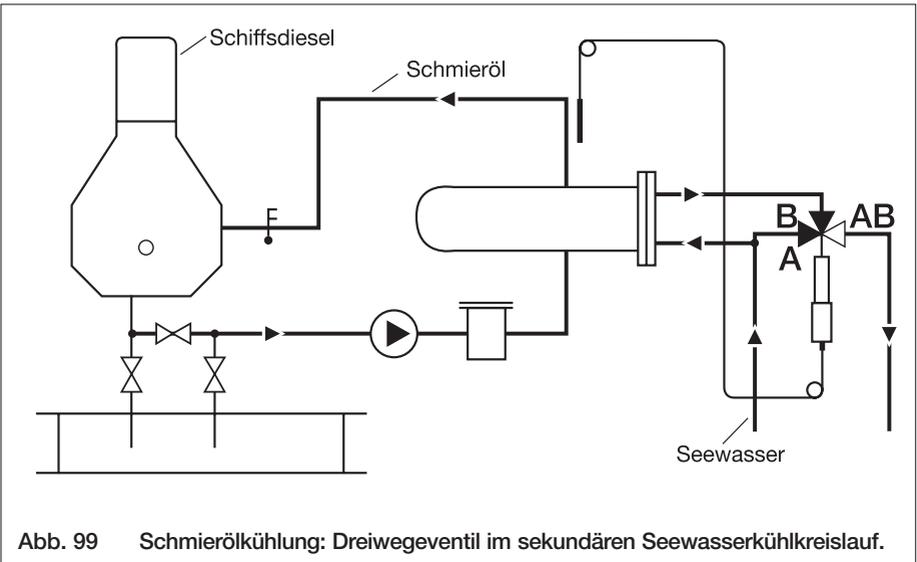
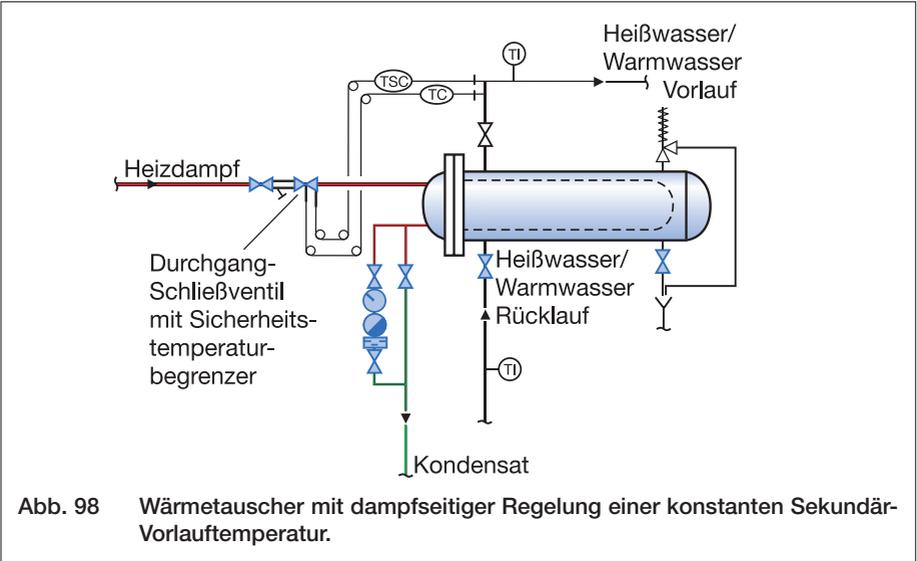


Abb. 97 Einbau im Bypass mit geschlossener Rücklaufleitung.

Durch Erhöhung der Ablauftemperatur auf einen konstanten, einstellbaren Wert wird eine optimale Nutzung des Kühlwassers erreicht. Minimaler Wasserverbrauch reduziert Kosten und Energieverbrauch.

4.4.3 Mechanische Temperaturregler-Systeme Clorius

Mechanische Temperaturregler werden zum Regeln von Heiz- und Kühlprozessen eingesetzt. Es sind Proportional-Regler ohne Hilfsenergie in einer sehr robusten Bauart. In Abhängigkeit von der Produkttemperatur wird über ein Fühler-Kapillar-System ein Stellventil betätigt. Die Stellventile werden als Durchgangs-, Schließ-, Öffnungs-, sowie Dreiwegventile für Verteil- und Mischbetrieb ausgeführt.



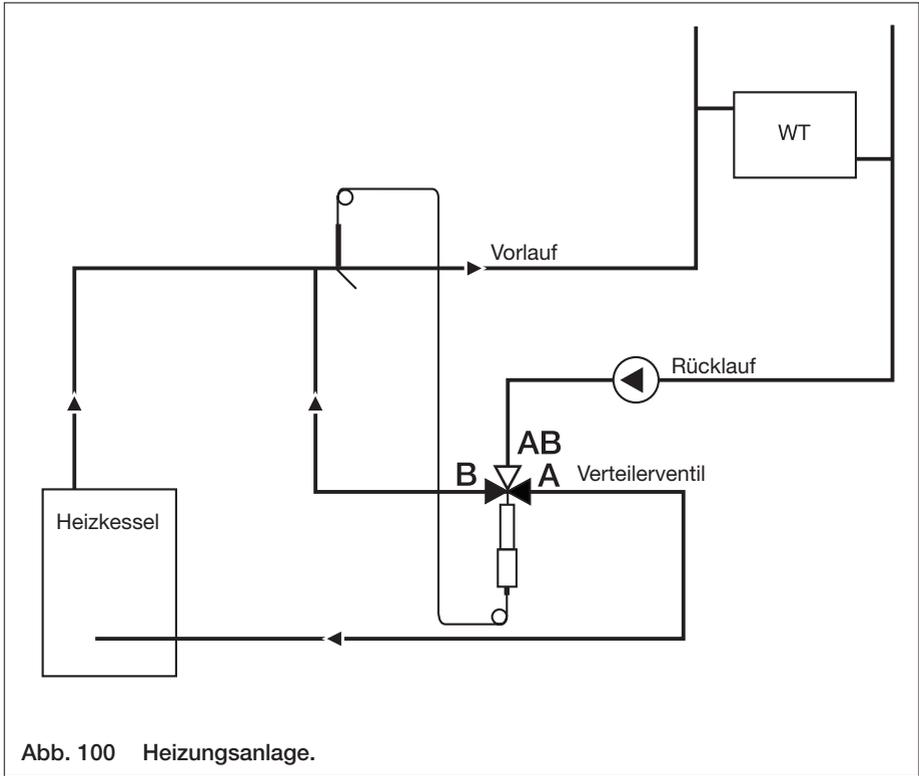


Abb. 100 Heizungsanlage.

5	Werkstoff- und Beständigkeitstabellen	
5.1	Allgemeines	119
5.1.1	Werkstoffnummern	119
5.1.2	Werkstoff-Kurznamen	119
5.1.3	Chemische Elemente (Auswahl)	119
5.2	Stähle	120
5.2.1	Bezeichnungssysteme	120
5.2.2	Werkstoffnormen	120
5.2.3	Werkstoffauswahl	121
5.3	Gusseisen	127
5.3.1	Bezeichnungssysteme	127
5.3.2	Werkstoffnormen	127
5.3.3	Werkstoffauswahl	127
5.4	Aluminiumlegierungen	128
5.4.1	Bezeichnungssysteme	128
5.4.2	Werkstoffnormen	128
5.4.3	Werkstoffauswahl	128
5.5	Kupferlegierungen	129
5.5.1	Bezeichnungssysteme	129
5.5.2	Werkstoffnormen	129
5.5.3	Werkstoffauswahl	129
5.6	Nickellegierungen	131
5.6.1	Werkstoffnormen	131
5.6.2	Werkstoffauswahl	131
5.7	Titan und Titanlegierungen	132
5.7.1	Werkstoffnormen	132
5.7.2	Werkstoffauswahl	132
5.8	Kunststoffe	133
5.9	Beständigkeitstabelle	135

5. Werkstoffe

5.1 Allgemeines

5.1.1 Werkstoffnummern

Zur eindeutigen Benennung von Werkstoffen gibt es in der Regel jeweils zwei Angaben, die Werkstoff-Nr. und den Werkstoff-Kurznamen.

Bei der Werkstoff-Nr. gibt es je nach Werkstoffart unterschiedliche Systeme.

Vielfach gilt die rein numerische Werkstoff-Nr., z. B. 1.4571.

Deren erste Stelle gibt die Werkstoffhauptgruppen an (1 = Stahl). Ihr folgt mit einem Punkt eine vierstellige Zähl-Nr.

Für einige Werkstoffarten gelten allerdings alphanumerische Werkstoff-Nr., z. B. EN-JL1040, EN AW-6060, CW614N

5.1.2 Werkstoff-Kurznamen

Für die Werkstoff-Kurznamen sind sehr unterschiedliche Systeme vorgesehen.

Vielfach setzt sich der Werkstoff-Kurzname aus Zeichen der im Werkstoff enthaltenen chemischen Elemente und Zahlenangaben zusammen, die für die Mengenanteile der Elemente repräsentativ sind. z. B. 42CrMo4.

Für andere Werkstoffe setzt sich der Werkstoff-Kurzname aus Zeichen zusammen, die von der Zusammensetzung des Werkstoffes völlig unabhängig sind, z. B. P250GH.

Detaillierte Informationen über die Bezeichnungssysteme enthalten jeweils die entsprechenden Normen in den nachfolgenden Kapiteln.

5.1.3 Chemische Elemente (Auswahl)

Zeichen	Element	Zeichen	Element	Zeichen	Element
Al	Aluminium	Mn	Mangan	Si	Silicium
B	Bor	Mo	Molybdän	Sn	Zinn
Bi	Wismut	N	Stickstoff	Te	Tellur
C	Kohlenstoff	Nb	Niob	Ti	Titan
Co	Kobalt	Ni	Nickel	V	Vanadium
Cr	Chrom	Pb	Blei	W	Wolfram
Cu	Kupfer	S	Schwefel	Zn	Zink
Fe	Eisen	Se	Selen	Zr	Zirconium
Mg	Magnesium				

Abb. 101

5.2 Stähle

5.2.1 Bezeichnungssysteme

Aufbau und Systematik der Bezeichnungssysteme für Stähle sind in folgenden Normen beschrieben:

DIN EN 10020	Begriffsbestimmungen, Einteilung der Stähle
DIN EN 10079	Begriffsbestimmungen, Stahlerzeugnisse
DIN EN 10027-1	Werkstoffkurznamen
DIN V 17006-100	Werkstoffkurznamen, Zusatzsymbole
DIN EN 10027-2	Werkstoffnummern

5.2.2 Werkstoffnormen

Folgende Normen (Auswahl) geben Auskunft über Zusammensetzung, Eigenschaften und Halbzeugarten aus Stahl:

DIN EN 10139	Bänder ohne Überzug zum Kaltumformen
DIN EN 10088-2	Bänder, Bleche, nichtrostend
DIN EN 10269	Befestigungselemente
DIN EN 10132-4	Federbänder
DIN EN 10270-1	Federdrähte, gezogen
DIN EN 10270-3	Federdrähte, nichtrostend
DIN EN 10089	Federstähle, vergütbar
DIN EN 10113-2	Flach-, Langerzeugnisse, schweißgeeigneter Feinkornbaustahl
DIN EN 10025	Flach-, Langerzeugnisse, unlegierter Baustahl
DIN EN 10028-4	Flacherzeugnisse, kaltzäh, für Druckbehälter
DIN EN 10028-7	Flacherzeugnisse, nichtrostend, für Druckbehälter
DIN EN 10028-3	Flacherzeugnisse, schweißgeeignet, normalgeglüht, für Druckbehälter
DIN EN 10028-5	Flacherzeugnisse, schweißgeeignet, thermomechanisch gewalzt, für Druckbehälter
DIN EN 10028-6	Flacherzeugnisse, schweißgeeignet, vergütet, für Druckbehälter
DIN EN 10028-2	Flacherzeugnisse, unlegiert/legiert, für Druckbehälter
DIN EN 10213-1	Gussteile
DIN EN 10213-4	Gussteile, Austenit
DIN EN 10213-2	Gussteile, erhöhte Temperatur
DIN EN 10283	Gussteile, nichtrostend
DIN EN 10213-3	Gussteile, tiefe Temperatur
DIN EN 10088-3	Halbzeuge, Stäbe, Walzdrähte, nichtrostend
DIN 17457	Rohre, geschweißt, austenitisch
DIN EN 10217-3	Rohre, geschweißt, legierter Feinkornbaustahl
DIN 1626	Rohre, geschweißt, unlegiert
DIN 17458	Rohre, nahtlos, austenitisch
DIN EN 10216-2	Rohre, nahtlos, erhöhte Temperatur, für Druckbeanspruchung
DIN EN 10305-1	Rohre, nahtlos, kaltgezogen, Präzision
DIN EN 10216-3	Rohre, nahtlos, legierter Feinkornbaustahl, für Druckbeanspruchung
DIN 17456	Rohre, nahtlos, nichtrostend
DIN EN 10216-1	Rohre, nahtlos, Raumtemperatur, für Druckbeanspruchung
DIN EN 10216-4	Rohre, nahtlos, tiefe Temperatur, für Druckbeanspruchung
DIN 1629	Rohre, nahtlos, unlegiert
DIN EN 10222-2	Schmiedeteile, erhöhte Temperatur, für Druckbehälter

DIN EN 10222-1	Schmiedeteile, Freiform, für Druckbehälter
DIN EN 10222-5	Schmiedeteile, nichtrostend, für Druckbehälter
DIN EN 10222-4	Schmiedeteile, schweißgeeignet, für Druckbehälter
DIN EN 10222-3	Schmiedeteile, tiefe Temperatur, für Druckbehälter
DIN EN 10277-2	Stäbe, blank
DIN EN 10277-3	Stäbe, blank, Automatenstahl
DIN EN 10277-4	Stäbe, blank, Einsatzstahl
DIN EN 10277-5	Stäbe, blank, Vergütungsstahl
DIN EN 10272	Stäbe, nichtrostend, für Druckbehälter
DIN EN 10087	Stäbe, Walzdraht, warmgewalzt, Automatenstahl
DIN EN 10273	Stäbe, warmgewalzt, schweißgeeignet, für Druckbehälter
DIN EN 10084	Stähle: Einsatzstähle
DIN EN 10083-1	Stähle: Vergütungsstähle

5.2.3 Werkstoffauswahl

Werkstoff-Nr.	Werkstoff-Kurzname	Norm	Verwendung	Vergleichbarer ASTM-Werkstoff	Nr. alt	Kurzname alt
1.1181	C35E	DIN EN 10269	Befestigungselemente (Mutt.)	A194 2H	1.1181	Ck 35
1.1181	C35E	DIN EN 10269	Befestigungselemente (Schr.)	-	1.1181	Ck 35
1.1191	2C45	DIN EN 10269	Befestigungselemente	-	-	-
1.4301	X5CrNi18-10	DIN EN 10269	Befestigungselemente	-	-	-
1.4303	X4CrNi18-12	DIN EN 10269	Befestigungselemente	-	1.4303	X 5 CrNi 18 12
1.4401	X5CrNiMo17-12-2	DIN EN 10269	Befestigungselemente	-	-	-
1.4404	X2CrNiMo17-12-2	DIN EN 10269	Befestigungselemente	-	1.4404	X 2 CrNiMo 17 13 2
1.4913	X19CrMoNbVN11-1	DIN EN 10269	Befestigungselemente	-	-	-
1.4923	X22CrMoV12-1	DIN EN 10269	Befestigungselemente	-	-	-
1.4980	X6NiCrTiMoVB25-15-2	DIN EN 10269	Befestigungselemente	-	-	-
1.4986	X7CrNiMoBNb16-16	DIN EN 10269	Befestigungselemente	-	1.4986	X8CrNiMoBNb 16 16
1.7218	25CrMo4	DIN EN 10269	Befestigungselemente	-	-	-
1.7709	21CrMoV5-7	DIN EN 10269	Befestigungselemente	-	-	-
1.7711	40CrMoV4-6	DIN EN 10269	Befestigungselemente	-	1.7711	40 CrMoV 4 7
1.7225	42CrMo4	DIN EN 10269	Befestigungselemente (Mutt.)	A194 7	-	-
1.7225	42CrMo4	DIN EN 10269	Befestigungselemente (Schr.)	A193 B7	-	-
1.0035	S185	DIN EN 10025	Flach-, Langerzeugnis	-	1.0035	St 33
1.0036	S235JRG1	DIN EN 10025	Flach-, Langerzeugnis	-	1.0036	USt 37-2

Abb. 102 Auswahl im Armaturenbau gebräuchlicher Stähle (Sortiert nach Spalte 4 „Verwendung“).

Werkstoff-Nr.	Werkstoff-Kurzname	Norm	Verwendung	Vergleichbarer ASTM-Werkstoff	Nr. alt	Kurzname alt
1.0037	S235JR	DIN EN 10025	Flach-, Langerzeugnis	–	1.0037	St 37-2
1.0038	S235JRG2	DIN EN 10025	Flach-, Langerzeugnis	A283 C	1.0038	RSt 37-2
1.0044	S275JR	DIN EN 10025	Flach-, Langerzeugnis	A36	1.0044	St 44-2
1.0050	E295	DIN EN 10025	Flach-, Langerzeugnis	–	1.0050	St 50-2
1.0116	S235J2G3	DIN EN 10025	Flach-, Langerzeugnis	–	1.0116	St 37-3 N
1.0570	S355J2G3	DIN EN 10025	Flach-, Langerzeugnis	A573 70	1.0570	St 52-3 N
1.4006	X12Cr13	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	1.4006	X 10 Cr 13
1.4016	X6Cr17	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	–	–
1.4021	X20Cr13	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	–	–
1.4034	X46Cr13	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	–	–
1.4122	X39CrMo17-1	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	1.4122	X 35 CrMo 17
1.4301	X5CrNi18-10	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	–	–
1.4303	X4CrNi18-12	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	1.4303	X 5 CrNi 18 12
1.4305	X8CrNiS18-9	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	–	–
1.4306	X2CrNi19-11	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	–	–
1.4310	X10CrNi18-8	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	1.4310	X 12 CrNi 17 7
1.4313	X3CrNiMo13-4	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	1.4313	X 4 CrNi 13 4
1.4401	X5CrNiMo17-12-2	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	–	–
1.4404	X2CrNiMo17-12-2	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	1.4404	X 2 CrNiMo 17 13 2
1.4435	X2CrNiMo18-14-3	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	–	–
1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	–	–
1.4510	X3CrTi17	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	1.4510	X 6 CrTi 17
1.4529	X1NiCrMoCuN25-20-7	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	1.4529	X 1 NiCrMoCuN 25 20 6
1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	–	–
1.4541	X6CrNiTi18-10	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	–	–
1.4550	X6CrNiNb18-10	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	–	–
1.4568	X7CrNiAl17-7	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	–	–
1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	–	–
1.4580	X6CrNiMoNb17-12-2	DIN EN 10088-2	Flacherzeugnis	–	–	–
1.0425	P265GH	DIN EN 10028-2	Flacherzeugnis, Druckbehälter	–	1.0425	H II
1.0488	P275NL1	DIN EN 10028-3	Flacherzeugnis, Druckbehälter	–	1.0488	TStE 285
1.0566	P355NL1	DIN EN 10028-3	Flacherzeugnis, Druckbehälter	–	1.0566	TStE 355
1.4301	X5CrNi18-10	DIN EN 10028-7	Flacherzeugnis, Druckbehälter	–	–	–
1.4306	X2CrNi19-11	DIN EN 10028-7	Flacherzeugnis, Druckbehälter	–	–	–
1.4313	X3CrNiMo13-4	DIN EN 10028-7	Flacherzeugnis, Druckbehälter	–	1.4313	X 4 CrNi 13 4
1.4401	X5CrNiMo17-12-2	DIN EN 10028-7	Flacherzeugnis, Druckbehälter	–	–	–
1.4435	X2CrNiMo18-14-3	DIN EN 10028-7	Flacherzeugnis, Druckbehälter	–	–	–
1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	DIN EN 10028-7	Flacherzeugnis, Druckbehälter	–	–	–
1.4510	X3CrTi17	DIN EN 10028-7	Flacherzeugnis, Druckbehälter	–	1.4510	X 6 CrTi 17

Abb. 102 Auswahl im Armaturenbau gebräuchlicher Stähle (Sortiert nach Spalte 4 „Verwendung“).

Werkstoff-Nr.	Werkstoff-Kurzname	Norm	Verwendung	Vergleichbarer ASTM-Werkstoff	Nr. alt	Kurzname alt
1.4529	X1NiCrMoCuN25-20-7	DIN EN 10028-7	Flacherzeugnis, Druckbehälter	-	1.4529	X 1 NiCrMoCuN 25 20 6
1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	DIN EN 10028-7	Flacherzeugnis, Druckbehälter	-	-	-
1.4541	X6CrNiTi18-10	DIN EN 10028-7	Flacherzeugnis, Druckbehälter	-	-	-
1.4550	X6CrNiNb18-10	DIN EN 10028-7	Flacherzeugnis, Druckbehälter	-	-	-
1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	DIN EN 10028-7	Flacherzeugnis, Druckbehälter	-	-	-
1.4580	X6CrNiMoNb17-12-2	DIN EN 10028-7	Flacherzeugnis, Druckbehälter	-	-	-
1.5415	16Mo3	DIN EN 10028-2	Flacherzeugnis, Druckbehälter	-	1.5415	15 Mo 3
1.7335	13CrMo4-5	DIN EN 10028-2	Flacherzeugnis, Druckbehälter	-	1.7335	13 CrMo 4 4
1.7380	10CrMo9-10	DIN EN 10028-2	Flacherzeugnis, Druckbehälter	-	-	-
1.7383	11CrMo9-10	DIN EN 10028-2	Flacherzeugnis, Druckbehälter	-	-	-
1.8915	P460NL1	DIN EN 10028-3	Flacherzeugnis, Druckbehälter	-	1.8915	TStE 460
1.8918	P460NL2	DIN EN 10028-3	Flacherzeugnis, Druckbehälter	-	1.8918	EStE 460
1.0619	GP240GH	DIN EN 10213-1	Gussteil	-	1.0619	GS-C 25
1.0619	GP240GH	DIN EN 10213-2	Gussteil	A216 WCB	1.0619	GS-C 25
1.4308	GX5CrNi19-10	DIN EN 10213-1	Gussteil	-	1.4308	G-X 6 CrNi 18 9
1.4308	GX5CrNi19-10	DIN EN 10213-4	Gussteil	A351 CF8	1.4308	G-X 6 CrNi 18 9
1.4309	GX2CrNi19-11	DIN EN 10213-4	Gussteil	-	-	-
1.4317	GX4CrNi13-4	DIN EN 10213-1	Gussteil	-	-	-
1.4317	GX4CrNi13-4	DIN EN 10213-2	Gussteil	A743 CA-6NM	-	-
1.4408	GX5CrNiMo19-11-2	DIN EN 10213-1	Gussteil	-	1.4408	G-X 6 CrNiMo 18 10
1.4408	GX5CrNiMo19-11-2	DIN EN 10213-4	Gussteil	A351 CF8M	1.4408	G-X 6 CrNiMo 18 10
1.4409	GX2CrNiMo19-11-2	DIN EN 10213-4	Gussteil	-	-	-
1.4552	GX5CrNiNb19-11	DIN EN 10213-1	Gussteil	-	1.4552	G-X 5 CrNiNb 18 9
1.4552	GX5CrNiNb19-11	DIN EN 10213-4	Gussteil	A351 CF8C	1.4552	G-X 5 CrNiNb 18 9
1.4581	GX5CrNiMoNb19-11-2	DIN EN 10213-1	Gussteil	-	1.4581	G-X 5 CrNiMoNb 18 10
1.4581	GX5CrNiMoNb19-11-2	DIN EN 10213-4	Gussteil	-	1.4581	G-X 5 CrNiMoNb 18 10
1.5419	G20Mo5	DIN EN 10213-1	Gussteil	-	1.5419	GS-22 Mo 4
1.5419	G20Mo5	DIN EN 10213-2	Gussteil	A217 WC1	1.5419	GS-22 Mo 4
1.7357	G17CrMo5-5	DIN EN 10213-1	Gussteil	-	-	-
1.7357	G17CrMo5-5	DIN EN 10213-2	Gussteil	A217 WC6	-	-
1.7379	G17CrMo9-10	DIN EN 10213-2	Gussteil	-	-	-
1.0254	P235TR1	DIN EN 10216-1	Rohr, nahtlos, Druckbehälter	-	1.0254	St 37.0
1.0345	P235GH	DIN EN 10216-2	Rohr, nahtlos, Druckbehälter	-	1.0305	St 35.8
1.0488	P275NL1	DIN EN 10216-3	Rohr, nahtlos, Druckbehälter	-	1.0488	TStE 285

Abb. 102 Auswahl im Armaturenbau gebräuchlicher Stähle (Sortiert nach Spalte 4 „Verwendung“).

Werkstoff-Nr.	Werkstoff-Kurzname	Norm	Verwendung	Vergleichbarer ASTM-Werkstoff	Nr. alt	Kurzname alt
1.4922	X20CrMoV11-1	DIN EN 10216-2	Rohr, nahtlos, Druckbehälter	–	1.4922	X 20 CrMoV 12 1
1.5415	16Mo3	DIN EN 10216-2	Rohr, nahtlos, Druckbehälter	–	1.5415	15 Mo 3
1.7218	25CrMo4	DIN EN 10216-2	Rohr, nahtlos, Druckbehälter	–	–	–
1.7219	26CrMo4-2	DIN EN 10216-4	Rohr, nahtlos, Druckbehälter	–	1.7219	26 CrMo 4
1.7335	13CrMo4-5	DIN EN 10216-2	Rohr, nahtlos, Druckbehälter	–	1.7335	13 CrMo 4 4
1.7380	10CrMo9-10	DIN EN 10216-2	Rohr, nahtlos, Druckbehälter	–	–	–
1.8915	P460NL1	DIN EN 10216-3	Rohr, nahtlos, Druckbehälter	–	1.8915	TStE 460
1.0352	P245GH	DIN EN 10222-2	Schmiedeteil, Druckbehälter	–	–	–
1.0460	P250GH	DIN EN 10222-2	Schmiedeteil, Druckbehälter	A105	1.0460	C 22.8
1.4301	X5CrNi18-10	DIN EN 10222-5	Schmiedeteil, Druckbehälter	A182 F304	–	–
1.4313	X3CrNiMo13-4	DIN EN 10222-5	Schmiedeteil, Druckbehälter	–	–	–
1.4401	X5CrNiMo17-12-2	DIN EN 10222-5	Schmiedeteil, Druckbehälter	A182 F316	–	–
1.4404	X2CrNiMo17-12-2	DIN EN 10222-5	Schmiedeteil, Druckbehälter	A182 F316L	1.4404	X 2 CrNiMo 17 13 2
1.4435	X2CrNiMo18-14-3	DIN EN 10222-5	Schmiedeteil, Druckbehälter	–	–	–
1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	DIN EN 10222-5	Schmiedeteil, Druckbehälter	–	–	–
1.4529	X1NiCrMoCuN25-20-7	DIN EN 10222-5	Schmiedeteil, Druckbehälter	–	1.4529	X 1 NiCrMoCuN 25 20 6
1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	DIN EN 10222-5	Schmiedeteil, Druckbehälter	–	–	–
1.4541	X6CrNiTi18-10	DIN EN 10222-5	Schmiedeteil, Druckbehälter	A182 F321	–	–
1.4550	X6CrNiNb18-10	DIN EN 10222-5	Schmiedeteil, Druckbehälter	A182 F347	–	–
1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	DIN EN 10222-5	Schmiedeteil, Druckbehälter	–	–	–
1.4903	X10CrMoVNb9-1	DIN EN 10222-2	Schmiedeteil, Druckbehälter	A182 F91	–	–
1.4922	X20CrMoV11-1	DIN EN 10222-2	Schmiedeteil, Druckbehälter	–	1.4922	X 20 CrMoV 12 1
1.5415	16Mo3	DIN EN 10222-2	Schmiedeteil, Druckbehälter	A182 F1	1.5415	15 Mo 3
1.7335	13CrMo4-5	DIN EN 10222-2	Schmiedeteil, Druckbehälter	A182 F12-2	1.7335	13 CrMo 4 4
1.7383	10CrMo9-10	DIN EN 10222-2	Schmiedeteil, Druckbehälter	A182 F22-3	–	–

Abb. 102 Auswahl im Armaturenbau gebräuchlicher Stähle (Sortiert nach Spalte 4 „Verwendung“).

Werkstoff-Nr.	Werkstoff-Kurzname	Norm	Verwendung	Vergleichbarer ASTM-Werkstoff	Nr. alt	Kurzname alt
1.4006	X12Cr13	DIN EN 10272	Stab, Druckbehälter	A182 F6a	1.4006	X 10 Cr 13
1.4057	X17CrNi6-2	DIN EN 10272	Stab, Druckbehälter	-	1.4057	X 20 CrNi 17 2
1.4301	X5CrNi18-10	DIN EN 10272	Stab, Druckbehälter	-	-	-
1.4306	X2CrNi19-11	DIN EN 10272	Stab, Druckbehälter	A182 F304L	-	-
1.4313	X3CrNiMo13-4	DIN EN 10272	Stab, Druckbehälter	-	1.4313	X 4 CrNi 13 4
1.4401	X5CrNiMo17-12-2	DIN EN 10272	Stab, Druckbehälter	-	-	-
1.4435	X2CrNiMo18-14-3	DIN EN 10272	Stab, Druckbehälter	-	-	-
1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	DIN EN 10272	Stab, Druckbehälter	-	-	-
1.4529	X1NiCrMoCuN25-20-7	DIN EN 10272	Stab, Druckbehälter	-	1.4529	X 1 NiCrMoCuN 25 20 6
1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	DIN EN 10272	Stab, Druckbehälter	-	-	-
1.4541	X6CrNiTi18-10	DIN EN 10272	Stab, Druckbehälter	-	-	-
1.4550	X6CrNiNb18-10	DIN EN 10272	Stab, Druckbehälter	-	-	-
1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	DIN EN 10272	Stab, Druckbehälter	-	-	-
1.4580	X6CrNiMoNb17-12-2	DIN EN 10272	Stab, Druckbehälter	-	-	-
1.4006	X12Cr13	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	1.4006	X 10 Cr 13
1.4016	X6Cr17	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-
1.4021	X20Cr13	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-
1.4034	X46Cr13	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-
1.4057	X17CrNi6-2	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	1.4057	X 20 CrNi 17 2
1.4104	X14CrMoS17	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	1.4104	X 12 CrMoS 17
1.4112	X90CrMoV18	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-
1.4122	X39CrMo17-1	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	1.4122	X 35 CrMo 17
1.4301	X5CrNi18-10	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-
1.4303	X4CrNi18-12	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	1.4303	X 5 CrNi 18 12
1.4305	X8CrNiS18-9	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-
1.4306	X2CrNi19-11	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-
1.4310	X10CrNi18-8	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	1.4310	X 12 CrNi 17 7
1.4313	X3CrNiMo13-4	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	1.4313	X 4 CrNi 13 4
1.4401	X5CrNiMo17-12-2	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-
1.4404	X2CrNiMo17-12-2	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	1.4404	X 2 CrNiMo 17 13 2
1.4435	X2CrNiMo18-14-3	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-
1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-

Abb. 102 Auswahl im Armaturenbau gebräuchlicher Stähle (Sortiert nach Spalte 4 „Verwendung“).

Werkstoff-Nr.	Werkstoff-Kurzname	Norm	Verwendung	Vergleichbarer ASTM-Werkstoff	Nr. alt	Kurzname alt
1.4529	X1NiCrMoCuN25-20-7	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	1.4529	X 1 NiCrMoCuN 25 20 6
1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-
1.4541	X6CrNiTi18-10	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-
1.4550	X6CrNiNb18-10	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-
1.4568	X7CrNiAl17-7	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-
1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-
1.4580	X6CrNiMoNb17-12-2	DIN EN 10088-3	Stab, Halbzeug, Walzdraht	-	-	-
1.0425	P265GH	DIN EN 10273	Stab, warmgew, Druckbehälter	-	-	-
1.0460	P250GH	DIN EN 10273	Stab, warmgew, Druckbehälter	A105	1.0460	C 22.8
1.4922	X20CrMoV11-1	DIN EN 10273	Stab, warmgew, Druckbehälter	-	1.4922	X 20 CrMoV 12 1
1.5415	16Mo3	DIN EN 10273	Stab, warmgew, Druckbehälter	-	1.5415	15 Mo 3
1.7335	13CrMo4-5	DIN EN 10273	Stab, warmgew, Druckbehälter	-	1.7335	13 CrMo 4 4
1.7380	10CrMo9-10	DIN EN 10273	Stab, warmgew, Druckbehälter	-	-	-

Abb. 102 Auswahl im Armaturenbau gebräuchlicher Stähle (Sortiert nach Spalte 4 „Verwendung“).

5.3 Gusseisen

5.3.1 Bezeichnungssysteme

Aufbau und Systematik der Bezeichnungssysteme für Gusseisen sind in folgender Norm beschrieben:

DIN EN 1560 Werkstoffkurznamen, Werkstoffnummern

5.3.2 Werkstoffnormen

Folgende Normen (Auswahl) geben Auskunft über die Zusammensetzung und Eigenschaften von Gusseisen:

DIN EN 1563 Gusseisen mit Kugelgraphit

DIN EN 1561 Gusseisen mit Lamellengraphit

DIN EN 1562 Temperguss

5.3.3 Werkstoffauswahl

Werkstoff-Nr.	Werkstoff-Kurzname	Norm	Verwendung	Vergleichbarer ASTM-Werkstoff	Nr. alt	Kurzname alt
EN-JL1030	EN-GJL-200	DIN EN 1561	Gussteil	A48 No25	0.6020	GG-20
EN-JL1040	EN-GJL-250	DIN EN 1561	Gussteil	A126 Class B	0.6025	GG-25
EN-JL1050	EN-GJL-300	DIN EN 1561	Gussteil	A48 No40B	0.6030	GG-30
EN-JL1060	EN-GJL-350	DIN EN 1561	Gussteil	A48 No50B	0.6035	GG-35
EN-JM1010	EN-GJMW-350-4	DIN EN 1561	Gussteil	-	0.8035	GTW-35-04
EN-JM1030	EN-GJMW-400-5	DIN EN 1561	Gussteil	-	0.8040	GTW-40-05
EN-JS1019	EN-GJS-350-22U-LT	DIN EN 1563	Gussteil (Probestück angego.)	-	-	-
EN-JS1049	EN-GJS-400-18U-LT	DIN EN 1563	Gussteil (Probestück angego.)	-	0.7043	GGG-40.3
EN-JS1072	EN-GJS-400-15U	DIN EN 1563	Gussteil (Probestück angego.)	A536 60-40-18	0.7040	GGG-40
EN-JS1082	EN-GJS-500-7U	DIN EN 1563	Gussteil (Probestück angego.)	-	0.7050	GGG-50
EN-JS1015	EN-GJS-350-22-LT	DIN EN 1563	Gussteil (Probestück angego.)	-	0.7033	GGG-35.3
EN-JS1025	EN-GJS-400-18-LT	DIN EN 1563	Gussteil (Probestück angego.)	-	0.7043	GGG-40.3
EN-JS1030	EN-GJS-400-15	DIN EN 1563	Gussteil (Probestück angego.)	A536 60-40-18	0.7040	GGG-40
EN-JS1050	EN-GJS-500-7	DIN EN 1563	Gussteil (Probestück angego.)	-	0.7050	GGG-50

Abb. 103 Auswahl gebräuchlicher Gusseisen-Werkstoffe (Sortiert nach Spalte 4, „Verwendung“).

5.4 Aluminiumlegierungen

5.4.1 Bezeichnungssysteme

Aufbau und Systematik der Bezeichnungssysteme für Aluminiumlegierungen sind in folgenden Normen beschrieben:

DIN EN 1780-2	Werkstoffkurznamen für Gussmaterial
DIN EN 1780-3	Werkstoffkurznamen für Gussmaterial, Schreiblegen
DIN EN 573-2	Werkstoffkurznamen für Halbzeugmaterial
DIN EN 1780-1	Werkstoffnummern für Gussmaterial
DIN EN 573-1	Werkstoffnummern für Halbzeugmaterial

5.4.2 Werkstoffnormen

Folgende Normen (Auswahl) geben Auskunft über Zusammensetzung, Eigenschaften und Halbzeugarten aus Aluminiumlegierungen:

DIN EN 485-2	Bleche, Bänder, Platten
DIN EN 1706	Gussteile
DIN EN 573-3	Halbzeug, chemische Zusammensetzung
DIN EN 573-2	Halbzeug, Erzeugnisformen
DIN EN 754-2	Rohre, Stangen, gezogen
DIN EN 755-2	Rohre, Stangen, Profile, stranggepresst
DIN EN 586-2	Schmiedeteile

5.4.3 Werkstoffauswahl

Werkstoff-Nr.	Werkstoff-Kurzname	Norm	Verwendung	Vergleichbarer ASTM-Werkstoff	Nr. alt	Kurzname alt
EN AC-44200	EN AC-Al Si12(a)	DIN EN 1706	Gussteil	–	3.2581	G-AlSi 12
EN AC-44300	EN AC-Al Si12(Fe)	DIN EN 1706	Gussteil	–	3.2582	GD-AlSi 12
EN AW-5754	EN AW-Al Mg 3	DIN EN 573-3	Halbzeug	–	3.3535	AlMg 3
EN AW-6082	EN AW-Al Si1MgMn	DIN EN 573-3	Halbzeug	–	3.2315	AlMgSi 1
EN AW-6060	EN AW-Al MgSi	DIN EN 754-2	Rohr, Stab; gezogen	–	3.3206	AlMgSi 0,5

Abb. 104 Auswahl im Armaturenbau gebräuchlicher Aluminiumlegierungen (Sortiert nach Spalte 4, „Verwendung“).

5.5 Kupferlegierungen

5.5.1 Bezeichnungssystem

Aufbau und Systematik des Bezeichnungssystems für Kupfer und Kupferlegierungen sind in folgender Norm beschrieben:

DIN EN 1412 Werkstoffnummern

5.5.2 Werkstoffnormen

Folgende Normen (Auswahl) geben Auskunft über Zusammensetzung, Eigenschaften und Halbzeugarten aus Kupferlegierungen:

DIN EN 1652	Bleche, Platten, Bänder, Streifen, Ronden
DIN EN 12166	Drähte
DIN EN 1982	Gussteile, Blockmaterial
DIN EN 12168	Hohlstangen für spanende Bearbeitung
DIN EN 12449	Rohr, nahtlos
DIN EN 12420	Schmiedestücke
DIN EN 12165	Schmiedestücke, Vormaterial
DIN EN 12164	Stangen für spanende Bearbeitung
DIN EN 12167	Stangen, rechteckig, Profile
DIN EN 12163	Stangen, rund/vieleckig

5.5.3 Werkstoffauswahl

Werkstoff-Nr.	Werkstoff-Kurzname	Norm	Verwendung	Vergleichbarer ASTM-Werkstoff	Nr. alt	Kurzname alt
CC332G	CuAl10Ni3Fe2-C	DIN EN 1982	Gussteil	-	2.0970.01	G-CuAl 9 Ni
CC333G	CuAl10Fe5Ni5-C	DIN EN 1982	Gussteil	-	2.0975.01	G-CuAl 10 Ni
CC480K	CuSn10-C	DIN EN 1982	Gussteil	-	2.1050.01	G-CuSn 10
CC483K	CuSn12-C	DIN EN 1982	Gussteil	-	2.1052.01	G-CuSn 12 Zn
CC491K	CuSn5Zn5Pb5-C	DIN EN 1982	Gussteil	-	2.1096.01	G-CuSn 5 ZnPb
CC493K	CuSn7Zn4Pb7-C	DIN EN 1982	Gussteil	-	2.1090.01	G-CuSn 7 ZnPb
CC750S	CuZn33Pb2-C	DIN EN 1982	Gussteil	-	2.0290.01	G-CuZn 33 Pb
CW306G	CuAl10Fe3Mn2	DIN EN 12420	Schmiedeteil	-	2.0936.08	CuAl 10 Fe 3 Mn 2
CW307G	CuAl10Ni5Fe4	DIN EN 12420	Schmiedeteil	-	2.0966	CuAl 10 Ni 5 Fe 4
CW509L	CuZn40	DIN EN 12420	Schmiedeteil	-	2.0360.08	CuZn 40
CW608N	CuZn38Pb2	DIN EN 12420	Schmiedeteil	-	2.0401.08	CuZn 39 Pb 3
CW612N	CuZn39Pb2	DIN EN 12420	Schmiedeteil	-	2.0380.08	CuZn 39 Pb 2
CW614N	CuZn39Pb3	DIN EN 12420	Schmiedeteil	-	2.0401.08	CuZn 39 Pb 3
CW617N	CuZn40Pb2	DIN EN 12420	Schmiedeteil	-	2.0402.08	CuZn 40 Pb 2
CW710R	CuZn35Ni3Mn2AlPb	DIN EN 12420	Schmiedeteil	-	2.0540.08	CuZn 35 Ni 2
CW608N	CuZn38Pb2	DIN EN 12164	Stab für spanende Bearbeitung	-	-	-
CW612N	CuZn39Pb2	DIN EN 12164	Stab für spanende Bearbeitung	-	2.0380	CuZn 39 Pb 2
CW614N	CuZn39Pb3	DIN EN 12164	Stab für spanende Bearbeitung	-	2.0401	CuZn 39 Pb 3

Abb. 105 Auswahl im Armaturenbau gebräuchlicher Kupferlegierungen (Sortiert nach Spalte 4, „Verwendung“).

