

Im „Mechanischen Wärmeäquivalent“ von April 1926 wird ein Vergleich von mechanischer Arbeit zur Wärmemenge gegeben.

SI-Einheit „Joule“ (J)

$1J = 1Ws = 1Nm = 1 \frac{kg\ m}{s^2} \cdot m = 1 \frac{kg\ m^2}{s^2}$

- Wärmeeinheiten:**
 W, W_R = Arbeit, Reibungsarbeit
 F, F_R = Kraft, Reibungskraft
 m = Masse
 h = Fallbeschleunigung
 c = Hubhöhe
 s = Federkonstante
 = Federweg, Weg

	J				
1J	1				
1kJ	1000				
1kWh	$3,6 \cdot 10^6$				
1kcal	4186,8				
1kpm	9,8067				
		J			
		kJ			
		0,001			
		1			
		3600			
		4,1868			
		$9,8067 \cdot 10^{-3}$			
			kWh		
			$2,78 \cdot 10^{-7}$		
			$2,78 \cdot 10^{-4}$		
			1		
			$1,163 \cdot 10^{-3}$		
			$2,72 \cdot 10^{-8}$		
				kcal	
				$2,39 \cdot 10^{-4}$	
				0,239	
				860	
				1	
				$2,34 \cdot 10^{-3}$	
					kpm
					0,10197
					101,97
					$3,67 \cdot 10^5$
					426,93
					1

Ausländische Einheiten:

1 BTU (British Thermal Unit) = 1055,06 J = $2,39 \cdot 10^{-4}$ kWh = 0,252 kcal
 1 therm = 100 000 BTU = $1,055 \cdot 10^8$ J = 29,3 kWh = 25 200 kcal

Allgemeine Gastechnik

Planungshandbuch Gastechnik

Inhalt

Was ist Gas und was sind Gaskennwerte?	4
Verschiedenes/Wissenwertes aus dem Gasfach	4
Seit wann wurde Erdgas zum ersten Mal wirtschaftlich genutzt?.....	5
Warum wird Erdgas gespeichert?	5
Wie wird Erdgas gespeichert?	5
Welche Arten von Gasleitungen gibt es und mit welchen Drücken wird das Gas in ihnen transportiert?.....	5
Seit wann existiert die erste Ferngasleitung in Deutschland?.....	5
Was versteht man unter einer Übergabestation?	5
Was ist der DVGW?	5
Gasfamilien	6
Erd- und Erdölgase.....	6
Stadt- und Ferngase.....	7
Flüssiggase.....	7
Verbrennung von Grundstoffen	8
Heizwert und Luftbedarf von technischen Gasen	9
Zündtemperaturen von gasförmigen Brennstoffen	9
Was ist Druck?.....	10
Druckeinheiten	10
Was ist Volumen, Volumenstrom und Strömungsgeschwindigkeit? ..	12
Umrechnung von Betriebs- auf Normvolumenstrom.....	13
Umrechnung von Norm- auf Betriebsvolumenstrom.....	13
Was ist Temperatur	14
Was ist Masse, Atommasse, Molekülmasse?	15
Was ist Arbeit, Energie, Wärmemenge?.....	16
Wärmeeinheiten	16
Was ist Leistung, Energie- oder Wärmestrom?	17
Umrechnung von Einheiten für Leistung, Energie und Wärmestrom	17
Was ist Dichte, Dichteverhältnis?.....	18
Was ist Wärmemenge, Heizwert, Brennwert, Wobbeindex?.....	19
Brenn- und Heizwert üblicher Gase.....	19
Elektrische Formelsammlung	20
Ohmsches Gesetz	20
Leitungswiderstand	20
Leistungsberechnung bei Gleichspannung	20
Schaltung von Widerständen	20
Spannungsabfall	21
Widerstände im Wechselstromkreis	21
Verschiedene Werte sinusförmiger Wechselgrößen	22
Einweg-Gleichrichter.....	22
Zweiweg-Gleichrichter.....	22
Drei-Phasen-Gleichrichter	22
Ein- und Ausschaltvorgänge	23
Berechnung der Leistung im Wechselstromkreis.....	23
Elektrische Leistung von Motoren	24
Gleichstrom.....	24
Einphasen Wechselstrom	24
Drehstrom	24
Drehstrom	24
Transformator.....	24
Schutzart nach DIN EN 60529 (IP).....	25

Whitworth-Rohrgewinde für Gewinderohre und Fittings	26
Zylindrisches Innengewinde und kegeliges Außengewinde, Gewindemaße	26
1 Anwendungsbereich.....	26
2 Maße, Bezeichnungen.....	26
Nennmaße.....	27
Flanschabmessungen nach DIN EN 1092-1: 2013	28
Strömungsgeschwindigkeiten in Rohren	29
Druckverlust in Rohrleitungen	30
Inhalt von Rohrleitungen	31
Griechische Buchstaben	32
Bezeichnung dekadisch vervielfachter Einheiten	32
Formelzeichen und Einheiten	33
Umrechnen von Maßen für den atmosphärischen Druck	33
Verwendung neuer Formelzeichen	34
Druckeinheiten	35
Druckeinheiten (Fortsetzung).....	35
Umrechnungsfaktoren	36
Temperatur.....	36
Dichte.....	36
Zeiteinheiten.....	36
Kraft-, Gewichtskrafteinheiten.....	36
Gewichte, Masse.....	36
Längeneinheiten	37
Flächeneinheiten.....	37
Volumen, Raumeinheiten.....	37
Leistung	37
Spezifische Wärme	37
Arbeit, Energie, Wärmemenge.....	38
Beständigkeitstabelle	39

Was ist Gas und was sind Gaskennwerte?

Verschiedenes/Wissenwertes aus dem Gasfach



Was ist Brenngas?

Gas oder Gasgemisch, das in einem bestimmten Mischungsverhältnis mit Sauerstoff brennbar (nach DIN 1340) ist.

Welche Brenngase sind von Bedeutung?

Erdgas, Flüssiggas, Biogase.

Was ist Erdgas?

Ein Naturprodukt

Wie entsteht Erdgas?

Aus tierischen und pflanzlichen Ablagerungen auf dem Grund der Ur-Ozeane, die unter hohem Druck durch Gesteins- und Erdschichten in Jahrmillionen in Kohlenwasserstoffe chemisch umgewandelt wurden.

Seit wann ist Erdgas bekannt?

Nachweisbar seit ca. 5000 Jahren als „Ewige Feuer“ der Indogermanen im Kaukasus. Sumerische und assyrische Priester nutzten die aus der Erde ausströmenden Gase für ihre Zukunftsdeutungen.

Woraus besteht Erdgas?

Hauptsächlich aus der brennbaren Kohlenwasserstoffverbindung Methan (CH_4).

Welche Erdgasqualitäten gibt es und was bedeuten sie?

Wir unterscheiden hauptsächlich zwischen den Erdgasqualitäten L und H.

„L“ steht für das englische Wort low = niedrig und bedeutet, dass dieses Erdgas einen Brennwert von etwa $9,77 \text{ kWh/m}^3$ besitzt. Es wird aus deutschen und niederländischen Lagerstätten bezogen.

„H“ steht für das englische Wort high = hoch und bedeutet, dass dieses Erdgas einen Brennwert von etwa $11,5 \text{ kWh/m}^3$ besitzt. Es wird vorwiegend aus den Lagerstätten der Nordsee und aus Russland bezogen.

Wann und wo entdeckte man das erste Erdgasfeld?

Im Jahre 1815 in einem Salzschacht in Charleston, West Virginia.

... und in Deutschland?

1910 bei einer Wasserbohrung in Neuengamme bei Hamburg.

Seit wann wurde Erdgas zum ersten Mal wirtschaftlich genutzt?

Um ca. 900 v. Chr. nutzten die Chinesen, nach Berichten britischer Chronisten, erstmals Erdgas zur Salztrocknung.

Warum wird Erdgas gespeichert?

Da der tägliche und je nach Jahreszeit bedingte Erdgasverbrauch großen Schwankungen unterliegt, ist es aus wirtschaftlichen Gründen erforderlich, durch Einspeicherung von Erdgas in bedarfsarmen Zeiten die Bereitstellung der erforderlichen Gasmenge für Spitzenbedarfszeiten zu sichern.