Werkstoff-Nr.	Werkstoff-Kurzname	Norm	Verwendung	Vergleichbarer ASTM-Werkstoff	Nr. alt	Kurzname alt
CW617N	CuZn40Pb2	DIN EN 12164	Stab für spanende Bearbeitung	–	2.0402	CuZn 40 Pb 2
CW306G	CuAl10Fe3Mn2	DIN EN 12167	Stab, rechteckig	–	2.0936	CuAl 10 Fe 3 Mn 2
CW307G	CuAl10Ni5Fe4	DIN EN 12167	Stab, rechteckig	–	2.0966	CuAl 10 Ni 5 Fe 4
CW452K	CuSn6	DIN EN 12167	Stab, rechteckig	–	2.1020	CuSn 6
CW453K	CuSn8	DIN EN 12167	Stab, rechteckig	–	2.1030	CuSn 8
CW507L	CuZn36	DIN EN 12167	Stab, rechteckig	–	2.0335	CuZn 36
CW509L	CuZn40	DIN EN 12167	Stab, rechteckig	–	2.0360	CuZn 40
CW608N	CuZn38Pb2	DIN EN 12167	Stab, rechteckig	–	–	–
CW612N	CuZn39Pb2	DIN EN 12167	Stab, rechteckig	–	2.0380	CuZn 39 Pb 2
CW614N	CuZn39Pb3	DIN EN 12167	Stab, rechteckig	–	2.0401	CuZn 39 Pb 3
CW617N	CuZn40Pb2	DIN EN 12167	Stab, rechteckig	–	2.0402	CuZn 40 Pb 2
CW710R	CuZn35Ni3Mn2AlPb	DIN EN 12167	Stab, rechteckig	–	2.0540	CuZn 35 Ni 2
CW306G	CuAl10Fe3Mn2	DIN EN 12163	Stab, rund/vieleckig	–	2.0936	CuAl 10 Fe 3 Mn 2
CW307G	CuAl10Ni5Fe4	DIN EN 12163	Stab, rund/vieleckig	–	2.0966	CuAl 10 Ni 5 Fe 4
CW452K	CuSn6	DIN EN 12163	Stab, rund/vieleckig	–	2.1020	CuSn 6
CW453K	CuSn8	DIN EN 12163	Stab, rund/vieleckig	–	2.1030	CuSn 8
CW459K	CuSn8P	DIN EN 12163	Stab, rund/vieleckig	–	2.1030	CuSn 8
CW507L	CuZn36	DIN EN 12163	Stab, rund/vieleckig	–	2.0335	CuZn 36
CW509L	CuZn40	DIN EN 12163	Stab, rund/vieleckig	–	2.0360	CuZn 40
CW710R	CuZn35Ni3Mn2AlPb	DIN EN 12163	Stab, rund/vieleckig	–	2.0540	CuZn 35 Ni 2

Abb. 105 Auswahl im Armaturenbau gebräuchlicher Kupferlegierungen (Sortiert nach Spalte 4, „Verwendung“).

5.6 Nickellegierungen

5.6.1 Werkstoffnormen

Folgende Normen (Auswahl) geben Auskunft über Zusammensetzung, Eigenschaften und Halbzeugarten aus Nickellegierungen:

DIN 17750	Bleche, Bänder
DIN 17753	Drähte
DIN EN 10302	Nickel- u. Kobaltlegierungen, hochwarmfest
DIN 17742	Nickel-Knetlegierungen mit Chrom, Zusammensetzung
DIN 17745	Nickel-Knetlegierungen mit Eisen, Zusammensetzung
DIN 17743	Nickel-Knetlegierungen mit Kupfer, Zusammensetzung
DIN 17744	Nickel-Knetlegierungen mit Molybdän, Chrom, Kobalt, Zusammensetzung
DIN 17741	Nickel-Knetlegierungen, niedriglegiert, Zusammensetzung
DIN 17751	Rohre
DIN 17752	Stangen

Einige besonders korrosionsbeständige Legierungen auf Nickelbasis sind unter der Schutzmarke „Hastelloy“ bekannt. Sie werden z. B. in der chemischen Industrie, in der Luftfahrt und auch im Armaturenbau verwendet. „Nimonic“ und „Inconel“ sind Schutzmarken für einige hochwarmfeste austenitische NiCr- und NiCrCo-Legierungen.

5.6.2 Werkstoffauswahl

Werkstoff-Nr.	Werkstoff-Kurzname	Norm	Verwendung	Vergleichbarer ASTM-Werkstoff
2.4669	NiCr15Fe7TiAl	DIN EN 10302	Befestigungselemente	–
2.4819	NiMo16Cr15W	DIN 17750	Flacherzeugnis	–
2.4360	NiCu30Fe	DIN 17743	Knetlegierung	–
2.4816	NiCr15Fe	DIN 17742	Knetlegierung	–
2.4819	NiMo16Cr15W „Hastelloy C-276“	DIN 17744	Knetlegierung	–
2.4600	NiMo29Cr „Hastelloy B-3“	DIN 17752	Stab	–
2.4610	NiMo16Cr16Ti „Hastelloy C-4“	DIN 17752	Stab	–
2.4617	NiMo28 „Hastelloy B-2“	DIN 17752	Stab	–
2.4632	NiCr20Co18Ti „Nimonic 90“	DIN EN 10302	Stahl, hochwarmfest	–
2.4669	NiCr15Fe7TiAl „Inconel X750“	DIN EN 10302	Stahl, hochwarmfest	–

Abb. 106 Auswahl im Armaturenbau gebräuchlicher Nickellegierungen (Sortiert nach Spalte 4 „Verwendung“).

5.7 Titan und Titanlegierungen

5.7.1 Werkstoffnormen

Folgende Normen (Auswahl) geben Auskunft über Zusammensetzung, Eigenschaften und Halbzeugarten aus Titan und Titanlegierungen:

DIN 17860	Bleche, Bänder
DIN 17863	Drähte
DIN 17866	Rohre, geschweißt
DIN 17861	Rohre, nahtlos
DIN 17864	Schmiedeteile
DIN 17862	Stangen
DIN 17850	Titan, Zusammensetzung
DIN 17851	Titanlegierungen, Zusammensetzung

Titan - wegen seiner guten Korrosionseigenschaften z. B. im chemischen Apparatebau verwendet - zeigt ein ausgezeichnetes Verhalten gegenüber oxydierenden Medien. Zahlreiche Korrosionsprobleme bei herkömmlichen Werkstoffen, z. B. in Verbindung mit einigen in der chemischen Industrie gebräuchlichen Säuren, werden bei Verwendung von Titan als Werkstoff zufriedenstellend gelöst. In Chlor und chlorierten Medien zeigt Reintitan praktisch keine Korrosion.

Titanlegierungen haben größere Gehalte an vornehmlich metallischen Legierungselementen. Die mechanischen Eigenschaften von Titanlegierungen sind mit denen der hochlegierten Stähle vergleichbar. Verwendung z. B. in der Luft- und Raumfahrt.

5.7.2 Werkstoffauswahl

Werkstoff-Nr.	Werkstoff-Kurzname	Norm	Verwendung	Vergleichbarer ASTM-Werkstoff	Werkstoff-Nr.	Werkstoff-Kurzname	Norm	Verwendung	Vergleichbarer ASTM-Werkstoff
3.7025	Ti 1	DIN 17860	Flacherzeugnis	-	3.7035	Ti 2	DIN 17862	Stab	-
3.7035	Ti 2	DIN 17860	Flacherzeugnis	-	3.7055	Ti 3	DIN 17862	Stab	-
3.7055	Ti 3	DIN 17860	Flacherzeugnis	-	3.7165	TiAl6V4	DIN 17862	Stab	B348 5
3.7165	TiAl6V4	DIN 17860	Flacherzeugnis	-	3.7235	Ti 2 Pd	DIN 17862	Stab	B348 7
3.7235	Ti 2 Pd	DIN 17860	Flacherzeugnis	-	3.7025	Ti 1	DIN 17864	Schmiedeteil	-
3.7025	Ti 1	DIN 17861	Rohr, nahtlos	-	3.7035	Ti 2	DIN 17864	Schmiedeteil	-
3.7035	Ti 2	DIN 17861	Rohr, nahtlos	-	3.7055	Ti 3	DIN 17864	Schmiedeteil	-
3.7055	Ti 3	DIN 17861	Rohr, nahtlos	-	3.7165	TiAl6V4	DIN 17864	Schmiedeteil	-
3.7165	TiAl6V4	DIN 17861	Rohr, nahtlos	-	3.7235	Ti 2 Pd	DIN 17864	Schmiedeteil	-
3.7235	Ti 2 Pd	DIN 17861	Rohr, nahtlos	-	3.7031	G-Ti	DIN 17865	Gussteil	-
3.7025	Ti 1	DIN 17862	Stab	-	3.7032	G-Ti 2 Pd	DIN 17865	Gussteil	-

Abb. 107 Auswahl im Armaturenbau gebräuchlicher Titanwerkstoffe (Sortiert nach Spalte 4, „Verwendung“).

5.8 Kunststoffe

DIN EN ISO 1043-1 Kennbuchstaben und Kurzzeichen für Basis-Polymere und Eigenschaften

DIN EN ISO 1043-2 Kennbuchstaben und Kurzzeichen für Füllstoffe und Verstärkungsstoffe

Kurzzeichen	Erklärung	Kurzzeichen	Erklärung
AB	Acrylnitril-Butadien Kunststoff	PAN	Polyacrylnitril
ABAK	Acrylnitril-Butadien-Acrylat Kunststoff	PAR	Polyarylat
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol Kunststoff	PARA	Polyarylamid
ACS	Acrylnitril-chlorierter Polyethylen-Styrol Kunststoff	PB	Polybuten
AEPDS	Acrylnitril-(Ethylen-Propylen-Dien)-Styrol Kunststoff	PBAK	Polybutylacrylat
AMMA	Acrylnitril-Methylmethacrylat Kunststoff	PBD	1,2-Polybutadien
ASA	Acrylnitril-Styrol-Acrylat Kunststoff	PBN	Polybutennaphthalat
CA	Celluloseacetat	PBT	Polybutylenterephthalat
CAB	Celluloseacetatbutyrat	PC	Polycarbonat
CAP	Celluloseacetatpropionat	PCCE	Polycyclohexendimethylen-cyclohexandicarboxylat
CEF	Cellulose-Formaldehyd Harz	PCL	Polycaprolacton
CF	Kresol-Formaldehyd Harz	PCT	Polycyclohexendimethylen-terephthalat
CMC	Carboxymethylcellulose	PCTFE	Polychlorotrifluorethylen
CN	Cellulosenitrat	PDAP	Polydiallylphthalat
COC	Cycloolefin Copolymer	PDCPD	Polydicyclopentadien
CP	Cellulosepropionat	PE	Polyethylen
CTA	Cellulosetriacetat	PEC	Polyestercarbonat
EAA	Ethylen-Acrylsäure Kunststoff	PEEK	Polyetheretherketon
EBAK	Ethylen-Butylacrylat Kunststoff	PEEST	Polyetherester
EC	Ethylcellulose	PEI	Polyetherimid
EEAK	Ethylen-Ethylacrylat Kunststoff	PEK	Polyetherketon
EMA	Ethylen-Methacrylsäure Kunststoff	PEN	Polyethylen-naphthalat
EP	Epoxid Harz	PEOX	Polyethylenoxid
E/P	Ethylen-Propylen Kunststoff	PESU	Polyethersulfon
ETFE	Ethylen-Tetrafluorethylen Kunststoff	PESTUR	Polyesterurethan
EVAC	Ethylen-Vinylacetat Kunststoff	PET	Polyethylenterephthalat
EVOH	Ethylen-Vinylalkohol Kunststoff	PEUR	Polyetherurethan
FEP	Perfluor (Ethylen-Propylen-) Kunststoff	PF	Phenol-Formaldehyd
FF	Furan-Formaldehyd Harz	PFA	Perfluoralkoxyalkan Kunststoff
LCP	Flüssigkristall-Polymer (Liquid-Crystal-Polymer)	PI	Polyimid
MABS	Methylmethacrylat-Acrylnitril-Butadien-Styrol Kunststoff	PIB	Polyisobuten
MBS	Methylmethacrylat-Butadien-Styrol Kunststoff	PIR	Polyisocyanurat
MC	Methylcellulose	PK	Polyketon
MF	Melamin-Formaldehyd Harz	PMI	Polymethacrylimid
MP	Melamin-Phenol Harz	PMMA	Polymethylmethacrylat
MSAN	a-Methylstyrol-Acrylnitril Kunststoff	PMMI	Poly-N-Methylmethacrylimid
PA	Polyamid	PMP	Poly-4-Methylpenten-(1)
PAA	Polyacrylsäure	PMS	Poly-a-Methylstyrol
PAEK	Polyaryletherketon	POM	Polyoxymethylen; Polyformaldehyd
PAI	Polyamidimid	PP	Polypropylen
PAK	Polyacrylat	PPE	Polyphenylenether
		PPOX	Polypropylenoxid
		PPS	Polyphenylsulfid
		PPSU	Polyphenylsulfon
		PS	Polystyrol

Abb. 108

Kurzzeichen	Erklärung	Kurzzeichen	Erklärung
PSU	Polysulfon	SMAH	Styrol-Maleinsäureanhydrid Kunststoff
PTFE	Polytetrafluorethylen	SMS	Styrol- α -Methylstyrol Kunststoff
PTT	Polytrimethylenterephthalat	UF	Urea-Formaldehyd Harz
PUR	Polyurethan	UP	Ungesättigtes Polyester Harz
PVAC	Polyvinylacetat	VCE	Vinylchlorid-Ethylen Kunststoff
PVAL	Polyvinylalkohol	VCEMAK	Vinylchlorid-Ethylen-Methylacrylat Kunststoff
PVB	Polyvinylbutyrat	VCEVAC	Vinylchlorid-EthylenVinylacetat Kunststoff
PVC	Polyvinylchlorid	VCMAC	Vinylchlorid-Methylacrylat Kunststoff
PVDC	Polyvinylidenchlorid	VCMMA	Vinylchlorid-Methylmethacrylat Kunststoff
PVDF	Polyvinylidenfluorid	VCOAK	Vinylchlorid-Octylacrylat Kunststoff
PVF	Polyvinylfluorid	VCVAC	Vinylchlorid-Vinylacetat Kunststoff
PVFM	Polyvinylformal	VCVDC	Vinylchlorid-Vinylidenchlorid Kunststoff
PVK	Poly-N-vinylcarbazol	VE	Vinylester Harz
PVP	Poly-N-vinylpyrrolidon		
SAN	Styrol-Acrylnitril Kunststoff		
SB	Styrol-Butadien Kunststoff		
SI	Silikon Kunststoff		

Abb. 108 Fortsetzung

5.9 Beständigkeitstabelle

Die Beständigkeitsangaben in Abbildung 109 basieren auf Laborversuchen, sind teilweise Betriebsergebnisse und teilweise Mittelwerte aus verschiedenen Quellen. Alle Angaben erfolgen nach bestem Wissen.

Es bedeuten: 1 gut geeignet

2 geeignet

3 nicht zu empfehlen

L Gefahr von Lochfraßkorrosion

S Gefahr von Spaltkorrosion

Über diese Kennziffern ist eine Vorauswahl der Werkstoffe für bestimmte Einsatzfälle möglich. Auf Versuche unter Beachtung der jeweils vorliegenden Betriebsbedingungen, unter Beachtung auch der Funktion, die das zu fertigende Bauteil erfüllen soll, kann in vielen Fällen nicht verzichtet werden. Für eine ausreichend sichere Beurteilung der Beständigkeit eines Werkstoffes sind Angaben wie Druck, Temperatur, Zusammensetzung des Mediums, Konzentration und pH-Wert erforderlich.

Medium	Zustand	Temperatur °C	Beständigkeit der Werkstoffe							
			Grauguss/ Temperguss	Stahl/Stahlguss	Austenitischer Stahl (1.4571)	Bronze	EPDM	NBR/Perbunan	FKM/Viton	PTFE/Teflon
	Massenkonzentration in %									
Acetaldehyd	Flüssigkeit	20	3	3	1	2	2	3	3	1
Aceton	Flüssigkeit	20	1	1	1	1	1	3	3	1
Acetylen	Gas	20	1	1	1	3	1	1	1	1
Acrylnitril	Flüssigkeit	20	1	1	1	1	1	3	2	1
Aluminiumchlorid	26% Lösung	20	3	3	3	3	1	2	1	1
Aluminiumsulfat	10% Lösung	20	3	2	1	3	1	1	1	1
Ameisensäure	50-100% Lösung	20-70	3	3	1	2	2	3	3	1
Ammoniak, wasserfrei	Gas	20	2	1	1	3	1	2	3	1
Ammoniak, wässrig	30% Lösung	20	1	1	1	3	1	2	3	1
Ammoniumcarbonat	20% Lösung	20	3	3	1	3	1	1	3	1
Ammoniumchlorid	10% Lösung	20	3	3	1(L)	3	1	1	1	1
Ammoniummonophosphat	10% Lösung	20	2	2	1	1	1	1	1	1
Ammoniumnitrat	wässrige Lösung	100	3	3	1	3	1	2	1	1
Ammoniumsulfat	50% Lösung	20	3	3	1	2	1	1	1	1
Amylacetat	50% Lösung	20-130	2	2	1	2	1	3	3	1
Anilin	Flüssigkeit	20-60	1	1	1	1	3	3	1	1
Apfelsaft	Flüssigkeit	20	3	3	1	3	1	1	1	1
Asphalt	Flüssigkeit	20-80	2	2	1	1	1	3	1	1
Äthan	Gas	20	2	2	2	1	3	1	1	1
Äther	Flüssigkeit	20	2	1	1	1	2	3	3	1
Äthylacetat	Flüssigkeit	20	3	2	1	3	3	3	3	1
Äthylalkohol	Flüssigkeit	20	2	2	1	1	1	1	3	1

Abb. 109

Medium	Zustand	Temperatur °C	Beständigkeit der Werkstoffe							
			Grauguss/ Temperguss	Stahl/Stahlguss	Austenitischer Stahl (1.4571)	Bronze	EPDM	NBR/Perbunan	FKM/Viton	PTFE/Teflon
Äthylchlorid, trocken	Gas	20	2	2	1(L)	2	3	2	2	1
Äthylchlorid, nass	Gas	20	3	3	1	3	3	2	2	1
Äthylenglykol	Flüssigkeit	20	2	2	1	2	1	1	1	1
Bariumcarbonat	20% Lösung	20	2	2	1	1	1	1	1	1
Bariumchlorid	10% Lösung	20	3	2	1(L)	2	1	1	1	1
Bariumsulfat	wässrige Lösung	20	3	3	1	1	1	1	1	1
Benzaldehyd	Flüssigkeit	20	3	3	1	2	1	2	1	1
Benzin	Flüssigkeit	20	1	1	1	1	3	2	1	1
Benzoessäure	Flüssigkeit	20	2	2	1	1	1	1	1	1
Benzol	Flüssigkeit	20	1	1	1	1	3	3	1	1
Bier	wässrige Lösung	20	3	3	1	1	1	1	1	1
Bleiacetat	25% Lösung	20	3	3	1	3	1	1	1	1
Bleieträäthyl	Flüssigkeit	20	3	3	1	2	3	3	3	1
Borsäure	50% Lösung	20	3	3	1	2	1	1	1	1
Brom, nass	Flüssigkeit	20	3	3	3	2	1	3	1	1
Bromwasserstoffsäure	wässrige Lösung	20	3	3	3	3	1	3	1	1
Butan	Gas	20	2	2	1	1	2	1	1	1
Buttermilch	wässrige Lösung	90	3	3	1	3	1	1	1	1
Buttersäure	Lösung	100	3	3	1	3	1	2	1	1
Butylacetat	Flüssigkeit	20	1	1	1	1	2	3	3	1
Calciumbisulfid	4% Lösung	20	3	3	2	2	1	1	1	1
Calciumcarbonat	wässrige Lösung, gesättigt	20	2	2	1(L)	2	1	1	1	1
Calciumchlorid	25% Lösung	20	3	3	1	2	1	1	1	1
Calciumhydroxid	wässrige Lösung	20	1	1	1	1	1	1	1	1
Calciumsulfat	10% Lösung	20	3	3	1	2	1	1	1	1
Chlor, nass	Gas	20	3	3	3	3	3	3	1	1
Chlor, trocken	Gas	20	1	1	1	2	1	3	1	1
Chloroform, trocken	Flüssigkeit	60	2	2	1	2	3	3	2	1
Chlorsulfonsäure, trocken	10% Lösung	20	2	2	2(L)	2	3	3	3	1
Chlorsulfonsäure, nass	10% Lösung	20	3	3	3	3	3	3	3	1
Chlorwasser, gesättigt	wässrige Lösung	20	3	3	3	3	1	3	1	1
Chromsäure	10% Lösung	30	3	3	1	3	(1)	3	1	1

Abb. 109 Fortsetzung

Medium	Zustand	Temperatur °C	Beständigkeit der Werkstoffe							
			Grauguss/ Temperguss	Stahl/Stahlguss	Austenitischer Stahl (1.4571)	Bronze	EPDM	NBR/Perbunan	FKM/Viton	PTFE/Teflon
	Massenkonzentration in %									
Dampf (Wasserdampf)	Sattdampf	100	1	1	1	1	1	3	2	1
Diäthylamin	Flüssigkeit	25	1	1	1	3	1	2	3	1
Dieselmotortreibstoff	Flüssigkeit	20	1	1	1	1	3	1	1	1
Eisen (III) -chlorid	10% Lösung	50	3	3	3	3	1	1	1	1
Eisennitrat	wässrige Lösung	20	3	3	1	3	1	1	1	1
Eisen (III) -sulfat	10% Lösung	20	3	3	1	3	1	1	1	1
Essigsäure, wasserfrei	Flüssigkeit	20	3	3	1	2	1	1	1	1
Essigsäure	25% Lösung	20	3	3	1	3	1	3	3	1
Essigsäureanhydrid	Flüssigkeit	20	3	3	1	3	3	3	3	1
Fettsäuren	Flüssigkeit	150	3	3	1	2	3	3	1	1
Fluor, trocken	Gas	20	1	1	1	1	1	3	1	1
Fluorwasserstoffsäure (Flusssäure)	60% Lösung	20	3	3	3	3	1	1	3	1
Formaldehyd	40% Lösung	60	3	3	1	1	1	3	2	1
Freone, trocken	Flüssigkeit	20	2	2	1	1	1	3	3	1
Fruchtsäfte	wässrige Lösung	20	3	3	1	2	1	1	1	1
Furfurol	Gas	20	2	2	1	1	3	3	3	1
Generatorgas	Gas	20	2	2	1	2	1	1	1	1
Glukose	wässrige Lösung, Konz.	20	2	2	1	1	1	1	1	1
Glycerin	Flüssigkeit	20	2	2	1	1	1	1	1	1
Glykole	Flüssigkeit	20	2	2	1	1	1	1	1	1
Harnstoff	wässrige Lösung, Konz.	20	2	2	1	2	1	1	1	1
Heizöl, leicht	Flüssigkeit	20	2	2	1	2	3	1	1	1
Heizöl, schwer	Flüssigkeit	20	2	2	1	2	3	2	1	1
Heptan	Flüssigkeit	20	2	2	1	1	3	1	1	1
Hydrauliköl	Flüssigkeit	20	2	2	1	2	3	1	1	1
Isopropylalkohol	Flüssigkeit	20	2	2	1	1	1	2	1	1
Isopropyläther	Flüssigkeit	20	2	1	1	1	1	2	2	1
Kaliumcarbonat	50% Lösung	20	2	2	1	2	1	1	1	1
Kaliumchlorat	wässrige Lösung, gesättigt	100	3	3	1	2	1	3	1	1
Kaliumdichromat	30% Lösung	20	3	3	1	3	1	2	1	1
Kaliumdiphosphat	20% Lösung	20	1	1	1	2	1	1	1	1

Abb. 109 Fortsetzung

Medium	Zustand	Temperatur °C	Beständigkeit der Werkstoffe							
			Grauguss/ Temperguss	Stahl/Stahlguss	Austenitischer Stahl (1.4571)	Bronze	EPDM	NBR/Perbunan	FKM/Viton	PTFE/Teflon
	Massenkonzentration in %									
Kaliumhydroxid	Schmelze	360	2	2	1	3	3	3	3	3
Kaliumhydroxid	70% Lösung	100	2	2	1(S)	3	2	3	2	1
Kaliumsulfat	50% Lösung	50	3	3	1	2	1	1	1	1
Karbonsäure (Phenol)	90% Lösung	20-100	3	3	1	2	3	3	1	1
Kerosin	Flüssigkeit	20	1	1	1	1	3	1	1	1
Kohlendioxid, trocken	Gas	20	1	1	1	1	1	1	1	1
Kohlensäure	wässrige Lösung	20	3	3	1	1	1	1	1	1
Kresole	wässrige Lösung	20	2	2	1	3	3	3	1	1
Kupferacetat	wässrige Lösung	20	3	3	1	3	1	1	1	1
Kupersulfat	wässrige Lösung	20	3	3	1	2	1	1	1	1
Leinöl	Flüssigkeit	20	1	1	1	1	3	1	1	1
Leuchtgas	Gas	20	1	1	1	1	3	1	1	1
Magnesiumsulfat	10% Lösung	20	3	3	1	1	1	1	1	1
Maleinsäure	50% Lösung	100	3	2	1	3	1	1	1	1
Melasse	Flüssigkeit	20	3	3	1	1	1	1	1	1
Methan	Gas	100	2	2	1	1	2	1	1	1
Methylacetat	Lösung	20	2	2	1	1	3	3	3	1
Methylalkohol	Flüssigkeit	20	2	2	1	2	1	2	2	1
Methylchlorid	Gas	100	2	2	1	1	1	3	1	1
Methylzellulose	wässrige Lösung	20	2	2	1	1	3	3	2	1
Milch	Flüssigkeit	20	3	3	1	1	1	1	1	1
Methylenchlorid	Flüssigkeit	20	3	3	1(L)	3	3	3	1	1
Milchsäure	10-50% Lösung	20	3	3	1	2	3	1	1	1
Mineralöl	Flüssigkeit	20	2	2	1	2	3	1	1	1
Naphtha	Flüssigkeit	20	2	2	1	2	3	1	1	1
Natriumacetat	wässrige Lösung	20	3	3	2	2	1	2	1	1
Natriumaluminat	wässrige Lösung	20	2	2	1	2	1	1	1	1
Natriumbisulfid	50% Lösung	20	3	3	1	2	1	1	1	1
Natriumbromid	10% Lösung	20	3	3	2(L)	2	1	1	1	1
Natriumchlorid	20% Lösung	20	3	3	1	2	1	1	1	1
Natriumchromat	20% Lösung	20	2	2	1	2	1	1	1	1
Natriumhydroxid	70% Lösung	20	2	2	1	3	2	1	1	1
Natriummetaphosphat	10% Lösung	20	2	2	1	2	1	1	1	1

Abb. 109 Fortsetzung

Medium	Zustand	Temperatur °C	Beständigkeit der Werkstoffe							
			Grauguss/ Temperguss	Stahl/Stahlguss	Austenitischer Stahl (1.4571)	Bronze	EPDM	NBR/Perbunan	FKM/Viton	PTFE/Teflon
	Massenkonzentration in %									
Natriummetasilikat	10% Lösung	20	3	3	1	2	1	1	1	1
Natriumperoxid	10% Lösung	20	3	3	1	3	1	3	1	1
Natriumsulfat	20% Lösung	20	3	3	1	3	1	1	1	1
Natriumsulfid	25% Lösung	20	3	3	1	3	1	1	1	1
Natriumthiosulfat	25% Lösung	20	3	3	1	3	1	3	1	1
Nickelsulfat	wässrige Lösung	20	3	3	1	2	1	1	1	1
Nitrobenzol	Flüssigkeit	20	2	2	1	2	3	3	3	1
Nitrose Gase	Gas	100	3	3	1	3	3	3	3	1
Öl (Erdöl, sauer)	Flüssigkeit	20	3	3	1	3	3	1	1	1
Öl (Erdöl, veredelt)	Flüssigkeit	20	2	1	1	1	3	1	1	1
Öl (Fischöl)	Flüssigkeit	150	2	2	1	1	3	1	1	1
Öl (Schmieröl)	Flüssigkeit	20	1	1	1	1	3	1	1	1
Oleum	Flüssigkeit	20	3	2	2	2	2	3	1	1
Olivenöl	Flüssigkeit	100	2	2	1	1	3	2	1	1
Ölsäure s. Fettsäuren	Flüssigkeit	150	3	3	1	3	3	3	1	1
Oxalsäure	25-50% Lösung	20	3	3	1	3	1	1	1	1
Ozon, trocken	Gas	20	1	1	1	1	3	3	1	1
Ozon, feucht	Gas	20	3	3	1	2	3	3	1	1
Palmöl	Flüssigkeit	100	3	3	1	2	3	2	1	1
Pentan	Gas	100	2	2	1	1	3	1	1	1
Perchloräthylen, trocken	Flüssigkeit	20	2	2	1(L)	3	3	3	1	1
Petrolatum	Flüssigkeit	20	2	2	1	2	3	1	1	1
Pflanzenöl (Speiseöl)	Flüssigkeit	20	2	2	1	1	3	1	1	1
Phenol	80% Lösung	100	3	3	1	2	3	3	1	1
Phosphorsäure	10% Lösung	20	3	3	1	2	1	1	1	1
Phosphorsäure	50% Lösung	20	3	3	1	2	1	1	1	1
Propan	Gas	20-80	2	2	1	1	1	1	1	1
Propanol (Propylalkohol)	Lösung	20	2	2	1	1	1	1	1	1
Propylenglykol	Flüssigkeit	20	2	2	1	1	1	2	1	1
Rizinusöl	Flüssigkeit	20	2	2	1	1	3	1	1	1
Rübenzuckerflüssigkeit	wässrige Lösung	20	2	2	1	1	1	1	1	1
Salicylsäure	20% Lösung	20	3	3	1	2	1	1	1	1

Abb. 109 Fortsetzung

Medium	Zustand	Temperatur °C	Beständigkeit der Werkstoffe							
			Grauguss/ Temperguss	Stahl/Stahlguss	Austenitischer Stahl (1.4571)	Bronze	EPDM	NBR/Perbunan	FKM/Viton	PTFE/Teflon
	Massenkonzentration in %									
Salpetersäure	30% Lösung	20	3	3	1	3	2	3	1	1
Salpetersäure	100% Lösung	20	3	3	1	3	3	3	3	1
Salzsäure	10% Lösung	20	3	3	3	3	1	2	1	1
Salzsäure	32% Lösung	20	3	3	3	3	1	2	1	1
Salzolen	10-15% Lösung	20	3	3	2	2	1	1	1	1
Sauerstoff	Gas	20	2	2	1	1	1	2	1	1
Schneidöl	Flüssigkeit	20	2	2	1	2	3	1	1	1
Schwefel	Schmelze	130	2	2	1	3	3	3	1	1
Schwefelkohlenstoff	Gas	50	2	2	1	3	3	3	1	1
Schwefelsäure	7% Lösung	20	3	3	1	3	1	1	1	1
Schwefelsäure	50% Lösung	20	3	3	3	3	1	1	1	1
Schwefelsäure	98% Lösung	20	2	2	1	3	3	3	2	1
Seewasser	wässrige Lösung	20	3	3	1	1	1	1	1	1
Seifenlösung	10% Lösung	20	2	1	1	1	1	1	1	1
Stearinsäure	Flüssigkeit	100	3	3	1	2	1	1	1	1
Terpentin	Flüssigkeit	100	2	2	1	1	3	1	1	1
Tetrachlorkohlenstoff, nass	Flüssigkeit	20	2	2	1(L)	2	3	3	1	1
Toluol	Flüssigkeit	20	1	1	1	1	3	3	2	1
Tomatensaft	wässrige Lösung	20	3	3	1	3	1	1	1	1
Transformatoröl	wässrige Lösung	20	2	1	1	2	3	1	2	1
Trichloräthylen	wässrige Lösung	20	2	2	1(L)	2	3	3	1	1
Wachsemulsion	wässrige Lösung	50	2	1	1	1	3	1	1	1
Wasser, destilliert (kohlensäuer)	Flüssigkeit	20	3	3	1	1	1	1	1	1
Wasser (Frischwasser)	Flüssigkeit	20	2	2	1	1	1	1	1	1
Wasserstoff	Gas	20	2	2	1	1	1	1	1	1
Wasserstoffperoxid	30% Lösung	20	3	3	1	3	1	3	1	1
Weinsäure	50% Lösung	20	3	3	1	3	1	1	1	1
Xylol	Flüssigkeit	20	2	2	1	1	3	3	1	1
Zinksulfat	20% Lösung	20-100	3	3	1	2	1	1	1	1
Zinn (II) -chlorid	20% Lösung	20	3	3	3	3	1	1	1	1
Zitronensaft	15% Lösung	20	3	3	1	1	1	1	3	1
Zuckerlösung	10% Lösung	20	2	2	1	1	1	1	1	1

Abb. 109 Fortsetzung

6	Einheiten, Formelzeichen, Umrechnungstabellen	
6.1	Allgemeines	143
6.1.1	Einheitensysteme	143
6.1.2	Verwendete Größen und ihre Einheiten	145
6.1.3	Vorsätze für Vielfache und Teile der Einheiten	146
6.1.4	Griechisches Alphabet	146
6.2	Einheitengleichungen	147
6.2.1	Anglo-amerikanische Einheiten	147
6.2.2	Anwendung der gesetzlichen Einheiten	149
6.3	Umrechnungstabellen	150
6.3.1	Krafteinheiten	150
6.3.2	Druckeinheiten	150
6.3.3	Leistungseinheiten	151
6.3.4	Arbeits-, Energie- und Wärmemengen-Einheiten	151
6.3.5	Einheiten der dynamischen Viskosität	151
6.3.6	Einheiten der kinematischen Viskosität	152
6.3.7	Einheiten der Heizflächenbelastung	152
6.3.8	Einheiten der Wärmeleitzahl	152
6.3.9	Einheiten der Wärmeübergangs- und Wärmedurchgangszahl	153
6.3.10	Einheiten der Wärmestrahlungszahl	153
6.3.11	Einheiten der spezifischen Wärme	153
6.3.12	Kilopond-Newton	154
6.3.13	bar – psi (lbf/in ²)	155
6.3.14	Kilokalorie - Kilojoule	156
6.3.15	Inch-Millimeter, 1/64 bis 1 in	157
6.3.16	Inch-Millimeter, 1 bis 50 in	158
6.3.17	Umrechnung von Temperatureinheiten	160

6 Einheiten, Formelzeichen, Umrechnungstabellen

6.1 Allgemeines

6.1.1 Einheitensysteme

Gesetzliche Einheiten im Messwesen sind die Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI), die nach § 4 des Gesetzes festgelegten atomphysikalischen Einheiten sowie aus Basiseinheiten und atomphysikalischen Einheiten abgeleitete, in der Ausführungsverordnung festgesetzte Einheiten. Gesetzlich sind außerdem die mit Vorsätzen gebildeten dezimalen Vielfachen und Teile der Einheiten.

Basisgröße	Basiseinheit Name	Zeichen	Definition (siehe auch DIN 1301)
Länge	Meter	m	Das Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von $(1/299\,792\,458)$ Sekunden durchläuft.
Masse	Kilogramm	kg	Das Kilogramm ist die Einheit der Masse; es ist gleich der Masse des Internationalen Kilogrammprototyps.
Zeit	Sekunde	s	Die Sekunde ist das $9\,192\,631\,770$ fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids ^{133}Cs entsprechenden Strahlung.
elektrische Stromstärke	Ampere	A	Das Ampere ist die Stärke eines konstanten elektrischen Stromes, der, durch zwei parallele, geradlinige, unendlich lange und im Vakuum im Abstand von einem Meter voneinander angeordnete Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigen Querschnitt fließend, zwischen diesen Leitern je einem Meter Leiterlänge die Kraft $2 \cdot 10^{-7}$ Newton hervorrufen würde.
Temperatur	Kelvin	K	Das Kelvin, die Einheit der thermodynamischen Temperatur, ist der $273,16$ te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes des Wassers.
Stoffmenge	Mol	mol	Das Mol ist die Stoffmenge eines Systems, das aus ebenso vielen Einzelteilen besteht, wie Atome in $0,012$ Kilogramm des Kohlenstoffnuklids ^{12}C enthalten sind. Bei Benutzung des Mol müssen die Einzelteilchen spezifiziert sein und können Atome, Moleküle, Ionen, Elektronen sowie andere Teilchen oder Gruppen solcher Teilchen genau angegebener Zusammensetzung sein.
Lichtstärke	Candela	cd	Die Candela ist die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hertz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung $(1/683)$ Watt durch Steradian beträgt.

Abb. 110 SI-Basiseinheiten

Basisgrößen	Basiseinheiten	Krafteinheit	Energieeinheit
Länge	Meter m	Newton (N)	Joule (J)
Masse	Kilogramm kg	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$
Zeit	Sekunde s		
Elektrische Stromstärke	Ampere A		
Thermodyn. Temp.	Kelvin K		
Stoffmenge	Mol mol		
Lichtstärke	Candela cd		

Abb. 111 Internationales Einheitensystem (SI)

Dieses Einheitensystem ist eine Erweiterung des MKS-Systems. Es eignet sich für alle Bereiche der Physik und der Technik und ermöglicht die ausschließliche Verwendung kohärenter Einheiten. Alle aus den sieben Basiseinheiten hergeleiteten Einheiten dieses Systems sind kohärent, d.h., es gibt in einer als Einheitengleichung geschriebenen Beziehung keinen anderen Zahlenfaktor (Umrechnungsfaktor) als Eins, z.B.:

Kraft = Masse mal Beschleunigung

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ kg m/s}^2$$

Unter Verwendung der gesetzlichen Vorsätze für Vielfache und Teile der Einheiten, die aber erst bei der Schlussrechnung eingeführt werden sollten, können selbstverständlich auch inkohärente Einheiten gebildet werden, wenn man dadurch praktischere Zahlenwerte erhält, z.B.: $1000 \text{ m} = 10^3 \text{ m} = 1 \text{ km}$.

Einige gebräuchliche Alteinheiten (kcal, kp, at usw.) durften nach der Ausführungsverordnung bis 1977 angewendet werden. Das Schrifttum wird auch weiterhin Berührung mit diesen Einheiten bringen. Die nicht gesetzlichen Einheiten sind in den Tabellen kursiv gekennzeichnet.

6.1.2 Verwendete Größen und ihre Einheiten

Formelzeichen	Bedeutung	SI-Einheit
A	Fläche, Querschnitt	m^2
c	spezifische Wärmekapazität, spezifische Wärme	$J/kg\ K$
C	Strahlungszahl	$W/m^2\ K^4$
C	Widerstandszahl	–
d	Durchmesser, lichte Weite	m
f_D	Durchmesserfaktor	m^2/m
f_w	Windfaktor	–
g	Fallbeschleunigung	m/s^2
G	Gewichtskraft Gewicht siehe Masse	N
h, i	spezifische Enthalpie	J/kg
H_v	Widerstandshöhe	m
k	Wärmedurchgangszahl, -koeffizient	$W/m^2\ K$
l	Länge	m
m	Masse (Gewicht)	kg
\dot{m}	Massenstrom, allgemein	kg/s
\dot{M}	Massenstrom, Kondensat	kg/s
\dot{M}_D	Massenstrom, Entspannungsdampf	kg/s
p	Druck	$Pa (= N/m^2)$
Δp	Differenzdruck, Arbeitsdruck, Druckverlust	$Pa (= N/m^2)$
\dot{Q}	Wärmestrom	$W (= J/s)$
r	spezifische Verdampfungswärme	J/kg
r	Radius	m
Re	Reynoldssche Zahl	–
s	spezifische Entropie	$J/kg\ K$
t, θ	Celsius-Temperatur ($t = T - T_0$; $T_0 = 273,15\ K$)	$^\circ C$
$\Delta t, \Delta \theta$	Temperaturdifferenz ($\Delta t = \Delta \rho = \Delta T$)	K
T	Thermodynamische Temperatur	K
v, v	spezifisches Volumen	m^3/kg
V	Volumen	m^3
V	Volumenstrom	m^3/s
w	Geschwindigkeit	m/s
α	Längenausdehnungskoeffizient	$m/m\ K (= 1/K)$
α	Wärmeübergangszahl, -koeffizient	$W/m^2\ K$
γ	Wichte (spezifisches Gewicht)	N/m^3
δ	Wandstärke, Rohrdichte	m
ζ	Widerstandsbeiwert	–
η	dynamische Viskosität	$Pa \cdot s (= N\ s/m^2)$
δ_j, t	Celsius-Temperatur	$^\circ C$
κ	Adiabatexponent	–
λ	Wärmeleitzahl, Wärmeleitfähigkeit	$W/m\ K$
λ	Rohrreibungszahl	–
ν	kinematische Viskosität	m^2/s
ρ	Dichte	kg/m^3
v_j, v	spezifisches Volumen	m^3/kg

Abb. 112

6.1.3 Vorsätze für Vielfache und Teile der Einheiten

Zur Vermeidung unbequemer Zahlenwerte werden dezimale Vielfache oder Teile der Einheiten benutzt. Bei Einheiten mit selbständigen Namen werden die dabei verwendeten Zehnerpotenzen durch Vorsatzzeichen kenntlich gemacht.

Potenz	Name	Zeichen	Potenz	Name	Zeichen
10^{24}	Yotta	Y	10^{-1}	Dezi	d
10^{21}	Zetta	Z	10^{-2}	Zenti	c
10^{18}	Exa	E	10^{-3}	Milli	m
10^{15}	Peta	P	10^{-6}	Mikro	μ
10^{12}	Tera	T	10^{-9}	Nano	n
10^9	Giga	G	10^{-12}	Piko	p
10^6	Mega	M	10^{-15}	Femto	f
10^3	Kilo	k	10^{-18}	Atto	a
10^2	Hekto	h	10^{-21}	Zepto	z
10^1	Deka	da	10^{-24}	Yocto	y

Abb. 113 SI-Vorsätze.

5.1.4 Griechisches Alphabet

Name	Groß	Klein	Deutsch	Name	Groß	Klein	Deutsch
Alpha	A	α	A	Ny	N	ν	N
Beta	B	β	B	Xi	Ξ	ξ	X
Gamma	Γ	γ	G	Omikron	O	o	O
Delta	Δ	δ	D	Pi	Π	π	P
Epsilon	E	ϵ	E	Rho	ρ	ρ	Rh
Zeta	Z	ζ	Z	Sigma	Σ	σ	S
Eta	H	η	E	Tau	T	τ	T
Theta	Θ	θ	Th	Ypsilon	Y	υ	Y
Iota	I	ι	I	Phi	Φ	ϕ	Ph
Kappa	K	κ	K	Chi	χ	χ	Ch
Lambda	Λ	λ	L	Psi	Ψ	ψ	Ps
My	M	μ	M	Omega	Ω	ω	O

Abb. 114

6.2 Einheitengleichungen

6.2.1 Anglo-amerikanische Einheiten

Länge	1 Inch (inch,in) = 25,4 mm 1 Fuß (foot, ft) = 12 in = 0,3048 m 1 Yard (yd) = 3 ft = 0,9144 m 1 Statute Mile (Landmeile) = 1,609 km 1 Nautical Mile (sm = internat. Seemeile) = 1,852 km	1 mm = 0,03937 in 1 m = 3,281 ft 1 m = 1,094 yd 1 km = 0,6214 mile 1 km = 0,540 naut. mile
Fläche	1 Quadrat-Inch (square inch, sq.in, in ²) = 6,452 cm ² 1 Quadratfuß (square foot, sq.ft, ft ²) = 144 in ² = 0,0929 m ² 1 Quadratyard (square yard, sq.yd, yd ²) = 9 ft ² = 0,8361 m ² 1 Quadratmeile (sq.mile, mile ²) = 640 acres = 2,59 km ²	1 cm ² = 0,155 in ² 1 m ² = 10,764 ft ² 1 m ² = 1,196 yd ² 1 km ² = 0,386 mile ²
Volumen	1 Kubik-Inch (cu.in, in ³) = 16,387 cm ³ 1 Kubikfuß (cu.ft, ft ³) = 0,02832 m ³ 1 Kubikyard (cu.yd, yd ³) = 0,7646 m ³ 1 Registertonne (reg.ton) = 100 ft ³ = 2,832 m ³ 1 Brit.ship.ton = 42 ft ³ = 1,189 m ³ 1 U.S.ship.ton = 40 ft ³ = 1,133 m ³ Großbritannien 1 quart (qt) = 1,137 l 1 Imp.gallon (Imp.gal) = 4 qt = 4,546 l 1 bushel (bu) = 8 Imp.gal = 36,37 l 1 barrel = 36 Imp.gal = 163,6 l U.S. 1 quart (qt) = 0,946 l 1 U.S.gallon (U.S.gal) = 231 in ³ = 4 qt = 3,785 l 1 U.S.barrel = 42 U.S.gal = 159 l	1 cm ³ = 0,061 in ³ 1 m ³ = 35,31 ft ³ 1 m ³ = 1,308 yd ³ 1 m ³ = 0,353 reg.ton 1 m ³ = 0,841 Brit.ship.ton 1 m ³ = 0,883 U.S.ship.ton 1 l = 0,880 qt 1 l = 0,220 Imp.gal 1 l = 0,0275 bu 1 l = 0,0061 barrel 1 l = 1,057 qt 1 l = 0,264 U.S.gal 1 l = 0,00629 U.S.barrel
Geschwindigkeit	1 foot per second (ft/s) = 0,3048 m/s = 1,097 km/h 1 mile per hour (mile/h) = 0,447 m/s = 1,609 km/h 1 knot (Seemeile je Stunde) = 0,5144 m/s = 1,852 km/h	1 m/s = 3,281 ft/s 1 km/h = 0,911 ft/s 1 m/s = 2,237 mile/h 1 km/h = 0,621 mile/h 1 m/s = 1,943 knots 1 km/h = 0,540 knot

Abb. 115

Volumenstrom	<p>1 ft³/s = 102 m³/h 1 ft³/min = 1,699 m³/h Großbritannien 1 Imp.gal/min (Imp.gpm) = 0,0758 l/s = 0,273 m³/h U.S. 1 U.S.gal/min (U.S.gpm) = 0,063 l/s = 0,227 m³/h</p>	<p>1 m³/h = 0,00981 ft³/s 1 m³/h = 0,5886 ft³/min 1 m³/h = 3,66 Imp.gal/min 1 m³/h = 4,40 U.S.gal/min</p>
Masse	<p>1 pound (lb) = 16 oz = 0,4536 kg 1 ounce (oz) = 28,35 g Großbritannien 1 long ton (ton) = 20 cwt = 2240 lb = 1016 kg 1 hundredweight (cwt) = 112 lb = 50,80 kg U.S. 1 short ton (sh ton) = 2000 lb = 907,2 kg 1 long ton (ton) = 1,12 short ton = 1016 kg</p>	<p>1 kg = 2,2046 lb 1 kg = 35,27 oz 1 kg = 0,984 · 10⁻³ ton 1 kg = 0,0197 cwt 1 kg = 1,102 · 10⁻³ sh ton 1 kg = 0,984 · 10⁻³ ton</p>
Massenstrom	<p>1 lb/s = 0,4536 kg/s = 1,633 t/h 1 short ton/h (sh ton/h) = 907,2 kg/h 1 long ton /h (ton/h) = 1016 kg/h</p>	<p>1 t/h = 0,6124 lb/s 1 kg/s = 2,2046 lb/s 1 kg/h = 1,102 · 10⁻³ sh ton/h 1 kg/h = 0,984 · 10⁻³ ton/h</p>
Kraft	<p>1 pound-force (lbf) = 4,4482 N 1 ton-force (tonf) = 2240 lbf = 9,964 kN</p>	<p>1 N = 0,2248 lbf 1 kN = 224,8 lbf 1 MN = 100,4 tonf</p>
Druck	<p>1 lbf/in² (psi) = 6895 Pa = 0,06895 bar 1 lbf/ft² (psf) = 47,88 Pa = 0,04788 kPa 1 inch of mercury (in Hg) = 3386 Pa 1 inch of water (in. H₂O) = 249,1 Pa</p>	<p>1 bar = 14,5 lbf/in² 1 kPa = 20,89 lbf/ft² 1 kPa = 0,2953 in.Hg 1 kPa = 4,015 in.H₂O</p>
Arbeit Energie Wärme- menge	<p>1 foot pound-force (ft-lbf) = 1,356 J 1 horse power hour (HPh) = 0,745 kWh 1 Brit. Thermal Unit (BTU) = 1,055 kJ 1 BTU = 778 ft-lbf = 0,393 · 10⁻³ HPh = 0,293 · 10⁻³ kWh</p>	<p>1 J = 0,7376 ft-lbf 1 kWh = 1,341 Hph 1 kJ = 0,9478 BTU 1 kWh = 3413 BTU</p>
Leistung	<p>1 foot pound-force/second (ft-lbf/s) = 1,356 W 1 horse power (HP) = 0,746 kW 1 BTU/h = 0,2931 W</p>	<p>1 W = 0,738 ft-lbf/s 1 kW = 1,342 HP 1 W = 3,412 BTU/h</p>

Abb. 115 Fortsetzung

6.2.2 Anwendung der gesetzlichen Einheiten

Größengleichungen liefern mit SI Einheiten¹⁾ auch die Ergebnisse in SI-Einheiten. Es besteht aber keine Einheitenvorschrift. Einheitenproben sind deshalb wichtig. Um Fehler zu vermeiden, kann es notwendig sein, für abgeleitete Einheiten mit besonderen Namen, die aus den Basiseinheiten des SI sich ergebenden Formen der Einheiten anstelle der besonderen Namen zu verwenden; bei dezimalen Vielfachen und Teilen von Einheiten werden die Vorsätze durch Potenzen von 10 ersetzt (außer bei Kilogramm, kg ist Basiseinheit).

Newton (N)	$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2}$
Pascal (Pa)	$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2 \text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \text{m}}$
Joule (J)	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}$
Watt (W)	$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}$
Bar (bar)	$1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \text{m}}$
Liter (l)	$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$
Gramm (g)	$1 \text{ g} = \frac{1}{1000} \text{ kg} = 10^{-3} \text{ kg}$ (kg ist Basiseinheit)
Tonne (t)	$1 \text{ t} = 1 \text{ Mg} = 10^3 \text{ kg}$
Abb. 116 Beispiele für Einheiten mit besonderen Namen.	

¹⁾ Als SI-Einheiten werden nur die Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI) und aus ihnen mit dem Zahlenfaktor 1 in der Einheitengleichung abgeleitete (kohärente) Einheiten bezeichnet. Danach sind z.B. die Einheiten bar, l, g, t zwar auch gesetzliche Einheiten, aber eben keine SI-Einheiten wie N, Pa, J, W.

6.3 Umrechnungstabellen

6.3.1 Kräfteinheiten

Nicht gesetzliche Einheiten in Deutschland sind *kursiv* dargestellt.

	N $\frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}^2}$	kN	<i>dyn</i>	<i>kdyn</i>	<i>kp</i>	<i>p</i>	<i>mp</i>	<i>Mp</i>
1 Newton	1	10^{-3}	10^5	10^2	$0,102^2)$	$0,102 \cdot 10^3$	$0,102 \cdot 10^6$	$0,102 \cdot 10^{-4}$
1 Kilonewton	10^3	1	10^8	10^5	$0,102 \cdot 10^3$	$0,102 \cdot 10^6$	$0,102 \cdot 10^9$	$0,102$
1 Dyn	10^{-5}	10^{-8}	1	10^{-3}	$0,102 \cdot 10^{-5}$	$0,102 \cdot 10^{-2}$	$0,102 \cdot 10$	$0,102 \cdot 10^{-8}$
1 Kilodyn	10^{-2}	10^{-5}	10^3	1	$0,102 \cdot 10^{-2}$	$0,102 \cdot 10$	$0,102 \cdot 10^4$	$0,102 \cdot 10^{-5}$
1 Kilopond	$9,81^1)$	$9,81 \cdot 10^{-3}$	$9,81 \cdot 10^5$	$9,81 \cdot 10^2$	1	10^3	10^6	10^{-3}
1 Pond	$9,81 \cdot 10^{-3}$	$9,81 \cdot 10^{-6}$	$9,81 \cdot 10^2$	$9,81 \cdot 10^{-1}$	10^{-3}	1	10^3	10^{-6}
1 Millipond	$9,81 \cdot 10^{-6}$	$9,81 \cdot 10^{-9}$	$9,81 \cdot 10^{-1}$	$9,81 \cdot 10^{-4}$	10^{-6}	10^{-3}	1	10^{-9}
1 Megapond	$9,81 \cdot 10^3$	$9,81$	$9,81 \cdot 10^8$	$9,81 \cdot 10^5$	10^3	10^6	10^9	1

Abb. 117

1) Genauer Wert 9,80665

2) Genauer Wert 0,1019716

6.3.2 Druckeinheiten

Nicht gesetzliche Einheiten in Deutschland sind *kursiv* dargestellt.

	N/m ² (Pa)	bar	mbar	μbar	<i>kp/cm² (at)</i>	<i>atm</i>	<i>Torr</i>	<i>mm WS⁵⁾</i>
1 Newton/ Quadratmeter	1	10^{-5}	10^{-2}	10	$0,102 \cdot 10^{-4}$	$0,987 \cdot 10^{-5}$	$0,750 \cdot 10^{-2}$	$0,102$
1 Bar	10^5	1	10^3	10^6	$0,102 \cdot 10$	$0,987$	$0,750 \cdot 10^3$	$0,102 \cdot 10^5$
1 Millibar	10^2	10^{-3}	1	10^3	$0,102 \cdot 10^{-2}$	$0,987 \cdot 10^{-3}$	$0,750$	$0,102 \cdot 10^2$
1 Mikrobar	10^{-1}	10^{-6}	10^{-3}	1	$0,102 \cdot 10^{-5}$	$0,987 \cdot 10^{-6}$	$0,750 \cdot 10^{-3}$	$0,102 \cdot 10^{-1}$
1 Kilopond/ Quadrat- zentimeter 1 phys.	$9,81 \cdot 10^4$ 4)	$9,81 \cdot 10^{-1}$	$9,81 \cdot 10^2$	$9,81 \cdot 10^5$	1	$0,968$	736	10^4
Atmosphäre	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013$	$1,013 \cdot 10^3$	$1,013 \cdot 10^6$	$1,033$	1	760	$1,033 \cdot 10^4$
1 Torr	$1,333 \cdot 10^2$	$1,333 \cdot 10^{-3}$	$1,333$	$1,333 \cdot 10^3$	$1,360 \cdot 10^{-3}$	$1,316 \cdot 10^{-3}$	1	$1,360 \cdot 10$
1 Millimeter Wassersäule	$9,81$	$9,81 \cdot 10^{-5}$	$9,81 \cdot 10^{-2}$	$9,81 \cdot 10$	10^{-4}	$0,968 \cdot 10^{-4}$	$736 \cdot 10^{-4}$	1

Abb. 118

1) Genauer Wert 0,101972

3) Genauer Wert 0,750062

2) Genauer Wert 0,986923

4) Genauer Wert 9,80665

5) 1mm WS = 1 kp/m²

6.3.3 Leistungseinheiten

Nicht gesetzliche Einheiten in Deutschland sind *kursiv* dargestellt.

	W = J/s = Nm/s	kW	mW	erg/s	kpm/s	kcal/s	PS
1 Watt, Joule/Sekunde, Newtonmeter/Sekunde	1	10 ⁻³	10 ³	10 ⁷	1,020 · 10 ⁻¹	2,388 · 10 ⁻⁴	1,360 · 10 ⁻³
1 Kilowatt	10 ³	1	10 ⁶	10 ¹⁰	1,020 · 10 ²	2,388 · 10 ⁻¹	1,36
1 Milliwatt	10 ⁻³	10 ⁻⁶	1	10 ⁴	1,020 · 10 ⁻⁴	2,388 · 10 ⁻⁷	1,360 · 10 ⁻⁶
1 Erg/Sekunde	10 ⁻⁷	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁴	1	1,020 · 10 ⁻⁸	2,388 · 10 ⁻¹¹	1,360 · 10 ⁻¹⁰
1 Kilopondmeter/Sekunde	9,807	9,807 · 10 ⁻³	9,807 · 10 ³	9,807 · 10 ⁷	1	2,342 · 10 ⁻³	1,333 · 10 ⁻²
1 Kilokalorie/Sekunde	4,187 · 10 ³	4,187	4,187 · 10 ⁶	4,187 · 10 ¹⁰	4,269 · 10 ²	1	5,692
1 Pferdestärke	7,355 · 10 ²	7,355 · 10 ⁻¹	7,355 · 10 ⁵	7,355 · 10 ⁹	75	1,757 · 10 ⁻¹	1

Abb. 119

6.3.4 Arbeits-, Energie- und Wärmemengen-Einheiten

Nicht gesetzliche Einheiten in Deutschland sind *kursiv* dargestellt.

	J, Nm, Ws	cal	kcal	Wh	kWh	kpm	erg	(PSh)
1 Joule 1 Newtonmeter, 1Watt sekunde	1	2,388 · 10 ⁻¹	2,388 · 10 ⁻⁴	2,788 · 10 ⁻⁴	2,778 · 10 ⁻⁷	0,102	10 ⁷	3,777 · 10 ⁻⁷
1 Kalorie	4,187	1	10 ⁻³	1,163 · 10 ⁻³	1,163 · 10 ⁻⁶	4,269 · 10 ⁻¹	4,178 · 10 ⁷	1,581 · 10 ⁻⁶
1 Kilokalorie	4,187 · 10 ³	10 ³	1	1,163	1,163 · 10 ⁻³	4,269 · 10 ²	4,178 · 10 ¹⁰	1,581 · 10 ⁻³
1 Wattstunde	3,6 · 10 ³	8,598 · 10 ²	8,598 · 10 ⁻¹	1	10 ⁻³	3,671 · 10 ²	3,6 · 10 ¹⁰	1,360 · 10 ⁻³
1 Kilowattstunde	3,6 · 10 ⁶	8,598 · 10 ⁵	8,598 · 10 ²	10 ³	1	3,671 · 10 ⁵	3,6 · 10 ¹³	1,360
1 Kilopondmeter	9,807	2,342	2,342 · 10 ⁻³	2,724 · 10 ⁻³	2,724 · 10 ⁻⁶	1	9,807 · 10 ⁷	3,704 · 10 ⁻⁶
1 Erg	10 ⁻⁷	2,388 · 10 ⁻⁸	2,388 · 10 ⁻¹¹	2,778 · 10 ⁻¹¹	2,778 · 10 ⁻¹⁴	1,020 · 10 ⁻⁸	1	3,777 · 10 ¹⁴
1 Pferdestärkestunde	2,648 · 10 ⁶	6,234 · 10 ⁵	6,324 · 10 ²	7,355 · 10 ²	7,355 · 10 ⁻¹	2,7 · 10 ⁵	2,648 · 10 ¹³	1

Abb. 120 1 KJ = 1000 Joule

6.3.5 Einheiten der dynamischen Viskosität

Nicht gesetzliche Einheiten in Deutschland sind *kursiv* dargestellt.

	N s/m ² (Pa · s)	P (dPa · s)	kp s/m ²	kp h/m ²	lbm/ft.sec	lbf.sec/ft ²
1 Newtonsekunde je Quadratmeter	1	10	0,10197	2,833 · 10 ⁻⁵	0,6721	2,0885 · 10 ⁻²
1 Poise	0,1	1	0,010197	2,833 · 10 ⁻⁶	0,06721	2,0885 · 10 ⁻³
1 Kilopondsekunde je Quadratmeter	9,807	98,07	1	2,778 · 10 ⁻⁴	6,5919	0,20482
1 Kilopondstunde je Quadratmeter	0,35304 · 10 ⁵	0,35304 · 10 ⁶	3600	1	2,3730 · 10 ⁴	0,73728 · 10 ³
1 pound-mass per foot second	1,488	14,882	0,1518	4,214 · 10 ⁻⁵	1	0,03108
1 pound-force second per square foot	47,88	478,8	4,882	1,3558 · 10 ⁻³	32,174	1

Abb. 121

6.3.6 Einheiten der kinematischen Viskosität

Nicht gesetzliche Einheiten in Deutschland sind *kursiv* dargestellt.

	St	m ² /s	m ² /h	cm ² /s	ft ² /sec	ft ² /h
1 Stokes	1	10 ⁻⁴	0,36	1	1,0764 · 10 ⁻³	3,875
1 Quadratmeter je Sekunde	10 ⁴	1	3600	10 ⁴	10,764	3,875 · 10 ⁴
1 Quadratmeter je Stunde	2,778	2,788 · 10 ⁻⁴	1	2,778	29,9 · 10 ⁻⁴	10,764
1 Quadratzentimeter je Sekunde	1	10 ⁻⁴	0,36	1	1,0764 · 10 ⁻³	3,875
1 square foot per second	929,03	9,2903 · 10 ⁻²	334,45	929,03	1	3600
1 square foot per hour	0,25806	0,25806 · 10 ⁻⁴	9,2903 · 10 ⁻²	0,25806	2,778 · 10 ⁻⁴	1

Abb. 122

6.3.7 Einheiten der Heizflächenbelastung

Nicht gesetzliche Einheiten in Deutschland sind *kursiv* dargestellt.

	kW/cm ²	kcal/m ² h	cal/cm ² s	BTU/in ² sec	BTU/ft ² sec	BTU/ft ² h
1 Kilowatt je Quadratmeter	1	8,6 · 10 ⁶	238,9	6,12	880,6	3,17 · 10 ⁶
1 Kilokalorie je Quadratmeter und Stunde	11,63 · 10 ⁻⁸	1	27,78 · 10 ⁻⁶	71,17 · 10 ⁻⁸	1,024 · 10 ⁻⁴	0,3687
1 Kalorie je Quadratmeter und Sekunde	4,186 · 10 ⁻³	3,6 · 10 ⁴	1	2,562 · 10 ⁻²	3,687	1,327 · 10 ⁴
1 British thermal unit per square inch per second	16,34 · 10 ⁻²	1,405 · 10 ⁶	39,05	1	144	51,84 · 10 ⁴
1 British thermal unit per square foot per second	1,135 · 10 ⁻³	9,765 · 10 ³	0,2713	6,944 · 10 ⁻³	1	3600
1 British thermal unit per square foot per hour	31,54 · 10 ⁻⁸	2,713	75,36 · 10 ⁻⁶	1,929 · 10 ⁻⁶	2,778 · 10 ⁻⁴	1

Abb. 123

6.3.8 Einheiten der Wärmeleitzahl

Nicht gesetzliche Einheiten in Deutschland sind *kursiv* dargestellt.

	W/cm K	kcal/m h K	cal/cm s K	BTU in/ft ² h deg	BTU/ft.h.deg	BTU/in.h.deg
1 Watt je Zentimeter und Kelvin	1	86	0,2389	693,5	57,79	4,815
1 Kilokalorie je Meter, Stunde und Kelvin	0,01163	1	2,778 · 10 ⁻³	8,064	0,6719	0,05599
1 Kalorie je Zentimeter, Sekunde und Kelvin	4,1868	360	1	2903	241,9	20,16
1 British thermal unit inch per square foot, hour, degree	1,442 · 10 ⁻³	0,1240	3,445 · 10 ⁻⁴	1	0,08333	6,944 · 10 ⁻³
1 British thermal unit per foot, hour and degree	1,731 · 10 ⁻²	1,488	4,134 · 10 ⁻³	12	1	0,08333
1 British thermal unit per inch, hour and degree	0,2077	17,858	4,964 · 10 ⁻²	144	12	1

Abb. 124

6.3.9 Einheiten der Wärmeübergangs- und der Wärmedurchgangszahl

Nicht gesetzliche Einheiten in Deutschland sind *kursiv* dargestellt.

	W/cm ² K	W/m ² K	kcal/m ² h K	cal/cm ² s K	BTU/ft ² h deg F
1 Watt je Quadratzentimeter und Kelvin	1	10 ⁴	8598,45	0,238844	0,1761 · 10 ⁴
1 Watt je Quadratmeter und Kelvin	10 ⁻⁴	1	0,859845	2,38844 · 10 ⁻⁵	0,1761
1 Kilokalorie je Quadratmeter, Stunde und Kelvin	1,163 · 10 ⁻⁴	1,163	1	2,77778 · 10 ⁻⁵	0,2048
1 Kalorie je Quadratzentimeter, Sekunde und Kelvin	4,1868	4,1868 · 10 ⁴	3,6 · 10 ⁴	1	0,7373 · 10 ⁴
1 British thermal unit per square foot, hour and degree	5,681 · 10 ⁻⁴	5,681	4,886 · 10 ⁻⁴	1,356 · 10 ⁻⁴	1

Abb. 125

6.3.10 Einheiten der Wärmestrahlungszahl

Nicht gesetzliche Einheiten in Deutschland sind *kursiv* dargestellt.

	W/cm ² K ⁴	W/m ² K ⁴	kcal/m ² h K ⁴	cal/cm ² s K ⁴	BTU /ft ² h deg F ⁴
1 Watt je Quadratzentimeter und Kelvin	1	10 ⁴	8598,45	0,238844	3,020 · 10 ²
1 Watt je Quadratmeter und Kelvin	10 ⁻⁴	1	0,859845	2,38844 · 10 ⁻⁵	3,020 · 10 ⁻²
1 Kilokalorie je Quadratmeter, Stunde und Kelvin	1,163 · 10 ⁻⁴	1,163	1	2,7778 · 10 ⁻⁵	3,512 · 10 ⁻²
1 Kalorie je Quadratzentimeter, Sekunde und Kelvin	4,1868	4,1868 · 10 ⁴	3,6 · 10 ⁴	1	1,264 · 10 ³
1 British thermal unit per square foot, hour and degree	3,311 · 10 ⁻³	33,11	28,49	7,908	1

Abb. 126

6.3.11 Einheiten der spezifischen Wärme

Nicht gesetzliche Einheiten in Deutschland sind *kursiv* dargestellt.

	J/kg K	kcal/kg K	cal/g K	kWh/kg K
1 Joule je Kilogramm und Kelvin	11	2,38844 · 10 ⁻⁴	2,38844 · 10 ⁻⁴	2,77778 · 10 ⁻⁷
1 Kilokalorie je Kilogramm und Kelvin	4,4868 · 10 ³	1	1	1,16300 · 10 ⁻³
1 Kalorie je Gramm und Kelvin	4,1868 · 10 ³	1	1	1,16300 · 10 ⁻³
1 Kilowattstunde je Kilogramm und Kelvin	3,6 · 10 ⁻⁶	859,845	859,845	1

Abb. 127 1KJ = 1000 Joule

6.3.12 Kilopond – Newton

kp	N	kp	N	kp	N	kp	N	kp	N
1	9,80665	41	402,072650	81	794,338650	121	1186,60470	161	1578,87070
2	19,613300	42	411,879300	82	804,145300	122	1196,41130	162	1588,67730
3	29,419950	43	421,685950	83	813,951950	123	1206,21800	163	1598,48400
4	39,226600	44	431,492600	84	823,758600	124	1216,02460	164	1608,29060
5	49,033250	45	441,299250	85	833,565250	125	1225,83130	165	1618,09730
6	58,839900	46	451,105900	86	843,371900	126	1235,63790	166	1627,90390
7	68,646550	47	460,912550	87	853,178550	127	1245,44460	167	1637,71060
8	78,453200	48	470,719200	88	862,985200	128	1255,25120	168	1647,51720
9	88,259850	49	480,525850	89	872,791850	129	1265,05790	169	1657,32390
10	98,066500	50	490,332500	90	882,598500	130	1274,86450	170	1667,13050
11	107,873150	51	500,139150	91	892,405150	131	1284,67120	171	1676,93720
12	117,679800	52	509,945800	92	902,211800	132	1294,47780	172	1686,74380
13	127,486450	53	519,752450	93	912,018450	133	1304,28450	173	1696,55050
14	137,293100	54	529,559100	94	921,825100	134	1314,09110	174	1706,35710
15	147,099750	55	539,365750	95	931,631750	135	1323,89780	175	1716,16380
16	156,906400	56	549,172400	96	941,438400	136	1333,70440	176	1725,97040
17	166,713050	57	558,979050	97	951,245050	137	1343,51110	177	1735,77710
18	176,519700	58	568,785700	98	961,051700	138	1353,31770	178	1745,58370
19	186,326350	59	578,592350	99	970,858350	139	1363,12440	179	1755,39040
20	196,133000	60	588,399000	100	980,665000	140	1372,93100	180	1765,19700
21	205,939650	61	598,205650	101	990,471650	141	1382,73770	181	1775,00370
22	215,746300	62	608,012300	102	1000,278300	142	1392,54430	182	1784,81030
23	225,552950	63	617,818950	103	1010,085000	143	1402,35100	183	1794,61700
24	235,359600	64	627,625600	104	1019,891600	144	1412,15760	184	1804,42360
25	245,166250	65	637,432250	105	1029,698300	145	1421,96430	185	1814,23030
26	254,972900	66	647,238900	106	1039,504900	146	1431,77090	186	1824,03690
27	264,779550	67	657,045550	107	1049,311600	147	1441,57760	187	1833,84360
28	274,586200	68	666,852200	108	1059,118200	148	1451,38420	188	1843,65020
29	284,392850	69	676,658850	109	1068,924900	149	1461,19090	189	1853,45690
30	294,199500	70	686,465500	110	1078,731500	150	1470,99750	190	1863,26350
31	304,006150	71	696,272150	111	1088,538200	151	1480,80420	191	1873,07020
32	313,812800	72	706,078800	112	1098,344800	152	1490,61080	192	1882,87680
33	323,619450	73	715,885450	113	1108,151500	153	1500,41750	193	1892,68350
34	333,426100	74	725,692100	114	1117,958100	154	1510,22410	194	1902,49010
35	343,232750	75	735,498750	115	1127,764800	155	1520,03080	195	1912,29680
36	353,039400	76	745,305400	116	1137,571400	156	1529,83740	196	1922,10340
37	362,846050	77	755,112050	117	1147,378100	157	1539,64410	197	1931,91010
38	372,652700	78	764,918700	118	1157,184700	158	1549,45070	198	1941,71670
39	382,459350	79	774,725350	119	1166,991400	159	1559,25740	199	1951,52340
40	392,266000	80	784,532000	120	1176,798000	160	1569,06400	200	1961,33000

Abb. 128

6.3.13 bar – psi (lbf/in²)

bar	psi	bar	psi	bar	psi	bar	psi
0,01	0,15	2,00	29,01	18,00	261,07	56	812,22
0,05	0,73	2,10	30,46	18,50	268,32	57	826,73
0,10	1,45	2,20	31,91	19,00	275,58	58	841,23
0,15	2,18	2,30	33,36	19,50	282,83	59	855,74
0,20	2,90	2,40	34,81	20,00	290,08	60	870,24
0,25	3,63	2,50	36,26	21,00	304,58	61	884,74
0,30	4,35	2,60	37,71	22,00	319,09	62	899,25
0,35	5,08	2,70	39,16	23,00	333,59	63	913,75
0,40	5,80	2,80	40,61	24,00	348,10	64	928,26
0,45	6,53	2,90	42,06	25,00	362,60	65	942,76
0,50	7,25	3,00	43,51	26,00	377,10	66	957,26
0,55	7,98	3,50	50,76	27,00	391,61	67	971,77
0,60	8,70	4,00	58,02	28,00	406,11	68	986,27
0,65	9,43	4,50	65,27	29,00	420,62	69	1000,78
0,70	10,15	5,00	72,52	30,00	435,12	70	1015,28
0,75	10,88	5,50	79,77	31,00	449,62	71	1029,78
0,80	11,60	6,00	87,02	32,00	464,13	72	1044,29
0,85	12,33	6,50	94,28	33,00	478,63	73	1058,79
0,90	13,05	7,00	101,53	34,00	493,14	74	1073,30
0,95	13,78	7,50	108,78	35,00	507,64	75	1087,80
1,00	14,50	8,00	116,03	36,00	522,14	76	1102,30
1,05	15,23	8,50	123,28	37,00	536,65	77	1116,81
1,10	15,95	9,00	130,54	38,00	551,15	78	1131,31
1,15	16,68	9,50	137,79	39,00	565,66	79	1145,82
1,20	17,40	10,00	145,04	40,00	580,16	80	1160,32
1,25	18,13	10,50	152,29	41,00	594,66	81	1174,82
1,30	18,86	11,00	159,54	42,00	609,17	82	1189,33
1,35	19,58	11,50	166,80	43,00	623,67	83	1203,83
1,40	20,31	12,00	174,05	44,00	638,18	84	1218,34
1,45	21,03	12,50	181,30	45,00	652,68	85	1232,84
1,50	21,76	13,00	188,55	46,00	667,18	86	1247,34
1,55	22,48	13,50	195,80	47,00	681,69	87	1261,85
1,60	23,21	14,00	203,06	48,00	696,19	88	1276,35
1,65	23,93	14,50	210,31	49,00	710,70	89	1290,86
1,70	24,66	15,00	217,56	50,00	725,20	90	1305,36
1,75	25,38	15,50	224,81	51,00	739,70	91	1319,86
1,80	26,11	16,00	232,06	52,00	754,21	92	1334,37
1,85	26,83	16,50	239,32	53,00	768,71	93	1348,87
1,90	27,56	17,00	246,57	54,00	783,22	94	1363,38
1,95	28,28	17,50	253,82	55,00	797,72	95	1377,88

Abb. 129

6.3.14 Kilokalorie - Kilojoule

Nicht gesetzliche Einheiten in Deutschland sind *kursiv* dargestellt.