Wie wird Erdgas gespeichert?

Im gasförmigen Zustand.

Für den Ausgleich von geringen Gasmengen des Tagesbedarfs bedient man sich der oberirdischen Behälter. Größere Gasmengen werden in unterirdischen Porenspeichern – aus porösem Gestein – oder in Kavernenspeichern (Salzstockspeichern) gelagert.

Welche Arten von Gasleitungen gibt es und mit welchem Drücken wird das Gas in ihnen transportiert?

Haupttransportleitungen, auch als Ferngasleitungen bezeichnet, sind Hochdruckleitungen, in denen ein Druck bis maximal 80 bar gefahren wird.

Mittel- und Niederdruckleitungen der regionalen und örtlichen Gasversorgungsunternehmen sorgen für die Weiterleitung zu den Verbrauchern. In ihnen wird ein Mindestdruck von 20 mbar für Erdgas gefahren.

Seit wann existiert die erste Ferngasleitung in Deutschland?

Auf Betreiben von August Thyssen wurde die erste deutsche Ferngasleitung im Jahre 1910 von Duisburg-Hamborn nach Wuppertal-Barmen gelegt. 1964 schloss man sich dem Erdgasnetz der Niederlande an, und 1974 kam die Pipeline-Verbindung zum russischen Erdgasvorkommen hinzu. Damit wurde die Grundlage zu einem europäischen Verbundsystem geschaffen.

Was versteht man unter einer Übergabestation?

So bezeichnet man Regel- und Mess-Stationen, deren Aufgabe es ist, den Druck auf ein den nachgeordneten Gasleitungen angepasstes Druckniveau zu regeln und dabei die „übergabene“ Gasmenge zu messen.

Was ist der DVGW?

DVGW ist die Abkürzung für „Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches – Technisch-Wissenschaftliche Vereinigung e.V.“ mit Sitz in Eschborn bei Frankfurt am Main.

Der DVGW ist zuständig für technisch-wissenschaftliche Fragen im Gas- und Wasserfach.

Gasfamilien

Erd- und Erdölgase

(Kurzeichen: N)

Dies sind Naturgase. Sie bestehen größtenteils aus Methan (CH_4) und sind je nach Fundort oder Gewinnung mit Inerten (nicht brennbare Bestandteile) oder schweren Kohlenwasserstoffen (C_nH_m) vermischt.

Sie sind schwerer als Stadt- und Ferngas, aber noch leichter als Luft.

$$\begin{aligned} \text{Heizwert} &= 7,89 - 11,86 \text{ kWh/m}^3_n \\ &= 6800 - 10200 \text{ kcal/m}^3_n \end{aligned}$$

Gaseigenschaften	Zeichen	Dimension	Erdgas L*	Erdgas H**
Molmasse	M	kg/mol	17,70024	18,85279
Molvolumen	V_m	m^3/kmol	22,35954	22,32178
Dichte	ρ	kg/m^3	0,791845	0,851963
Relative Dichte	d	-	0,612409	0,658904
Krit. Druck, bar	p_k	bar	45,84764	46,74398
Krit. Temperatur	T_k	$^{\circ}\text{C}$	-84,6683	-64,4394
Realgasfaktor	Z	-	0,997604	0,995932
Krit. Realgasfaktor	Z_k	-	0,2897	0,2888
Brennwert	$H_{o,n}$	kWh/m^3	10,03431	12,24108
Brennwert	$H_{o,n}$	MJ/m^3	36,12353	44,06794
Heizwert	$H_{u,n}$	kWh/m^3	9,045801	11,07796
Heizwert	$H_{u,n}$	MJ/m^3	32,56488	39,88065
Wobbeindex	$W_{o,n}$	kWh/m^3	12,82231	15,08025
Max. CO_2 -Gehalt	$\text{CO}_2 \text{ max.}$	%	11,85502	12,30119
Mindestluftbedarf	L, min.	m^3/m^3	8,665676	10,57393
Mindest- O_2 -Bedarf	O_2 , min.	m^3/m^3	1,816995	2,217115
Verbr. Gasmenge tr.	V_{tr}	m^3/m^3	7,856047	9,505480
Verbr. Gasmenge f.	V_f	m^3/m^3	9,561809	11,50986

* Beispielhaft für eine typische Erdgaszusammensetzung der Gruppe L.

** Beispielhaft für eine typische Erdgaszusammensetzung der Gruppe H.

Stadt- und Ferngase

(Kurzzeichen: S)

Diese Gase haben einen hohen Wasserstoffgehalt (H_2), sind wesentlich leichter als Luft und werden nach dem klassischen Kokerei-Verfahren oder durch Spaltung aus Erd-, Raffinerie-, Flüssiggas oder Leichtbenzin hergestellt.

$$\begin{aligned} \text{Heizwert} &= 4,42 - 4,86 \text{ kWh/m}^3_n \\ &= 3800 - 4200 \text{ kcal/m}^3_n \end{aligned}$$

Gaseigenschaften	Zeichen	Dimension	Stadtgas
Molmasse	M	kg/mol	13,40096
Molvolumen	V_m	$m^3/kmol$	22,39295
Dichte	ρ	kg/m^3	0,599540
Relative Dichte	d	-	0,463681
Krit. Druck, bar	p_k	bar	27,65390
Krit. Temperatur	T_k	$^{\circ}C$	-168,922
Realgasfaktor	Z	-	0,999110
Krit. Realgasfaktor	Z_k	-	0,2970
Brennwert	$H_{o,n}$	kWh/m^3	5,058627
Brennwert	$H_{o,n}$	MJ/m^3	18,21106
Heizwert	$H_{u,n}$	kWh/m^3	4,539612
Heizwert	$H_{u,n}$	MJ/m^3	16,34260
Wobbeindex	$W_{o,n}$	kWh/m^3	7,428871
Max. CO_2 -Gehalt	$CO_2 \text{ max.}$	%	13,08969
Mindestluftbedarf	L, min.	m^3/m^3	3,895149
Mindest- O_2 -Bedarf	$O_2, \text{min.}$	m^3/m^3	0,816721
Verbr. Gasmenge tr.	V_{tr}	m^3/m^3	3,599347
Verbr. Gasmenge f.	V_f	m^3/m^3	4,494297

Flüssiggase

(Kurzzeichen: F)

Sie fallen als Nebenprodukte bei der Erdölraffination an und bestehen zu 95 % aus Propan oder Butan oder Mischungen von beiden. Der Rest besteht aus Propylen, Äthan, Äthylen und Butylen. Sie sind wesentlich schwerer als Luft (deshalb besondere Sicherheitsvorkehrungen!) und können unter Druck verflüssigt werden.

$$\begin{aligned} \text{Heizwert} &= 25,9 - 34,4 \text{ kWh/m}^3 \\ &\Delta 12,8 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

Eigenschaften von Flüssiggas:

ungiftig, schwefelfrei, verbrennt rauch- und geruchlos ohne Rückstände, nicht wassergefährdend (umweltfreundlich), bei Atmosphärendruck gasförmig, unter geringem Überdruck flüssig.