<i>kcal</i>	<i>kJ</i>								
1	4,18680	41	171,65880	81	339,13080	121	506,6028	161	674,0748
2	8,37360	42	175,84560	82	343,31760	122	510,7896	162	678,2616
3	12,56040	43	180,03240	83	347,50440	123	514,9764	163	682,4484
4	16,74720	44	184,21920	84	351,96120	124	519,1632	164	686,6352
5	20,93400	45	188,40600	85	355,87800	125	523,3500	165	690,8220
6	25,12080	46	192,59280	86	360,06480	126	527,5368	166	695,0088
7	29,30760	47	196,77960	87	364,25160	127	531,7236	167	699,1956
8	33,49440	48	200,96640	88	368,43840	128	535,9104	168	703,3824
9	37,68120	49	205,15320	89	372,62520	129	540,0972	169	707,5692
10	41,86800	50	209,34000	90	376,81200	130	544,2840	170	711,7560
11	46,05480	51	213,52680	91	380,99880	131	548,4708	171	715,9428
12	50,24160	52	217,71360	92	385,18560	132	552,6576	172	720,1296
13	54,42840	53	221,90040	93	389,37240	133	556,8444	173	724,3164
14	58,61520	54	226,08720	94	393,55920	134	561,0312	174	728,5032
15	62,80200	55	230,27400	95	397,74600	135	565,2180	175	732,6900
16	66,98880	56	234,46080	96	401,93280	136	569,4048	176	736,8768
17	71,17560	57	238,64760	97	406,11960	137	573,5916	177	741,0636
18	75,36240	58	242,83440	98	410,30640	138	577,7784	178	745,2504
19	79,54920	59	247,02120	99	414,49320	139	581,9652	179	749,4372
20	83,73600	60	251,20800	100	418,68000	140	586,1520	180	753,6240
21	87,92280	61	255,39480	101	422,86680	141	590,3388	181	757,8108
22	92,10960	62	259,58160	102	427,05360	142	594,5256	182	761,9976
23	96,29640	63	263,76840	103	431,24040	143	598,7124	183	766,1844
24	100,48320	64	267,95520	104	435,42720	144	602,8992	184	770,3712
25	104,67000	65	272,14200	105	439,61400	145	607,0860	185	774,5580
26	108,85680	66	276,32880	106	443,80080	146	611,2728	186	778,7448
27	113,04360	67	280,51560	107	447,98760	147	615,4596	187	782,9316
28	117,23040	68	284,70240	108	452,17440	148	619,6464	188	787,1184
29	121,41720	69	288,88920	109	456,36120	149	623,8332	189	791,3052
30	125,60400	70	293,07600	110	460,54800	150	628,0200	190	795,4920
31	129,79080	71	297,26280	111	464,73480	151	632,2068	191	799,6788
32	133,97760	72	301,44960	112	468,92160	152	636,3936	192	803,8656
33	138,16440	73	305,63640	113	473,10840	153	640,5804	193	808,0524
34	142,35120	74	309,82320	114	477,29520	154	644,7672	194	812,2392
35	146,53800	75	314,01000	115	481,48200	155	648,9540	195	816,4260
36	150,72480	76	318,19680	116	485,66880	156	653,1408	196	820,6128
37	154,91160	77	322,38360	117	489,85560	157	657,3276	197	824,7996
38	159,09840	78	326,57040	118	494,04240	158	661,5144	198	828,9864
39	163,28520	79	330,75720	119	498,22920	159	665,7012	199	833,1732
40	167,47200	80	334,94400	120	502,41600	160	669,8880	200	837,3600

Abb. 130

6.3.15 Inch - Millimeter, 1/64 bis 1 in

1 inch (in) = 25,4 mm

in	in	mm	in	in	mm
0	0	0			
1/64	0,015625	0,396875	33/64	0,515625	13,096875
	1/32	0,031250		17/32	0,531250
3/64	0,046875	1,190625	35/64	0,546875	13,890625
	1/16	0,062500		9/16	0,562500
5/64	0,078125	1,984375	37/64	0,578125	14,684375
	3/32	0,093750		19/32	0,593750
7/64	0,109375	2,778125	39/64	0,609375	15,478125
	1/8	0,125000		5/8	0,625000
9/64	0,140625	3,571875	41/64	0,640625	16,271875
	5/32	0,156250		21/32	0,656250
11/64	0,171875	4,365625	43/64	0,671875	17,065625
	3/16	0,187500		11/16	0,687500
13/64	0,203125	5,159375	45/64	0,703125	17,859375
	7/32	0,218750		23/32	0,718750
15/64	0,234375	5,953125	47/64	0,734375	18,653125
	1/4	0,250000		3/4	0,750000
17/64	0,265625	6,746875	49/64	0,765625	19,446875
	9/32	0,281250		25/32	0,781250
19/64	0,296875	7,540625	51/64	0,796875	20,240625
	5/16	0,312500		13/16	0,812500
21/64	0,328125	8,334375	53/64	0,828125	21,034375
	11/32	0,343750		27/32	0,843750
23/64	0,359375	9,128125	55/64	0,859375	21,828125
	3/8	0,375000		7/8	0,875000
25/64	0,390625	9,921875	57/64	0,890625	22,621875
	13/32	0,406250		29/32	0,906250
27/64	0,421875	10,715625	59/64	0,921875	23,415625
	7/16	0,437500		15/16	0,937500
29/64	0,453125	11,509375	61/64	0,953125	24,209375
	15/32	0,468750		31/32	0,968750
31/64	0,484375	12,303125	63/64	0,984375	25,003125
	1/2	0,500000		1	25,4

Abb. 131

6.3.16 Inch - Millimeter, 1 bis 50 in

1 inch (in) = 25,4 mm

in	0	1/16	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16
0	0,0	1,6	3,2	4,8	6,4	7,9	9,5	11,1
1	25,4	27,0	28,6	30,2	31,8	33,3	34,9	36,5
2	50,8	52,4	54,0	55,6	57,2	58,7	60,3	61,9
3	76,2	77,8	79,4	81,0	82,6	84,1	85,7	87,3
4	101,6	103,2	104,8	106,4	108,0	109,5	111,1	112,7
5	127,0	128,6	130,2	131,8	133,4	134,9	136,5	138,1
6	152,4	154,0	155,6	157,2	158,8	160,3	161,9	163,5
7	177,8	179,4	181,0	182,6	184,2	185,7	187,3	188,9
8	203,2	204,8	206,4	208,0	209,6	211,1	212,7	214,3
9	228,6	230,2	231,8	233,4	235,0	236,5	238,1	239,7
10	254,0	255,6	257,2	258,8	260,4	261,9	263,5	265,1
11	279,4	281,0	282,6	284,2	285,8	287,3	288,9	290,5
12	304,8	306,4	308,0	309,6	311,2	312,7	314,3	315,9
13	330,2	331,8	333,4	335,0	336,6	338,1	339,7	341,3
14	355,6	357,2	358,8	360,4	362,0	363,5	365,1	366,7
15	381,0	382,6	384,2	385,8	387,4	388,9	390,5	392,1
16	406,4	408,0	409,6	411,2	412,8	414,3	415,9	417,5
17	431,8	433,4	435,0	436,6	438,2	439,7	441,3	442,9
18	457,2	458,8	460,4	462,0	463,6	465,1	466,7	468,3
19	482,6	484,2	485,8	487,4	489,0	490,5	492,1	493,7
20	508,0	509,6	511,2	512,8	514,4	515,9	517,5	519,1
21	533,4	535,0	536,6	538,2	539,8	541,3	542,9	544,5
22	558,8	560,4	562,0	563,6	565,2	566,7	568,3	569,9
23	584,2	585,8	587,4	589,0	590,6	592,1	593,7	595,3
24	609,6	611,2	612,8	614,4	616,0	617,5	619,1	620,7
25	635,0	636,6	638,2	639,8	641,4	642,9	644,5	646,1
26	660,4	662,0	663,6	665,2	666,8	668,3	669,9	671,5
27	685,8	687,4	689,0	690,6	692,2	693,7	695,3	696,9
28	711,2	712,8	714,4	716,0	717,6	719,1	720,7	722,3
29	736,6	738,2	739,8	741,4	743,0	744,5	746,1	747,7
30	762,0	763,6	765,2	766,8	768,4	769,9	771,5	773,1
31	787,4	789,0	790,6	792,2	783,8	795,3	796,9	798,5
32	812,8	814,4	816,0	817,6	819,2	820,7	822,3	823,9
33	838,2	839,8	841,4	843,0	844,6	846,1	847,7	849,3
34	863,6	865,2	866,8	868,4	870,0	871,5	873,1	874,7
35	889,0	890,6	892,2	893,8	895,4	896,9	898,5	900,1
36	914,4	916,0	917,6	919,2	920,8	922,3	923,9	925,5
37	939,8	941,4	943,0	944,6	946,2	947,7	949,3	950,9
38	965,2	966,8	968,4	970,0	971,6	973,1	974,7	976,3
39	990,6	992,2	993,8	995,4	997,0	998,5	1000,1	1001,7
40	1016,0	1017,6	1019,2	1020,8	1022,4	1023,9	1025,5	1027,1
41	1041,4	1043,0	1044,6	1046,2	1047,8	1049,3	1050,9	1052,5
42	1066,8	1068,4	1070,0	1071,6	1073,2	1074,7	1076,3	1077,9
43	1092,2	1093,8	1095,4	1097,0	1098,6	1100,1	1101,7	1103,3
44	1117,6	1119,2	1120,8	1122,4	1124,0	1125,5	1127,1	1128,7
45	1143,0	1144,6	1146,2	1147,8	1149,4	1150,9	1152,5	1154,1
46	1168,4	1170,0	1171,6	1173,2	1174,8	1176,3	1177,9	1179,5
47	1193,8	1195,4	1197,0	1198,6	1200,2	1201,7	1203,3	1204,9
48	1219,2	1220,8	1222,4	1224,0	1225,6	1227,1	1228,7	1230,3
49	1244,6	1246,2	1247,8	1249,4	1251,0	1252,5	1254,1	1255,7
50	1270,0	1271,6	1273,2	1274,8	1276,4	1277,9	1279,5	1281,1

Abb. 132

1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	in
12,7	14,3	15,9	17,5	19,1	20,6	22,2	23,8	0
38,1	39,7	41,3	42,9	44,5	46,0	47,6	49,2	1
63,5	65,1	66,7	68,3	69,9	71,4	73,0	74,6	2
88,9	90,5	92,1	93,7	95,3	96,8	98,4	100,0	3
114,3	115,9	117,5	119,1	120,7	122,2	123,8	125,4	4
139,7	141,3	142,9	144,5	146,1	147,6	149,2	150,8	5
165,1	166,7	168,3	169,9	171,5	173,0	174,6	176,2	6
190,5	192,1	193,7	195,3	196,9	198,4	200,0	201,6	7
215,9	217,5	219,1	220,7	222,3	223,8	225,4	227,0	8
241,3	242,9	244,5	246,1	247,7	249,2	250,8	252,4	9
266,7	268,3	269,9	271,5	273,1	274,6	276,2	277,8	10
292,1	293,7	295,3	296,9	298,5	300,0	301,6	303,2	11
317,5	319,1	320,7	322,3	323,9	325,4	327,0	328,6	12
342,9	344,5	346,1	347,7	349,3	350,8	352,4	354,0	13
368,3	369,9	371,5	373,1	374,7	376,2	377,8	379,4	14
393,7	395,3	396,9	398,5	400,1	401,6	403,2	404,8	15
419,1	420,7	422,3	423,9	425,5	427,0	428,6	430,2	16
444,5	446,1	447,7	449,3	450,9	452,4	454,0	455,6	17
469,9	471,5	473,1	474,7	476,3	477,8	479,4	481,0	18
495,3	496,9	498,5	500,1	501,7	503,2	504,8	506,4	19
520,7	522,3	523,9	525,5	527,1	528,6	530,2	531,8	20
546,1	547,7	549,3	550,9	552,5	554,0	555,6	557,2	21
571,5	573,1	574,7	576,3	577,9	579,4	581,0	582,6	22
596,9	598,5	600,1	601,7	603,3	604,8	606,4	608,0	23
622,3	623,9	625,5	627,1	628,7	630,2	631,8	633,4	24
647,7	649,3	650,9	652,5	654,1	655,6	657,2	658,8	25
673,1	674,7	676,3	677,9	679,5	681,0	682,6	684,2	26
698,5	700,1	701,7	703,3	704,9	706,4	708,0	709,6	27
723,9	725,5	727,1	728,7	730,3	731,8	733,4	735,0	28
749,3	750,9	752,5	754,1	755,7	757,2	758,8	760,4	29
774,7	776,3	777,9	779,5	781,1	782,6	784,2	785,8	30
800,1	801,7	803,3	804,9	806,5	808,0	809,6	811,2	31
825,5	827,1	828,7	830,3	831,9	833,4	835,0	836,6	32
850,9	852,5	854,1	855,7	857,3	858,8	860,4	862,0	33
876,3	877,9	879,5	881,1	882,7	884,2	885,8	887,4	34
901,7	903,3	904,9	906,5	908,1	909,6	911,2	912,8	35
927,1	928,7	930,3	931,9	933,5	935,0	936,6	938,2	36
952,5	954,1	955,7	957,3	958,9	960,4	962,0	963,6	37
977,9	979,5	981,1	982,7	984,3	985,8	987,4	989,0	38
1003,3	1004,9	1006,5	1008,1	1009,7	1011,2	1012,8	1014,4	39
1028,7	1030,3	1031,9	1033,5	1035,1	1036,6	1038,2	1039,8	40
1054,1	1055,7	1057,3	1058,9	1060,5	1062,0	1063,6	1065,2	41
1079,5	1081,1	1082,7	1084,3	1085,9	1087,4	1089,0	1090,6	42
1104,9	1106,5	1108,1	1109,7	1111,3	1112,8	1114,4	1116,0	43
1130,3	1131,9	1133,5	1135,1	1136,7	1138,2	1139,8	1141,4	44
1155,7	1157,3	1158,9	1160,5	1162,1	1163,6	1165,2	1166,8	45
1181,1	1182,7	1184,3	1185,9	1187,5	1189,0	1190,6	1192,2	46
1206,5	1208,1	1209,7	1211,3	1212,9	1214,4	1216,0	1217,6	47
1231,9	1233,5	1235,1	1236,7	1238,3	1239,8	1241,4	1243,0	48
1257,3	1258,9	1260,5	1262,1	1263,7	1265,2	1266,8	1268,4	49
1282,7	1284,3	1285,9	1287,5	1289,1	1290,6	1292,2	1293,8	50

6.3.17 Umrechnung von Temperatureinheiten

Umrechnungsgleichungen

$$T_K = 273,15 + t_C = \frac{5}{9}T_R$$

$$T_R = 459,67 + t_F = 1,8 T_K$$

$$t_C = 5/9(t_F - 32) = T_K - 273,15$$

$$t_F = 1,8t_C + 32 = T_R - 459,67$$

T_K Thermodynamische Temperatur
 T_R Rankine-Temperatur
 t_C Celsius-Temperatur
 t_F Fahrenheit-Temperatur

°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F				
-17,8	0	32,0									
-17,2	1	33,8									
-16,7	2	35,6	5,0	41	105,8	27,2	81	177,8	49,4	121	249,8
-16,1	3	37,4	5,6	42	107,6	27,8	82	179,6	50,0	122	251,6
-15,6	4	39,2	6,1	43	109,4	28,3	83	181,4	50,6	123	253,4
-15,0	5	41,0	6,7	44	111,2	28,9	84	183,2	51,1	124	255,2
-14,4	6	42,8	7,2	45	113,0	29,4	85	185,0	51,7	125	257,0
-13,9	7	44,6	7,8	46	114,8	30,0	86	186,8	52,2	126	258,8
-13,3	8	46,4	8,3	47	116,6	30,6	87	188,6	52,8	127	260,6
-12,8	9	48,2	8,9	48	118,4	31,1	88	190,4	53,3	128	262,4
-12,2	10	50,0	9,4	49	120,2	31,7	89	192,2	53,9	129	264,2
-11,7	11	51,8	10,0	50	122,0	32,2	90	194,0	54,4	130	266,0
-11,1	12	53,6	10,6	51	123,8	32,8	91	195,8	55,0	131	267,8
-10,6	13	55,4	11,1	52	125,6	33,3	92	197,6	55,6	132	269,6
-10,0	14	57,2	11,7	53	127,4	33,9	93	199,4	56,1	133	271,4
-9,4	15	59,0	12,2	54	129,2	34,4	94	201,2	56,7	134	273,2
-8,9	16	60,8	12,8	55	131,0	35,0	95	203,0	57,2	135	275,0
-8,3	17	62,6	13,3	56	132,8	35,6	96	204,8	57,8	136	276,8
-7,8	18	64,4	13,9	57	134,6	36,1	97	206,6	58,3	137	278,6
-7,2	19	66,2	14,4	58	136,4	36,7	98	208,4	58,9	138	280,4
-6,7	20	68,0	15,0	59	138,2	37,2	99	210,2	59,4	139	282,2
-6,1	21	69,8	15,6	60	140,0	37,8	100	212,0	60,0	140	284,0
-5,6	22	71,6	16,1	61	141,8	38,3	101	213,8	60,6	141	285,8
-5,0	23	73,4	16,7	62	143,6	38,9	102	215,6	61,1	142	287,6
-4,4	24	75,2	17,2	63	145,4	39,4	103	217,4	61,7	143	289,4
-3,9	25	77,0	17,8	64	147,2	40,0	104	219,2	62,2	144	291,2
-3,3	26	78,8	18,3	65	149,0	40,6	105	221,0	62,8	145	293,0
-2,8	27	80,6	18,9	66	150,8	41,1	106	222,8	63,3	146	294,8
-2,2	28	82,4	19,4	67	152,6	41,7	107	224,6	63,9	147	296,6
-1,7	29	84,2	20,0	68	154,4	42,2	108	226,4	64,4	148	298,4
-1,1	30	86,0	20,6	69	156,2	42,8	109	228,2	65,0	149	300,2
-0,6	31	87,8	21,1	70	158,0	43,3	110	230,0	65,6	150	302,0
0	32	89,6	21,7	71	159,8	43,9	111	231,8	66,1	151	303,8
0,6	33	91,4	22,2	72	161,6	44,4	112	233,6	66,7	152	305,6
1,1	34	93,2	22,8	73	163,4	45,0	113	235,4	67,2	153	307,4
1,7	35	95,0	23,3	74	165,2	45,6	114	237,2	67,8	154	309,2
2,2	36	96,8	23,9	75	167,0	46,1	115	239,0	68,3	155	311,0
2,8	37	98,6	24,4	76	168,8	46,7	116	240,8	68,9	156	312,8
3,3	38	100,4	25,0	77	170,6	47,2	117	242,6	69,4	157	314,6
3,9	39	102,2	25,6	78	172,4	47,8	118	244,4	70,0	158	316,4
4,4	40	104,0	26,1	79	174,2	48,3	119	246,2	70,6	159	318,2
			26,7	80	176,0	48,9	120	248,0	71,1	160	320,0

Abb. 133 Vergleichstabelle Celsius/Fahrenheit

Beispiel: Tabellenzeile 10,0 50 122,0
 besagt 50 °C = 122,0 °F bzw. 50 °F = 10,0 °C

°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F				
71,7	161	321,8	93,9	201	393,8	116,1	241	465,8	293	560	1040
72,2	162	323,6	94,4	202	395,6	116,7	242	467,6	299	570	1058
72,8	163	325,4	95,0	203	397,4	117,2	243	469,4	304	580	1076
73,3	164	327,2	95,6	204	399,2	117,8	244	471,2	310	590	1094
73,9	165	329,0	96,1	205	401,0	118,3	245	473,0	316	600	1112
74,4	166	330,8	96,7	206	402,8	118,9	246	474,8	321	610	1130
75,0	167	332,6	97,2	207	404,6	119,4	247	476,6	327	620	1148
75,6	168	334,4	97,8	208	406,4	120,0	248	478,4	332	630	1166
76,1	169	336,2	98,3	209	408,2	120,6	249	480,2	338	640	1184
76,7	170	338,0	98,9	210	410,0	121	250	482	343	650	1202
77,2	171	339,8	99,4	211	411,8	127	260	500	349	660	1220
77,8	172	341,6	100,0	212	413,6	132	270	518	354	670	1238
78,3	173	343,4	100,6	213	415,4	138	280	536	360	680	1256
78,9	174	345,2	101,1	214	417,2	143	290	554	366	690	1274
79,4	175	347,0	101,7	215	419,0	149	300	572	371	700	1292
80,0	176	348,8	102,2	216	420,8	154	310	590	377	710	1310
80,6	177	350,6	102,8	217	422,6	160	320	608	382	720	1328
81,1	178	352,4	103,3	218	424,4	166	330	626	388	730	1346
81,7	179	354,2	103,9	219	426,2	171	340	644	393	740	1364
82,2	180	356,0	104,4	220	428,0	177	350	662	399	750	1382
82,8	181	357,8	105,0	221	429,8	182	360	680	404	760	1400
83,3	182	359,6	105,6	222	431,6	188	370	698	410	770	1418
83,9	183	361,4	106,1	223	433,4	193	380	716	416	780	1436
84,4	184	363,2	106,7	224	435,2	199	390	734	421	790	1454
85,0	185	365,0	107,2	225	437,0	204	400	752	427	800	1472
85,6	186	366,8	107,8	226	438,8	210	410	770	432	810	1490
86,1	187	368,6	108,3	227	440,6	216	420	788	438	820	1508
86,7	188	370,4	108,9	228	442,4	221	430	806	443	830	1526
87,2	189	372,2	109,4	229	444,2	227	440	824	449	840	1544
87,8	190	374,0	110,0	230	446,0	232	450	842	454	850	1562
88,3	191	375,8	110,6	231	447,8	238	460	860	460	860	1580
88,9	192	377,6	111,1	232	449,6	243	470	878	466	870	1598
89,4	193	379,4	111,7	233	451,4	249	480	896	471	880	1616
90,0	194	381,2	112,2	234	453,2	254	490	914	477	890	1634
90,6	195	383,0	112,8	235	455,0	260	500	932	482	900	1652
91,1	196	384,8	113,3	236	456,8	266	510	950	488	910	1670
91,7	197	386,6	113,9	237	458,6	271	520	968	493	920	1688
92,2	198	388,4	114,4	238	460,4	277	530	986			
92,8	199	390,2	115,0	239	462,2	282	540	1004			
93,3	200	392,0	115,6	240	464,0	288	550	1022			

Abb. 133 Fortsetzung Vergleichstabelle Celsius/Fahrenheit

7	Abnahmebedingungen	
7.1	Abnahmeprüfungen an Armaturen	165
7.1.1	Allgemeines	165
7.1.2	Bescheinigungsarten	166
7.1.2.1	Die Europäischen Richtlinien	166
7.1.2.2	Unter die Richtlinien fallende Produkte	166
7.1.2.3	Gleichzeitige Anwendung von Richtlinien	166
7.1.2.4	GESTRA-Produkte – in Betracht kommende Richtlinien	166
7.1.3	Informationen zur Druckgeräterichtlinie 97/23/EG (PED)	167
7.1.3.1	Einstufung der Fluidgruppen, Gase und Flüssigkeiten	169

7 Abnahmebedingungen

7.1 Abnahmeprüfungen an Armaturen

7.1.1 Allgemeines

GESTRA verfügt über ein produktbezogenes Qualitätssicherungs-System sowie über Personal und Einrichtungen, die eine den Technischen Regeln entsprechende Herstellung und Prüfung der Erzeugnisse sicherstellt. Dies wurde im Rahmen der Zertifizierung nach AD 2000-Merkblatt HP0 überprüft und anerkannt.

Damit ist sichergestellt, dass die aus den Regelwerken und ggf. ergänzenden Forderungen des Bestellers sich ergebenden Prüfungen durch fertigungsunabhängig Werkssachverständige und Umstempelberechtigte durchgeführt, überwacht und dokumentiert werden können. Erforderliche Prüfungen und Abnahmen werden in der Regel mit Prüfbescheinigungen nach EN 10204 bestätigt. Spätestens bei einer Bestellung müssen die Vorschriften und Regelwerke, nach denen geliefert und geprüft werden soll, sowie ggf. ergänzend die Nachweisart vereinbart sein. Der Nachweis von spezifischen Prüfungen nach Lieferung ist in der Regel nicht mehr unbedingt möglich.

Bezeichnung der Prüfbescheinigung				Inhalt der Bescheinigung	Bestätigung der Bescheinigung durch
Art	Deutsch	Englisch	Französisch		
2.1	Werksbescheinigung	Declaration of compliance with the order	Attestation de conformité à la commande	Bestätigung der Übereinstimmung mit der Bestellung	den Hersteller
2.2	Werkszeugnis	Test report	Relevé de contrôle	Bestätigung der Übereinstimmung mit der Bestellung unter Angabe von Ergebnissen nicht-spezifischer Prüfungen *)	den Hersteller
3.1	Abnahmeprüfzeugnis 3.1	Inspection certificate 3.1	Certificate de reception 3.1	Bestätigung der Übereinstimmung mit der Bestellung unter Angabe von Ergebnisse spezifischer Prüfungen **)	den von der Fertigungsabteilung unabhängigen Sachverständigen des Herstellers
3.2	Abnahmeprüfzeugnis 3.2	Inspection certificate 3.2	Certificate de reception 3.2	Bestätigung der Übereinstimmung mit der Bestellung unter Angabe von Ergebnissen spezifischer Prüfungen **)	den von der Fertigungsabteilung unabhängigen Sachverständigen des Herstellers und den vom Besteller beauftragten Sachverständigen oder den in den amtlichen Vorschriften genannten Sachverständigen

Abb. 134 Prüfbescheinigungen nach EN 10204

* nach Wahl des Herstellers durchgeführte Prüfungen, durch die ermittelt werden soll, ob Erzeugnisse, die nach dem gleichen Verfahren und der gleichen Spezifikation hergestellt worden sind und die vom Hersteller als homogen angesehen werden, die in der Bestellung festgelegten Forderungen erfüllen. Die geprüften Erzeugnisse müssen nicht notwendigerweise aus der Lieferung selbst stammen.

** Prüfungen, die vor der Lieferung nach den technischen Anforderungen der Bestellung an den zu liefernden Erzeugnissen oder Prüfeinheiten, von denen diese ein Teil sind, durchgeführt werden, um festzustellen, ob die Erzeugnisse den in der Bestellung festgelegten Anforderungen genügen.

7.1.2 Bescheinigungsarten

7.1.2.1 Die Europäischen Richtlinien

Die Europäische Union hat Konzepte für die Produktregulierung und die Konformitätsbewertung entwickelt. Gemeinsam haben diese einander ergänzenden Konzepte, dass sie das Einschreiten des Staates auf ein unentbehrliches Mindestmaß beschränken und somit der Industrie bei der Erfüllung ihrer Verpflichtungen gegenüber der Öffentlichkeit einen größtmöglichen Handlungsspielraum gewähren.

Seit 1987 sind nach und nach etwa 20 Richtlinien in Kraft getreten, die auf dem neuen Konzept und dem Gesamtkonzept beruhen.

7.1.2.2 Unter die Richtlinien fallende Produkte

Richtlinien des neuen Konzepts kommen für Produkte zur Anwendung, die auf dem Gemeinschaftsmarkt erstmalig in den Verkehr gebracht (oder in Betrieb genommen) werden sollen.

Folglich gelten die Richtlinien für die in den Mitgliedstaaten hergestellten neuen Produkte und für die aus Drittländern importierten neuen sowie gebrauchten Produkte und Produkte aus zweiter Hand.

Zwischen den einzelnen Richtlinien des neuen Konzepts bestehen Unterschiede im Hinblick auf den Begriff Produkt, so daß es Aufgabe des Herstellers ist zu überprüfen, ob sein Produkt in den Geltungsbereich einer oder mehrerer Richtlinien fällt.

Produkte, an denen erhebliche Veränderungen vorgenommen wurden, können als neue Produkte angesehen werden. Sie müssen den Bestimmungen der anwendbaren Richtlinien entsprechen, wenn sie in der Gemeinschaft in den Verkehr gebracht und in Betrieb genommen werden. Dies ist, sofern nicht anders vorgesehen, von Fall zu Fall zu bewerten. Produkte, die instandgesetzt worden sind, ohne daß die ursprüngliche Leistung, Verwendung oder Bauart verändert wurden, brauchen keiner Konformitätsbewertung nach den Richtlinien des neuen Konzepts unterzogen zu werden.

7.1.2.3 Gleichzeitige Anwendung von Richtlinien

In den Richtlinien des neuen Konzepts festgelegte wesentliche Anforderungen können sich überschneiden oder einander ergänzen; dies ist von den durch diese Anforderungen abgedeckten Gefahren abhängig, die mit dem betreffenden Produkt im Zusammenhang stehen.

Das Produkt darf nur in den Verkehr gebracht und in Betrieb genommen werden, wenn es den Bestimmungen sämtlicher anwendbaren Richtlinien entspricht und sofern die Konformitätsbewertung gemäß allen anwendbaren Richtlinien durchgeführt worden ist.

Kommen für dasselbe Produkt oder dieselbe Gefahr zwei oder mehrere Richtlinien in Betracht, kann nach einem Verfahren, das eine Risikoanalyse des Produkts im Hinblick auf die durch den Hersteller definierte beabsichtigte Nutzung einschließt, die Anwendung anderer Richtlinien mitunter entfallen.

7.1.2.4 GESTRA-Produkte – in Betracht kommende EU-Richtlinien

- Druckgeräterichtlinie 97/23/EG (genannt DGRL oder PED)
- Explosionsgefährdete Bereiche 94/9/EG (genannt ATEX)
- Niederspannungsrichtlinie 73/23/EWG
- Elektromagnetische Verträglichkeit 89/336/EWG (genannt EMV)
- Ortsbewegliche Druckgeräte 1999/36/EG (genannt TPED)
- Schiffsausrüstung 96/98/EG (genannt MED)

7.1.3 Informationen zur Druckgeräterichtlinie 97/23/EG (PED)

Die Druckgeräterichtlinie DGRL oder auch PED genannt, ist eine Rechtsvorschrift, welche am 29. November 1999 in Kraft getreten ist. Nach Ablauf der Übergangsfrist, 29. Mai 2002, dürfen keine Druckgeräte, also z.B. Armaturen oder Behälter, innerhalb der EU in Verkehr gebracht werden, die diese Vorschrift nicht erfüllen. In Betrieb befindliche Druckgeräte sind hiervon nicht betroffen. Die DGRL regelt das Inverkehrbringen von Druckgeräten innerhalb der EU. Hier werden die druckbedingten Gefahren und Risiken betrachtet.

Hersteller von Druckgeräten müssen eine Einstufung und Bewertung der Druckgeräte und der potentiellen Gefahren, die davon ausgehen können, vornehmen.

Unter Berücksichtigung der vorgesehenen Verwendung des Druckgerätes sowie weiterer Parameter wie Nennweite bzw. Volumen und Druck, ist bei jedem Druckgerät ein mehr oder minder großes Gefahrenpotential vorhanden.

Es gibt 4 Kategorien (Gefahrenklassen, siehe Kapitel 7.1.3.1 Einstufung der Fluidgruppen, Gase und Flüssigkeiten, Punkt 1.), I, II, III, IV sowie die Ausnahmeregelung nach Artikel 3,3, in die ein Druckgerät gemäß Artikel 10 der DGRL einzuordnen ist.

Die Hersteller von Druckgeräten müssen jedes Gerät vor dem Inverkehrbringen einem sogenannten Konformitätsbewertungsverfahren unterziehen. Hierzu stehen insgesamt 13 sogenannte Module zur Verfügung (Modul A, A1, B, B1, C1, D, D1, E, E1, F, G, H, H1).

Die DGRL gilt z.B. für:

Ausrüstungsteile > 0,5 bar

Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion

Behälter

Rohrleitungen, hierzu gehören auch Armaturen für allgemeine industrielle Anwendungen zur Durchleitung von Fluiden.

Die DGRL gilt nicht für:

einfache Druckbehälter (87/404 EWG)

Geräte zum Betrieb in KFZ (70/156 EWG)

Transportarmaturen nach ADR, RID und IMO

Netze für Wasserversorgung inkl. Ausrüstung

Armaturen ohne Sicherheitsfunktion < Nennweite DN 25, z.B. Absperrventile, Kondensatableiter, Rückschlagarmaturen.

Was ist zu beachten?

- Bestimmungsgemäßer Gebrauch der Druckgeräte muss definiert werden, dadurch können sich Beschränkungen ergeben:
Zulässiger Einsatz in Fluidgruppe 1 und/oder 2 und gasförmige und/oder flüssige Fluide (siehe Kapitel 7.1.3.1 Einstufung der Fluidgruppen, Gase und Flüssigkeiten, Punkte 2 – 5). Kondensatableiter sind in der Regel in die Fluidgruppe 2 eingestuft. Ausnahmen bilden lediglich Armaturen, die ausdrücklich für andere Zwecke als zur Kondensatableitung aus Wasserdampf vorgesehen sind (z.B. Entwässerung einer Erdgasleitung).
- Bei Lieferung von Druckgeräten an Kunden mit Betreiberprüfstelle muss dieses vorher vertraglich geregelt werden, insbesondere bei Behältern.
- DGRL steht über anderen Regelwerken z.B. AD, schließt dieses aber nicht aus.
- Nicht alle Druckgeräte sind CE kennzeichnungspflichtig, Beispiel: Kondensatableiter DN 50 PN für Fluidgruppe 2 (ungefährliche Medien - Wasser etc.) fällt unter die Ausnahmeregelung Art 3,3 und wird somit gemäß DGRL nicht konform erklärt und nicht CE gekennzeichnet.
- Konformitätserklärungen und CE Kennzeichnung dürfen nicht zu Unrecht vorgenommen werden (strafbar!)

Im Anhang I der DGRL sind grundlegende Sicherheitsanforderungen für Druckgeräte in allgemeiner Form formuliert. Für die konkrete Umsetzung dieser Anforderungen wird in Artikel 5 auf die harmonisierten Normen verwiesen, bei deren Anwendung die sogenannte Konformitätsvermutung vorliegt.

Neben den harmonisierten Normen können auch andere Regelwerke zur Erfüllung der grundlegenden Sicherheitsanforderungen herangezogen werden, bei denen die Konformitätsvermutung nicht automatisch gegeben ist, sondern gesondert nachgewiesen werden muß. Bei Inkrafttreten der DGRL lagen harmonisierte Normen noch nicht anwendungsmäßig vor, sodass z.B. in Deutschland das bisherige anerkannte AD-Regelwerk an die Anforderungen der DGRL angepasst und als „AD 2000 Regelwerk“ eingeführt wurde.

In der DGRL wird die „Beschaffenhheitsanforderung“ geregelt, während der Betrieb und die Prüf Fristen für die wiederkehrenden Prüfungen nicht behandelt werden. Dies zu regeln hat die europäische Kommission den Mitgliedstaaten der EU überlassen. In Deutschland, z.B. gilt hierfür die „Betriebssicherheitsverordnung“.

Im Rahmen der Betriebssicherheitsverordnung gelten für den Betrieb von überwachungsbedürftigen Druckgeräten flexible Prüf Fristen, die maximal auf die vorher in Deutschland gegoltenden Prüf Fristen begrenzt sind. Durch Wahl der technischen Beschaffenhheitsanforderung zur Errichtung eines Druckgerätes kann ein Betreiber Einfluss auf die Gestaltung der Prüf Fristen nehmen. Bei Anwendung des AD 2000 Regelwerkes kann nach vorherrschender Expertenmeinung davon ausgegangen werden, dass die bewährten Prüf Fristen weiterhin in Anspruch genommen werden können. Andere Regelwerke könnten eine Beurteilung im Einzelfall erforderlich machen.

GESTRA ist durch die Benannte Stelle Lloyds Register (Nr.: 0525) bereits im Dezember 1999 nach Modul H zertifiziert worden. Wie auch bereits 1987 bei der Einführung des Qualitätsmanagementsystems nach ISO 9001, war GESTRA erneut einer der ersten deutschen Armaturenhersteller der eine so wichtige Anforderung umgesetzt hat.

Für die GESTRA-Druckgeräte werden die grundlegenden Sicherheitsanforderungen der DGRL entsprechend der zutreffenden harmonisierten Normen und soweit sinnvoll die Anforderungen des AD 2000 Regelwerkes berücksichtigt.

GESTRA Information zur EX-Schutzrichtlinie 94/9/EG (ATEX)

Stand Juni 2003

Die EX-Schutzrichtlinie 94/9/EG (ATEX) regelt die Anforderungen an Geräte, die in explosionsgefährdeten Bereichen betrieben werden. Diese europäische Richtlinie gilt ab 01.07.2003 für den Betrieb von elektrischen und nichtelektrischen Geräten in den Mitgliedsstaaten der EU.

Armaturen werden bezüglich der Eignung zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen gemäß Richtlinie 94/9/EG, untersucht.

Weisen die Geräte gemäß Anhang II, Abschnitt 1.3 keine eigene potentielle Zündquelle auf, ist aufgrund Art. 1, Abs. (3) a) die Richtlinie nicht anzuwenden und in Übereinstimmung mit dem Artikel 10, Abs. (3) dürfen diese Geräte nicht mit dem CE-Kennzeichen im Zusammenhang mit der Richtlinie 94/9/EG gekennzeichnet werden.

Im Rahmen des Anwendungsbereiches gem. GESTRA-Datenblätter und der nicht vorhandenen eigenen potentiellen Zündquelle, ist eine Verwendung der oben genannten Geräte in explosionsgefährdeten Bereichen nicht eingeschränkt.

Z.B. sind solche GESTRA Geräte für den Betrieb in folgenden Bereichen geeignet:

Zone 0, 1, 2 (Gase) und 20, 21, 22 (Stäube)

Gerätegruppe II

Kategorie 1, 2, 3

7.1.3.1 Einstufung der Fluidgruppen, Gase und Flüssigkeiten

1. Gefahrenklassen/Kategorien

Art 3.3 Ausnahmeregelung, keine CE-Kennzeichnung und keine Konformitätserklärung

Diese Druckgeräte sind entsprechend der gängigen Ingenieurpraxis zu bauen und auszuliegen.

I, II, III „Höhe der potentiellen Gefahr“ bestimmt die anzuwendenden Module, z.B. Modul H IV Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion, z.B. Sicherheitsventile, Druckbegrenzer

2. Fluidgruppe 1 – gefährliche Medien:

- explosionsgefährlich
- hochentzündlich
- leicht entzündlich
- entzündlich
- sehr giftig
- giftig
- brandfördernd

3. Fluidgruppe 2 – ungefährliche Medien:

alle nicht unter Fluidgruppe 1 genannten Fluide, z.B. Wasser, Dampf, Luft

4. Gasförmige Fluide Definition

Gase, verflüssigte Gase, unter Druck gelöste Gase, Dämpfe und diejenigen Flüssigkeiten, deren Dampfdruck bei der zulässigen maximalen Temperatur um mehr als 0,5 bar über dem normalen Luftdruck (1013 mbar) liegt.

Hierzu zählt auch z.B. Wasser/Kondensat von mehr als 111 °C, da der zu dieser Temperatur gehörige Dampfdruck größer als 1,5 bara ist.

Siedetemperatur von Wasser bei 1,5 bara = 111,37 °C (Wegweiser Wasserdampf tabel)

5. Flüssige Fluide Definition

Flüssigkeiten, deren Dampfdruck bei der zulässigen maximalen Temperatur um höchstens 0,5 bar über dem normalen Luftdruck (1013 mbar) liegt.

8	Flansche, Rohre	
8.1.	DIN/EN-Flansche, Rohre	173
8.1.1	Stahlrohre	173
8.1.2	Flanschtypen	178
8.1.3	Flanschwerkstoffe u. Druck/Temperatur-Zuordnung	180
8.1.4	Flanschanschlussmaße	185
8.1.5	Flanschdichtflächen	190
8.1.5.1	Dichtflächenrauigkeit	194
8.1.6	Flanschschrauben u. -muttern	196
8.2.	ASME-Flansche, Rohre	198
8.2.1	Stahlrohre	198
8.2.2	Flanschtypen	200
8.2.3	Flanschwerkstoffe u. Druck/Temperatur-Zuordnung	202
8.2.4	Flanschanschlussmaße	207
8.2.5	Flanschdichtflächen	214
8.2.5.1	Dichtflächenrauigkeit	221
8.2.6	Flanschschrauben u. -muttern	222

8 Flansche, Rohre

8.1 DIN/EN-Flansche, Rohre

8.1.1 Stahlrohre

Die technischen Lieferbedingungen für nahtlose Stahlrohre für erhöhte Temperaturen sind in DIN EN 10216-2 und für geschweißte Stahlrohre für erhöhte Temperaturen in DIN EN 10217-2 festgelegt. Die längenbezogenen Massen dieser Stahlrohre sind in DIN EN 10220 angegeben (Präzisionsstahlrohre s. DIN EN 10305-1 bis DIN EN 10305-3).

Tabelle auf der folgenden Doppelseite.