Gaseigenschaften	Zeichen	Dimension	Propan	Butan
Molmasse	M	kg/mol	44,0960	58,1230
Molvolumen	V_m	$m^3/kmol$	21,9274	21,461
Dichte	ρ	kg/m^3	2,0109	2,7080
Relative Dichte	d	-	1,5550	2,0940
Krit. Druck, bar	p_k	bar	42,400	38,0
Krit. Temperatur	T_k	$^{\circ}C$	96,65	152,05
Realgasfaktor	Z	-	0,9783	0,9575
Krit. Realgasfaktor	Z_k	-	0,2770	0,2740
Brennwert	$H_{o,n}$	kWh/m^3	28,1228	37,2392
Brennwert	$H_{o,n}$	MJ/m^3	101,2421	134,0611
Heizwert	$H_{u,n}$	kWh/m^3	25,8931	34,3917
Heizwert	$H_{u,n}$	MJ/m^3	93,2152	123,8101
Wobbeindex	$W_{o,n}$	kWh/m^3	22,5524	25,7343
Max. CO_2 -Gehalt	$CO_2 \text{ max.}$	%	13,7825	14,0857
Mindestluftbedarf	L, min.	m^3/m^3	24,3515	32,3413
Mindest- O_2 -Bedarf	$O_2, \text{min.}$	m^3/m^3	5,1060	6,7813
Verbr. Gasmenge tr.	V_{tr}	m^3/m^3	22,2930	29,711
Verbr. Gasmenge f.	V_f	m^3/m^3	26,1411	34,6252

Verbrennung von Grundstoffen

Brennstoff	Chem. Zeichen Bemerkungen	Verbrennungsformel	Maßeinheit	Heizwert je Maßeinheit		Abgaszusammensetzung			Wärmeeinheit io		Raumgewicht Brennstoff kg/Nm ³
				kcal	kWh	CO ₂ /%	H ₂ O/%	N ₂ /%	kcal/m ³ (n)	kWh/m ³ (n)	
Kohlenstoff	C	C + O ₂ = CO ₂	kg	7.935	9,23	20,9	-	79,1	889	1,034	-
Kohlenoxid	CO	C + 0,5 O ₂ = CO	kg	2.300	2,67	34,6(CO)	-	65,4	426	0,495	-
Wasserstoff	H ₂	CO + 0,5 O ₂ = CO ₂ H ₂ + 0,5 O ₂ = H ₂ O Dampf H ₂ + 0,5 O ₂ = H ₂ O Dampf	Nm ³ kg Nm ³	3.020 28.700 2.570	3,51 33,37 2,99	34,6 -	34,6 -	65,4 65,4 65,4	1044 889 889	1,214 1,034 1,034	1,250 0,0899 -
Methan	CH ₄	CH ₄ + 2,0 O ₂ = CO ₂ + 2 H ₂ O	Nm ³	8.560	9,95	9,5	18,9	71,6	810	0,942	0,717
Äthan	CH ₄	C ₂ H ₆ + 3,5 O ₂ = 2 CO ₂ + 3 H ₂ O	Nm ³	15.370	17,87	11,0	16,4	72,6	841	0,978	1,356
Propan	C ₃ H ₈	C ₃ H ₈ + 5,0 O ₂ = 3 CO ₂ + 4 H ₂ O	Nm ³	22.350	25,99	11,6	15,4	73,0	862	1,002	2,004
Butan	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀ + 6,5 O ₂ = 4 CO ₂ + 5 H ₂ O	Nm ³	29.280	34,05	11,9	14,9	73,2	870	1,012	2,703
Äthylen	C ₂ H ₄	C ₂ H ₄ + 3,0 O ₂ = 2 CO ₂ + 2 H ₂ O	Nm ³	14.320	16,55	13,0	13,0	74,0	931	1,083	1,261
Propylen	C ₃ H ₆	C ₃ H ₆ + 4,5 O ₂ = 3 CO ₂ + 3 H ₂ O	Nm ³	21.070	24,50	13,0	13,0	74,0	914	1,063	1,915
Butylen	C ₄ H ₈	C ₄ H ₈ + 6,0 O ₂ = 4 CO ₂ + 4 H ₂ O	Nm ³	27.190	31,62	13,0	13,0	74,0	885	1,029	-
Acetylen	C ₂ H ₂	C ₂ H ₂ + 2,5 O ₂ = 2 CO ₂ + H ₂ O	Nm ³	13.600	15,81	16,1	8,0	75,9	1.090	1,267	1,171
Benzol	C ₆ H ₆	C ₆ H ₆ + 7,5 O ₂ = 6 CO ₂ + 3 H ₂ O	Nm ³	33.870	39,38	16,1	8,0	75,9	905	1,052	-
SKW 1)	im	SKW + 3,76 O ₂ = 2,45 CO ₂ + 2,45 H ₂ O	"	17.000	19,77	13,0	13,0	74,0	905	1,052	1,53
SKW 1)	Koksofengas	SKW + 3,34 O ₂ = 2,17 CO ₂ + 2,34 H ₂ O	"	15.900	18,49	12,7	13,6	73,7	927	1,078	1,37
Schwefel	S	S + O ₂ = SO ₂	kg	2.222	2,58	20,0(SO ₂)	-	79,1	665	0,773	-
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	H ₂ S + 1,5 O ₂ = H ₂ O + SO ₂	kg	3.630	4,22	14,0(SO ₂)	14,0	72,0	717	0,834	1,539

1) schwere Kohlenwasserstoffe

Heizwert und Luftbedarf von technischen Gasen

Art des Gases	Heizwert				Dichte kg/m ³ (n) ρ	Dichte- verhältnis bezogen auf Luft = 1 dv	Theoretischer Verbrennungsluftbedarf Nm ³ /Nm ³ Gas L	Größter CO ₂ -Gehalt in % (ohne Luft- überschuss)
	Ho		Hu					
	kcal/m ³ (n)	kWh/m ³ (n)	kcal/m ³ (n)	kWh/m ³ (n)				
Steinkohlegas	5.250	6,10	4680	5,44	0,557	0,43	4,85	10,5
Ferngas	4.600	5,35	4100	4,77	0,505	0,39	4,13	10,3
Stadtgas	4.300	5,00	3870	4,50	0,61	0,50	3,85	12,0
Wassergas	2.700	3,14	2450	2,85	0,71	0,55	2,10	18,0
Generatorgas aus Koks	1.200	1,40	1150	1,34	1,16	0,90	0,95	20,0
Erdgas trocken	8.300	9,65	8000	9,30	0,80	0,62	8,9	12,0
Erdölgas	10.300	11,98	9400	10,93	0,89	0,69	10,4	12,1
Klärgas gereinigt	8.850	10,29	7960	9,26	0,75	0,58	8,87	12,0
Propan	24.320	28,28	22350	25,99	1,95	1,56	25,9	13,1
Flüssiggas								
Butan	31.530	36,66	29550	34,36	2,66	2,09	33,4	14,8

Zündtemperaturen von gasförmigen Brennstoffen

Brennstoff gasförmig	Zündpunkt °C, gemischt mit	
	Luft	O ₂
Kohlenstoff	~ 590	~ 610
Wasserstoff	~ 450	~ 530
Methan	~ 645	~ 645
Äthan	~ 500	~ 530
Äthylen	~ 485	~ 540
Propan	~ 490	~ 510
Butan	~ 460	~ 490
Azetylen	–	~ 325
Stadtgas	~ 450	~ 560
Gichtgas	–	~ 600

Was ist Druck?

$$p \times V = \text{konstant}$$

p = Druck, V = Volumen

Der Druck bezieht sich immer auf den Absolutdruck, das heißt auf den Überdruck in der Rohrleitung zuzüglich 1 bar Atmosphärendruck.

$$\text{Absolutdruck} = 1 \text{ bar} + \text{Überdruck}$$

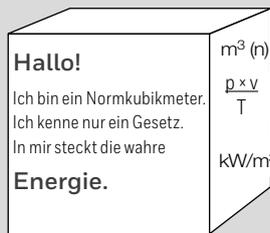
Druckeinheiten

Einheit	Name	Gesetzliche Einheiten					
		Pa	bar	mbar	μbar	N/mm ²	N/m ²
1 Pa = 1 N/m ²	Pascal ***	1	10 ⁻⁵	0,01	10	10 ⁶	1
1 bar	Bar	10 ⁵	1	1000	10 ⁶	0,1	10 ⁵
1 mbar	Millibar	100	0,001	1	1000	0,0001	100
1 μbar	Mikrobar	0,1	10 ⁻⁶	0,001	1	10 ⁻⁷	0,1
1 N/mm ²	Newton pro mm ²	10 ⁶	10	10000	10 ⁷	1	10 ⁶
1 kp/mm ²	Kilopond pro mm ²	9,8 × 10 ⁶	98,0665	98.066,5	9,8 × 10 ⁷	9,80665	9,8 × 10 ⁶
1 at	Technische Atmosphäre = 1 kp/cm ²	98.066,5	0,98066	980,665	9,8 × 10 ⁵	0,0981	98.066,5
1 kp/m ²	= 1 mm WS	9,80665	9,8 × 10 ⁻⁵	0,0981	98,0665	9,8 × 10 ⁻⁶	9,80665
1 Torr	Torr	133,322	0,00133	1,33322	1,333,22	1,3 × 10 ⁴	133,322
1 atm	Physikalische Atmosphäre ***	101.325	1,01325	1.013,25	1,01 × 10 ⁶	0,10133	101.325
1 lb/in ²	pound-force per square inch (psi) *	6.894,76	0,0689	68,948	68.948	0,00689	6.894,76
1 lb/ft ²	pound-force per square foot (psf) *	47,8803	0,00048	0,4788	478,8	4,7 × 10 ⁻⁵	47,8803
1 ton/in ²	(long) ton-force per square inch *	1,54 × 10 ⁷	154,443	154.443	1,54 × 10 ⁶	15,4443	1,54 × 10 ⁷
1 barye	Barye ***	0,1	10 ⁻⁶	0,001	1	10 ⁻⁷	0,1
1 pz	piece = 1 sn/m ² **)	1000	0,01	10	0,001	0,001	1000
1 dyn/m ²	Dyn = Einheit der Physik	0,1	10 ⁻⁶	0,001	1	10 ⁻⁷	0,1