Außendurchmesser [mm]			Wanddicke [mm]															
Reihe			1,6	1,8	2	2,3	2,6	2,9	3,2	3,6	4	4,5	5	5,4	5,6	6,3	7,1	8
1	2	3	Längenbezogene Masse [kg/m]															
10,2			0,339	0,373	0,404	0,448	0,487											
	12,0		0,410	0,453	0,493	0,550	0,603		0,651	0,694								
	12,7		0,438	0,484	0,528	0,590	0,648	0,701	0,750									
13,5			0,470	0,519	0,567	0,636	0,699	0,758	0,813	0,879								
		14,0	0,489	0,542	0,592	0,664	0,731	0,794	0,852	0,923								
	16,0		0,568	0,630	0,691	0,777	0,859	0,937	1,01	1,10	1,18							
17,2			0,616	0,684	0,750	0,845	0,936	1,02	1,10	1,21	1,30	1,41						
		18,0	0,647	0,719	0,789	0,891	0,987	1,08	1,17	1,28	1,38	1,50						
	19,0		0,687	0,764	0,838	0,947	1,05	1,15	1,25	1,37	1,48	1,61	1,73					
	20,0		0,726	0,808	0,888	1,00	1,12	1,22	1,33	1,46	1,58	1,72	1,85					
21,3			0,777	0,866	0,952	1,08	1,20	1,32	1,43	1,57	1,71	1,86	2,01	2,12				
		22,0	0,805	0,897	0,996	1,12	1,24	1,37	1,48	1,63	1,78	1,94	2,10	2,21				
	25,0		0,923	1,03	1,13	1,29	1,44	1,58	1,72	1,90	2,07	2,28	2,47	2,61	2,68	2,91		
		25,4	0,939	1,05	1,15	1,31	1,46	1,61	1,75	1,94	2,11	2,32	2,52	2,66	2,73	2,97		
26,9			0,998	1,11	1,23	1,40	1,56	1,72	1,87	2,07	2,26	2,49	2,70	2,86	2,94	3,20	3,47	3,73
		30,0	1,12	1,25	1,38	1,57	1,76	1,94	2,11	2,34	2,56	2,83	3,08	3,28	3,27	3,68	4,01	4,34
	31,8		1,19	1,33	1,47	1,67	1,87	2,07	2,26	2,50	2,74	3,03	3,30	3,52	3,62	3,96	4,32	4,70
		32,0	1,20	1,34	1,48	1,68	1,89	2,08	2,27	2,52	2,76	3,05	3,33	3,54	3,65	3,99	4,36	4,74
33,7			1,27	1,42	1,56	1,78	1,99	2,20	2,41	2,67	2,93	3,24	3,54	3,77	3,88	4,26	4,66	5,07
		35,0	1,32	1,47	1,63	1,85	2,08	2,30	2,51	2,79	3,06	3,38	3,70	3,94	4,06	4,46	4,89	5,33
	38,0		1,44	1,61	1,78	2,02	2,27	2,51	2,75	3,05	3,35	3,72	4,07	4,34	4,47	4,93	5,41	5,92
		40,0	1,52	1,70	1,87	2,14	2,40	2,65	2,90	3,23	3,55	3,94	4,32	4,61	4,75	5,24	5,76	6,31
42,4			1,61	1,80	1,99	2,27	2,55	2,82	3,09	3,44	3,79	4,21	4,61	4,93	5,08	5,61	6,18	6,79
		44,5	1,69	1,90	2,10	2,39	2,69	2,98	3,26	3,63	4,00	4,44	4,87	5,21	5,37	5,94	6,55	7,20
48,3			1,84	2,06	2,28	2,61	2,93	3,25	3,56	3,97	4,37	4,86	5,34	5,71	5,90	6,53	7,21	7,95
		51,0	1,95	2,18	2,42	2,76	3,10	3,44	3,77	4,21	4,64	5,16	5,67	5,47	6,27	6,94	7,69	8,48
		54,0	2,07	2,32	2,56	2,93	3,30	3,65	4,01	4,47	4,93	5,49	6,04	6,07	6,68	7,41	8,21	9,08
	57,0		2,19	2,45	2,71	3,10	3,49	3,87	4,25	4,74	5,23	5,83	6,41	6,87	7,10	7,88	8,74	9,67
60,3			2,32	2,60	2,88	3,29	3,70	4,11	4,51	5,03	5,55	6,19	6,82	7,31	7,55	8,39	9,32	10,3
		63,5	2,44	2,74	3,03	3,47	3,90	4,33	4,76	5,32	5,87	6,55	7,21	7,74	8,00	8,89	9,88	10,9
		70,0	2,70	3,03	3,35	3,84	4,32	4,80	5,27	5,90	6,51	7,27	8,01	8,60	8,89	9,90	11,0	12,2
		73,0	2,82	3,16	3,50	4,01	4,51	5,01	5,51	6,16	6,81	7,60	8,38	9,00	9,31	10,4	11,5	12,8
76,1			2,94	3,30	3,65	4,19	4,71	5,24	5,75	6,44	7,11	7,95	8,77	9,42	9,74	10,8	12,1	13,4
		82,5	3,19	3,58	3,97	4,55	5,12	5,69	6,26	7,00	7,74	8,66	9,56	10,3	10,6	11,8	13,2	14,7
88,9			3,44	3,87	4,29	4,91	5,53	6,15	6,76	7,57	8,38	9,37	10,3	11,1	11,5	12,8	14,3	16,0
		101,6	3,95	4,43	4,91	5,63	6,35	7,06	7,77	8,70	9,63	10,8	11,9	12,8	13,3	14,8	16,5	18,5
		108	4,2	4,71	5,23	6,00	6,76	7,52	8,27	9,27	10,3	11,5	12,7	13,7	14,1	15,8	17,7	19,7
114,3			4,45	4,99	5,54	6,35	7,16	7,97	8,77	9,83	10,9	12,2	13,5	14,5	15,0	16,8	18,8	21,0
	127		4,95	5,56	6,17	7,07	7,98	8,88	9,77	11,0	12,1	13,6	15,0	16,2	16,8	18,8	21,0	23,5
		133	5,18	5,82	6,46	7,41	8,36	9,30	10,2	11,5	12,7	14,3	15,8	17,0	17,6	19,7	22,0	24,7
139,7			5,45	6,12	6,79	7,79	8,79	9,78	10,8	12,1	13,4	15,0	16,6	17,9	18,5	20,7	23,2	26,0
		141,3	5,51	6,19	6,87	7,88	8,89	9,90	10,9	12,2	13,5	15,2	16,8	18,1	18,7	21,0	23,5	26,3
		152,4	5,95	6,69	7,42	8,51	9,61	10,7	11,8	13,2	14,6	16,4	18,2	19,6	20,3	22,7	25,4	28,5
		159	6,21	6,98	7,74	8,89	10,0	11,2	12,3	13,8	15,3	17,1	19,0	20,5	21,2	23,7	26,6	29,8
168,3			6,58	7,39	8,20	9,42	10,6	11,8	13,0	14,6	16,2	18,2	20,1	21,7	22,5	25,2	28,2	31,6
		177,8		7,81	8,67	9,95	11,2	12,5	13,8	15,5	17,1	19,2	21,3	23,0	23,8	26,6	29,9	33,5
		193,7		8,52	9,46	10,9	12,3	13,6	15,0	16,9	18,7	21,0	23,3	25,1	26,0	29,1	32,7	36,6
219,1				9,65	10,7	12,3	13,9	15,5	17,0	19,1	21,2	23,8	26,4	28,5	29,5	33,1	37,1	41,6
		244,5			12,0	13,7	15,5	17,3	19,0	21,4	23,7	26,6	29,5	31,8	33,0	37,0	41,6	46,7
273					13,4	15,4	17,3	19,3	21,3	23,9	26,5	29,8	33,0	35,6	36,9	41,4	46,6	52,3
323,9							20,6	23,0	25,3	28,4	31,6	35,4	39,3	42,4	44,0	49,3	55,5	62,3
355,6							22,6	25,2	27,8	31,3	34,7	39,0	43,2	46,6	48,3	54,3	61,0	68,6
406,4							25,9	28,9	31,8	35,8	39,7	44,6	49,5	53,4	55,4	62,2	69,9	78,6
457									35,8	40,3	44,7	50,2	56,7	60,1	62,3	70,0	78,8	88,6
508									39,8	44,8	49,7	55,9	62,0	66,9	69,4	77,9	87,7	98,6
		559							43,9	49,3	54,7	61,5	68,3	73,7	76,4	85,9	96,6	109
610									47,9	53,8	59,8	67,2	74,6	80,5	83,5	93,8	106	119
		660									64,7	72,7	80,8	87,2	90,4	102	114	129
711											69,7	78,4	87,1	94,0	97,4	109	123	139

Abb. 135a Maße und längenbezogene Massen (DIN EN 10220 - Auswahl),

Reihe 1: Rohre, für die das gesamte beim Bau von Rohrleitungssystemen benötigte Zubehör genormt ist

Reihe 2: Rohre, für die nicht alle Zubehörteile genormt ist.

Reihe 3: Rohre, für die es kaum genormtes Zubehör gibt.

Außendurchmesser [mm]			Wanddicke [mm]										Wanddicke [mm]						
Reihe			8,8	10	11	12,5	14,2	16	17,5	20	22,2	25	28	30	32	36	40	45	50
1	2	3	Längenbezogene Masse [kg/m]										Längenbezogene Masse [kg/m]						
10,2																			
	12,0																		
	12,7																		
13,5																			
	16,0	14,0																	
17,2																			
	19,0	18,0																	
	20,0																		
21,3																			
	22,0																		
	25,0																		
	25,4																		
26,9																			
	30,0																		
	31,8																		
	32,0																		
33,7			5,40																
	35,0		5,69																
	38,0		6,34	6,91															
	40,0		6,77	7,40															
42,4			7,29	7,99															
	44,5		7,75	8,51	9,09	9,86													
48,3			8,57	9,45	10,1	11,0													
	51,0		9,16	10,1	10,9	11,9													
	54,0		9,81	10,9	11,7	12,8	13,9												
	57,0		10,5	11,6	12,5	13,7	15,0												
60,3			11,2	12,4	13,4	14,7	16,1	17,5											
	63,5		11,9	13,2	14,2	15,7	17,3	18,7											
	70,0		13,3	14,8	16,0	17,7	19,5	21,3	22,7										
	73,0		13,9	15,5	16,8	18,7	20,6	22,5	24,0										
76,1			14,6	16,3	17,7	19,6	21,7	23,7	25,3	27,7									
	82,5		16,0	17,9	19,4	21,6	23,9	26,2	28,1	30,8	33,0								
88,9			17,4	19,5	21,1	23,6	26,2	28,8	30,8	34,0	36,5	39,4							
	101,6		20,1	22,6	24,6	27,5	30,6	33,8	36,3	40,2	43,5	47,2	50,8						
	108		21,5	24,2	26,3	29,4	32,8	36,3	39,1	43,4	47,0	51,2	55,2	57,7					
114,3			22,9	25,7	28,0	31,4	35,1	38,8	41,8	46,5	50,4	55,1	59,6	62,4	64,9				
	127		25,7	28,9	31,5	35,3	39,5	43,8	47,3	52,8	57,4	62,9	68,4	71,8	75,0	80,8			
	133		27,0	30,3	33,1	37,1	41,6	46,2	49,8	55,7	60,7	66,6	72,5	76,2	79,7	86,1	91,7		
139,7			28,4	32,0	34,9	39,2	43,9	48,8	52,7	59,0	64,3	70,7	77,1	81,2	85,0	92,1	98,4		
	141,3		28,8	32,4	35,3	39,7	44,5	49,4	53,4	59,8	65,2	71,7	78,2	82,3	86,3	93,5	99,9		
	152,4		31,2	35,1	38,4	43,1	48,4	53,8	58,2	65,3	71,3	78,5	85,9	90,6	95,0	103	111	119	
	159		32,6	36,7	40,1	45,2	50,7	56,4	61,1	68,6	74,9	82,6	90,5	95,4	100	109	117	127	
168,3			34,6	39,0	42,7	48,0	54,0	60,1	65,1	73,1	80,0	88,3	96,9	102	108	117	127	146	
	177,8		36,7	41,4	45,2	51,0	57,3	63,8	69,2	77,8	85,2	94,2	103	109	115	126	136	158	
	193,7		40,1	45,3	49,6	55,9	62,9	70,1	76,0	85,7	93,9	104	114	121	128	140	152	177	
219,1			45,6	51,6	56,5	63,7	71,8	80,1	87,0	98,2	108	120	132	140	148	163	177	209	
	244,5		51,2	57,8	63,3	71,5	80,6	90,2	98,0	111	122	135	149	159	168	185	202	240	
273			57,3	64,9	71,1	80,3	90,6	101	110	125	137	153	169	180	190	210	230	275	
323,9			68,4	77,4	84,9	96,0	108	121	132	150	165	184	204	217	230	256	280	338	
355,6			75,3	85,2	93,5	106	120	134	146	166	183	204	226	241	255	284	311	345	
406,4			86,3	97,8	107	121	137	154	168	191	210	235	261	278	295	329	361	439	
457			97,3	110	121	137	155	174	190	216	238	266	296	316	335	374	411	502	
508			108	123	135	153	173	194	212	241	266	298	331	354	376	419	462	565	
	559		119	135	149	168	191	214	234	266	294	329	367	391	416	464	512	628	
610			130	148	162	184	209	234	256	291	322	361	402	429	456	510	562	691	
	660		141	160	176	200	226	254	277	316	349	392	436	466	496	554	612	752	
711			152	173	190	215	244	274	299	341	377	423	472	504	536	599	662	815	

Abb. 135b Forts. Maße und längenbezogene Massen (DIN EN 10220 - Auswahl),

Reihe 1: Rohre, für die das gesamte beim Bau von Rohrleitungssystemen benötigte Zubehör genormt ist

Reihe 2: Rohre, für die nicht alle Zubehörteile genormt ist.

Reihe 3: Rohre, für die es kaum genormtes Zubehör gibt.

8.1.2 Flanschtypen

Die unterschiedlichen Typen von Stahlflanschen bis PN 100 sind in DIN EN 1092-1 genormt. Stahlflansche von PN 160 bis PN 400 sind in diversen DIN-Normen festgelegt. Gusseisenflansche bis PN 63 finden sich in DIN EN 1092-2.

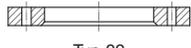
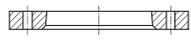
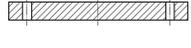
Benennung	Abbildung	PN	DN																						
			10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600			
Glatter Flansch zum Schweißen		6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
		10	Siehe PN 40					Siehe PN 16					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
		16	Siehe PN 40										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		25	Siehe PN 40										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		40	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		63	Siehe PN 100					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	
100	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Loser Flansch für glatten Bund oder für Vorschweißbördel		6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
		10	Siehe PN 40					Siehe PN 16					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
		16	Siehe PN 40										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		25	Siehe PN 40										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		40	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		63	Siehe PN 100					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Loser Flansch für Vorschweißbund		10	Siehe PN 40					Siehe PN 16					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
		16	Siehe PN 40										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		25	Siehe PN 40										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		40	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		63	Siehe PN 100					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		100	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Blindflansch		6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
		10	Siehe PN 40					Siehe PN 16					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		16	Siehe PN 40										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		25	Siehe PN 40										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		40	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		63	Siehe PN 100					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Vorschweißflansch		6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
		10	Siehe PN 40					Siehe PN 16					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		16	Siehe PN 40										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		25	Siehe PN 40										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		40	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		63	Siehe PN 100					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Überschieb-Schweißflansch mit Ansatz		6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
		10	Siehe PN 40					Siehe PN 16					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		16	Siehe PN 40										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		25	Siehe PN 40										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		40	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		63	Siehe PN 100					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gewindeflansch mit Ansatz		6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
		10	Siehe PN 40					Siehe PN 16					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		16	Siehe PN 40										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		25	Siehe PN 40										-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		40	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		63	Siehe PN 100					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Integralflansch		6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
		10	Siehe PN 40					Siehe PN 16					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		16	Siehe PN 40										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		25	Siehe PN 40										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		40	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		63	Siehe PN 100					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
100	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			

Abb. 136 Stahlflansche, Typenübersicht

(DIN EN 1092-1, DIN 2548 - DIN 2551, DIN 2627 - DIN 2629, DIN 2638 - Auswahl)

8.1.3 Flanschwerkstoffe u. Druck/Temperatur-Zuordnung

Stahlwerkstoffe für Flansche sowie deren zulässige Einsatzdrücke und -temperaturen (p/T Rating) sind in DIN EN 1092-1 festgelegt. DIN EN 1092-2 enthält diese Daten für Guss-eisenwerkstoffe.

Einige der in den nachstehenden Tabellen angegebenen Einsatzdaten sind an bestimmte Bedingungen geknüpft. Sie sind den Normen zu entnehmen.

PN	Werkstoffe			Werkstoff- gruppe	zul. Druck p in [bar] bei Temperatur t in [°C]																	
	geschmiedet	gegossen	warmgewalzt		20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	510	520	530	550	600	
10	1.0038	–	1.0038	1E1	10,0	8,0	7,5	6,9	6,0			5,2										
	1.0460	1.0619	1.0425	3E0	10,0	9,3	8,7	7,8	7,1			6,4	6,0	5,8								
	1.5415	1.5419	1.5415	4E0	10,0	10,0	10,0	9,6	8,9			7,6	7,1	6,7	6,6	6,4	6,4	4,5				
16	1.0038	–	1.0038	1E1	16,0	12,8	11,9	11,0	9,7			8,3										
	1.0460	1.0619	1.0425	3E0	16,0	14,9	13,9	12,4	11,4			10,3	9,6	9,2								
	1.5415	1.5419	1.5415	4E0	16,0	16,0	16,0	15,3	14,2			12,1	11,4	10,7	10,5	10,3	10,2	7,2				
	1.7335	1.7357	1.7335	5E0	16,0	16,0	16,0	16,0	15,6			14,6	13,5	12,8	12,4	12,1	11,9	9,7	8,2	6,7	5,5	
25	1.0038	–	1.0038	1E1	25,0	20,0	18,7	17,2	15,1			13,0										
	1.0460	1.0619	1.0425	3E0	25,0	23,3	21,7	19,4	17,8			16,1	15,0	14,4								
	1.5415	1.5419	1.5415	4E0	25,0	25,0	25,0	23,9	22,2			18,9	17,8	16,7	16,4	16,1	15,9	11,2				
	1.7335	1.7357	1.7335	5E0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,4			22,8	21,1	20,0	19,4	18,9	18,7	15,2	12,9	10,4	8,7	
	1.7383	1.7379	–	6E0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0			24,4	23,3	22,2	21,7	21,1	19,9	15,0	13,1	11,4	10,0	
40	1.0038	–	1.0038	1E1	40,0	32,0	29,9	27,6	24,2			20,8										
	1.0460	1.0619	1.0425	3E0	40,0	37,3	34,7	31,1	28,4			25,8	24,0	23,1								
	1.5415	1.5419	1.5415	4E0	40,0	40,0	40,0	38,2	35,6			30,2	28,4	26,7	26,3	25,8	25,4	18,0				
	1.7335	1.7357	1.7335	5E0	40,0	40,0	40,0	40,0	39,1			36,4	33,8	32,0	31,1	30,2	29,9	24,4	20,6	16,7	13,9	
	1.7383	1.7379	–	6E0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0			39,1	37,3	35,6	34,7	33,8	31,8	24,0	21,0	18,3	16,0	
1.4922	1.4931	–	9E0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0			40,0	40,0	40,0		40,0		40,0				22,8	10,5
63	1.0038	–	1.0038	1E1	63,0	50,4	47,0	43,4	38,1			32,8										
	1.0460	1.0619	1.0425	3E0	63,0	58,8	54,6	49,0	44,8			40,6	37,8	36,4								
	1.5415	1.5419	1.5415	4E0	63,0	63,0	63,0	60,2	56,0			47,6	44,8	42,0	41,4	40,6	40,0	28,3				
	1.7335	1.7357	1.7335	5E0	63,0	63,0	63,0	63,0	61,6			57,4	53,2	50,4	49,0	47,6	47,0	38,4	32,5	26,3	21,8	
	1.7383	1.7379	–	6E0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0			61,6	58,8	56,0	54,6	53,2	50,1	37,8	33,0	28,8	25,2	
1.4922	1.4931	–	9E0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0			63,0	63,0	63,0		63,0		63,0				35,8	16,5
100	1.0038	–	1.0038	1E1	100,0	80,0	74,7	68,9	60,4			52,0										
	1.0460	1.0619	1.0425	3E0	100,0	93,3	86,7	77,8	71,1			64,4	60,0	57,8								
	1.5415	1.5419	1.5415	4E0	100,0	100,0	100,0	95,6	88,9			75,6	71,1	66,7	65,8	64,4	63,6	44,9				
	1.7335	1.7357	1.7335	5E0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,8			91,1	84,4	80,0	77,8	75,6	74,7	60,9	51,6	41,8	34,7	
	1.7383	1.7379	–	6E0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			97,8	93,3	88,9	86,7	84,4	79,6	60,0	52,4	45,8	40,0	
1.4922	1.4931	–	9E0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			100,0	100,0	100,0		100,0		100,0				56,9	26,2

Abb. 139 Einsatzdaten für ferritische Stahlwerkstoffe (DIN EN 1092-1 - Auswahl)

PN	Werkstoffe			Werkstoff- gruppe	zul. Druck p in [bar] bei Temperatur t in [°C]					zul. Druck p in [bar] bei Temperatur t in [°C]							
	geschmiedet	gegossen	warmgewalzt		20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
	10	1.4307	1.4309		1.4306	10E0	10,0	9,3	8,4	7,6	6,9	6,4	6,0	5,7	5,6	5,5	5,3
1.4301		1.4308	1.4301	11E0	10,0	9,3	8,4	7,6	6,9	6,4	6,0	5,7	5,6	5,5	5,3	5,1	3,3
1.4541		-	1.4541	12E0	10,0	10,0	9,3	8,7	8,2	7,8	7,4	7,2	6,9	6,8	6,6	6,3	3,9
-		1.4552	1.4550	12E0	10,0	10,0	9,3	8,7	8,2	7,8	7,4	7,2	6,9	6,8	6,6	6,3	3,9
1.4404		1.4409	1.4404	13E0	10,0	9,8	8,9	8,0	7,3	6,8	6,4	6,2	6,0	5,8	5,7		
1.4401		1.4408	1.4401	14E0	10,0	10,0	9,3	8,4	7,8	7,3	6,9	6,7	6,4	6,3	6,2	6,0	5,2
1.4571		-	1.4571	15E0	10,0	10,0	9,8	9,1	8,5	8,1	7,8	7,5	7,3	7,2	7,0	6,9	5,4
16	1.4307	1.4309	1.4306	10E0	16,0	14,9	13,5	12,1	11,0	10,3	9,6	9,2	8,9	8,7	8,5		
	1.4301	1.4308	1.4301	11E0	16,0	14,9	13,5	12,1	11,0	10,3	9,6	9,2	8,9	8,7	8,5	8,2	5,3
	1.4541	-	1.4541	12E0	16,0	16,0	14,9	13,9	13,2	12,4	11,9	11,4	11,1	10,8	10,6	10,1	6,3
	-	1.4552	1.4550	12E0	16,0	16,0	14,9	13,9	13,2	12,4	11,9	11,4	11,1	10,8	10,6	10,1	6,3
	1.4404	1.4409	1.4404	13E0	16,0	15,6	14,2	12,8	11,7	10,9	10,3	9,9	9,6	9,3	9,1		
	1.4401	1.4408	1.4401	14E0	16,0	16,0	14,9	13,5	12,4	11,7	11,0	10,7	10,2	10,1	9,9	9,5	8,2
	1.4571	-	1.4571	15E0	16,0	16,0	15,6	14,6	13,7	13,0	12,4	12,0	11,7	11,4	11,2	11,1	8,7
25	1.4307	1.4309	1.4306	10E0	25,0	23,3	21,1	18,9	17,2	16,1	15,0	14,3	13,9	13,7	13,3		
	1.4301	1.4308	1.4301	11E0	25,0	23,3	21,1	18,9	17,2	16,1	15,0	14,3	13,9	13,7	13,3	12,8	8,3
	1.4541	-	1.4541	12E0	25,0	25,0	23,3	21,7	20,6	19,4	18,6	17,9	17,3	16,9	16,6	15,8	9,8
	-	1.4552	1.4550	12E0	25,0	25,0	23,3	21,7	20,6	19,4	18,6	17,9	17,3	16,9	16,6	15,8	9,8
	1.4404	1.4409	1.4404	13E0	25,0	24,4	22,2	20,0	18,3	17,0	16,1	15,4	15,0	14,6	14,2		
	1.4401	1.4408	1.4401	14E0	25,0	25,0	23,3	21,1	19,4	18,3	17,2	16,7	16,0	15,8	15,4	14,9	12,9
	1.4571	-	1.4571	15E0	25,0	25,0	24,4	22,8	21,3	20,3	19,4	18,8	18,2	17,9	17,6	17,3	13,6
40	1.4307	1.4309	1.4306	10E0	40,0	37,3	33,8	30,2	27,6	25,8	24,0	22,9	22,2	21,9	21,3		
	1.4301	1.4308	1.4301	11E0	40,0	37,3	33,8	30,2	27,6	25,8	24,0	22,9	22,2	21,9	21,3	20,4	13,3
	1.4541	-	1.4541	12E0	40,0	40,0	37,3	34,7	32,9	31,1	29,7	28,6	27,7	27,0	26,5	25,2	15,6
	-	1.4552	1.4550	12E0	40,0	40,0	37,3	34,7	32,9	31,1	29,7	28,6	27,7	27,0	26,5	25,2	15,6
	1.4404	1.4409	1.4404	13E0	40,0	39,1	35,6	32,0	29,3	27,2	25,8	24,7	24,0	23,3	22,8		
	1.4401	1.4408	1.4401	14E0	40,0	40,0	37,3	33,8	31,1	29,3	27,6	26,7	25,6	25,2	24,7	23,8	20,6
	1.4571	-	1.4571	15E0	40,0	40,0	39,1	36,4	34,1	32,5	31,1	30,0	29,2	28,6	28,1	27,7	21,7
63	1.4307	1.4309	1.4306	10E0	63,0	58,8	53,2	47,6	43,4	40,6	37,8	36,1	35,0	34,4	33,6		
	1.4301	1.4308	1.4301	11E0	63,0	58,8	53,2	47,6	43,4	40,6	37,8	36,1	35,0	34,4	33,6	32,2	21,0
	1.4541	-	1.4541	12E0	63,0	63,0	58,8	54,6	51,8	49,0	46,8	45,1	43,7	42,6	41,7	39,8	24,6
	-	1.4552	1.4550	12E0	63,0	63,0	58,8	54,6	51,8	49,0	46,8	45,1	43,7	42,6	41,7	39,8	24,6
	1.4404	1.4409	1.4404	13E0	63,0	61,6	56,0	50,4	46,2	42,8	40,6	38,9	37,8	36,7	35,8		
	1.4401	1.4408	1.4401	14E0	63,0	63,0	58,8	53,2	49,0	46,2	43,4	42,0	40,3	39,8	38,9	37,5	32,5
	1.4571	-	1.4571	15E0	63,0	63,0	61,6	57,4	53,8	51,2	49,0	47,3	45,9	45,1	44,2	43,7	34,2
100	1.4307	1.4309	1.4306	10E0	100,0	93,3	84,4	75,6	68,9	64,4	60,0	57,3	55,6	54,7	53,3		
	1.4301	1.4308	1.4301	11E0	100,0	93,3	84,4	75,6	68,9	64,4	60,0	57,3	55,6	54,7	53,3	51,1	33,3
	1.4541	-	1.4541	12E0	100,0	100,0	93,3	86,7	82,2	77,8	74,2	71,6	69,3	67,6	66,2	63,1	39,1
	-	1.4552	1.4550	12E0	100,0	100,0	93,3	86,7	82,2	77,8	74,2	71,6	69,3	67,6	66,2	63,1	39,1
	1.4404	1.4409	1.4404	13E0	100,0	97,8	88,9	80,0	73,3	68,0	64,4	61,8	60,0	58,2	56,9		
	1.4401	1.4408	1.4401	14E0	100,0	100,0	93,3	84,4	77,8	73,3	68,9	66,7	64,0	63,1	61,8	59,6	51,6
	1.4571	-	1.4571	15E0	100,0	100,0	97,8	91,1	85,3	81,3	77,8	75,1	72,9	71,6	70,2	69,3	54,2

Abb. 140 Einsatzdaten für austenitische und austenitisch-ferritische Stahlwerkstoffe
(1 % Dehngrenze) (DIN EN 1092-1 - Auswahl)

PN	Werkstoffe (in Klammern alte Werkstoffnummern)			zul. Druck p in [bar] bei Temperatur t in [°C]						
				-10 bis 120	150	200	230	250	300	350
6	EN-JL1030 (0.6020)	EN-JL1020 (0.6015)		6,0	5,4	5,0	4,8	4,4	3,6	
	EN-JM1110 (-)	EN-JM1130 (0.8135)		6,0	5,8	5,5		5,2	4,8	4,2
10	EN-JS1050 (0.7050)	EN-JS1060 (0.7060)		10,0	9,5	9,0		8,0	7,0	5,5
	EN-JS1010 (0.7033)	EN-JS1020 (0.7043)	EN-JS1030 (0.7040)	10,0	9,7	9,2		8,7	8,0	7,0
	EN-JL1020 (0.6015)	EN-JL1030 (0.6020)		10,0	9,0	8,4	8,0	7,4	6,0	
	EN-JM1110 (-)	EN-JM1130 (0.8135)		10,0	9,7	9,2		8,7	8,0	7,0
16	EN-JS1050 (0.7050)	EN-JS1060 (0.7060)		16,0	15,2	14,4		12,8	11,2	8,8
	EN-JS1020 (0.7043)	EN-JS1030 (0.7040)	EN-JS1010 (0.7033)	16,0	15,5	14,7		13,9	12,8	11,2
	EN-JL1020 (0.6015)	EN-JL1030 (0.6020)		16,0	14,4	13,4	12,8	11,8	9,6	
	EN-JM1110 (-)	EN-JM1130 (0.8135)		16,0	15,5	14,7		13,9	12,8	11,2
25	EN-JS1050 (0.7050)	EN-JS1060 (0.7060)		25,0	23,8	22,5		20,0	17,5	13,8
	EN-JS1020 (0.7043)	EN-JS1030 (0.7040)	EN-JS1010 (0.7033)	25,0	24,3	23,0		21,8	20,0	17,5
	EN-JL1020 (0.6015)	EN-JL1030 (0.6020)		25,0	22,5	21,0	20,0	18,5	15,0	
	EN-JM1110 (-)	EN-JM1130 (0.8135)		25,0	24,3	23,0		21,8	20,0	17,5
40	EN-JS1050 (0.7050)	EN-JS1060 (0.7060)		40,0	38,0	36,0		32,0	28,0	22,0
	EN-JS1020 (0.7043)	EN-JS1030 (0.7040)	EN-JS1010 (0.7033)	40,0	38,8	36,8		34,8	32,0	28,0
	EN-JL1020 (0.6015)	EN-JL1030 (0.6020)		40,0	36,0	33,6	32,0	29,6	24,0	
	EN-JM1110 (-)	EN-JM1130 (0.8135)		40,0	38,8	36,8		34,8	32,0	28,0
63	EN-JS1050 (0.7050)	EN-JS1060 (0.7060)		63,0	60,8	57,6		51,2	44,8	35,2
	EN-JS1020 (0.7043)	EN-JS1030 (0.7040)	EN-JS1010 (0.7033)	63,0	62,0	58,8		55,6	51,2	44,8

Abb. 141 Einsatzdaten für Gussisenwerkstoffe
(DIN EN 1092-2 - Auswahl)

8.1.4 Flanschanschlussmaße

Die Maße für Stahlflansche bis PN 100 sind in DIN EN 1092-1 festgelegt und für Gusseisenflansche in DIN EN 1092-2.

Für ausgewählte PN- u. DN-Bereiche sind die wesentlichen Anschlussmaße der Flansche in den nachstehenden Tabellen angegeben. Sofern nicht anders angegeben, gelten sie jeweils für alle Flanschtypen (Vorschweißflansche, Integralflansche, usw.) und alle Dichtflächenausführungen (Dichtleiste, Nut, Feder, usw.).

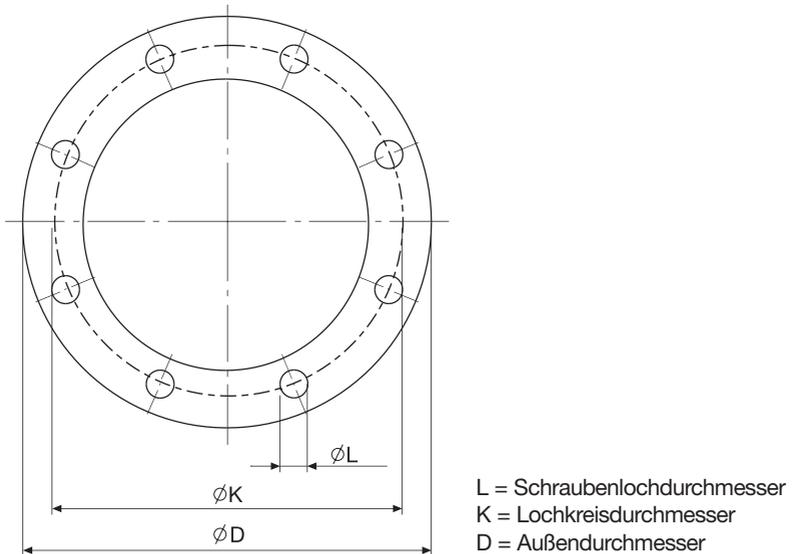


Abb. 142 Dieses Bild zeigt nur die Anordnung, aber nicht die genaue Anzahl der Schraubenlöcher. Anzahl der Schraubenlöcher siehe Abbildungen 143 und 144.

DN	PN 6				PN 10				PN 16				PN 25			
	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl												
	D	K	L		D	K	L		D	K	L		D	K	L	
	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]		
10	75	50	11	4	s. PN 40				s. PN 40				s. PN 40			
15	80	55	11	4	s. PN 40				s. PN 40				s. PN 40			
20	90	65	11	4	s. PN 40				s. PN 40				s. PN 40			
25	100	75	11	4	s. PN 40				s. PN 40				s. PN 40			
32	120	90	14	4	s. PN 40				s. PN 40				s. PN 40			
40	130	100	14	4	s. PN 40				s. PN 40				s. PN 40			
50	140	110	14	4	s. PN 16				165	125	18	4	s. PN 40			
65	160	130	14	4	s. PN 16				185	145	18	8 ^{a)}	s. PN 40			
80	190	150	18	4	s. PN 16				200	160	18	8	s. PN 40			
100	210	170	18	4	s. PN 16				220	180	18	8	s. PN 40			
125	240	200	18	8	s. PN 16				250	210	18	8	s. PN 40			
150	265	225	18	8	s. PN 16				285	240	22	8	s. PN 40			
200	320	280	18	8	340	295	22	8	340	295	22	12	360	310	26	12
250	375	335	18	12	395	350	22	12	405	355	26	12	425	370	30	12
300	440	395	22	12	445	400	22	12	460	410	26	12	485	430	30	16
350	490	445	22	12	505	460	22	16	520	470	26	16	555	490	33	16
400	540	495	22	16	565	515	26	16	580	525	30	16	620	550	36	16
450	595	550	22	16	615	565	26	20	640	585	30	20	670	600	36	20
500	645	600	22	20	670	620	26	20	715	650	33	20	730	660	36	20
600	755	705	26	20	780	725	30	20	840	770	36	20	845	770	39	20

Abb. 143a Anschlussmaße für Stahlflansche (DIN EN 1092-1 - Auswahl)

a) Nach Absprache zwischen Hersteller und Besteller dürfen Flansche mit 4 Löchern geliefert werden.

DN	PN 40				PN 63				PN 100			
	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl
	D	K	L		D	K	L		D	K	L	
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		
10	90	60	14	4	s. PN 100				100	70	14	4
15	95	65	14	4	s. PN 100				105	75	14	4
20	105	75	14	4	s. PN 100				130	90	18	4
25	115	85	14	4	s. PN 100				140	100	18	4
32	140	100	18	4	s. PN 100				155	110	22	4
40	150	110	18	4	s. PN 100				170	125	22	4
50	165	125	18	4	180	135	22	4	195	145	26	4
65	185	145	18	8	205	160	22	8	220	170	26	8
80	200	160	18	8	215	170	22	8	230	180	26	8
100	235	190	22	8	250	200	26	8	265	210	30	8
125	270	220	26	8	295	240	30	8	315	250	33	8
150	300	250	26	8	345	280	33	8	355	290	33	12
200	375	320	30	12	415	345	36	12	430	360	36	12
250	450	385	33	12	470	400	36	12	505	430	39	12
300	515	450	33	16	530	460	36	16	585	500	42	16
350	580	510	36	16	600	525	39	16	655	560	48	16
400	660	585	39	16	670	585	42	16	715	620	48	16
450	685	610	39	20	-	-	-	-	-	-	-	-
500	755	670	42	20	800	705	48	20	870	760	56	20
600	890	795	48	20	930	820	56	20	-	-	-	-

**Abb. 143b Fortsetzung Anschlussmaße für Stahlflansche
(DIN EN 1092-1 - Auswahl)**

DN	PN 6				PN 10				PN 16				PN 25			
	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl												
	D	K	L		D	K	L		D	K	L		D	K	L	
	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]		
10	75	50	11	4	s. PN 16				s. PN 40				s. PN 40			
15	80	55	11	4	s. PN 16				s. PN 40				s. PN 40			
20	90	65	11	4	s. PN 16				s. PN 40				s. PN 40			
25	100	75	11	4	s. PN 16				s. PN 40				s. PN 40			
32	120	90	14	4	s. PN 16				s. PN 40				s. PN 40			
40	130	100	14	4	s. PN 16				s. PN 40				s. PN 40			
50	140	110	14	4	s. PN 16				s. PN 40				s. PN 40			
60	150	120	14	4	s. PN 16				175	135	19	4	s. PN 40			
65	160	130	14	4	s. PN 16				185	145	19	4 ^{a)}	s. PN 40			
80	190	150	19	4	s. PN 16				200	160	19	8	s. PN 40			
100	210	170	19	4	s. PN 16				220	180	19	8	s. PN 40			
125	240	200	19	8	s. PN 16				250	210	19	8	270	220	28	8
150	265	225	19	8	s. PN 16				285	240	23	8	300	250	28	8
200	320	280	19	8	340	295	23	8	340	295	23	12	360	310	28	12
250	375	335	19	12	395 ^{b)}	350	23	12	405 ^{b)}	355	28	12	425	370	31	12
300	440	395	23	12	445 ^{b)}	400	23	12	460 ^{b)}	410	28	12	485	430	31	16
350	490	445	23	12	505	460	23	16	520	470	28	16	555	490	34	16
400	540	495	23	16	565	515	28	16	580	525	31	16	620	550	37	16
450	595	550	23	16	615	565	28	20	640	585	31	20	670	600	37	20
500	645	600	23	20	670	620	28	20	715	650	34	20	730	660	37	20
600	755	705	28	20	780	725	31	20	840	770	37	20	845	770	41	20

Abb. 144a Anschlussmaße für Gusseisenflansche (DIN EN 1092-2 - Auswahl)

- a) Nach Absprache zwischen Hersteller und Besteller dürfen Flansche mit 8 Löchern geliefert werden.
- b) Für Rohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen müssen die Außendurchmesser der nachstehenden Flansche wie folgt sein:
für DN 250 : D = 400 mm
für DN 300 : D = 455 mm

DN	PN 40				PN 63			
	Außen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl	Außen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl
	D	K	L		D	K	L	
	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]	
10	90	60	14	4	-			
15	95	65	14	4	-			
20	105	75	14	4	-			
25	115	85	14	4	-			
32	140	100	19	4	-			
40	150	110	19	4	170	125	23	4
50	165	125	19	4	180	135	23	4
60	175	135	19	8	190	145	23	8
65	185	145	19	8	205	160	23	8
80	200	160	19	8	215	170	23	8
100	235	190	23	8	250	200	28	8
125	270	220	28	8	295	240	31	8
150	300	250	28	8	345	280	34	8
200	375	320	31	12	415	345	37	12
250	450	385	34	12	470	400	37	12
300	515	450	34	16	530	460	37	16
350	580	510	37	16	600	525	41	16
400	660	585	41	16	670	585	44	16
450	685	610	41	20	-			
500	755	670	44	20	-			
600	890	795	50	20	-			

**Abb. 144b Fortsetzung Anschlussmaße
für Gusseisenflansche
(DIN EN 1092-2 - Auswahl)**

8.1.5 Flanschdichtflächen

Bei Flanschverbindungen sind unterschiedliche Dichtungsarten und dementsprechend unterschiedliche Formen der Dichtflächen an den Flanschen üblich. Auch die Rauigkeit der Dichtflächen ist unterschiedlich. Nachstehend sind die aktuellen Dichtflächen für Stahlflansche nach DIN EN 1092-1 und für Gusseisenflansche nach DIN EN 1092-2 angegeben.