*) amerikanische und englische Einheit

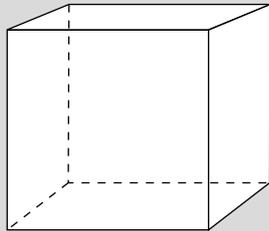
**) französische Einheit

***) Normdruck



...mit mir muss man rechnen.
 ...auf mich bezieht man sich.
 ...nur für mich muss man bezahlen.
 ...man darf mich nie vergessen.

p = Druck
 V = Volumen
 T = Temperatur

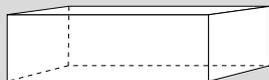


In diesem Würfel befinden sich 1 m³ Gas unter normalen Umgebungsdruck, also 1 bar absolut.



Achtung

Wir erhöhen jetzt den Druck auf 1 bar Überdruck oder 2 bar absolut, das Volumen hat sich um 50 % vermindert.



Hier ist der Überdruck auf 2 bar angestiegen; das Volumen auf 1/3 geschrumpft.



Bei 3 bar schrumpft das Volumen auf nur noch 1/4 des Ursprungsvolumens.



Bei 4 bar sind wir auf 20 %.



Bei 9 bar Überdruck = 10 bar absolut, bleibt nur noch 1/10 des Ursprungsvolumens.

Was ist Volumen, Volumenstrom und Strömungsgeschwindigkeit?

$$p \times V = \text{konstant}$$

p = Druck, V = Volumen

Volumen ist der Inhalt eines Hohlkörpers z. B. Behälter, Rohre, Räume, auch Gasgeräte.

Volumen darf nicht mit Menge verwechselt werden.

Strömt eine bestimmte Menge Gas (oder Luft) durch Rohre oder Geräte, spricht man von



Volumenstrom ist ein Volumen pro Zeiteinheit z. B. m^3/h oder l/min .

Volumenstrom = Q

$$\frac{\text{Volumen}}{\text{Zeit}} \quad \text{oder auch } Q = \frac{V}{t}$$

Volumenstrom = Querschnittsfläche der Rohrleitung \times Geschwindigkeit

$$Q = A \times v$$

Mit Hilfe des Diagramms kann bei gegebenem Volumenstrom und Rohrdurchmesser die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt werden.

Beispiel

Volumenstrom = $100 \text{ m}^3/\text{h}$

Rohrdurchmesser = DN 40

Abgelesene Strömungsgeschwindigkeit:

$$v = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Die Strömungsgeschwindigkeit ist nicht von der Dichte des Mediums abhängig.

$100 \text{ m}^3/\text{h}$ Erdgas bei DN 40 = 18 m/s

$100 \text{ m}^3/\text{h}$ Wasser bei DN 40 = 18 m/s

Umrechnung auf andere Betriebszustände

Umrechnung von Betriebs- auf Normvolumenstrom

$$Q_N = Q \frac{273 (b + p_u)}{1013 (273 + T_B)}$$

Q_N = Normvolumenstrom in $\text{m}^3(\text{n})/\text{h}$

Q_b = Betriebsvolumenstrom in m^3/h

b = Luftdruck in hPa (\square mbar, siehe Tabelle)

p_u = Betriebsüberdruck in hPa (\square mbar)

T_B = Betriebstemperatur in $^\circ\text{C}$

Umrechnung von Norm- auf Betriebsvolumenstrom

$$Q = Q_N \frac{1013 (273 + T_B)}{273 (b + p_u)}$$

Höhe über Meeresspiegel	Luftdruck hPa (\square mbar)
0 m	1.013
50 m	1.007
100 m	1.002
150 m	996
200 m	990
250 m	985
300 m	978
350 m	973
400 m	966
500 m	955
600 m	943
700 m	932
800 m	921
900 m	910
1.000 m	899

Was ist Temperatur

	°C	K	°F	°R
1 °C	1	273.16	33.8	493.48
1 K	-273.16	1	-239.36	1.8
1 °F	-17.22	255.93	1	460.67
1 °R	-272.6	1.8	-458.67	1

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32) = \text{K} - 273.16, \text{K} = 273.16 + ^{\circ}\text{C} = 5/9 ^{\circ}\text{R},$$

$$^{\circ}\text{F} = 1.8 ^{\circ}\text{C} \times 32 = ^{\circ}\text{R} - 459.67, ^{\circ}\text{R} = 459.67 + ^{\circ}\text{F} = 1.8 \text{K}$$

Temperatur ist ein Maß für den Energiezustand eines Körpers.

Celsiustemperatur (t)

Thermodynamische Temperatur (T)

Temperaturdifferenz (ΔT , Δt)

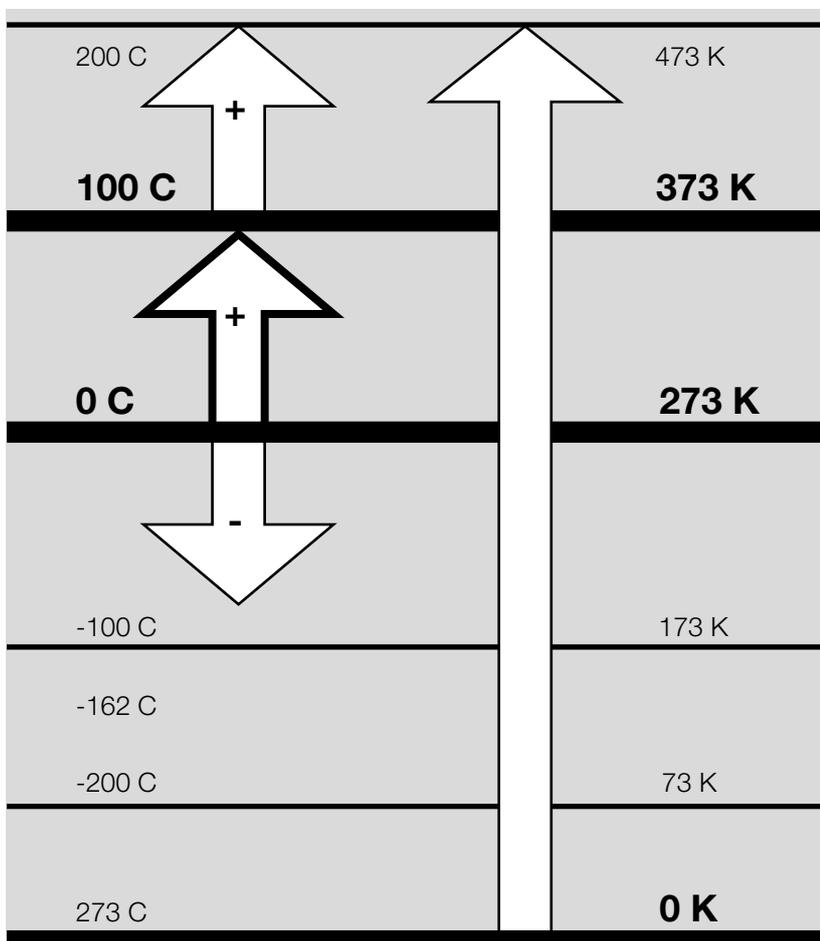
Als Basiseinheit verwendet man Kelvin [K]. Die Definition von Kelvin fußt auf den gleichzeitig dampförmigen, flüssigen und festen Zustand von Wasser, der bei 0,01 °C liegt (Tripelpunkt).