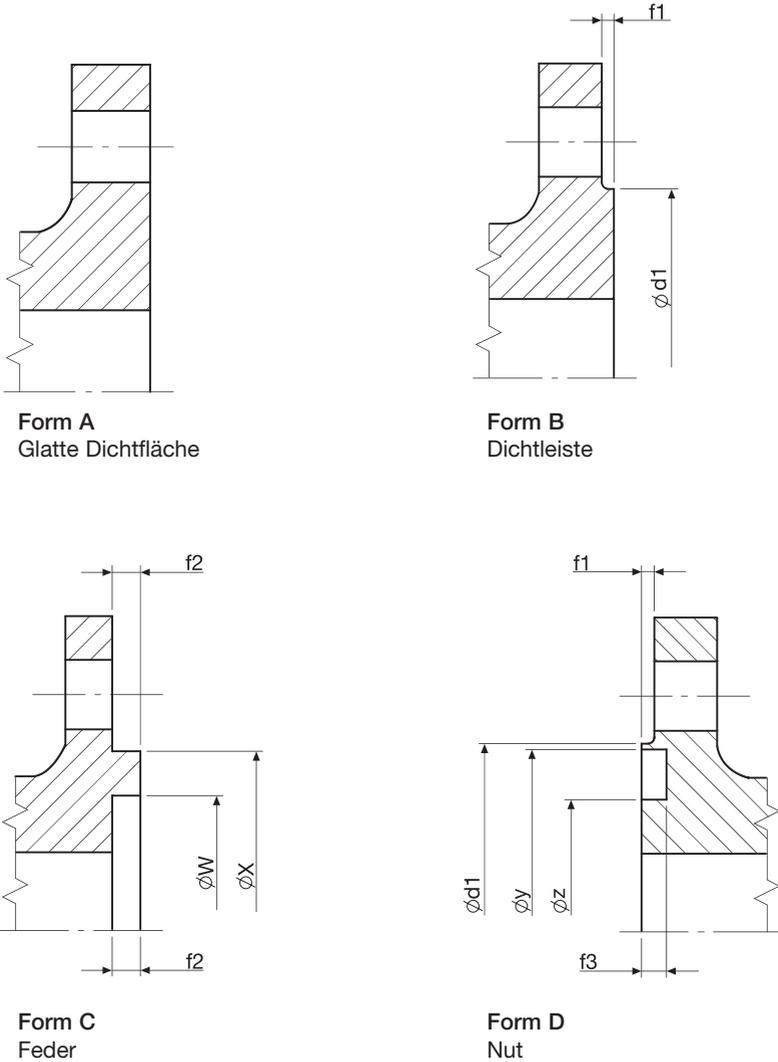
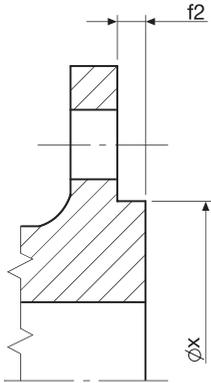
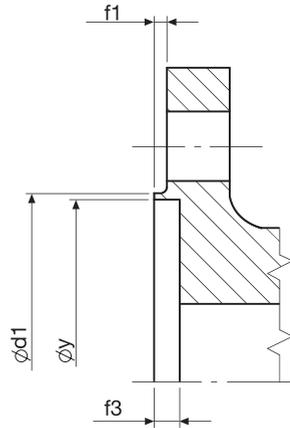


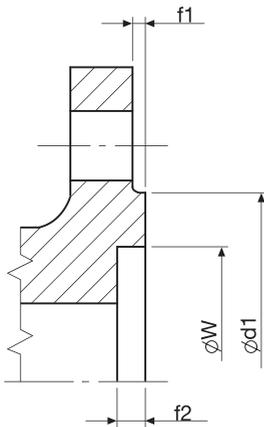
Abb. 145a Dichtflächenformen



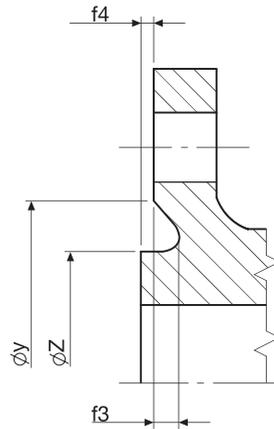
Form E
Vorsprung



Form F
Rücksprung



Form G
O-Ring-Vorsprung



Form H
O-Ring-Nut

Abb. 145b Dichtflächenformen

DN	d1							w	x	y	z	f1	f2	f3	f4
	PN 6	PN10	PN16	PN25	PN40	PN 63	PN 100								
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]								
10	35	s. PN 100					40	24	34	35	23	2,0	4,5	4,0	2,0
15	40	s. PN 100					45	29	39	40	28				
20	50	s. PN 100					58	36	50	51	35				
25	60	s. PN 100					68	43	57	58	42				
32	70	s. PN 100					78	51	65	66	50				
40	80	s. PN 100					88	61	75	76	60				
50	90	s. PN 100					102	73	87	88	72				
65	110	s. PN 100					122	95	109	110	94				
80	128	s. PN 100					138	106	120	121	105				
100	148	158	158	162	162	162	162	129	149	150	128				
125	178	188	188	188	188	188	188	155	175	176	154				
150	202	212	212	218	218	218	218	183	203	204	182				
200	258	268	268	278	285	285	285	239	259	260	238				
250	312	320	320	335	345	345	345	292	312	313	291				
300	365	370	378	395	410	410	410	343	363	364	342				
350	415	430	438	450	465	465	465	395	421	422	394				
400	465	482	490	505	535	535	535	447	473	474	446				
450	520	532	550	555	560	560	560	497	523	524	496				
500	570	585	610	615	615	615	615	549	575	576	548	5,5	5,0	3,0	
600	670	685	725	720	735	735	-	649	675	676	648				

Abb. 146 Dichtflächenmaße für Stahlflansche
(DIN EN 1092-1 - Auswahl)
Dichtflächen in Form A, B, C, D, E, F, G und H

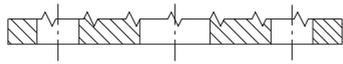
DN	d1						f1
	PN 6	PN10	PN16	PN25	PN40	PN 63	
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
10	33	41	41	41	41	-	2
15	38	46	46	46	46	-	2
20	48	56	56	56	56	-	2
25	58	65	65	65	65	-	3
32	69	76	76	76	76	-	3
40	78	84	84	84	84	84	3
50	88	99	99	99	99	99	3
60	98	108	108	108	108	108	3
65	108	118	118	118	118	118	3
80	124	132	132	132	132	132	3
100	144	156	156	156	156	156	3
125	174	184	184	184	184	184	3
150	199	211	211	211	211	211	3
200	254	266	266	274	284	284	3
250	309	316	319	330	345	345	3
300	363	370	370	389	409	409	4
350	413	429	429	448	465	465	4
400	463	480	480	503	535	535	4
450	518	530	548	548	560	-	4
500	568	582	609	609	615	-	4
600	667	682	720	720	735	-	5

**Abb. 147 Dichtflächenmaße für
Gusseisenflansche**
(DIN EN 1092-2 - Auswahl)
Dichtflächen in Form A und B

8.1.5.2 Dichtflächenrauigkeit

Die Dichtflächen nach den aktuellen Normen DIN EN 1092-1 und DIN EN 1092-2 weichen sowohl in ihrer Benennung als auch in ihrer Rauigkeit von den Dichtflächenangaben nach den früher geltenden DIN-Normen ab, s. nachstehende Tabellen.

Aktuelle Dichtflächen nach DIN EN 1092-1		Abbildung	Frühere Dichtflächen nach DIN 2...	
Benennung	Rauigkeit Ra [μm]		Benennung	Rauigkeit Ra [μm]
Glatte Dichtfläche (ohne Dichtleiste)				
Form A	12,5 - 6,3		Form B	25 - 12,5
Dichtleiste				
Form B1 (\leq PN 40)	12,5 - 6,3 *)		Form C (\leq PN 40)	25 - 12,5
Form B2 (PN 63 - PN 100)	3,2 - 1,6		Form D	6,3 - 3,2
			Form E (\geq PN 63)	3,2 - 1,6
Feder, Nut				
Form C	3,2 - 1,6		Form F	6,3 - 3,2
Form D	3,2 - 1,6		Form N	6,3 - 3,2
Vorsprung, Rücksprung				
Form E	12,5 - 6,3 *)		Form V13	25 - 12,5
Form F	12,5 - 6,3 *)		Form R13	25 - 12,5
O-Ring-Vorsprung, O-Ring-Rücksprung				
Form G	3,2 - 1,6		Form R14	25 - 12,5
Form H	3,2 - 1,6		Form R14	25 - 12,5
Abb. 148 Rauigkeiten für Stahlflansche *) vorgeschriebene Rillung				

Aktuelle Dichtflächen nach DIN EN 1092-2		Abbildung	Frühere Dichtflächen nach DIN 2...	
Benennung	Rauigkeit Ra [μm]		Benennung	Rauigkeit Ra [μm]
Glatte Dichtfläche (ohne Dichtleiste)				
Form A	12,5 - 6,3		Form B	25 - 12,5
Dichtleiste				
Form B	12,5 - 6,3		Form C	25 - 12,5
Abb. 149 Rauigkeiten für Gusseisenflansche				

8.1.6 Flanschschauben u. -muttern

Geeignete Werkstoffe für Schrauben, Gewindebolzen und Muttern sind in DIN EN 1515-1 angegeben, und zwar für PN-Flansche der Normenreihe DIN EN 1092 und für CLASS-Flansche der Normenreihe DIN EN 1759. Die Kombination der Schrauben/Gewindebolzen mit den unterschiedlichen Werkstoffen der PN-Stahlflansche nach DIN EN 1092-1 ist aus DIN EN 1515-2 ersichtlich. Allerdings sind dort nicht die Flanschwerkstoffe selbst angegeben, sondern die Werkstoffgruppen, denen die Flanschwerkstoffe zugeordnet sind.

In der nachstehenden Tabelle sind die Werkstoffe für Schrauben, Gewindebolzen und Muttern sowie deren mögliche Verwendung für ausgewählte Werkstoffgruppen für PN-Stahlflansche aufgeführt.

Folgende drei Festigkeitsstufen werden unterschieden (weitere Details s. DIN EN 1515-2):

- Niedrige Festigkeit: Schrauben dürfen nur für weniger beanspruchte Einsatzfällen oder überdimensionierte Flanschverbindungen verwendet werden. Einschlägige Erfahrungen müssen vorliegen oder eine Nachrechnung erfolgen.
- = Normale Festigkeit: Schrauben können für alle Einsatzfälle im Bereich der Druck/Temperatur-Zuordnung verwendet werden, soweit keine anderen Einschränkungen entgegenstehen.
- + Hohe Festigkeit: Schrauben können für alle Einsatzfälle im Bereich der Druck/Temperatur-Zuordnung verwendet werden. Bei Montage ist jedoch darauf zu achten, dass die Flansche nicht überbeansprucht werden (z. B. Anzugsdrehmoment kontrollieren).

Außer Druck und Temperatur sind alle weiteren Einsatzbedingungen - z. B. das Medium - zu berücksichtigen.

Die Schraubenwerkstoffe 4.6 und 6.8 dürfen nicht im Anwendungsbereich der Druckgeräte-Richtlinie 97/23/EG verwendet werden.

Abb. 150 nebenstehend

				PN-Flansche, kombinierbare Flanschwerkstoffgruppen/-werkstoffe (Auswahl)													
				Geschmiedet	1.0038	1.0460	1.5415	1.7335	1.7383	1.4922	1.4307	1.4301	1.4541	–	1.4404	1.4401	1.4571
				Gegossen	-	1.0619	1.5419	1.7357	1.7379	1.4931	1.4309	1.4308	–	1.4552	1.4409	1.4408	–
				Warmgewalzt	1.0038	1.0425	1.5415	1.7335	–	–	1.4306	1.4301	1.4541	1.4550	1.4404	1.4401	1.4571
PN	Class	Temperaturbereich	Schrauben/ Gewindbolzen	Muttern													
bis	bis	°C	Werkstoff-Nr. Festigkeitskl.	Werkstoff-Nr. Festigkeitskl.	1E1	3E0	4E0	5E0	6E0	9E0	10E0	11E0	12E0	12E0	13E0	14E0	15E0
40	300	-10 - 120	4.6	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	=	-	-
40	300	-10 - 300	5.6	5	=	=	-	-	-	-	+	=	=	=	=	=	=
63	-	-10 - 120	5.6	5	=	=	-	-	-	-	=	=	=	=	=	=	=
40	300	-10 - 300	6.8	6	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
63	-	-10 - 120	6.8	6	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
40	300	-10 - 300	8.8	8	+	+	=	=	=	=	+	+	+	+	+	+	+
63	-	-10 - 120	8.8	8	+	+	=	=	=	=	+	+	+	+	+	+	+
100	2500	-10 - 450	1.7218	1.1181	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
100	2500	-10 - 450	1.7225	1.1191	+	+	=	=	=	=	+	+	+	+	+	+	+
100	2500	-60 - 400	1.7218	A2-50	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
100	2500	-60 - 400	1.7218	A2-70	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
100	2500	-100 - 450	1.7225	1.7225	+	+	=	=	=	=	+	+	+	+	+	+	+
100	2500	-40 - 300	1.6580	1.7225	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
100	2500	-10 - 500	1.7233	1.7225	+	+	+	=	=	=	+	+	+	+	+	+	+
100	2500	-10 - 500	1.7711	1.7225	+	+	+	=	=	=	+	+	+	+	+	+	+
100	2500	-10 - 540	1.7709	1.7709	=	=	=	=	=	=	+	+	+	+	+	+	+
100	2500	-10 - 600	1.7729	1.7729	+	+	+	=	=	=	+	+	+	+	+	+	+
100	2500	-200 - 550	1.4980	1.4980	+	=	=	=	=	=	+	+	+	+	+	+	+
100	2500	-10 - 550	1.4986	1.4986	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
40	300	-200 - 400	A4-50	A4-50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	600	-200 - 400	A4-70	A4-70	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
40	300	-200 - 400	A2-50	A2-50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	600	-200 - 400	A2-70	A2-70	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
40	300	-200 - 550	1.4401	1.4401	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	600	-200 - 200	1.4401 (AT+C)	1.4401	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
40	300	-200 - 550	1.4301	1.4301	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	600	-200 - 200	1.4301 (AT+C)	1.4301	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=

8.2 ASME-Flansche, Rohre

8.2.1 Stahlrohre

ASME B36.10M enthält die Durchmesser und längenbezogenen Massen für nahtlose und für geschweißte Stahlrohre. In der nachstehenden Tabelle ist eine Auswahl an Stahlrohren aufgeführt, und zwar für die Schedules 40 - 160 und die parallel dazu gebräuchlichen Identifikationen „STD“ (Standard), „XS“ (Extra strong) und „XXS“ (Double extra strong).

NPS	Außen- durch- messer	Identifikation			Identifikation			Identifikation			Schedule			Schedule		
		STD			XS			XXS			40			60		
		Wanddicke		Masse	Wanddicke		Masse	Wanddicke		Masse	Wanddicke		Masse	Wanddicke		Masse
		[mm]	[in]	[mm]	[kg/m]	[in]	[mm]	[kg/m]	[in]	[mm]	[kg/m]	[in]	[mm]	[kg/m]	[in]	[mm]
1/8	10,3	0,068	1,7	0,37	0,095	2,4	0,47	-			0,068	1,7	0,37	-		
1/4	13,7	0,088	2,2	0,63	0,119	3,0	0,80	-			0,088	2,2	0,63	-		
3/8	17,1	0,091	2,3	0,84	0,126	3,2	1,10	-			0,091	2,3	0,84	-		
1/2	21,3	0,109	2,7	1,27	0,147	3,7	1,62	0,294	7,4	2,55	0,109	2,7	1,27	-		
3/4	26,7	0,113	2,8	1,69	0,154	3,9	2,20	0,308	7,8	3,64	0,113	2,8	1,69	-		
1	33,4	0,133	3,3	2,50	0,179	4,5	3,24	0,358	9,0	5,45	0,133	3,3	2,50	-		
1 1/4	42,2	0,140	3,5	3,39	0,191	4,8	4,47	0,382	9,7	7,77	0,140	3,5	3,39	-		
1 1/2	48,3	0,145	3,6	4,05	0,200	5,0	5,41	0,400	10,1	9,55	0,145	3,6	4,05	-		
2	60,3	0,154	3,9	5,44	0,218	5,5	7,48	0,436	11,0	13,44	0,154	3,9	5,44	-		
2 1/2	73,0	0,203	5,1	8,63	0,276	7,0	11,41	0,552	14,0	20,39	0,203	5,1	8,63	-		
3	88,9	0,216	5,4	11,29	0,300	7,6	15,27	0,600	15,2	27,68	0,216	5,4	11,29	-		
3 1/2	101,6	0,226	5,7	13,57	0,318	8,0	18,64	-			0,226	5,7	13,57	-		
4	114,3	0,237	6,0	16,08	0,337	8,5	22,32	0,674	17,1	41,03	0,237	6,0	16,08	-		
5	141,3	0,258	6,5	21,77	0,375	9,5	30,97	0,750	19,0	57,43	0,258	6,5	21,77	-		
6	168,3	0,280	7,1	28,26	0,432	10,9	42,56	0,864	21,9	79,22	0,280	7,1	28,26	-		
8	219,1	0,322	8,1	42,55	0,500	12,7	64,64	0,875	22,2	107,93	0,322	8,1	42,55	0,406	10,3	53,09
10	273,0	0,365	9,2	60,29	0,500	12,7	81,53	1,000	25,4	155,1	0,365	9,2	60,29	0,500	12,7	81,53
12	323,8	0,375	9,5	73,86	0,500	12,7	97,44	1,000	25,4	186,92	0,406	10,3	79,71	0,562	14,2	108,93
14	355,6	0,375	9,5	81,33	0,500	12,7	107,40	-			0,438	11,1	94,55	0,594	15,0	126,72
16	406,4	0,375	9,5	93,27	0,500	12,7	123,31	-			0,500	12,7	123,31	0,656	16,6	160,13
18	457	0,375	9,5	105,17	0,500	12,7	139,16	-			0,562	14,2	155,81	0,750	19,0	205,75
20	508	0,375	9,5	117,15	0,500	12,7	155,13	-			0,594	15,0	183,43	0,812	20,6	247,84
22	559	0,375	9,5	129,14	0,500	12,7	171,10	-			-		0,875	22,2	294,27	
24	610	0,375	9,5	141,12	0,500	12,7	187,07	-			0,688	17,4	255,43	0,969	24,6	355,28

Abb. 151a Maße und längenbezogene Massen
(ASME B36.10M - Auswahl)

NPS	Außen- durch- messer	Schedule 80				Schedule 100			Schedule 120			Schedule 140			Schedule 160		
		Wanddicke		Masse		Wanddicke		Masse									
		[mm]	[in]	[mm]	[kg/m]	[in]	[mm]	[kg/m]	[in]	[mm]	[kg/m]	[in]	[mm]	[kg/m]	[in]	[mm]	[kg/m]
1/8	10,3	0,095	2,4	0,47	-			-			-			-			
1/4	13,7	0,119	3,0	0,80	-			-			-			-			
3/8	17,1	0,126	3,2	1,10	-			-			-			-			
1/2	21,3	0,147	3,7	1,62	-			-			-			0,188	4,7	1,95	
3/4	26,7	0,154	3,9	2,20	-			-			-			0,219	5,5	2,90	
1	33,4	0,179	4,5	3,24	-			-			-			0,250	6,3	4,24	
1 1/4	42,2	0,191	4,8	4,47	-			-			-			0,250	6,3	5,61	
1 1/2	48,3	0,200	5,0	5,41	-			-			-			0,281	7,1	7,25	
2	60,3	0,218	5,5	7,48	-			-			-			0,344	8,7	11,11	
2 1/2	73,0	0,276	7,0	11,41	-			-			-			0,375	9,5	14,92	
3	88,9	0,300	7,6	15,27	-			-			-			0,438	11,1	21,35	
3 1/2	101,6	0,318	8,0	18,64	-			-			-			-			
4	114,3	0,337	8,5	22,32	-			0,438	11,1	28,32	-			0,531	13,4	33,54	
5	141,3	0,375	9,5	30,97	-			0,500	12,7	40,28	-			0,625	15,8	49,12	
6	168,3	0,432	10,9	42,56	-			0,562	14,2	54,21	-			0,719	18,2	67,57	
8	219,1	0,500	12,7	64,64	0,594	15,0	75,92	0,719	18,2	90,44	0,812	20,6	100,93	0,906	23,0	111,27	
10	273,0	0,594	15,0	95,98	0,719	18,2	114,71	0,844	21,4	133,01	1,000	25,4	155,10	1,125	28,5	172,27	
12	323,8	0,688	17,4	132,05	0,844	21,4	159,87	1,000	25,4	186,92	1,125	28,5	208,08	1,312	33,3	238,69	
14	355,6	0,750	19,0	158,11	0,938	23,8	194,98	1,094	27,7	224,66	1,250	31,7	253,58	1,406	35,7	281,72	
16	406,4	0,844	21,4	203,54	1,031	26,1	245,57	1,219	30,9	286,66	1,438	36,5	333,21	1,594	40,4	365,38	
18	457	0,938	23,8	254,57	1,156	29,3	309,64	1,375	34,9	363,58	1,562	39,6	408,28	1,781	45,2	459,39	
20	508	1,031	26,1	311,19	1,281	32,5	381,55	1,500	38,1	441,52	1,750	44,4	508,15	1,969	50,1	564,85	
22	559	1,125	28,5	373,85	1,375	34,9	451,45	1,625	41,2	527,05	1,875	47,6	600,67	2,125	53,9	672,30	
24	610	1,219	30,9	442,11	1,531	38,8	547,74	1,812	46,0	640,07	2,062	52,37	720,19	2,344	59,5	808,27	

Abb. 151b Fortsetzung: Maße und längenbezogene Massen
(ASME B36.10M - Auswahl)

8.2.2 Flanschtypen

Die unterschiedlichen Typen von Stahlflanschen in NPS 1/2 - NPS 24 sind in ASME B16.5 genormt. ASME B16.47 gilt für NPS 26 - NPS 60. Graugussflansche finden sich in ASME B16.1.

Benennung	Abbildung	Class	NPS																								
			1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24					
Blindflansch/ Blind		150	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
		300	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		400	s. Class 600											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		600	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		900	s. Class 1500											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		1500	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2500	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Vorschweiß- flansch/ Welding Neck		150	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
		300	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		400	s. Class 600											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		600	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		900	s. Class 1500											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		1500	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2500	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Überschieb- Schweißflansch/ Slip on Welding		150	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
		300	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		400	s. Class 600											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		600	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		900	s. Class 1500											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		1500	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Einsteck- Schweißflansch/ Socket Welding		150	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
		300	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		600	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1500	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Loser Flansch/ Lapped		150	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		300	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		400	s. Class 600											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		600	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		900	s. Class 1500											X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		1500	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2500	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gewindeflansch/ Threaded		150	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
		300	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		400	s. Class 600											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		600	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		900	s. Class 1500											X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		1500	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2500	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Integralflansch/ Flanged Fitting		150	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
		300	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		400	s. Class 600											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		600	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		900	s. Class 1500											X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		1500	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		2500	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Abb.152a Stahlflansche, Typenübersicht (ASME B16.5 - Auswahl)

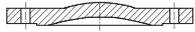
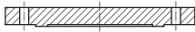
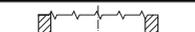
Benennung	Abbildung	Class	NPS																			
			1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24
Blindflansch/ Blind		25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		125	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		250	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gewindeflansch/ Threaded		25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		125	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		250	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Integralflansch/ Flanged Fitting		25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		125	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		250	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Abb. 152b Grauguss, Typenübersicht
(ASME B16.5 - Auswahl)

8.2.3 Flanschwerkstoffe u. Druck/Temperatur-Zuordnung

Stahlwerkstoffe für Flansche sowie deren zulässigen Einsatzdrücke und -temperaturen (p/T Rating) sind in ASME B16.5 festgelegt. ASME B16.1 enthält diese Daten für Graugussflansche.

Einige der in den nachstehenden Tabellen angegebenen Einsatzdaten sind an bestimmte Bedingungen geknüpft. Sie sind den Normen zu entnehmen.

Class	Werkstoffe		Werkstoff- gruppe	zul. Druck p in [bar] bei Temperatur t in [°C]					zul. Druck p in [bar] bei Temperatur t in [°C]											
	geschmiedet	gegossen		20	100	200	250	300	350	400	425	450	475	500	510	520	530	540	550	600
150	A105	A216 Gr. WCB	1.1	19,7	17,7	14,0	12,1	10,2	8,4	6,5	5,6	4,6	3,7	2,8	2,4	2,0	1,7			
	A182 Gr. F1	A217 Gr. WC1	1.5	18,3	17,7	14,0	12,1	10,2	8,4	6,5	5,6	4,6	3,7	2,8	2,4	2,0	1,7			
	A182 Gr. F12 Cl.2	A217 Gr. WC6	1.9	20	17,7	14,0	12,1	10,2	8,4	6,5	5,6	4,6	3,7	2,8	2,4	2,0	1,7	1,4	1,4	1,4
	A182 Gr. F22 Cl.3	A217 Gr. WC9	1.10	20	17,7	14,0	12,1	10,2	8,4	6,5	5,6	4,6	3,7	2,8	2,4	2,0	1,7	1,4	1,4	1,4
300	A105	A216 Gr. WCB	1.1	51,0	46,4	43,9	41,8	38,9	36,9	34,6	28,7	20,2	13,5	8,9	7,2	5,9	4,5			
	A182 Gr. F1	A217 Gr. WC1	1.5	47,9	46,7	44,2	43,0	42,0	40,3	36,5	35,2	33,7	31,7	23,5	19,3	16,5	13,6			
	A182 Gr. F12 Cl.2	A217 Gr. WC6	1.9	51,7	51,5	48,1	46,2	42,9	40,3	36,5	35,2	33,7	31,7	25,3	22,1	19,5	16,9	14,4	12,7	6,0
	A182 Gr. F22 Cl.3	A217 Gr. WC9	1.10	51,7	51,5	48,7	46,3	42,9	40,3	36,5	35,2	33,7	31,7	27,7	25,9	23,0	20,1	17,5	15,3	6,9
400	A105	A216 Gr. WCB	1.1	68,3	61,8	58,4	55,7	51,7	49,2	45,9	38,4	26,6	18,1	11,9	9,7	7,9	6,2			
	A182 Gr. F1	A217 Gr. WC1	1.5	63,8	62,1	59,0	57,5	56,0	53,6	48,9	46,6	45,1	42,3	31,4	25,9	22,0	18,2			
	A182 Gr. F12 Cl.2	A217 Gr. WC6	1.9	68,9	68,7	64,0	61,5	57,0	53,6	48,9	46,7	45,1	42,3	33,6	29,3	26,0	22,6	19,4	17,0	8,1
	A182 Gr. F22 Cl.3	A217 Gr. WC9	1.10	68,9	68,7	65,0	61,7	57,0	53,6	48,9	46,7	45,1	42,3	37,2	34,8	30,8	26,9	23,2	20,4	9,1
600	A105	A216 Gr. WCB	1.1	102,0	92,8	87,8	83,6	77,5	74,0	69,1	57,6	40,1	27,2	17,6	14,1	11,7	9,2			
	A182 Gr. F1	A217 Gr. WC1	1.5	95,8	93,3	88,4	86,3	84,1	80,4	73,3	70,2	67,7	63,4	47,0	38,6	32,9	27,2			
	A182 Gr. F12 Cl.2	A217 Gr. WC6	1.9	103,4	103,0	95,8	92,4	85,7	80,4	73,3	70,2	67,7	63,4	50,6	44,1	38,9	33,7	28,9	25,4	12,0
	A182 Gr. F22 Cl.3	A217 Gr. WC9	1.10	103,4	103,0	97,5	92,7	85,7	80,4	73,3	70,2	67,7	63,4	55,7	52,1	46,2	40,4	34,9	30,7	13,8
900	A105	A216 Gr. WCB	1.1	153,1	139,2	131,4	125,1	116,1	110,8	103,4	86,3	60,2	40,7	26,5	21,4	17,5	13,7			
	A182 Gr. F1	A217 Gr. WC1	1.5	143,8	139,6	132,6	129,3	126,1	120,7	109,8	105,4	101,4	95,1	70,8	58,3	49,6	40,9			
	A182 Gr. F12 Cl.2	A217 Gr. WC6	1.9	155,1	154,4	143,9	138,6	128,6	120,7	109,8	105,4	101,4	95,1	75,6	65,8	58,3	50,7	43,6	38,1	18,3
	A182 Gr. F22 Cl.3	A217 Gr. WC9	1.10	155,1	154,6	146,2	139,0	128,6	120,7	109,8	105,4	101,4	95,1	83,4	77,9	69,2	60,5	52,4	46,0	20,7
1500	A105	A216 Gr. WCB	1.1	255,5	231,9	219,2	208,7	193,6	184,8	172,5	143,9	103,9	67,9	44,1	35,5	29,2	22,8			
	A182 Gr. F1	A217 Gr. WC1	1.5	239,2	233,0	221,0	215,3	210,1	201,1	183,1	175,6	169,0	158,2	117,7	96,9	82,5	68,1			
	A182 Gr. F12 Cl.2	A217 Gr. WC6	1.9	258,6	257,4	239,7	231,0	214,4	201,1	183,1	175,6	169,0	158,2	126,1	110,0	97,2	84,4	72,5	63,5	30,3
	A182 Gr. F22 Cl.3	A217 Gr. WC9	1.10	258,6	257,6	244,0	231,8	214,4	201,1	183,1	175,6	169,0	158,2	138,9	130,0	115,6	101,2	87,6	76,9	34,5
2500	A105	A216 Gr. WCB	1.1	425,4	386,5	365,1	347,6	322,7	308,0	287,5	239,7	167,0	112,9	73,4	59,3	48,6	37,9			
	A182 Gr. F1	A217 Gr. WC1	1.5	398,9	388,4	368,1	359,0	350,2	335,3	304,9	292,5	281,8	263,9	196,4	161,7	137,5	113,3			
	A182 Gr. F12 Cl.2	A217 Gr. WC6	1.9	430,9	429,0	399,5	384,9	357,1	335,3	304,9	292,5	281,8	263,9	210,1	183,1	161,8	140,6	120,8	105,9	50,4
	A182 Gr. F22 Cl.3	A217 Gr. WC9	1.10	430,9	429,4	406,5	386,2	357,1	335,3	304,9	292,5	281,8	263,9	231,7	216,8	192,6	168,4	145,7	127,9	57,4
2500	A182 Gr. F91	A217 Gr. C12A	1.15	430,9	429,4	406,5	386,2	357,1	335,3	304,9	292,5	281,8	263,9	235,0	222,0	217,3	212,6	208,7	208,0	162,5

Abb. 153 Einsatzdaten für ferritische Stahlwerkstoffe (ASME B16.5 - Auswahl)

Class	Werkstoffe		Werkstoff- gruppe	zul. Druck p in [bar] bei Temperatur t in [°C]					zul. Druck p in [bar] bei Temperatur t in [°C]											
	geschmiedet	gegossen		20	100	200	250	300	350	400	425	450	475	500	510	520	530	540	550	600
150	A 182 Gr. F304 / F304H	A 351 Gr. CF3 / CF8	2.1	19,0	15,7	13,2	12,0	10,2	8,4	6,5	5,6	4,6	3,7	2,8	2,4	2,0	1,7			
	A 182 Gr. F316 / F316H	A 351 Gr. CF3M / CF8M	2.2	19,0	16,0	13,6	12,0	10,2	8,4	6,5	5,6	4,6	3,7	2,8	2,4	2,0	1,7			
	A 182 Gr. F304L / F316L	-	2.3	15,9	13,3	11,1	10,2	9,7	8,4	6,5	5,6	4,6								
	A 182 Gr. F321 / F321H	-	2.4	19,0	16,8	14,0	12,1	10,2	8,4	6,5	5,6	4,6	3,7	2,8	2,4	2,0	1,7			
	A 182 Gr. F347/347H/348/348H	A 351 Gr. CF8C	2.5	19,0	17,4	14,0	12,1	10,2	8,4	6,5	5,6	4,6	3,7	2,8	2,4	2,0	1,7			
300	A 182 Gr. F304 / F304H	A 351 Gr. CF3 / CF8	2.1	49,6	40,9	34,4	32,4	30,6	29,6	28,6	28,0	27,3	27,0	26,4	26,2	24,7	23,2	22,0	21,8	16,7
	A 182 Gr. F316 / F316H	A 351 Gr. CF3M / CF8M	2.2	49,6	42,3	35,8	33,5	31,6	30,4	29,3	29,0	29,0	28,7	27,3	26,5	25,7	24,8	24,1	24,0	19,9
	A 182 Gr. F304L / F316L	-	2.3	41,4	34,4	28,8	26,6	25,2	24,0	23,1	22,8	22,2								
	A 182 Gr. F321 / F321H	-	2.4	49,6	44,1	38,2	35,9	34,0	32,8	31,7	31,1	30,7	30,4	27,9	26,5	25,8	25,1	24,3	23,3	18,0
	A 182 Gr. F347/347H/348/348H	A 351 Gr. CF8C	2.5	49,6	45,1	39,9	37,7	36,0	34,7	33,8	33,5	33,4	31,7	28,2	26,5	26,0	25,6	25,1	25,0	21,6
400	A 182 Gr. F304 / F304H	A 351 Gr. CF3 / CF8	2.1	66,2	54,5	45,8	43,2	40,8	39,5	38,2	37,3	36,7	36,0	35,4	35,2	33,2	31,2	29,5	29,0	22,5
	A 182 Gr. F316 / F316H	A 351 Gr. CF3M / CF8M	2.2	66,2	56,2	47,6	44,4	42,0	40,5	39,3	39,0	38,4	38,3	36,5	35,5	34,3	33,0	32,0	31,9	26,4
	A 182 Gr. F304L / F316L	-	2.3	55,2	46,0	38,2	35,7	33,7	32,2	31,0	30,4	29,8								
	A 182 Gr. F321 / F321H	-	2.4	66,2	58,8	51,0	47,8	45,5	43,5	42,0	41,4	41,1	40,8	37,4	35,5	34,5	33,5	32,4	30,9	24,1
	A 182 Gr. F347/347H/348/348H	A 351 Gr. CF8C	2.5	66,2	60,2	53,0	50,2	47,9	46,0	45,1	44,8	44,5	42,2	37,6	35,5	34,8	34,0	33,4	33,3	28,6
600	A 182 Gr. F304 / F304H	A 351 Gr. CF3 / CF8	2.1	99,3	81,7	69,1	64,9	61,4	59,1	57,2	55,6	54,6	54,0	53,1	52,7	49,6	46,5	44,0	43,4	33,6
	A 182 Gr. F316 / F316H	A 351 Gr. CF3M / CF8M	2.2	99,3	84,5	71,2	66,7	63,1	61,0	58,9	58,3	57,7	57,3	54,8	53,4	51,6	49,7	48,2	47,8	39,8
	A 182 Gr. F304L / F316L	-	2.3	82,7	69,1	57,4	53,5	50,5	48,0	46,2	45,5	44,6								
	A 182 Gr. F321 / F321H	-	2.4	99,3	88,1	76,7	71,9	68,3	65,4	63,0	62,1	61,8	61,2	56,2	53,4	51,9	50,5	48,8	46,6	36,4
	A 182 Gr. F347/347H/348/348H	A 351 Gr. CF8C	2.5	99,3	90,3	79,4	75,3	71,7	69,3	67,9	67,3	66,9	63,3	56,5	53,4	52,2	51,0	50,0	49,8	42,9
900	A 182 Gr. F304 / F304H	A 351 Gr. CF3 / CF8	2.1	148,9	122,6	103,4	97,4	92,0	88,7	85,7	83,6	82,3	80,8	79,4	78,9	74,5	70,0	66,3	65,3	50,2
	A 182 Gr. F316 / F316H	A 351 Gr. CF3M / CF8M	2.2	148,9	126,8	107,0	100,2	95,0	91,3	88,2	87,3	86,6	86,0	82,1	80,0	77,2	74,5	72,3	71,8	59,7
	A 182 Gr. F304L / F316L	-	2.3	124,1	103,5	86,2	80,1	75,7	72,1	69,6	68,0	66,8								
	A 182 Gr. F321 / F321H	-	2.4	148,9	132,2	114,8	107,9	102,3	98,3	94,7	93,5	92,6	91,6	84,1	80,0	77,7	75,5	73,1	69,8	54,5
	A 182 Gr. F347/347H/348/348H	A 351 Gr. CF8C	2.5	148,9	135,4	119,3	112,9	107,7	103,7	101,7	100,7	100,4	95,0	84,7	80,0	78,2	76,5	75,1	74,8	64,2
1500	A 182 Gr. F304 / F304H	A 351 Gr. CF3 / CF8	2.1	248,2	204,4	172,5	162,6	153,4	147,8	142,9	139,2	136,9	134,7	132,6	131,7	124,1	116,5	110,3	108,8	83,8
	A 182 Gr. F316 / F316H	A 351 Gr. CF3M / CF8M	2.2	248,2	210,9	178,4	167,0	158,1	152,2	147,1	145,6	144,3	143,3	136,7	133,1	128,6	124,1	120,5	119,7	99,5
	A 182 Gr. F304L / F316L	-	2.3	206,8	172,3	143,5	133,6	126,2	120,1	115,7	113,6	111,4								
	A 182 Gr. F321 / F321H	-	2.4	248,2	220,6	191,5	179,6	170,5	163,8	157,8	155,6	154,0	152,7	140,0	133,1	129,5	125,9	121,9	116,4	90,9
	A 182 Gr. F347/347H/348/348H	A 351 Gr. CF8C	2.5	248,2	225,6	199,0	188,3	179,7	172,9	169,5	168,0	167,3	158,0	140,9	133,1	130,3	127,6	125,4	124,9	107,0
2500	A 182 Gr. F304 / F304H	A 351 Gr. CF3 / CF8	2.1	413,7	340,6	287,4	270,7	255,6	246,2	238,3	232,1	228,2	224,5	220,7	219,3	206,7	194,2	183,9	181,2	139,8
	A 182 Gr. F316 / F316H	A 351 Gr. CF3M / CF8M	2.2	413,7	351,6	297,2	278,1	263,5	253,8	245,3	242,9	240,4	238,9	228,0	222,0	214,4	206,9	200,7	199,5	166,0
	A 182 Gr. F304L / F316L	-	2.3	344,7	287,3	239,1	222,5	210,3	200,3	192,9	189,2	185,4								
	A 182 Gr. F321 / F321H	-	2.4	413,7	367,5	319,1	299,3	284,3	272,8	263,2	259,5	256,9	254,4	233,4	222,0	215,8	209,6	202,8	193,7	151,3
	A 182 Gr. F347/347H/348/348H	A 351 Gr. CF8C	2.5	413,7	376,1	331,4	313,7	299,3	288,3	282,6	280,1	278,8	263,5	235,0	222,0	217,3	212,6	208,7	208,0	178,5

Abb. 154 Einsatzdaten für austenitische und austenitisch-ferritische Stahlwerkstoffe (ASME B16.5 - Auswahl)

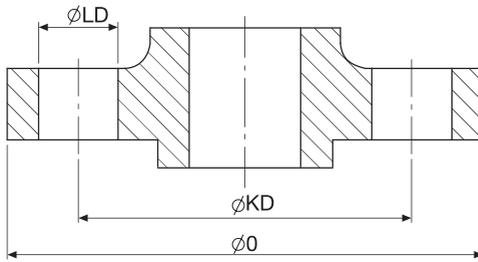
Class	Werkstoff	Druck p in [bar] bei Temperatur t in [°C]									
		20	65	75	100	120	135	150	175	200	230
25	A 126 Cl.A	3,1	3,1	3,0	2,6	2,1	1,7				
	A 126 Cl.A	12,0	12,0	11,8	11,0	10,3	10,0	9,6	8,7		
125	A 126 Cl.B	13,8	13,8	13,5	12,7	12,1	11,7	11,3	10,4	9,8	8,6
	A 126 Cl.A	27,5	27,5	26,8	25,0	23,5	22,4	21,3	19,5	17,7	
250	A 126 Cl.B	34,4	34,4	33,5	31,0	28,7	27,0	25,7	23,4	20,7	17,4
	A 126 Cl.A										

Abb. 155 Einsatzdaten für Graugusswerkstoffe
(ASME B16.1 - Auswahl für NPS 1 - 12")

8.2.4 Flanschanschlussmaße

Die Maße für Stahlflansche bis Class 2500 sind in ASME B16.5 festgelegt und für Graugussflansche bis Class 250 in ASME B16.1.

Für ausgewählte Class- u. NPS-Bereiche sind die wesentlichen Anschlussmaße der Flansche in den nachstehenden Tabellen angegeben. Sofern nichts anders angegeben, gelten sie jeweils für alle Flanschtypen (Vorschweißflansche, Integralflansche, usw.) und alle Dichtflächenausführungen (Dichtleiste, Nut, Feder, usw.).