Von diesem Punkt ausgehend verringert sich das Volumen eines Gases bei einer Temperaturabsenkung von 1 K um seinen 273,16ten Teil.

Hieraus folgert, dass das Volumen bei einer Temperaturabsenkung von 273,16 gleich Null werden kann. Dieser Punkt wurde als absoluter Nullpunkt festgelegt, er dient als Ausgangspunkt der thermodynamischen Temperaturskala mit 0 K.

Die üblicherweise eingesetzte Celsius-Temperaturskala kann auch weiterhin benutzt werden. Ausgehend vom Gefrierpunkt und Siedepunkt des Wassers wird die Skala in 100 gleiche Teile geteilt. 0 °C ist der Gefrierpunkt, 100 °C ist der Siedepunkt.

Die Einteilung der Skala ergibt, dass ein Grad Celsius als Temperaturdifferenz gleich 1 Kelvin Temperaturdifferenz ist. In allen Materien, deren Temperatur über -273 °C liegt, ist Energie enthalten, die in gewissen Bereichen genutzt werden kann.



Was ist Masse, Atommasse, Molekülmasse?

Die **Masse** eines Körpers wird durch seine Trägheit deutlich, die bei einer Änderung seines Bewegungszustandes bzw. bei Anziehung zu anderen Körpern auftritt.

Als **Basiseinheit (1 kg)** gilt die Masse von einem Kubikdezimeter [dm³] reinem Wasser bei einer Temperatur von +0,01 °C.

Die **relative Atommasse** stellt eine Verhältniszahl dar, wie viel mal die Masse größer ist als die eines Bezugsatoms. Heute gilt als Bezugsatom das Kohlenstoffnuklid ¹²C, mit einer relativen Atommasse von 12,000.

Die **relative Molekülmasse M_r** ist die Summe der relativen Atommassen A_r.

Beispiel:

Ermittlung der relativen Molekülmasse von Methan CH₄

$$M_r = \text{Summe } A_r$$

$$M_r = A_r C + A_r H_4$$

$$M_r = 1 \times 12 + 4 \times 1$$

$$M_r = 16$$

$$A_r C = 12$$

$$A_r H_4 = 4$$

A_r und M_r sind als relative Werte dimensionslos.

M = Masse

A_r = relative Atommasse

M_r = relative Molekülmasse

Forschungen durch Avogadro (1776 – 1856) ergaben, dass sich in gleichen Raumteilen, bei gleicher Temperatur und gleichem Druck die gleiche Anzahl von Molekülen befindet.

Gleiches Volumen + gleicher Druck + gleiche Temperatur = gleiche Anzahl von Molekülen.

Nimmt man von einem Gas so viele Gramm, wie die relative Molekülmasse zahlenmäßig aussagt (z. B. H₂ = 2 g), so ergibt diese Menge im Normzustand bei 0 °C und 1013,25 mbar ein Volumen von 22,4 Litern.

Die Menge – hier als Beispiel H₂ = 2 g – bezeichnet man als ein Mol mit dem Kurzzeichen „mol“. Das Volumen von 22,4 Litern bezeichnet man als Molvolumen;

es ist für alle Gase gleich;

Stoffmenge [g] = Mol

Molvolumen [l] = 22,4

Molekül	Chemische Bezeichnung	Masse
Wasserstoff	H ₂	2
Helium	He	4
Methan	CH ₄	16
Ammoniak	NH ₃	17
Wasserdampf	H ₂ O Dampf	18
Acetylen	C ₂ H ₂	26
Stickstoff	N ₂	28
Kohlenmonoxid	CO	28
Luft	hauptsächlich N ₂ und O ₂	29
Äthan	C ₂ H ₆	30
Sauerstoff	O ₂	32
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	34
Kohlendioxid	CO ₂	44
Propan	C ₃ H ₈	44

Was ist Arbeit, Energie, Wärmemenge?

Unter Arbeit versteht man die Veränderung des Energiezustandes eines Stoffes. Dieser Zustand kann beispielsweise in Form

- von Wegarbeit $W = F \times s$
- von Hubarbeit $W = m \times g \times h$
- von Reibungsarbeit $W_R = F_R \times s$
- einer Federkonstante

Federrate $W = -\frac{c}{2} s^2$

usw. vorliegen.

Im „Mechanischen Wärmeäquivalent“ von April 1926 wird ein Vergleich von mechanischer Arbeit zur Wärmemenge gegeben.

Es ist beispielsweise eine gleiche Energie nötig, um 1 g Wasser um 1 °C zu erwärmen, wie auch 400 g Masse 1 Meter hoch zu heben.

Umgekehrt erzeugen 400 g Masse, die 1 Meter abgesenkt werden, so viel Energie, um 1 g Wasser um 1 °C zu erwärmen.

Wärmeeinheiten

W, W_R = Arbeit, Reibungsarbeit

F, F_R = Kraft, Reibungskraft

M = Masse

y = Fallbeschleunigung

h = Hubhöhe

c = Federkonstante

s = Federweg, Weg

Umrechnung von Einheiten für Arbeit, Energie und Wärme

SI-Einheit „Joule“ (J)

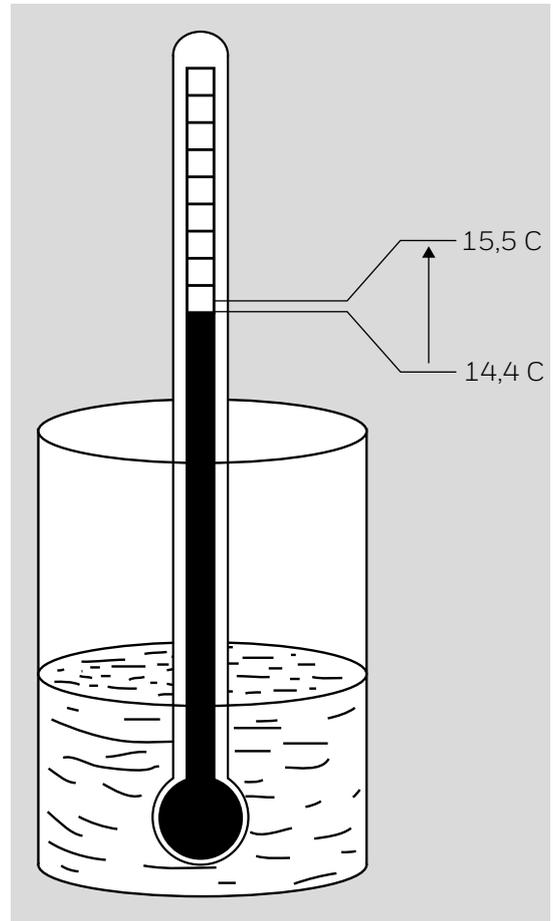
$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} \text{ m} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}$$

	J	kJ	kWh	kcal	kpm
1 J	1	0.001	$2,78 \times 10^{-7}$	$2,39 \times 10^{-4}$	0.10197
1 kJ	1000	1	$2,78 \cdot 10^{-4}$	0.239	101.97
1 kWh	$3,6 \times 10^6$	3600	1	860	$3,67 \times 10^5$
1 kcal	4186.8	4.1868	$1,163 \times 10^{-3}$	1	426.93
1 kpm	9.8067	$9,8067 \times 10^{-3}$	$2,72 \times 10^{-6}$	$2,34 \times 10^{-3}$	1

Ausländische Einheiten

1 BTU (British Thermal Unit) = 1055,06 J = $2,39 \cdot 10^{-4}$ kWh = 0,252 kcal

1 Therm = 100000 BTU = $1,055 \cdot 10^8$ J = 29,3 kWh = 25200 kcal



Was ist Leistung, Energie- oder Wärmestrom?

$$P = \frac{W}{t}$$

P = Leistung, W = Arbeit, t = Zeit

Leistung ist eine auf eine bestimmte Zeit bezogene Arbeit oder Energie.

Wenn bei der Verrichtung von Arbeit, Aufwendung von Energie oder Lieferung von Wärmemengen die Zeitspanne berücksichtigt wird, spricht man von Leistung.