L = Schraubenlochdurchmesser
K = Lochkreisdurchmesser
D = Außendurchmesser

Abb. 156

NPS	Class 150				Class 300				Class 400				Class 600			
	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl												
	O	KD	LD		O	KD	LD		O	KD	LD		O	KD	LD	
	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]	
1/2	90	60,3	15,7	4	95	66,7	15,7	4	s. Class 600				95	66,7	15,7	4
3/4	100	69,9	15,7	4	115	82,6	19,0	4	s. Class 600				115	82,6	19,0	4
1	110	79,4	15,7	4	125	88,9	19,0	4	s. Class 600				125	88,9	19,0	4
1 1/4	115	88,9	15,7	4	135	98,4	19,0	4	s. Class 600				135	98,4	19,0	4
1 1/2	125	98,4	15,7	4	155	114,3	22,3	4	s. Class 600				155	114,3	22,3	4
2	150	120,7	19,0	4	165	127,0	19,0	8	s. Class 600				165	127,0	19,0	8
2 1/2	180	139,7	19,0	4	190	149,2	22,3	8	s. Class 600				190	149,2	22,3	8
3	190	152,4	19,0	4	210	168,3	22,3	8	s. Class 600				210	168,3	22,3	8
3 1/2	215	177,8	19,0	8	230	184,2	22,3	8	s. Class 600				230	184,2	25,4	8
4	230	190,5	19,0	8	255	200,0	22,3	8	255	200,0	25,4	8	275	215,9	25,4	8
5	255	215,9	22,3	8	280	235,0	22,3	8	280	235,0	25,4	8	330	266,7	28,4	8
6	280	241,3	22,3	8	320	269,9	22,3	12	320	269,9	25,4	12	355	292,1	28,4	12
8	345	298,5	22,3	8	380	330,2	25,4	12	380	330,0	28,4	12	420	349,2	31,7	12
10	405	362,0	25,4	12	445	387,4	28,4	16	445	387,4	31,7	16	510	431,8	35,0	16
12	485	431,8	25,4	12	520	450,8	31,7	16	520	450,8	35,0	16	560	489,0	35,0	20
14	535	476,3	28,4	12	585	514,4	31,7	20	585	514,4	35,0	20	605	527,0	38,1	20
16	595	539,8	28,4	16	650	571,5	35,0	20	650	571,5	38,1	20	685	603,2	41,1	20
18	635	577,9	31,7	16	710	628,6	35,0	24	710	628,6	38,1	24	745	654,0	44,4	20
20	700	635,0	31,7	20	775	685,8	35,0	24	775	685,8	41,1	24	815	723,9	44,4	24
24	815	749,3	35,0	20	915	812,8	41,1	24	915	812,8	47,7	24	940	838,2	50,8	24

**Abb. 157a Anschlussmaße für Stahlflansche (Millimeter)
(ASME B16.5 - Auswahl)**

NPS	Class 900				Class 1500				Class 2500			
	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl
	O	KD	LD		O	KD	LD		O	KD	LD	
	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]		[mm]			
1/2	s. Class 1500				120	82,6	22,3	4	135	88,9	22,3	4
3/4	s. Class 1500				130	88,9	22,3	4	140	95,2	22,3	4
1	s. Class 1500				150	101,6	25,4	4	160	108,0	25,4	4
1 1/4	s. Class 1500				160	111,1	25,4	4	185	130,2	28,4	4
1 1/2	s. Class 1500				180	123,8	28,4	4	205	146,0	31,7	4
2	s. Class 1500				215	165,1	25,4	8	235	171,4	28,4	8
2 1/2	s. Class 1500				245	190,5	28,4	8	265	196,8	31,7	8
3	240	190,5	25,4	8	265	203,2	31,7	8	305	228,6	35,0	8
3 1/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	290	235,0	31,7	8	310	241,3	35,0	8	355	273,0	41,1	8
5	350	279,4	35,0	8	375	292,1	41,1	8	420	323,8	47,7	8
6	380	317,5	31,7	12	395	317,5	38,1	12	485	368,3	53,8	8
8	470	393,7	38,1	12	485	393,7	44,4	12	550	438,2	53,8	12
10	545	469,9	38,1	16	585	482,6	50,8	12	675	539,8	66,5	12
12	610	533,4	38,1	20	675	571,5	53,8	16	760	619,1	73,1	12
14	640	558,8	41,1	20	750	635,0	60,4	16	-	-	-	-
16	705	616,0	44,4	20	825	704,8	66,5	16	-	-	-	-
18	785	685,8	50,8	20	915	774,7	73,1	16	-	-	-	-
20	855	749,3	53,8	20	985	831,8	79,2	16	-	-	-	-
24	1040	901,7	66,5	20	1170	990,6	91,9	16	-	-	-	-

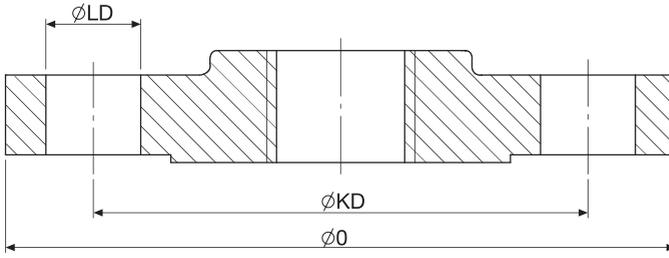
Abb. 157b Forts. Anschlussmaße für Stahlflansche (Millimeter)
(ASME B16.5 - Auswahl)

NPS	Class 150				Class 300				Class 400				Class 600			
	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl												
	O	KD	LD		O	KD	LD		O	KD	LD		O	KD	LD	
	[in]	[in]	[in]		[in]	[in]	[in]		[in]	[in]	[in]		[in]	[in]	[in]	
1/2	3,50	2,38	0,62	4	3,75	2,62	0,62	4	s. Class 600				3,75	2,62	0,62	4
3/4	3,88	2,75	0,62	4	4,62	3,25	0,75	4	s. Class 600				4,62	3,25	0,75	4
1	4,25	3,12	0,62	4	4,88	3,50	0,75	4	s. Class 600				4,88	3,50	0,75	4
1 1/4	4,62	3,50	0,62	4	5,25	3,88	0,75	4	s. Class 600				5,25	3,88	0,75	4
1 1/2	5,00	3,88	0,62	4	6,12	4,50	0,88	4	s. Class 600				6,12	4,50	0,88	4
2	6,00	4,75	0,75	4	6,50	5,00	0,75	8	s. Class 600				6,50	5,00	0,75	8
2 1/2	7,00	5,50	0,75	4	7,50	5,88	0,88	8	s. Class 600				7,50	5,88	0,88	8
3	7,50	6,00	0,75	4	8,25	6,62	0,88	8	s. Class 600				8,25	6,62	0,88	8
3 1/2	8,50	7,00	0,75	8	9,00	7,25	0,88	8	s. Class 600				9,00	7,25	1,00	8
4	9,00	7,50	0,75	8	10,00	7,88	0,88	8	10,00	7,88	1,00	8	10,75	8,50	1,00	8
5	10,00	8,50	0,88	8	11,00	9,25	0,88	8	11,00	9,25	1,00	8	13,00	10,50	1,12	8
6	11,00	9,50	0,88	8	12,50	10,62	0,88	12	12,50	10,62	1,00	12	14,00	11,50	1,12	12
8	13,50	11,75	0,88	8	15,00	13,00	1,00	12	15,00	13,00	1,12	12	16,50	13,75	1,25	12
10	16,00	14,25	1,00	12	17,50	15,25	1,12	16	17,50	15,25	1,25	16	20,00	17,00	1,38	16
12	19,00	17,00	1,00	12	20,50	17,75	1,25	16	20,50	17,75	1,38	16	22,00	19,25	1,38	20
14	21,00	18,75	1,12	12	23,00	20,25	1,25	20	23,00	20,25	1,38	20	23,75	20,75	1,50	20
16	23,50	21,25	1,12	16	25,50	22,50	1,38	20	25,50	22,50	1,50	20	27,00	23,75	1,62	20
18	25,00	22,75	1,25	16	28,00	24,75	1,38	24	28,00	24,75	1,50	24	29,25	25,75	1,75	20
20	27,50	25,00	1,25	20	30,50	27,00	1,38	24	30,50	27,00	1,62	24	32,00	28,50	1,75	24
24	32,00	29,50	1,38	20	36,00	32,00	1,62	24	36,00	32,00	1,88	24	37,00	33,00	2,00	24

Abb. 158a Anschlussmaße für Stahlflansche (Inch)
(ASME B16.5 - Auswahl)

NPS	Class 900				Class 1500				Class 2500			
	Außen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl	Außen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl	Außen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl
	O	KD	LD		O	KD	LD		O	KD	LD	
	[in]	[in]	[in]	[in]	[in]	[in]	[in]	[in]	[in]	[in]		
1/2	s. Class 1500				4,75	3,25	0,88	4	5,25	3,50	0,88	4
3/4	s. Class 1500				5,12	3,50	0,88	4	5,50	3,75	0,88	4
1	s. Class 1500				5,88	4,00	1,00	4	6,25	4,25	1,00	4
1 1/4	s. Class 1500				6,25	4,38	1,00	4	7,25	5,12	1,12	4
1 1/2	s. Class 1500				7,00	4,88	1,12	4	8,00	5,75	1,25	4
2	s. Class 1500				8,50	6,50	1,00	8	9,25	6,75	1,12	8
2 1/2	s. Class 1500				9,62	7,50	1,12	8	10,50	7,75	1,25	8
3	9,50	7,50	1,00	8	10,50	8,00	1,25	8	12,00	9,00	1,38	8
3 1/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	11,50	9,25	1,25	8	12,25	9,50	1,38	8	14,00	10,75	1,62	8
5	13,75	11,00	1,38	8	14,75	11,50	1,62	8	16,50	12,75	1,88	8
6	15,00	12,50	1,25	12	15,50	12,50	1,50	12	19,00	14,50	2,12	8
8	18,50	15,50	1,50	12	19,00	15,50	1,75	12	21,75	17,25	2,12	12
10	21,50	18,50	1,50	16	23,00	19,00	2,00	12	26,50	21,25	2,62	12
12	24,00	21,00	1,50	20	26,50	22,50	2,12	16	30,00	24,38	2,88	12
14	25,25	22,00	1,62	20	29,50	25,00	2,38	16	-	-	-	-
16	27,75	24,25	1,75	20	32,50	27,75	2,62	16	-	-	-	-
18	31,00	27,00	2,00	20	36,00	30,50	2,88	16	-	-	-	-
20	33,75	29,50	2,12	20	38,75	32,75	3,12	16	-	-	-	-
24	41,00	35,50	2,62	20	46,00	39,00	3,62	16	-	-	-	-

Abb. 158b Forts. Anschlussmaße für Stahlflansche (Inch)
(ASME B16.5 - Auswahl)



L = Schraubenloch-
durchmesser
K = Lochkreis-
durchmesser
D = Außendurch-
messer

Abb. 159

NPS	Class 25				Class 125				Class 250			
	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl
	O	KD	LD		O	KD	LD		O	KD	LD	
	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]	
1/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	107,9	79,2	15,7	4	23,9	88,9	19,0	4
1 1/4	-	-	-	-	117,3	88,9	15,7	4	133,3	98,5	19,0	4
1 1/2	-	-	-	-	127,0	98,5	15,7	4	155,8	114,3	22,3	4
2	-	-	-	-	152,4	120,6	19,0	4	165,1	127	19,0	8
2 1/2	-	-	-	-	177,8	139,7	19,0	4	190,5	149,3	22,3	8
3	-	-	-	-	190,5	152,4	19,0	4	209,5	168,1	22,3	8
3 1/2	-	-	-	-	215,9	177,8	19,0	8	228,6	184,1	22,3	8
4	228,6	190,5	19,0	8	228,6	190,5	19,0	8	254,0	200,1	22,3	8
5	254,0	215,9	19,0	8	254,0	215,9	22,3	8	279,4	234,9	22,3	8
6	279,4	241,3	19,0	8	279,4	241,3	22,3	8	317,5	269,7	22,3	12
8	342,9	298,4	19,0	8	342,9	298,4	22,3	8	381,0	330,2	25,4	12
10	406,4	361,9	19,0	12	406,4	361,9	25,4	12	444,5	387,3	28,4	16
12	482,6	431,8	19,0	12	482,6	431,8	25,4	12	520,7	450,8	31,7	16
14	533,4	476,2	22,3	12	533,4	476,2	28,4	12	584,2	514,3	31,7	20
16	596,9	539,7	22,3	16	596,9	539,7	28,4	16	647,7	571,5	35,0	20
18	635,0	577,8	22,3	16	635,0	577,8	31,7	16	711,2	628,6	35,0	24
20	698,5	635,0	22,3	20	698,5	635	31,7	20	774,7	685,8	35,0	24
24	812,8	749,3	22,3	20	812,8	749,3	35,0	20	914,4	812,8	41,1	24

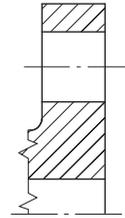
Abb. 160 Anschlussmaße für Graugussflansche (Millimeter)
(ASME B16.1 - Auswahl)

NPS	Class 25				Class 125				Class 250			
	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl	Äußen- durchmesser	Lochkreis- durchmesser	Schraubenloch- durchmesser	Schrauben- anzahl
	O	KD	LD		O	KD	LD		O	KD	LD	
	[in]	[in]	[in]		[in]	[in]	[in]		[in]	[in]	[in]	
1/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	4,25	3,12	0,62	4	4,88	3,50	0,75	4
1 1/4	-	-	-	-	4,62	3,50	0,62	4	5,25	3,88	0,75	4
1 1/2	-	-	-	-	5,00	3,88	0,62	4	6,12	4,50	0,88	4
2	-	-	-	-	6,00	4,75	0,75	4	6,50	5,00	0,75	8
2 1/2	-	-	-	-	7,00	5,50	0,75	4	7,50	5,88	0,88	8
3	-	-	-	-	7,50	6,00	0,75	4	8,25	6,62	0,88	8
3 1/2	-	-	-	-	8,50	7,00	0,75	8	9,00	7,25	0,88	8
4	9,00	7,50	0,75	8	9,00	7,50	0,75	8	10,00	7,88	0,88	8
5	10,00	8,50	0,75	8	10,00	8,50	0,88	8	11,00	9,25	0,88	8
6	11,00	9,50	0,75	8	11,00	9,50	0,88	8	12,50	10,62	0,88	12
8	13,50	11,75	0,75	8	13,50	11,75	0,88	8	15,00	13,00	1,00	12
10	16,00	14,25	0,75	12	16,00	14,25	1,00	12	17,50	15,25	1,12	16
12	19,00	17,00	0,75	12	19,00	17,00	1,00	12	20,50	17,75	1,25	16
14	21,00	18,75	0,88	12	21,00	18,75	1,12	12	23,00	20,25	1,25	20
16	23,50	21,25	0,88	16	23,50	21,25	1,12	16	25,50	22,50	1,38	20
18	25,00	22,75	0,88	16	25,00	22,75	1,25	16	28,00	24,75	1,38	24
20	27,50	25,00	0,88	20	27,50	25,00	1,25	20	30,50	27,00	1,38	24
24	32,00	29,50	0,88	20	32,00	29,50	1,38	20	36,00	32,00	1,62	24

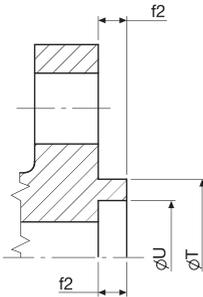
Abb. 161 Anschlussmaße für Graugussflansche (Inch)
(ASME B16.1 - Auswahl)

8.2.5 Flanschdichtflächen

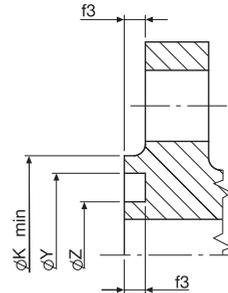
Bei Flanschverbindungen sind unterschiedliche Dichtungsarten und dementsprechend unterschiedliche Formen der Dichtflächen an den Flanschen üblich. Auch die Rauigkeit der Dichtflächen ist unterschiedlich. Nachstehend sind die aktuellen Dichtflächen für Stahlflansche nach ASME B16.5 und für Graugussflansche nach ASME B16.1 angegeben.



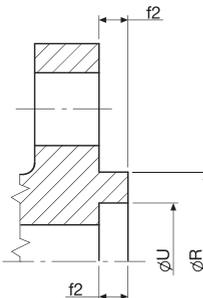
Flat Face
Flansch ohne Dichtleiste



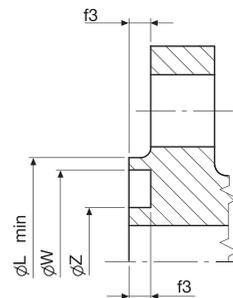
Small Tongue Face
Flansch mit kleiner Feder



Small Groove Face
Flansch mit kleiner Nut

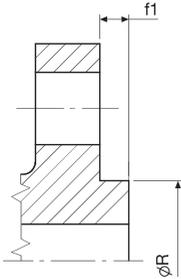


Large Tongue Face
Flansch mit großer Feder

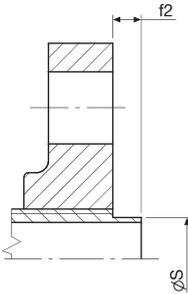


Large Groove Face
Flansch mit großer Nut

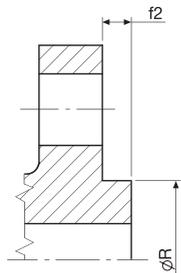
Abb. 162a Dichtflächenmaße



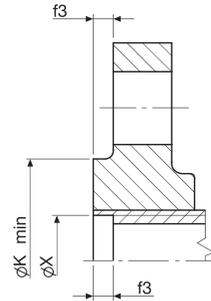
Raised Face
Flansch mit Dichtleiste



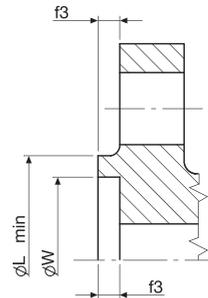
Small Male Face
Flansch mit kleinem Vorsprung



Large Male Face
Flansch mit großem Vorsprung



Small Female Face
Flansch mit kleinem Rücksprung



Large Female Face
Flansch mit großem Rücksprung

Abb. 162b Fortsetzung Dichtflächenmaße

												CL 150 - CL 300	CL 400 - CL 2500		
NPS	R	K	L	S	T	U	W	X	Y	Z	f1	f1	f2	f3	
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
1/2	34,9	44	46	18,3	35,1	25,4	36,5	19,9	36,5	23,8	1,52	6,35	6,35	4,82	
3/4	42,9	52	54	23,8	42,9	33,3	44,4	25,4	44,4	31,8	1,52	6,35	6,35	4,82	
1	50,8	57	62	30,2	47,8	38,1	52,4	31,8	49,2	36,5	1,52	6,35	6,35	4,82	
1 1/4	63,5	67	75	38,1	57,2	47,6	65,1	39,7	58,7	46,0	1,52	6,35	6,35	4,82	
1 1/2	73,0	73	84	44,4	63,5	54,0	74,6	46,0	65,1	52,4	1,52	6,35	6,35	4,82	
2	92,1	92	103	57,2	82,6	73,0	93,7	58,8	84,1	71,4	1,52	6,35	6,35	4,82	
2 1/2	104,8	105	116	68,3	95,2	85,7	106,4	69,8	96,8	84,1	1,52	6,35	6,35	4,82	
3	127,0	127	138	84,1	117,5	108,0	128,6	85,7	119,1	106,4	1,52	6,35	6,35	4,82	
3 1/2	139,7	140	151	96,8	130,2	120,6	141,3	98,4	131,8	119,1	1,52	6,35	6,35	4,82	
4	157,2	157	168	109,5	144,5	131,8	158,8	111,1	146,0	130,2	1,52	6,35	6,35	4,82	
5	185,7	186	197	136,5	173,0	160,3	187,3	138,1	174,6	158,8	1,52	6,35	6,35	4,82	
6	215,9	216	227	161,9	203,2	190,5	217,5	163,5	204,8	188,9	1,52	6,35	6,35	4,82	
8	269,9	270	281	212,7	254,0	238,1	271,5	214,3	255,6	236,5	1,52	6,35	6,35	4,82	
10	323,8	324	335	266,7	304,8	285,8	325,4	268,3	306,4	284,2	1,52	6,35	6,35	4,82	
12	381,0	381	392	317,5	362,0	342,9	382,6	319,1	363,5	341,3	1,52	6,35	6,35	4,82	
14	412,8	413	424	349,2	393,7	374,6	414,3	350,8	395,3	373,1	1,52	6,35	6,35	4,82	
16	469,9	470	481	400,0	447,5	425,4	471,5	401,6	449,3	423,9	1,52	6,35	6,35	4,82	
18	533,4	533	544	450,8	511,2	489,0	535,0	452,4	512,8	487,4	1,52	6,35	6,35	4,82	
20	584,2	584	595	501,6	558,8	533,4	585,8	503,2	560,4	531,8	1,52	6,35	6,35	4,82	
24	692,2	692	703	603,2	666,8	641,4	693,7	604,8	668,3	639,8	1,52	6,35	6,35	4,82	

Abb. 163 Dichtflächenmaße für Stahlflansche (Millimeter), ohne Ring joint (ASME B16.5 - Auswahl)

											CL 150 - CL 300	CL 400 - CL 2500		
NPS	R	K	L	S	T	U	W	X	Y	Z	f1	f1	f2	f3
	[in]	[in]	[in]	[in]										
1/2	1,38	1,75	1,81	0,72	1,38	1,00	1,44	0,78	1,44	0,94	0,06	0,25	0,25	0,19
3/4	1,69	2,06	2,12	0,94	1,69	1,31	1,75	1,00	1,75	1,25	0,06	0,25	0,25	0,19
1	2,00	2,25	2,44	1,19	1,88	1,50	2,06	1,25	1,94	1,44	0,06	0,25	0,25	0,19
1 1/4	2,50	2,62	2,94	1,50	2,25	1,88	2,56	1,56	2,31	1,81	0,06	0,25	0,25	0,19
1 1/2	2,88	2,88	3,31	1,75	2,50	2,12	2,94	1,81	2,56	2,06	0,06	0,25	0,25	0,19
2	3,62	3,62	4,06	2,25	3,25	2,88	3,69	2,31	3,31	2,81	0,06	0,25	0,25	0,19
2 1/2	4,12	4,12	4,56	2,69	3,75	3,38	4,19	2,75	3,81	3,31	0,06	0,25	0,25	0,19
3	5,00	5,00	5,44	3,31	4,62	4,25	5,06	3,38	4,69	4,19	0,06	0,25	0,25	0,19
3 1/2	5,50	5,50	5,94	3,81	5,12	4,75	5,56	3,88	5,19	4,69	0,06	0,25	0,25	0,19
4	6,19	6,19	6,62	4,31	5,69	5,19	6,25	4,38	5,75	5,12	0,06	0,25	0,25	0,19
5	7,31	7,31	7,75	5,38	6,81	6,31	7,38	5,44	6,88	6,25	0,06	0,25	0,25	0,19
6	8,50	8,50	8,94	6,38	8,00	7,50	8,56	6,44	8,06	7,44	0,06	0,25	0,25	0,19
8	10,62	10,62	11,06	8,38	10,00	9,38	10,69	8,44	10,06	9,31	0,06	0,25	0,25	0,19
10	12,75	12,75	13,19	10,50	12,00	11,25	12,81	10,56	12,06	11,19	0,06	0,25	0,25	0,19
12	15,00	15,00	15,44	12,50	14,25	13,50	15,06	12,56	14,31	13,44	0,06	0,25	0,25	0,19
14	16,25	16,25	16,69	13,75	15,50	14,75	16,31	13,81	15,56	14,69	0,06	0,25	0,25	0,19
16	18,50	18,50	18,94	15,75	17,62	16,75	18,56	15,81	17,69	16,69	0,06	0,25	0,25	0,19
18	21,00	21,00	21,44	17,75	20,12	19,25	21,06	17,81	20,19	19,19	0,06	0,25	0,25	0,19
20	23,00	23,00	23,44	19,75	22,00	21,00	23,06	19,81	22,06	20,94	0,06	0,25	0,25	0,19
24	27,25	27,25	27,69	23,75	26,25	25,25	27,31	23,81	26,31	25,19	0,06	0,25	0,25	0,19

Abb. 164 Dichtflächenmaße für Stahlflansche (Inch), ohne Ring joint (ASME B16.5 - Auswahl)

NPS	R	f1	R	f1
	[mm]	[mm]	[in]	[in]
1/2	–	–	–	–
3/4	–	–	–	–
1	68,32	1,52	2,69	0,06
1 1/4	77,72	1,52	3,06	0,06
1 1/2	90,42	1,52	3,56	0,06
2	106,42	1,52	4,19	0,06
2 1/2	125,47	1,52	4,94	0,06
3	144,52	1,52	5,69	0,06
3 1/2	160,27	1,52	6,31	0,06
4	176,27	1,52	6,94	0,06
5	211,07	1,52	8,31	0,06
6	246,12	1,52	9,69	0,06
8	303,27	1,52	11,94	0,06
10	357,12	1,52	14,06	0,06
12	417,57	1,52	16,44	0,06
14	481,07	1,52	18,94	0,06
16	534,92	1,52	21,06	0,06
18	592,07	1,52	23,31	0,06
20	649,22	1,52	25,56	0,06
24	769,87	1,52	30,31	0,06

Abb.165 Dichtflächenmaße für Graugussflansche Class 250
 (ASME B16.1 - Auswahl)
 (Flansche Class 25 und 125 stets mit flat face, also ohne Dichtleiste)

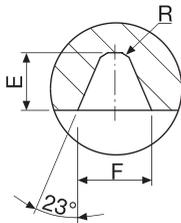


Abb. 166

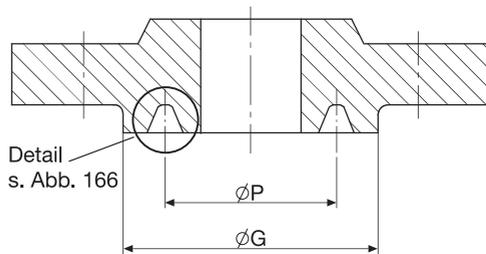


Abb. 167 Achtung! Durchmesser G gemäß ANSI B16.5 wählen (abweichend zu RF-Flanschen).

Class							Nut- Nr.	P	E	F	R	P	E	F	R
150	300	400 a)	600	900 b)	1500	2500		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[in]	[in]	[in]	[in]
NPS								[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[in]	[in]	[in]	[in]
-	½	-	½	-	-	-	R11	34,14	5,54	7,14	0,8	1,344	0,219	0,281	0,03
-	-	-	-	-	½	-	R12	39,67	6,35	8,74	0,8	1,562	0,250	0,344	0,03
-	¾	-	¾	-	-	½	R13	42,88	6,35	8,74	0,8	1,688	0,250	0,344	0,03
-	-	-	-	-	¾	-	R14	44,45	6,35	8,74	0,8	1,750	0,250	0,344	0,03
1	-	-	-	-	-	-	R15	47,63	6,35	8,74	0,8	1,875	0,250	0,344	0,03
-	1	-	1	-	1	¾	R16	50,80	6,35	8,74	0,8	2,000	0,250	0,344	0,03
1 ¼	-	-	-	-	-	-	R17	57,15	6,35	8,74	0,8	2,250	0,250	0,344	0,03
-	1 ¼	-	1 ¼	-	1 ¼	1	R18	60,33	6,35	8,74	0,8	2,375	0,250	0,344	0,03
1 ½	-	-	-	-	-	-	R19	65,07	6,35	8,74	0,8	2,562	0,250	0,344	0,03
-	1 ½	-	1 ½	-	1 ½	-	R20	68,27	6,35	8,74	0,8	2,688	0,250	0,344	0,03
-	-	-	-	-	-	1 ¼	R21	72,23	7,92	11,91	0,8	2,844	0,312	0,469	0,03
2	-	-	-	-	-	-	R22	82,55	6,35	8,74	0,8	3,250	0,250	0,344	0,03
-	2	-	2	-	-	1 ½	R23	82,55	7,92	11,91	0,8	3,250	0,312	0,469	0,03
-	-	-	-	-	2	-	R24	95,25	7,92	11,91	0,8	3,750	0,312	0,469	0,03
2 ½	-	-	-	-	-	-	R25	101,60	6,35	8,74	0,8	4,000	0,250	0,344	0,03
-	2 ½	-	2 ½	-	-	2	R26	101,60	7,92	11,91	0,8	4,000	0,312	0,469	0,03
-	-	-	-	-	2 ½	-	R27	107,95	7,92	11,91	0,8	4,250	0,312	0,469	0,03
-	-	-	-	-	-	2 ½	R28	111,13	9,52	13,49	0,8	4,375	0,375	0,531	0,06
3	-	-	-	-	-	-	R29	114,30	6,35	8,74	0,8	4,500	0,250	0,344	0,03
-	c)	-	c)	-	-	-	R30	117,48	7,92	11,91	0,8	4,625	0,312	0,469	0,03
-	3 c)	-	3 c)	3	-	-	R31	123,83	7,92	11,91	0,8	4,875	0,312	0,469	0,03
-	-	-	-	-	-	3	R32	127,00	9,53	13,49	1,5	5,000	0,375	0,531	0,06
3 ½	-	-	-	-	-	-	R33	131,78	6,35	8,74	0,8	5,188	0,250	0,344	0,03
-	3 ½	-	3 ½	-	-	-	R34	131,78	7,92	11,91	0,8	5,188	0,312	0,469	0,03
-	-	-	-	-	3	-	R35	136,53	7,92	11,91	0,8	5,375	0,312	0,469	0,03
4	-	-	-	-	-	-	R36	149,23	6,35	8,74	0,8	5,875	0,250	0,344	0,03
-	4	4	4	4	-	-	R37	149,23	7,92	11,91	0,8	5,875	0,312	0,469	0,03
-	-	-	-	-	-	4	R38	157,18	11,13	16,66	1,5	6,188	0,438	0,656	0,06
-	-	-	-	-	4	-	R39	161,93	7,92	11,91	0,8	6,375	0,312	0,469	0,03
5	-	-	-	-	-	-	R40	171,45	6,35	8,74	0,8	6,750	0,250	0,344	0,03
-	5	5	5	5	-	-	R41	180,98	7,92	11,91	0,8	7,125	0,312	0,469	0,03
-	-	-	-	-	-	5	R42	190,50	12,70	19,84	1,5	7,500	0,500	0,781	0,06
6	-	-	-	-	-	-	R43	193,68	6,35	8,74	0,8	7,625	0,250	0,344	0,03
-	-	-	-	-	5	-	R44	193,68	7,92	11,91	0,8	7,625	0,312	0,469	0,03
-	6	6	6	6	-	-	R45	211,12	7,92	11,91	0,8	8,312	0,312	0,469	0,03

Abb. 168a Dichtflächenmaße für Stahlflansche Ring Joint (ASME B16.5 - Auswahl)

a) Nennweiten ½ in bis 3 ½ in : Angaben für 600 psi verwenden.

b) Nennweiten ½ in bis 2 ½ in : Angaben für 1500 psi verwenden.

c) Für Verbindungen mit Losflanschen (lapped flanges) werden Ring und Nut-Nummer R30 anstelle R31 benutzt.

Class							Nut- Nr.	P	E	F	R	P	E	F	R
150	300	400 a)	600	900 b)	1500	2500		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[in]	[in]	[in]	[in]
NPS								[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[in]	[in]	[in]	[in]
-	-	-	-	-	6	-	R46	211,14	9,53	13,49	1,5	8,312	0,375	0,531	0,06
-	-	-	-	-	-	6	R47	228,60	12,70	19,84	1,5	9,000	0,500	0,781	0,06
8	-	-	-	-	-	-	R48	247,65	6,35	8,74	0,8	9,750	0,250	0,344	0,03
-	8	8	8	8	-	-	R49	269,88	7,92	11,91	0,8	10,625	0,312	0,469	0,03
-	-	-	-	-	8	-	R50	269,88	11,13	16,66	1,5	10,625	0,438	0,656	0,06
-	-	-	-	-	-	8	R51	279,40	14,27	23,01	1,5	11,000	0,562	0,906	0,06
10	-	-	-	-	-	-	R52	304,80	6,35	8,74	0,8	12,000	0,250	0,344	0,03
-	10	10	10	10	-	-	R53	323,85	7,92	11,91	0,8	12,750	0,312	0,469	0,03
-	-	-	-	-	10	-	R54	323,85	11,13	16,66	1,5	12,750	0,438	0,656	0,06
-	-	-	-	-	-	10	R55	342,90	17,48	30,18	2,4	13,500	0,688	1,188	0,09
12	-	-	-	-	-	-	R56	381,00	6,35	8,74	0,8	15,000	0,250	0,344	0,03
-	12	12	12	12	-	-	R57	381,00	7,92	11,91	0,8	15,000	0,312	0,469	0,03
-	-	-	-	-	12	-	R58	381,00	14,27	23,01	1,5	15,000	0,562	0,906	0,06
14	-	-	-	-	-	-	R59	396,88	6,35	8,74	0,8	15,625	0,250	0,344	0,03
-	-	-	-	-	-	12	R60	406,40	17,48	33,32	2,4	16,000	0,688	1,312	0,09
-	14	14	14	-	-	-	R61	419,10	7,92	11,91	0,8	16,500	0,312	0,469	0,03
-	-	-	-	14	-	-	R62	419,10	11,13	16,66	1,5	16,500	0,438	0,656	0,06
-	-	-	-	-	14	-	R63	419,10	15,88	26,97	2,4	16,500	0,625	1,062	0,09
16	-	-	-	-	-	-	R64	454,03	6,35	8,74	0,8	17,875	0,250	0,344	0,03
-	16	16	16	-	-	-	R65	469,90	7,92	11,91	0,8	18,500	0,312	0,469	0,03
-	-	-	-	16	-	-	R66	469,90	11,13	16,66	1,5	18,500	0,438	0,656	0,06
-	-	-	-	-	16	-	R67	469,90	17,48	30,18	2,4	18,500	0,688	1,188	0,09
18	-	-	-	-	-	-	R68	517,53	6,35	8,74	0,8	20,375	0,250	0,344	0,03
-	18	18	18	-	-	-	R69	533,40	7,92	11,91	0,8	21,000	0,312	0,469	0,03
-	-	-	-	18	-	-	R70	533,40	12,70	19,84	1,5	21,000	0,500	0,781	0,06
-	-	-	-	-	18	-	R71	533,40	17,48	30,18	2,4	21,000	0,688	1,188	0,09
20	-	-	-	-	-	-	R72	558,80	6,35	8,74	0,8	22,000	0,250	0,344	0,03
-	20	20	20	-	-	-	R73	584,20	9,53	13,49	1,5	23,000	0,375	0,531	0,06
-	-	-	-	20	-	-	R74	584,20	12,70	19,84	1,5	23,000	0,500	0,781	0,06
-	-	-	-	-	20	-	R75	584,20	17,48	33,32	2,4	23,000	0,688	1,312	0,09
24	-	-	-	-	-	-	R76	673,10	6,35	8,74	0,8	26,500	0,250	0,344	0,03
-	24	24	24	-	-	-	R77	692,15	11,18	16,66	1,5	27,250	0,438	0,656	0,06
-	-	-	-	24	-	-	R78	692,15	15,88	26,97	2,4	27,250	0,625	1,062	0,09
-	-	-	-	-	24	-	R79	692,15	20,62	36,53	2,4	27,250	0,812	1,438	0,09

Abb. 168b Fortsetzung Dichtflächenmaße für Stahlflansche Ring Joint

(ASME B16.5 - Auswahl)

- a) Nennweiten 1/2 in bis 3 1/2 in : Angaben für 600 psi verwenden.
- b) Nennweiten 1/2 in bis 2 1/2 in : Angaben für 1500 psi verwenden.
- c) Für Verbindungen mit Losflanschen (lapped flanges) werden Ring und Nute Nummer R30 anstelle R31 benutzt.

8.2.5.1 Dichtflächenrauigkeit

Nachstehend sind die aktuellen Dichtflächen für Stahlflansche nach ASME B16.5 und für Graugussflansche nach ASME B16.1 angegeben.

Benennung	Rauigkeit Ra[μ m]	Abbildung
Glatte Dichtfläche (ohne Dichtleiste)		
Flat face	6,3 - 3,2	
Dichtleiste		
Raised face	6,3 - 3,2 *)	
Feder, Nut		
Large tongue face (große Feder)	3,2 - 1,6	
Small tongue face (kleine Feder)	3,2 - 1,6	
Large groove face (große Nut)	3,2 - 1,6	
Small groove face (kleine Nut)	3,2 - 1,6	
Vorsprung, Rücksprung		
Large male face (großer Vorsprung)	6,3 - 3,2 *)	
Small male face (kleiner Vorsprung)	3,2 - 1,6 *)	
Large female face (großer Rücksprung)	6,3 - 3,2 *)	
Small female face (kleiner Rücksprung)	3,2 - 1,6 *)	
Ringnut, trapezförmig		
Ring joint face	1,6 - 0,8	
<p>Abb. 169 Rauigkeiten für Stahlflansche (AMSE B16.5 - Auswahl) *) vorgeschriebene Rillung</p>		

Benennung	Rauigkeit Ra[μ m]	Abbildung
Glatte Dichtfläche (ohne Dichtleiste)		
Flat face	12,5 - 6,3 *)	
Dichtleiste		
Raised face	12,5 - 6,3 *)	
Abb. 170 Rauigkeiten für Gusseisenflansche (AMSE B16.1 - Auswahl) *) vorgeschriebene Rillung		

8.2.6 Flanschschrauben u. -muttern

Geeignete Werkstoffe für Schrauben, Gewindebolzen und Muttern (Befestigungsteile) für CLASS-Flansche sind in ASME B16.5 angegeben.

In der nachstehenden Tabelle ist eine Auswahl von Werkstoffen für Befestigungsteile für Stahlflansche aufgeführt.

Folgende drei Festigkeitsstufen werden unterschieden (weitere Details s. ASME B16.5):

- Geringe Festigkeit (Low strength bolting): Befestigungsteile dürfen für alle Flanschwerkstoffe aus ASME B 16.5 verwendet werden, allerdings nur für Class 150 und Class 300. Dies auch nur gemeinsam mit Flanschdichtungen nach ASME B16.5, ANNEX E, Fig. E1, Dichtungsgruppe la.
- Mittlere Festigkeit (Intermediate strength bolting): Befestigungsteile dürfen für alle Flanschwerkstoffe und Dichtungen aus ASME B 16.5 verwendet werden. Allerdings muss der Nachweis erbracht werden, dass die Dichtung ausreichend verpresst wird und eine dichte Verbindung unter den Betriebsbedingungen gewährleistet ist.
- Hohe Festigkeit (High strength bolting): Befestigungsteile dürfen für alle Flanschwerkstoffe und Dichtungen aus ASME B 16.5 verwendet werden.