Umrechnung von Einheiten für Leistung, Energie und Wärmestrom

SI-Einheit „Watt“ (W)

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ Nm/s} = 1 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} \text{ m} \frac{1}{\text{s}} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^3}$$

	W	kW	kcal/h	kpm/s	PS
1 W	1	0,001	0,860	0,10197	$1,36 \times 10^{-3}$
1 kW	1.000	1	860	101,97	1,36
1 kcal/h	1,163	$1,163 \times 10^{-3}$	1	0,1186	$1,58 \times 10^{-3}$
1 kpm/s	9,8067	$9,8067 \times 10^{-3}$	8,43	1	0,0133
1 PS	735,48	0,735	632,4	75,19	1

Was ist Dichte, Dichteverhältnis?

Unter **Dichte** versteht man den Quotienten aus der Masse eines Stoffes dividiert durch sein Volumen.

$$\rho_{(n)} = \frac{M [\text{kg}]}{V [\text{m}^3]}$$

Weiterhin kann die Dichte eines Stoffes über seine relative Molkülmasse M_r und über das Molvolumen von $22,4 \text{ m}^3$ bestimmt werden.

Da sich das Molvolumen auf den Normzustand bezieht, ergibt sich hierüber die **Moldichte**.

$$\rho_{(n)} = \frac{M_r}{22,4} [\text{kg}/\text{m}^3_{(n)}] = M_r V_{(n)}$$

Unter **Dichteverhältnis** d_v eines Gases versteht man das Verhältnis seiner Dichte zur Dichte der Luft bei gleichen Zustandsbedingungen.

$$d_v = \frac{\text{Dichte des Gases (im Normalzustand)}}{\text{Dichte der Luft } 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3 \text{ (im Normalzustand)}}$$

$$d_v = \frac{\rho_{(n)} \text{ Gas}}{1,293 [\text{kg}/\text{m}^3_{(n)}]} = \frac{M_r}{1,293 [\text{kg}/\text{m}^3 \times 22,4 [\text{m}^3/\text{kg}]}$$

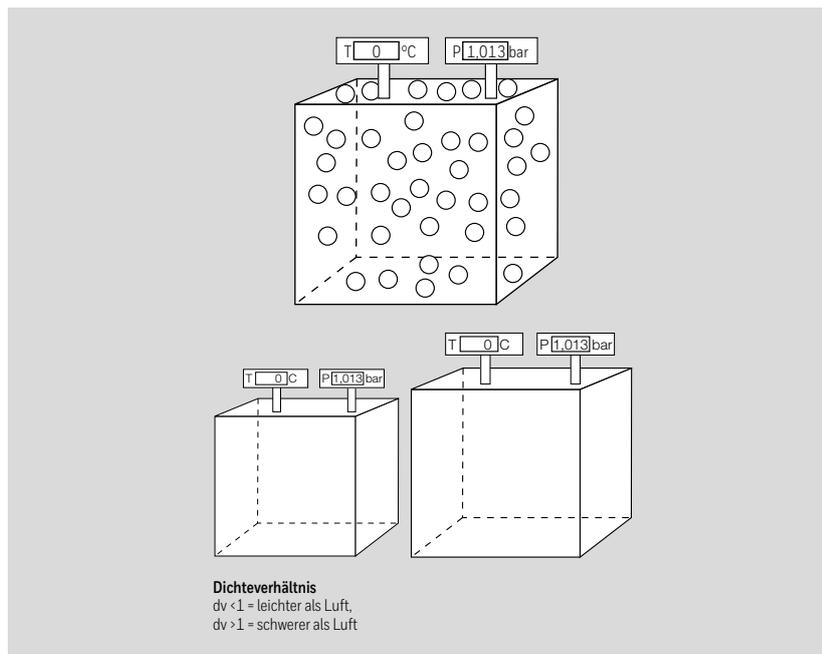
$\rho, \rho_{(n)}$ = Dichte, Normdichte

M = Masse

V = Volumen

d_v = Dichteverhältnis

M_r = Molekülmasse



Was ist Wärmemenge, Heizwert, Brennwert, Wobbeindex?

Brenn- und Heizwert üblicher Gase

	Stadtgas	Erdgas L	Erdgas H	Propan	Butan
Brennwert $H_{o(n)}$ kWh/m ³	5,48	9,78	11,46	28,28	37,22
Heizwert $H_{u(n)}$ kWh/m ³	4,87	8,83	10,35	25,99	34,31
Verhältnis $H_{o(n)}/H_{u(n)}$	1,13	1,11	1,11	1,09	1,08

$H_{u(n)}$ = Heizwert bezogen auf Normzustand

$H_{o(n)}$ = Brennwert bezogen auf Normzustand

Der Heizwert $H_{u(n)}$ eines Gases ist die Wärme, die bei vollständiger Verbrennung eines Kubikmeters Gases im Normzustand freigesetzt wird, wenn die Anfangs- und Endprodukte eine Temperatur von 25 °C haben und der Wasserdampf im Abgas dampfförmig bleibt.

Der Brennwert $H_{o(n)}$ ist wie der Heizwert $H_{u(n)}$ definiert, jedoch wird der entstandene Wasserdampf als flüssig angenommen. Der Brennwert setzt sich somit zusammen aus Heizwert $H_{u(n)}$ plus Kondensationswärme r des bei der Verbrennung entstandenen Wasserdampfes.

Der Wobbeindex dient zur Beurteilung der Wärmebelastung von Brennern, da neben dem Heizwert auch die Dichte des Mediums einen wesentlichen Einfluss auf die durchgesetzte Energie hat.

Bei konstantem Wobbeindex ist die Wärmebelastung eines Brenners nahezu konstant.

W_o = Wobbeindex bezogen auf Brennwert

W_u = Wobbeindex bezogen auf Heizwert

d_v = Dichteverhältnis

H_o = Brennwert

H_u = Heizwert

$$W_o = \frac{H_{o(n)}}{\sqrt{d_v}} \quad W_u = \frac{H_{u(n)}}{\sqrt{d_v}}$$

Elektrische Formelsammlung

Ohmsches Gesetz

$$U = I \times R$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$R = \frac{U}{I}$$

U = Spannung (V)

I = Strom (A)

R = Widerstand (Ω)

Leitungswiderstand

$$R = \frac{l}{\chi \times A}$$

$$R = \frac{\rho \times l}{A}$$

Kupfer

$\chi = 56 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$

$\frac{1}{\chi} \rho = 0,0178 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

Aluminium

$\chi = 36 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$

$\frac{1}{\chi} \rho = 0,0278 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

l = Länge des Leiters (m)

χ = Leitfähigkeit ($\text{m}/\Omega \text{ mm}^2$)

ρ = spez. Widerstand ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

A = Querschnitt des Leiters (mm^2)

Leistungsberechnung bei Gleichspannung

$$P = U \times I$$

$$I = \frac{P}{U}$$

$$U = \frac{P}{I}$$

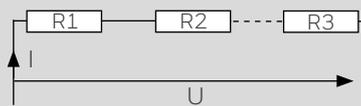
U = Spannung (V)

I = Strom (A)

P = Leistung (VA) (Watt)

Schaltung von Widerständen

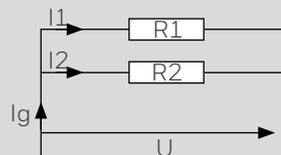
Reihenschaltung



$$R_g = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

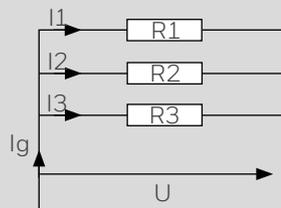
Parallelschaltung

Für zwei Widerstände gilt



$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Für drei und mehr Widerstände gilt



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots$$

$$G = \frac{1}{R} \quad I_g = \sum I \quad I_g = U \cdot G$$

Spannungsabfall

Gleichstrom

$$U_v = \frac{2 \cdot l \cdot P}{\chi \cdot A \cdot U}$$

$$U_v = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\chi \cdot A}$$

Wechselstrom

$$U_v = \frac{2 \cdot l \cdot P}{\chi \cdot A \cdot U}$$

$$U_v = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \cos\varphi}{\chi \cdot A}$$

Drehstrom

$$U_v = \frac{l \cdot P}{\chi \cdot A \cdot U}$$

U_v = Spannungsabfall (V)

U = Netzspannung (V)

A = Querschnitt (mm²)

I = Gesamtstrom (A)

P = Gesamtleistung (W)

l = Länge des Leiters (m)

χ = Leitfähigkeit (m/Ω mm²/m)

Widerstände im Wechselstromkreis

Der induktive Widerstand

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$I = \frac{U}{X_L}$$

$$= \frac{U}{\omega \cdot L}$$

X_L = induktiver Widerstand (Ω)

L = Induktivität (H)

I = Strom (A)

ω, f = Kreisfrequenz, Frequenz (1/s)

Der kapazitive Widerstand

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$I = \frac{U}{X_C}$$

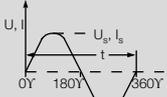
X_C = kapazitiver Widerstand (Ω)

C = Kapazität (F)

I = Strom (A)

ω, f = Kreisfrequenz, Frequenz (1/s)

Verschiedene Werte sinusförmiger Wechselgrößen



$$I = I_s \times \sin \omega t$$

$$U = U_s \times \sin \omega t$$

$$\omega = 2 \times \pi \times f$$

$$f = \frac{1}{t}$$

$$t = \frac{1}{f}$$

$$U_{ar} = 0,637 \times U_s$$

$$I_{ar} = 0,637 \times I_s$$

$$U_{eff} = \frac{U_s}{\sqrt{2}}$$

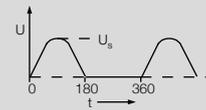
$$I_{eff} = \frac{I_s}{\sqrt{2}}$$

- I, U = Momentanwerte (A, V)
- I_s, U_s = Scheitelwerte (A, V)
- I_{eff}, U_{eff} = Effektivwerte (A, V)
- I_{ar}, U_{ar} = arithmetische Mittelwerte (A, V)
- f = Frequenz (1/s)
- ω = Kreisfrequenz (1/s)
- t = Dauer der Periode

Einweg-Gleichrichter

$$U_{ar} = 0,318 \times U_s$$

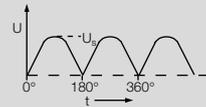
$$U_{eff} = 0,5 \times U_s$$



Zweiweg-Gleichrichter

$$U_{ar} = 0,637 \times U_s$$

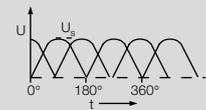
$$U_{eff} = 0,707 \times U_s$$



Drei-Phasen-Gleichrichter

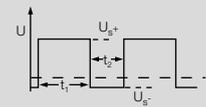
$$U_{ar} = 0,827 \times U_s$$

$$U_{eff} = 0,841 \times U_s$$

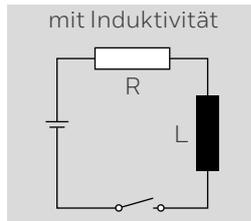


$$U_{ar} = \frac{U_{s+} \cdot t_1 + U_{s-} \cdot t_2}{t_1 + t_2}$$

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{U_{s+}^2 \cdot t_1 + U_{s-}^2 \cdot t_2}{t_1 + t_2}}$$



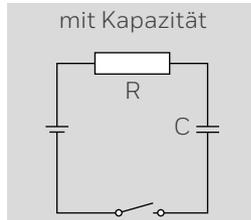
Ein- und Ausschaltvorgänge



$$\tau = \frac{L}{R}$$

Strom nach dem Einschalten

$$i = I \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$



Strom nach dem Ausschalten

$$i = I \times e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = R \times C$$

Ladestrom

$$i = I \times e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Ladespannung

$$u = U \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

Entladespannung

$$u = U \times e^{-\frac{t}{\tau}}$$

τ = Zeitkonstante (s)

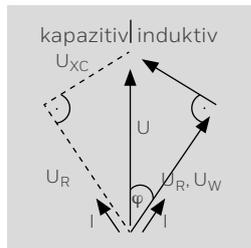
t = Zeit (s)

e = Basis der natürlichen Logarithmen

u, i = Augenblickswerte von Strom und Spannung (V, A)

U, I = Anfangs- bzw. Endwerte von Strom und Spannung (V, A)

Berechnung der Leistung im Wechselstromkreis



$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$U_w = U \cdot \cos \varphi$$

$$U_b = U \cdot \sin \varphi$$

$$U = \sqrt{U_w^2 + U_b^2}$$

$$I_w = I \cdot \cos \varphi$$

$$I_b = I \cdot \sin \varphi$$

$$I = \sqrt{I_w^2 + I_b^2}$$

$$S = U \cdot I$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

$$\sin \varphi = \frac{X}{Z}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

S = Scheinleistung (VA)

P = Wirkleistung (W)

Q = Blindleistung (VA)

Z = Scheinwiderstand (Ω)

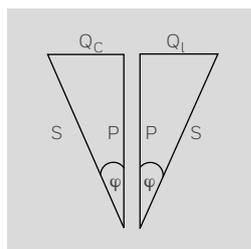
R = Wirkwiderstand (Ω)

X = Blindwiderstand (Ω)

U_w, U_b = Wirk-, Blindspannung (V)

I_w, I_b = Wirk-, Blindstrom (A)

$\sin \varphi, \cos \varphi$ = Leistungsfaktoren



$$P = S \cdot \cos \varphi$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi$$

Elektrische Leistung von Motoren

Gleichstrom

Abgegebene Leistung

$$P_1 = U \times I \times \eta \text{ [W]}$$

Stromaufnahme

$$I = \frac{P_1}{U \times \eta} \text{ [A]}$$

Einphasen Wechselstrom

Abgegebene Leistung

$$P_1 = U \times I \cos \varphi \times \eta \text{ [W]}$$

Stromaufnahme

$$I = \frac{P_1}{U \times \cos \varphi \times \eta} \text{ [A]}$$

Drehstrom

Abgegebene Leistung

$$P_1 = 1.73 \times U \times I \cos \varphi \times \eta \text{ [A]}$$

Stromaufnahme

$$I = \frac{P_1}{1.73U \times \cos \varphi \times \eta} \text{ [A]}$$

Drehstrom

Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_1}{P_2} \times 100\%$$

Stromaufnahme

$$P_2 = \frac{P_1}{\eta} \text{ [W]}$$

P_1 = an der Welle des Motors abgegebene mechanische Leistung lt. Leistungsschild

P_2 = aufgenommene elektrische Leistung P = Wirkleistung (W)

U = Spannung (V)

I = Strom (A)

$\cos \varphi$ = Leistungsfaktor

η = Wirkungsgrad

Transformator

\ddot{u} = Übersetzungsverhältnis

U_1 = Eingangsspannung in V

U_2 = Ausgangsspannung in V

I_1 = Eingangsstrom in A

I_2 = Ausgangsstrom in A

N_1 = Windungszahl der Eingangswicklung

N_2 = Windungszahl der Ausgangswicklung

Z_1 = eingangsseitiger Wechselstromwiderstand in Ω

Z_2 = ausgangsseitiger Wechselstromwiderstand in Ω

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1}$$

$$\text{Übertrager } \ddot{u}^2 = \frac{Z_1}{Z_2}$$

Betriebsart

Dauerbetrieb (DB) oder aussetzender Betrieb (AB).

Bei letzterem gilt:

Einschaltdauer

15 %, 20 %, 33 %, ED

(27 s, 36 s, 59 s in 3 min)

$$\text{Einschaltdauer [s]} = \frac{\text{ES [\%]} \times 180 \text{ s}}{100 \%}$$

oder DB (Dauerbetrieb).