Class	Schrauben/ Gewindebolzen	Mutter	Geringe Festigkeit	Mittlere Festigkeit	Hohe Festigkeit	Erhöhte Temperatur	Tiefe Temperatur
bis	ASTM-Werkstoff	ASTM-Werkstoff					
300	A193 B8 Class 1	A194 8	X			X	
300	A193 B8A	A194 8A	X			X	
300	A193 B8C Class 1	A194 8C	X			X	
300	A193 B8CA	A194 8CA	X			X	
300	A193 B8M Class 1	A194 8M	X			X	
300	A193 B8MA	A194 8MA	X			X	
300	A193 B8T Class 1	A194 8T	X			X	
300	A193 B8TA	A194 8TA	X			X	
300	A320 B8 Class 1	A194 8	X				X
300	A320 B8C Class 1	A194 8C	X				X
300	A320 B8M Class 1	A194 8M	X				X
300	A320 B8T Class 1	A194 8T	X				X
2500	A193 B16	A194 8M (*)			X	X	
2500	A193 B7	A194 2H (*)			X	X	
2500	A193 B8 Class 2	A194 8		X		X	
2500	A193 B8C Class 2	A194 8C		X		X	
2500	A193 B8M Class 2	A194 8M		X		X	
2500	A193 B8T Class 2	A194 8T		X		X	
2500	A453 651	A453 651		X		X	
2500	A453 660	A453 660		X		X	
2500	A320 B8 Class 2	A194 8		X			X
2500	A320 B8C Class 2	A194 8C		X			X
2500	A320 B8F Class 2	A194 8F		X			X
2500	A320 B8M Class 2	A194 8M		X			X
2500	A320 B8T Class 2	A194 8T		X			X
2500	A320 L43	A194 4 / A194 7			X		X
2500	A320 L7	A194 4 / A194 7			X		X
2500	A320 L7A	A194 4 / A194 7			X		X
2500	A320 L7B	A194 4 / A194 7			X		X
2500	A320 L7C	A194 4 / A194 7			X		X

Abb. 171

(*) Mutternzuordnung nach API Standard 602

		Seite
9	Normen	
9.1	Normenverzeichnis, Auswahl	227
9.2	Abkürzungen	232
9.3	Bezugsquellen	233

9 Normen

9.1 Normenverzeichnis, Auswahl

Norm-Nr.	Stichwort
Richtlinien, Verordnungen	
87/404/EG	EG-Richtlinie „Druckbehälter, einfach“
97/23/EG	EG-Richtlinie „Druckgeräte“ (DGRL, PED)
1999/36/EG	EG-Richtlinie „Druckgeräte, ortsbeweglich“ (TPED)
89/336/EG	EG-Richtlinie „Elektromagnetische Verträglichkeit“ (EMV)
1999/92/EG	EG-Richtlinie „Explosionsschutz Arbeitnehmer“ (ATEX)
94/9/EG	EG-Richtlinie „Explosionsschutz Geräte“ (ATEX)
98/37/EG	EG-Richtlinie „Maschinen“
73/23/EG	EG-Richtlinie „Niederspannungsgeräte“ (NSP)
96/98/EG	EG-Richtlinie „Schiffsausrüstung“ (MED)
BetrSichV	Verordnung „Betriebssicherheit überwachungsbedürftiger Anlagen“
Armaturen	
DIN 3230-6	Armaturen f. brennbare Flüssigkeiten, techn. Lieferbedingungen
DIN 3230-5	Armaturen f. Gasleitungen, techn. Lieferbedingungen
DIN 3230-4	Armaturen f. Trinkwasser, techn. Lieferbedingungen
DIN EN 12569	Armaturen: Anforderungen u. Prüfungen der Chemie u. Petrochemie
DIN EN 736-2	Armaturen: Armaturenteile-Definition
DIN EN 736-3	Armaturen: Begriffsdefinitionen
DIN EN 12570	Armaturen: Betätigungselemente-Auslegung
DIN EN 736-1	Armaturen: Grundbauarten-Definition
ASME B16.25	Armaturenanschluss: Anschweißenden
DIN EN 12627	Armaturenanschluss: Anschweißenden
DIN 3239-1	Armaturenanschluss: Anschweißenden (<i>ungültig, aber noch gebräuchlich</i>)
DIN 2559-2	Armaturenanschluss: Anschweißenden, Anpassdurchmesser
DIN EN 12760	Armaturenanschluss: Schweißmuffen
DIN EN 12982	Armaturenbaulängen: Anschweißenden
DIN EN 558-2	Armaturenbaulängen: Class-Flanschanschluss
DIN 3202-4	Armaturenbaulängen: Innengewindeanschluss
DIN EN 558-1	Armaturenbaulängen: PN-Flanschanschluss
DIN 3202-5	Armaturenbaulängen: Rohrverschraubungsanschluss
AD 2000 A4	Armaturengehäuse
ASME B16.34	Armaturengehäuse
DIN EN 12516-3	Armaturengehäuse: Festigkeit, experimenteller Nachweis
DIN 3840	Armaturengehäuse: Festigkeitsberechnung
DIN EN 19	Armaturenkennzeichnung
ISO 5209	Armaturenkennzeichnung
MSS SP-25	Armaturenkennzeichnung
VDMA 24421	Armaturenprüfung
DIN EN 12266-1	Armaturenprüfung: Druckprüfung

Norm-Nr.	Stichwort
MSS SP-61	Armaturenprüfung: Druckprüfung
API Std 598	Armaturenprüfung: Prüfung u. Besichtigung
ISO 5208	Armaturenprüfung: Prüfung u. Besichtigung
DIN EN 12266-2	Armaturenprüfung: Prüfverfahren, Annahmekriterien
DIN EN 1503-3	Armaturenwerkstoffe: Gusseisen
DIN EN 1503-4	Armaturenwerkstoffe: Kupferlegierungen
DIN EN 1503-1	Armaturenwerkstoffe: Stähle in europäischen Normen festgelegt
DIN EN 1503-2	Armaturenwerkstoffe: Stähle nicht in europäischen Normen festgelegt

Kondensatableiter

DIN EN 26704	Kondensatableiter: Bauartklassifikation
DIN 3548-1	Kondensatableiter: Baulängen, Werkstoffe, Druck-Temperatur-Zuordnung
ISO 6552	Kondensatableiter: Begriffsdefinitionen
DIN EN 26554	Kondensatableiterbaulängen: Flanschanschluss
ANSI/FCI 69-1	Kondensatableitergehäuse: Festigkeitsnachweis
ANSI/FCI 69-1	Kondensatableiterkennzeichnung
DIN ISO 6553	Kondensatableiterkennzeichnung
DIN EN 26948	Kondensatableiterprüfung

Sonstige Druckgeräte

DIN EN 13445-1	Druckbehälter, unbefeuert: Allgemeines
DIN EN 13445-6	Druckbehälter, unbefeuert: Anforderungen Gusseisen mit Kugelgraphit
DIN EN 13445-4	Druckbehälter, unbefeuert: Herstellung
DIN EN 13445-5	Druckbehälter, unbefeuert: Inspektion u. Prüfung
DIN EN 13445-3	Druckbehälter, unbefeuert: Konstruktion, Berechnung
DIN EN 13445-2	Druckbehälter, unbefeuert: Werkstoffe
DIN EN 764-3	Druckgeräte: Definition beteiligter Parteien
DIN EN 764-2	Druckgeräte: Größen, Symbole, Einheiten
DIN EN 764-7	Druckgeräte: Sicherheitseinrichtungen
DIN EN 764-1	Druckgeräte: Terminologie, Druck, Temperatur, Volumen, Nennweite
DIN EN 764-4	Druckgeräte: Werkstofflieferbedingungen
DIN EN 764-5	Druckgeräte: Werkstoffprüfbescheinigungen

Flansche

ASME B16.21	Class-Flanschdichtungen: Flachdichtungen nichtmetallisch
DIN EN 12560-1	Class-Flanschdichtungen: Flachdichtungen nichtmetallisch
DIN EN 12560-4	Class-Flanschdichtungen: Metalldichtungen
DIN EN 12560-7	Class-Flanschdichtungen: Metallummantelte Dichtungen
DIN EN 12560-5	Class-Flanschdichtungen: Ring Joint Dichtungen
ASME B16.20	Class-Flanschdichtungen: Ringdichtungen, Spiraldichtungen, ummantelte D.

Norm-Nr.	Stichwort
DIN EN 12560-2	Class-Flanschdichtungen: Spiraldichtungen
DIN EN 12560-3	Class-Flanschdichtungen: Weichstoffdichtungen mit PTFE-Mantel
DIN EN 1759-4	Class-Flansche: Aluminiumlegierungen
MSS SP-6	Class-Flansche: Dichtflächenbearbeitung
ASME B16.1	Class-Flansche: Gusseisen
ASME B16.24	Class-Flansche: Kupferlegierungen
DIN EN 1759-3	Class-Flansche: Kupferlegierungen
MSS SP-9	Class-Flansche: Schraubenauflegeflächen
DIN EN 1759-1	Class-Flansche: Stahl
MSS SP-44	Class-Flansche: Stahl
ASME B16.5	Class-Flansche: Stahl, NPS 1/2 - 24
ASME B16.47	Class-Flansche: Stahl, NPS 26 - 60
DIN EN 1515-1	Flanschschrauben u. -muttern: Werkstoffauswahl
DIN EN 1515-2	Flanschschrauben: Zuordnung zu Werkstoffklassen
DIN 2696	PN-Flanschdichtungen: Dichtlinsen
DIN EN 1514-1	PN-Flanschdichtungen: Flachdichtungen nichtmetallisch
DIN 2697	PN-Flanschdichtungen: Kammprofilierte Dichtungen
DIN 2695	PN-Flanschdichtungen: Membranschweißdichtungen
DIN EN 1514-4	PN-Flanschdichtungen: Metalldichtungen
DIN 2693	PN-Flanschdichtungen: Runddichtringe für Vorsprungflansche
DIN EN 1514-2	PN-Flanschdichtungen: Spiraldichtungen
DIN EN 1514-3	PN-Flanschdichtungen: Weichstoffdichtungen mit PTFE-Mantel
DIN 2500	PN-Flansche: allgemeine Angaben, Übersicht
DIN EN 1092-4	PN-Flansche: Aluminiumlegierungen
DIN 2501-1	PN-Flansche: Anschlussmaße
DIN 2526	PN-Flansche: Dichtflächenformen
DIN 2558	PN-Flansche: Gewindeflansche, oval
DIN EN 1092-2	PN-Flansche: Gusseisen
DIN EN 1092-3	PN-Flansche: Kupferlegierungen
DIN 2512	PN-Flansche: Nut u. Feder, PN 160
DIN EN 1092-1	PN-Flansche: Stahl
DIN 2548	PN-Flansche: Stahlguss, PN 160
DIN 2549	PN-Flansche: Stahlguss, PN 250
DIN 2550	PN-Flansche: Stahlguss, PN 320
DIN 2551	PN-Flansche: Stahlguss, PN 400
DIN 2638	PN-Flansche: Vorschweißflansche, PN 160
DIN 2628	PN-Flansche: Vorschweißflansche, PN 250
DIN 2629	PN-Flansche: Vorschweißflansche, PN 320
DIN 2627	PN-Flansche: Vorschweißflansche, PN 400

Norm-Nr.	Stichwort
Rohrleitungen	
DIN EN 10241	Fittinge: Stahl
ASME B16.11	Fittinge: Stahl geschmiedet
DIN EN 10242	Fittinge: Temperguss
VdTÜV MB 1065	Rohrleitungen
DIN 2429-1	Rohrleitungen: Allgemeines
DIN EN 13480-1	Rohrleitungen: Allgemeines
DIN 2403	Rohrleitungen: Farbkennzeichnung nach Durchflussmedium
DIN 2404	Rohrleitungen: Farbkennzeichnung von Heizungsrohrleitungen
DIN EN 13480-4	Rohrleitungen: Fertigung, Verlegung
DIN 2429-2	Rohrleitungen: funktionelle Darstellung
DIN EN 13480-3	Rohrleitungen: Konstruktion, Berechnung
API Spec. 6D	Rohrleitungen: Pipelines
DIN EN 13480-5	Rohrleitungen: Prüfung
DIN EN 13480-2	Rohrleitungen: Werkstoffe
DIN EN ISO 9692-2	Schweißnaht: Fugenformen
DIN 2559-1	Schweißnaht: Fugenformen Stahlrohre
DIN EN 10217-2	Stahlrohre: erhöhte Temperatur, elektrisch geschweißt
DIN EN 10216-2	Stahlrohre: erhöhte Temperatur, nahtlos
DIN EN 10217-5	Stahlrohre: erhöhte Temperatur, unterpulvergeschweißt
DIN EN 10217-3	Stahlrohre: Feinkornbaustähle, geschweißt
DIN EN 10216-3	Stahlrohre: Feinkornbaustähle, nahtlos
DIN EN 10220	Stahlrohre: Maße u. Massen
DIN 2440	Stahlrohre: mittelschwere Ausführung
ASME B36.10M	Stahlrohre: nahtlos/geschweißt, warmgewalzt
DIN EN 10305-2	Stahlrohre: Präzision, geschweißt kaltgezogen
DIN EN 10305-3	Stahlrohre: Präzision, geschweißt maßgewalzt
DIN EN 10305-1	Stahlrohre: Präzision, nahtlos kaltgezogen
DIN EN 10217-1	Stahlrohre: Raumtemperatur, geschweißt
DIN EN 10216-1	Stahlrohre: Raumtemperatur, nahtlos
DIN 2441	Stahlrohre: schwere Ausführung
DIN EN 10217-4	Stahlrohre: Tieftemperatur, elektrisch geschweißt
DIN EN 10216-4	Stahlrohre: Tieftemperatur, nahtlos
DIN EN 10217-6	Stahlrohre: Tieftemperatur, unterpulvergeschweißt
Kesselwagen	
DIN EN 12561-1	Kesselwagen: Kennzeichnung gefährlicher Güter
DIN EN 12561-6	Kesselwagen: Mannlöcher
DIN EN 12561-4	Kesselwagen: Obenbefüllung u. -entleerung, Flüssigkeiten
DIN EN 12561-5	Kesselwagen: Obenbefüllung, Untenentleerung, Flüssigkeiten
DIN EN 12561-3	Kesselwagen: Untenbefüllung u. -entleerung, Druckgase
DIN EN 12561-2	Kesselwagen: Untenentleerung, Flüssigkeiten

Norm-Nr.	Stichwort
	Sonstiges
DIN EN ISO 6708	Definition: DN
DIN 1301-1	Definition: Einheiten, Namen u. Zeichen
DIN 1304-1	Definition: Formelzeichen
DIN EN 1333	Definition: PN
DIN EN 50014	Explosionsschutz: elektrische Betriebsmittel (ATEX)
DIN EN 13463-1	Explosionsschutz: nicht-elektrische Geräte (ATEX)
DIN 55928-9	Korrosionsschutz durch Beschichtung: Beschichtungsstoffe
DIN 55928-8	Korrosionsschutz durch Beschichtung: dünnwandiger Bauteile
DIN 53210	Korrosionsschutz: Anstriche, Bezeichnung des Rostgrades
DIN EN ISO 12944-4	Korrosionsschutz: Beschichtungssysteme, Vorbereitung
DIN EN ISO 1302	Oberflächenbeschaffenheit: Angaben
DIN EN 10204	Prüfbescheinigungen, Abnahmezeugnisse, Arten
DIN 3852-1	Verschlussschrauben
DIN 910	Verschlussschrauben
DIN 5586	Verschlussschrauben mit Entlüftung
DIN 7603	Verschlussschrauben-Dichtringe
DIN 3869	Verschlussschraubendichtungen: Profildichtungen
DIN 2481	Wärmeanlagen: Symbole

9.2 Abkürzungen

AD	Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter
ANSI	American National Standards Institute
API	American Petroleum Institute
ASME	The American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWS	American Welding Society
AWWA	American Society for Testing and Materials
BG	Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften
BS	British Standard
BSI	British Standards Institute
CEN	Comité Européen de Normalisation
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.
DVS	Deutscher Verband für Schweißtechnik e.V.
EN	Europäische Norm
GGVSE	Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn
IEC	International Electrotechnical Commission
IMO	International Maritime Organization
ISA	Instrument Society of America
ISO	International Organization for Standardization
JIS	Japanese Industrial Standard
KTA	Kerntechnischer Ausschuß
LN	Deutsche Luftfahrt- und Raumfahrtnorm
MSS	Manufacturers Standardization Society of the Valve and Fittings Industry
NF	Norme Francaise
RID	Reglemente Internationale Marchandises Dangereuses
SIS	Standardiseringskommissionen i Sverige
TRAC	Technische Regeln für Acetylenanlagen und Calciumcarbidlager
TRB	Technische Regeln Druckbehälter
TRbF	Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten
TRD	Technische Regeln für Dampfkessel
TRG	Technische Regeln Druckgase
TRgA	Technische Regeln für gefährliche Arbeitsstoffe
TRGL	Technische Regeln für Gashochdruckleitungen
TRT	Technische Richtlinien Tanks
UIC	Union Internationale des Chemins de Fer
UVV	Unfallverhütungsvorschrift der Gewerbeaufsichtsämter
VDE	Verband Deutscher Elektrotechniker e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VdTÜV	Verband der Technischen Überwachungsvereine e.V.

9.3 Bezugsquellen

Titel	Herausgeber	Vertrieb	oder
AD Merkblätter	Verband der Technischen Überwachungsvereine e.V. Kurfürstenstraße 56 D-45138 Essen	Beuth Verlag GmbH Burggrafenstraße 6 D-10787 Berlin	
DIN Deutsche Normen	DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Burggrafenstraße 6 D-10787 Berlin	Beuth Verlag GmbH Burggrafenstraße 6 D-10787 Berlin	
DVGW Regelwerk	DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. Josef-Wirmer-Straße 1-3 D-53123 Bonn	DVGW e.V. Josef-Wirmer-Straße 1-3 D-53123 Bonn	
DVS Richtlinien und Merkblätter	DVS Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. Aachener Straße 172 D-40223 Düsseldorf	DVS-Verlag GmbH Postfach 10 19 65 D-40010 Düsseldorf	
KTA Sicherheitstechnische Regeln	KTA-Geschäftsstelle beim Bundesamt für Strahlenschutz Postfach 10 01 49 D-38201 Salzgitter	Carl Heymanns Verlag KG. Luxemburger Straße 449 D-50939 Köln	
TRB Technische Regeln Druckbehälter	Berufsgenossenschaftliche Zentrale für Sicherheit und Gesundheit (BGZ) Alte Heerstraße 111 D-53757 St. Augustin	Beuth Verlag GmbH Burggrafenstraße 6 D-10787 Berlin	Carl Heymanns Verlag KG. Luxemburger Straße 449 D-50939 Köln
TRG Technische Regeln Druckgase	Verband der Technischen Überwachungsvereine e.V. Kurfürstenstraße 56 D-45138 Essen	Beuth Verlag GmbH Burggrafenstraße 6 D-10787 Berlin	TÜV-Verlag GmbH Unternehmensgruppe Rheinland Berlin Brandenburg Am Grauen Stein D-51105 Köln
TRbF Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten	Verband der Technischen Überwachungsvereine e.V. Kurfürstenstraße 56 D-45138 Essen	Beuth Verlag GmbH Burggrafenstraße 6 D-10787 Berlin	Carl Heymanns Verlag KG. Luxemburger Straße 449 D-50939 Köln
TRD Technische Regeln für Dampfkessel	Verband der Technischen Überwachungsvereine e.V. Kurfürstenstraße 56 D-45138 Essen	Beuth Verlag GmbH Burggrafenstraße 6 D-10787 Berlin	Carl Heymanns Verlag KG. Luxemburger Straße 449 D-50939 Köln
TRGL Technische Regeln für Dampfhochdruck- leitungen	Verband der Technischen Überwachungsvereine e.V. Kurfürstenstraße 56 D-45138 Essen	Beuth Verlag GmbH Burggrafenstraße 6 D-10787 Berlin	Carl Heymanns Verlag KG. Luxemburger Straße 449 D-50939 Köln

Titel	Herausgeber	Vertrieb	oder
BG-Vorschriften	Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V. Alte Heerstraße 111 D-53757 St. Augustin	Carl Heymanns Verlag KG. Luxemburger Straße 449 D-50939 Köln	
VDE-Bestimmungen und VDE-Richtlinien	Verband Deutscher Elektrotechniker e.V. Stresemannallee 15 D-60596 Frankfurt/Main	VDE-Verlag GmbH Postfach 12 01 43 D-10591 Berlin	Beuth Verlag GmbH Burggrafenstraße 6 D-10787 Berlin
VDI-Richtlinien	Verein Deutscher Ingenieure e.V. Graf-Recke-Straße 84 D-40239 Düsseldorf	VDI-Verlag GmbH Heinrichstraße 24 D-40239 Düsseldorf	Beuth Verlag GmbH Burggrafenstraße 6 D-10787 Berlin
VDMA-Einheitsblätter	Verband deutscher Maschinen-und Anlagenbau e.V. Lyoner Straße 18 D-60528 Frankfurt/Main	Beuth Verlag GmbH Burggrafenstraße 6 D-10787 Berlin	
VdTÜV-Merkblätter	Verband der Technischen Überwachungsvereine e.V. Kurfürstenstraße 56 D-45138 Essen	TÜV-Verlag GmbH Unternehmensgruppe Rheinland Berlin Brandenburg Am Grauen Stein D-51105 Köln	
VBG-Richtlinien und VBG-Merkblätter	VBG Technischen Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V. Postfach 10 39 32 D-45039 Essen	VBG-Kraftwerkstechnik GmbH Postfach 10 39 32 D-45039 Essen	

Sachwörterverzeichnis

Sachwörterverzeichnis

	Seite		Seite
A		B	
Abnahmebedingungen, Armaturen	185	Bakelit, Stoffwerte	56
Abnahmezeugnisse	231	Basiseinheiten	143
Azeton, kinematische Viskosität	53	Baumé-Grade	46
verschiedene Stoffwerte	56	Begleitheizungen, Dampfverteiler	85, 86
Dichte	47	Kondensat-	
Acetylen, Normdichte	49	Sammelstationen	89 – 91
verschiedene Stoffwerte	60	Verteilersystem, Heißwasser	111
Aliphate, dynamische Viskosität	55	Behälter, Sinnbilder	82
Äthyl-Alkohol, Dichte	47,48	Benzin, kinematische Viskosität	
Alphabet, griechisches	146	und Dichte	53
Aluminium, Stoffwerte	56	verschiedene Stoffwerte	56
Aluminiumlegierungen	128	Benzol, kinematische Viskosität	53
Aluminiumoxid, Stoffwerte	56	verschiedene Stoffwerte	56, 60
Ameisensäure, Dichte	47	Dichte	47
Ammoniak, dynamische Viskosität	55	Bescheinigungsarten	166
verschiedene Stoffwerte	56, 60	Beständigkeit, Werkstoffe	135 – 140
Dichte, Normdichte	48, 49	Beton, Stoffwerte	56
Anfahrentlüftung	102, 103	Bier, kinematische Viskosität	
Anfahrentwässerung	95, 96	und Dichte	53
Anilin, Dichte	47, 68	Bitumen, Stoffwerte	56
Anschlussmaße, DIN-Flansche	185	Blei, Stoffwerte	56
Flansche nach ANSI	207 – 222	Braunkohlenteer	
Aräometer	46	kinematische Viskosität	53
Arbeitseinheiten	151	Bronze, Stoffwerte	56
Argon, Stoffwerte	60	Brügendampf,	
Armaturen, Abnahmebedingungen	185	siehe Entspannungsdampf	
Sinnbilder	80	Butan, verschiedene Stoffwerte	60
Asbest, Stoffwerte	56	Dichte	47
Asche, Stoffwerte	56		
Asphalt, Stoffwerte	56	C	
Äthan, Dampfdruckkurve	68	Chemische Beständigkeit,	
Normdichte	49	Werkstoffe	135 – 140
verschiedene Stoffwerte	60	Chemische Elemente	119
Äther, Stoffwerte	60	Chlor, Stoffwerte	60
Dichte	47	Chlorwasserstoff, Stoffwerte	60
Äthylalkohol, kinematische Viskosität	53	Chrom, Stoffwerte	56
verschiedene Stoffwerte	60		
Dichte	47	D	
Äthylen, Dampfdruckkurve	68	Dampfdruckkurven	67, 68
dynamische Viskosität	55	Dampfleitungen, Druckabfall	16 – 17
Normdichte	49	Entwässerung	87
verschiedene Stoffwerte	60	Strömungsgeschwindigkeit	22
		Temperaturabfall	32, 33
		Dampfregelstation, Entwässerung	88
		Dampftafeln, Wasser	69 – 75
		Dampfverbraucher, Entlüftung	102, 103

	Seite		Seite
Dampfverteiler	85, 86	Entspannungsdampf, Menge	24, 25
Dampf- und Kondensatanlagen,		Nutzung,	
Schaltbeispiele	85 – 109	Kondensatwärme	99 – 103
Entlüftung	102, 103	Entwässerung,	
Kondensatableitung	85 – 89	Anfahrtentwässerung	95 – 95
Kondensatwärme-		Dampfleitungen	87
nutzung	100 – 103	Dampfregelstation	88
Maßnahmen gegen		Einzelentwässerung	93
Wasserschläge	104 – 107	ins Freie	87
Dehnung, Rohrleitungen	27, 28	Sammelentwässerung	93
Diamant, Stoffwerte	56	Entwässerungsventil	96
Dichte	45 – 49	Essigsäure, Dichte	47
Dichtflächen, DIN-Flansche	190		
Flansche nach ANSI	214 – 219	F	
Diesel-Treiböl, kinematische Viskosität	50	Ferngas, dynamische Viskosität	55
Druck, Einheiten, Umrechnung	150	Normdichte	49
Maximal zulässiger	9	Fette, Stoffwerte	56
Druckabfall, Dampfleitungen	16, 17	Feuchtigkeitsgehalt, Luft	66
Druckverlust, Einführung, Begriffe	12 – 15	Fiber, Stoffwerte	57
Durchfluss, Rohrleitungen	21	Filz, Stoffwerte	57
		Flansche nach ANSI	
E		Anschlussmaße	207 – 222
Einheiten, Übersicht	143	Flansche nach DIN, Anschlussmaße	185
anglo-amerikanische		Dichtflächen,	
Einheiten	147, 148	Formen	190, 191, 214, 215
Basiseinheiten	143	Übersicht	178, 179
verwendete Einheiten	145	Flüssigkeiten, Viskosität	50 – 53
gesetzliche Einheiten	143	Dichte	47, 53
internationale		Formelzeichen	145
(SI-) Einheiten	144, 145, 149	Frostsicherheit	99
Umrechnungstabellen	150 – 161		
Einheitengleichungen	147 – 149	G	
anglo-amerikanische		Gase, Normdichte	49
Einheiten	147, 148	Viskosität	54, 56
Anwendung der		Gasolin, kinematische Viskosität	
gesetzl. Einheiten	149	und Dichte	53
Einheitensysteme	143, 144	Generatorgas,	
Einsetzdaten		dynamische Viskosität	55
Flansche Stahlwerkstoffe		Normdichte	49
ASME	202, 204, 206	verschiedene Stoffwerte	60
DIN-EN	180, 182	Geodätische Höhe	14, 94
Gusseisen	184	Geschweißte Stahlrohre	173, 198
Eis, Stoffwerte	56	Gesetzliche Einheiten	143, 149
Eisen, Stoffwerte	56	Getriebeöl, kinematische Viskosität	52
Entlüftung, Dampfverbraucher	102, 103	Gichtgas, dynamische Viskosität	55
Entspannerschaltungen	92, 101 – 103	Normdichte	49
		verschiedene Stoffwerte	60
		Gips, Stoffwerte	57
		Glas, Stoffwerte	57

	Seite		Seite
Gleichungen, Einheiten	147 – 149	Klinker, Stoffwerte	57
Gleichwertige Rohrlänge	14	Kochsalz, Stoffwerte	57
Glimmer, Stoffwerte	57	Kochsalzlösung, kinematische Viskosität und Dichte	53
Glycerin, kinematische Viskosität	57	verschiedene Stoffwerte	57
verschiedene Stoffwerte	56	Kohlendioxid, Dampfdruckkurve	68
Granit, Stoffwerte	57	dynamische Viskosität	55
Graphit, Stoffwerte	57	Normdichte	49
Griechisches Alphabet	146	verschiedene Stoffwerte	60
Grundeinheiten (Basiseinheiten)	144	Kohlenmonoxid, Stoffwerte	60
Gummi, Stoffwerte	57	Kohlenoxid, dynamische Viskosität	55
Gusseisen	217	Normdichte	49
Guttapercha, Stoffwerte	57	Kohlenstoff, Stoffwerte	57
H		Koksofengas, dynamische Viskosität	55
Hanffasern, Stoffwerte	57	Normdichte	49
Hastelloy	131	Kondensat, Leitungen	49
Heizflächenüberwachung	97	Mengenberechnung	23
Heizöl	52	Kondensatableiter, siehe auch	
Heizsysteme, Widerstandsabgleich		Kondensatableitung	
Kalorimaten	108 – 111	Ableiterkontrolle	97
Helium, Stoffwerte	60	Anfahrtwässerung	96
Höhe, geodätische	14, 94	Dampfleitungsentwässerung	87
Widerstandshöhe	14	Dampfverteiler	85, 86
Holzfasерplatten, Stoffwerte	57	Einfluss der	
h, s-Diagramm	76	geodätischen Höhe	94
I		Einsatz als Entlüfter	104, 105
Internationale (SI-) Einheiten	143 – 145	Frostsicherheit	99
ISA-Symbole, Regelungstechnik	84	Heizflächenüberwachung	97
Isolierstoffe, Wärmeleitzahlen	65	Kondensatentspanner	92
J		Kondensat-	
Jutefasern, Stoffwerte	57	Sammelstationen	89 – 91
K		Sammel-, Einzelentwässerung	93
Kalilauge, Stoffwerte	57	Schaltbeispiele	85 – 107
Dichte	48	Schmutzsicherheit	95 – 96
Kaliumchlorid, Dichte	48	Kondensatwärmenutzung,	
Kalk, Stoffwerte	57	Schaltbeispiele	99 – 103
Kalksandstein, Stoffwerte	57	Entspannungsdampf-	
Kalkstein, Stoffwerte	57	nutzung	101, 102
Kalorimaten, Rücklauftemperatur-		Kondensatunterkühlung	100
begrenzer	108 – 111	Konstantan, Stoffwerte	57
Kältemittel, Stoffwerte	62	Korkplatten, Stoffwerte	57
Karborundstein, Stoffwerte	57	Korund, Stoffwerte	57
Kennzeichnung, Rohrleitungen	11	Krafteinheiten	150
Kessel und Apparate, Sinnbilder	81	Kühlwasserbegrenzung	112 – 114
Kesselstein, Stoffwerte	57	Kunststoffe, Kurzzeichen	133
Kieselgur, Stoffwerte	57	Kupfer, Stoffwerte	57
		Kupferlegierungen	129
		Kupfersulfat, Dichte	48

	Seite		Seite
Kurzzeichen, Formelzeichen	145	Milch, kinematische Viskosität	
Kunststoffe	133	und Dichte	53
Regelungstechnik	84	Mollier h, s-Diagramm	76
Werkstoffe	119, 121 – 132		
L		N	
Legierungen, Aluminium	128	Nachverdampfung, siehe Kondens-	
Kupfer	129	satwärmenutzung	100 – 103
Nickel	131	Nahtlose Stahlrohre	173
Titan	132	Naphthalin, kinematische Viskosität	
Leistungseinheiten	151	und Dichte	53
Leitungen, Sinnbilder	79	verschiedene Stoffwerte	57
Linoleum, Stoffwerte	57	Natriumchlorid, Dichte	48
Lösungen, wässrige, Dichten	48	Natriumnitrat, Dichte	48
Luft, dynamische Viskosität	55	Natronlauge, verschiedene Stoffwerte	57
Normdichte	49	Dichte	48
verschiedene Stoffwerte	60	Nennweiten, Begriff, Stufung	14
Luftfeuchtigkeit	66	Nennweitenbestimmung,	
Lyra-Bogen	28	Rohrleitungen	19, 20 – 26
		Nickel, Stoffwerte	58
M		Nickellegierungen	131
Magnesia, Stoffwerte	57	Nimonic	131
Magnesit, Stoffwerte	57	Normen, DIN, ANSI	173 – 223
Magnesium, Stoffwerte	57	Normdichte, Gase	49
Magnesiumsulfat, Dichte	48		
Mangan, Stoffwerte	57	O	
Marmor, Stoffwerte	57	Öle, Stoffwerte	58
Maschinen, Sinnbilder	82	Olivenöl, kinematische Viskosität	
Maschinenöl, kinematische Viskosität	52	und Dichte	53
Maßnahmen gegen Einfrieren	99	P	
Störungen der Kondensat-		Papier, Stoffwerte	58
ableitung	93, 94, 100 – 104	Pappe, Stoffwerte	58
Verschmutzungen	98	Paraffin, Stoffwerte	58
Wasserschläge	104 – 107	Petroleum, kinematische Viskosität	
Maßnormen, DIN-Flansche,		und Dichte	53
Übersicht	178 – 179	Phenol, kinematische Viskosität	53
Maßsysteme,		verschiedene Stoffwerte	58
siehe Einheitensysteme	143 – 145	Phosphor, Stoffwerte	58
Mennige, Stoffwerte	57	Phosphorsäure, Dichte	48
Messing, Stoffwerte	57	Pyridin, kinematische Viskosität	53
Messung und Regelung, Sinnbilder	83	Platin, Stoffwerte	58
Metalle, Stoffwerte	64	Porzellan, Stoffwerte	58
Methan, Dampfdruckkurve	68	Propan, Dampfdruckkurve	68
dynamische Viskosität	55	verschiedene Stoffwerte	60
Normdichte	49	Dichte	47
verschiedene Stoffwerte	60	Propylen, dynamische Viskosität	55
Methylalkohol,		Normdichte	49
verschiedene Stoffwerte	56, 60	verschiedene Stoffwerte	60
Dichte	47	Prüfbescheinigungen	185

	Seite		Seite
Prüfdruck, Rohrleitungsteile	9	Salzsäure , verschiedene Stoffwerte	58
Q		Dichte	48
Quarz, Stoffwerte	58	Sammelentwässerung	93
Quecksilber, Stoffwerte	58	Sandstein , Stoffwerte	58
R		Sauerstoff , Dampfdruckkurve	68
Rauchgas, Stoffwerte	60	dynamische Viskosität	55
Regelung, Kalorimaten	109	Normdichte	49
Regelungstechnik, ISA-Symbole	84	verschiedene Stoffwerte	60
Reintitan	132	Schaltbeispiele , Heiz- und	
Reynoldssche Zahl	13	Kühlsysteme	86 – 116
Rizinusöl, kinematische Viskosität		Entlüftung,	
und Dichte	52, 53	Dampfverbraucher	102, 103
Rohöle, kinematische Viskosität	53	Grundlagen:	
Rohrlänge, gleichwertige	14	Sinnbilder, Symbole	79 – 84
Rohrleitungen, allgemeines	9 – 11	Kalorimatenregelung	110, 111
Dehnung	27 – 29	Kondensatableitung	85 – 99
Druckstufen	173 – 177	Kondensatwärmenutzung	99 – 102
Druckverluste	12 – 19	Kühlwasserbegrenzung	114 – 116
Durchfluss	12	Maßnahmen gegen	
Kennzeichnung	11	Wasserschläge	104 – 107
Nennweitenbestimmung	20 – 26	Rückklaufemperatur-	
Schrauben	196, 197, 222, 223	Begrenzung	108 – 111
Strömungsgeschwindigkeit	19 – 22	Widerstandsabgleich,	
Stützweiten, Wandabstände	34	Rohrleitungsnetze	109, 110
Temperaturabfall	32, 33	Schamottestein , Stoffwerte	58
Wärmeverlust	30, 31	Schlacke , Stoffwerte	58
Wasserschläge	34	Schmieröl , kinematische Viskosität	52
Rohrleitungsteile , Begriff,		Schmutzsicherheit	98
siehe Nennweite		Schnee , Stoffwerte	58
Prüfdruck	10	Schrauben , Werkstoffe	156
Widerstandszahlen	16	Schwefel , Stoffwerte	58
Rohrreibungszahl	13	Schwefeldioxid , Dampfdruckkurve	68
Rohrschenkelausgleicher	28	Normdichte	49
Rotguss , Stoffwerte	58	verschiedene Stoffwerte	60
Rüböl , kinematische Viskosität	52	Schwefelkohlenstoff ,	
Rückklufttemperaturbegrenzer	108 – 116	kinematische Viskosität	53
Kalorimaten	108 – 111	verschiedene Stoffwerte	58
Kühlwasserbegrenzer	112 – 116	Dichte	47
Ruß , Stoffwerte	58	Schwefelsäure , kinematische	
S		Viskosität u. Dichte	48, 53
Salmiak , Stoffwerte	58	verschiedene Stoffwerte	58
Salpetersäure , kinematische		Schwefelige Säure ,	
Viskosität u. Dichte	48, 53	verschiedene Stoffwerte	58
verschiedene Stoffwerte	58	Schwefeltrioxid , Stoffwerte	60
		Schwefelwasserstoff ,	
		Dampfdruckkurve	68
		dynamische Viskosität	55
		verschiedene Stoffwerte	60
		Schwelteer , kinematische Viskosität	53

	Seite		Seite
Seide, Stoffwerte	58	Strömungswiderstand,	
Sicherheit gegen		Wasserrohrleitungen	18, 19
Wasserschläge	104 – 107	Stufung der Nenndrücke	180, 182, 184
Frostsicherheit	99	Stufung der Nennweiten	10
Schmutzsicherheit	98	Stützweiten, Rohrleitungen	34
Störungen, Kondensat- ableitung	96, 97, 99 – 105	Symbole, ISA-, Regelungstechnik	84
SI-Einheiten	143, 144, 149	chemische Symbole	119
Silber, Stoffwerte	58	Systeme, Einheitensysteme	143
Silbernitrat, Dichte	48		
Sinnbilder, Wärmekraftanlagen	82 – 86	T	
Armaturen	80	Teeröl, kinematische Viskosität	52
Behälter	81	Temperatur, Einheiten,	
Leitungen	79	Umrechnung	160, 161
Maschinen	82	Verlust in Dampfleitungen	32, 33
Messung u. Regelung	83	Terpentinöl, kinematische Viskosität	
Wärmetauscher, Kessel, Apparate	81	und Dichte	53
Soda, Stoffwerte	58	Tetrachlorkohlenstoff,	
Sodalösung, Dichte	48	kinematische Viskosität	53
Speckstein, Stoffwerte	58	verschiedene Stoffwerte	59, 60
Spindelöl, kinematische Viskosität	52	Dichte	47
Spiritus, kinematische Viskosität		Tetralin, kinematische Viskosität	53
und Dichte	53	Titan, Reintitan und Legierungen	132
verschiedene Stoffwerte	58	Stoffwerte	59
Stadtgas, Stoffwerte	60	Toluol, kinematische Viskosität	53
Stahl, Stoffwerte	58	verschiedene Stoffwerte	59, 60
Stahlguss, Stoffwerte	59	Dichte	47
Stahlrohre, geschweißt	173, 230	Ton, Stoffwerte	59
nahtlos	173	Torf, Stoffwerte	59
Stearin, Stoffwerte	59	Transformatorenöl,	
Steinkohle, Stoffwerte	59	kinematische Viskosität	52
Steinkohlenteer, kinematische		Turbinenöl, kinematische Viskosität	52
Viskosität	53		
verschiedene Stoffwerte	59	U	
Stickstoff, Dampfdruckkurve	68	Übergangssystem (Einheiten-)	45
dynamische Viskosität	55	Überwachung, Heizflächen	97
Normdichte	49	Umrechnungstabellen	143, 147 - 161
verschiedene Stoffwerte	60	Unterkühlung, Kondensat	100
Stoffwerte, feste und			
flüssige Stoffe	56 – 59	V	
Gase und Dämpfe	60, 61	Vanadium, Stoffwerte	59
Isolierstoffe	65	Vaposkop	97
Kältemittel	62	Ventilgruppenentwässerung	88
Metalle	64	Verluste, Druck	12, 14, 15
Störungen, siehe Sicherheit		Verteiler, Dampfverteiler	85, 86
Strömungsgeschwindigkeit,		Heißwasser-Begleitheizung	111
Rohrleitungen	20 - 22		

	Seite		Seite
Viskosität, dynamische	50, 54, 55	Werkstoffe, Beständigkeit	135 - 140
Einheiten,	50, 151	Rohre	174 - 177
Flüssigkeiten	50 - 53	Schrauben	196, 197
Gase	54, 55	Wichte, siehe Dichte	
Gasgemische	55	Widerstandsabgleich, Heiz-	
kinematische	52 - 54	systeme, Kalorimaten	108 - 111
konventionelle Maße	50	Kühlsysteme,	
Umrechnung	51	Kühlwasserbegrenzer	112 - 115
Wasserdampf	54, 55	Widerstandsbeiwert,	
Volumen, spezifisches - der Gase	49	Widerstandszahlen	16
Vorsatzzeichen, Vielfache und		Widerstandshöhe	15, 18, 19
Teile von Einheiten	146	Wolfram, Stoffwerte	59
		Wolle, Stoffwerte	59
W		X	
Wachs, Stoffwerte	59	Xylol, kinematische Viskosität	59
Wandabstände, Rohrleitungen	34	verschiedene Stoffwerte	59
Wärme, spezifische, Einheiten	153	Z	
Wärmedurchgang	39	Zelluloid, Stoffwerte	59
Wärmedurchgangszahlen	40 - 42	Zeugnisse,	
Einheiten	153	siehe Prüfbescheinigungen	
Wärme kraftanlage, Sinnbilder	79 - 83	Zink, Stoffwerte	59
Wärmeleitung, ebene Wand	37	Zinksulfat, Dichte	48
Rohrwand	38	Zinn, Stoffwerte	59
Wärmeleit Zahlen	40, 64, 65	Zirkulationsventil, Kalorimat	108, 111
Einheiten	152	Zoll in Millimeter	157, 158
Wärmemengen, Einheiten	151	Zuckerlösung, Dichte	48
Wärmestrahlung	39	Zulässiger Betriebsüberdruck	
Wärmestrahlungszahl, Einheiten	153	siehe Einsatzdaten	
Wärmetauscher, Sinnbilder	81	Zylinderöl, kinematische Viskosität	52
Wärmeübergang	38		
Wärmeübergangszahlen	40		
Einheiten	153		
Wärmeverlust,			
isolierte Rohrleitungen	30, 31		
Wasser, Stoffwerte	60		
Wasserdampf, dynamische Viskosität	55		
Wasserdampftafeln	69 - 75		
Wassergas, dynamische Viskosität	55		
Normdichte	49		
Wasserrohrleitungen,			
Strömungswiderstand	18, 19		
Wasserschläge,			
Maßnahmen	34, 104 - 107		
Wasserstoff, dynamische Viskosität	55		
Normdichte	49		
verschiedene Stoffwerte	60		
Wein, kinematische Viskosität			
und Dichte	53		

GESTRA AG

Münchener Straße 77, 28215 Bremen
Postfach 10 54 60, 28054 Bremen
Telefon +49 (0) 421-35 03-0
Telefax +49 (0) 421-35 03-393
E-Mail gestra.ag@flowserve.com
Internet www.gestra.de