Schutzart nach DIN EN 60529 (IP)

	Schutzart	DIN EN 60529 –	IP	4	4
Benennung					
DIN-Nummer					
Kennbuchstabe					
Erste Kennziffer (siehe Tabelle 1)					
Zweite Kennziffer (siehe Tabelle 2)					

Schutzgrade für den Berührungs- und Fremdkörperschutz

Schutzgrade für die erste Kennziffer

Erste Kennziffer	Schutzgrad (Berührungs- und Fremdkörperschutz)
0	Kein besonderer Schutz
1	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser größer als 50 mm (große Fremdkörper) ¹⁾ Kein Schutz gegen absichtlichen Zugang, z. B. mit der Hand, jedoch Fernhalten großer Körperflächen
2	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser größer als 12 mm (mittelgroße Fremdkörper) ¹⁾ Fernhalten von Fingern oder ähnlichen Gegenständen
3	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser größer als 2,5 mm (kleine Fremdkörper) ^{1) 2)} Fernhalten von Werkzeugen, Drähten oder ähnlichem von einer Dicke größer als 2,5 mm
4	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser größer als 1 mm (kornförmige Fremdkörper) ^{1) 2)} Fernhalten von Werkzeugen, Drähten oder ähnlichem von einer Dicke größer als 1 mm
5	Schutz gegen schädliche Staubablagerungen. Das Eindringen von Staub ist nicht vollkommen verhindert; aber der Staub darf nicht in solchen Mengen eindringen, dass die Arbeitsweise des Betriebsmittels beeinträchtigt wird (staubgeschützt). ³⁾ Vollständiger Berührungsschutz
6	Schutz gegen Eindringen von Staub (staubdicht). Vollständiger Berührungsschutz

¹⁾ Bei Betriebsmitteln der Schutzgrade 1 bis 4 sind gleichmäßig oder ungleichmäßig geformte Fremdkörper mit drei senkrecht zueinander stehenden Abmessungen größer als die entsprechenden Durchmesser-Zahlenwerte am Eindringen gehindert.

²⁾ Für die Schutzgrade 3 und 4 fällt die Anwendung dieser Tabelle auf Betriebsmittel mit Abflusslöchern oder Kühlluftöffnungen in die Verantwortung des jeweils zuständigen Fachkomitees.

³⁾ Für den Schutzgrad 5 fällt die Anwendung dieser Tabelle auf Betriebsmittel mit Abflusslöchern in die Verantwortung des jeweils zuständigen Fachkomitees.

Schutzgrade für den Wasserschutz Schutzgrade für die zweite Kennziffer

Zweite Kennziffer	Schutzgrad (Wasserschutz)
0	Kein besonderer Schutz
1	Schutz gegen tropfendes Wasser, das senkrecht fällt. Es darf keine schädliche Wirkung haben (Tropfwasser).
2	Schutz gegen tropfendes Wasser, das senkrecht fällt. Es darf bei einem bis zu 15° gegenüber seiner normalen Lage gekippten Betriebsmittel (Gehäuse) keine schädliche Wirkung haben (Schrägfallendes Tropfwasser).
3	Schutz gegen Wasser, das in einem beliebigen Winkel bis zu 60° zur Senkrechten fällt. Es darf keine schädliche Wirkung haben (Sprühwasser).
4	Schutz gegen Wasser, das aus allen Richtungen gegen das Betriebsmittel (Gehäuse) spritzt. Es darf keine schädliche Wirkung haben (Sprühwasser).
5	Schutz gegen einen Wasserstrahl aus einer Düse, der aus allen Richtungen gegen das Betriebsmittel (Gehäuse) gerichtet wird. Er darf keine schädliche Wirkung haben (Strahlwasser).
6	Schutz gegen schwere See oder starken Wasserstrahl. Wasser darf nicht in schädlichen Mengen in das Betriebsmittel (Gehäuse) eindringen (Überfluten).
7	Schutz gegen Wasser, wenn das Betriebsmittel (Gehäuse) unter Druck und Zeitbedingungen in Wasser getaucht wird. Wasser darf nicht in schädlichen Mengen eindringen (Eintauchen).
8	Das Betriebsmittel (Gehäuse) ist geeignet zum dauernden Untertauchen in Wasser bei Bedingungen, die durch den Hersteller zu beschreiben sind (Untertauchen). ¹⁾

¹⁾ Dieser Schutzgrad bedeutet normalerweise ein luftdicht verschlossenes Betriebsmittel. Bei bestimmten Betriebsmitteln kann jedoch Wasser eindringen, sofern es keine schädliche Wirkung hat.

Whitworth-Rohrgewinde für Gewinderohre und Fittings

Zylindrisches Innengewinde und kegeliges Außengewinde, Gewindemaße

1 Anwendungsbereich

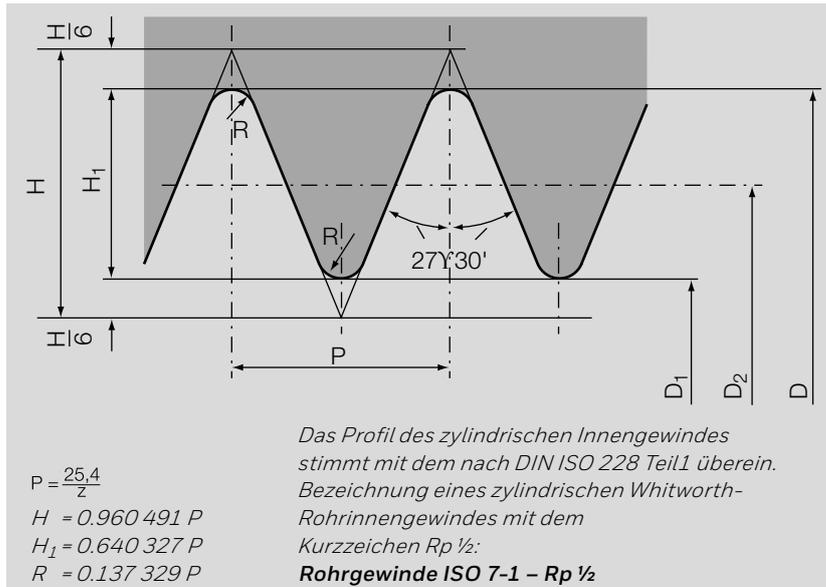
Diese Norm gilt für Verbindungen von zylindrischen Innengewinden an Armaturen, Fittings, Gewindeflanschen usw. mit kegeligen Außengewinden.

Wenn nötig, darf ein geeignetes Dichtmittel im Gewinde verwendet werden, um eine dichte Verbindung sicherzustellen.

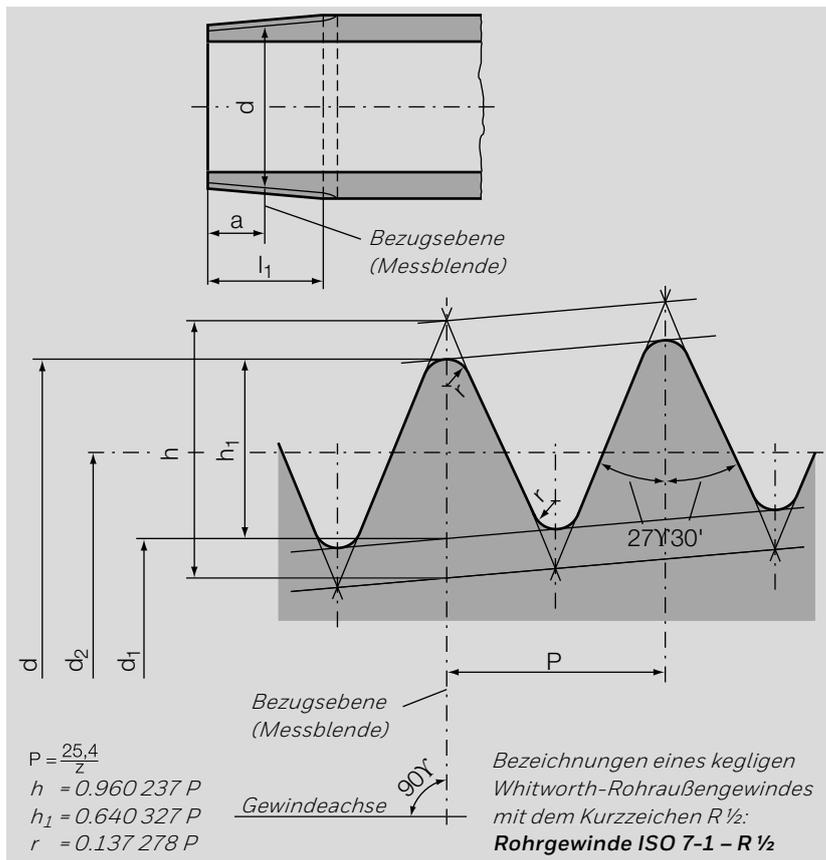
Maße in mm

2 Maße, Bezeichnungen

2.1 Zylindrisches Innengewinde (Kurzzeichen Rp)

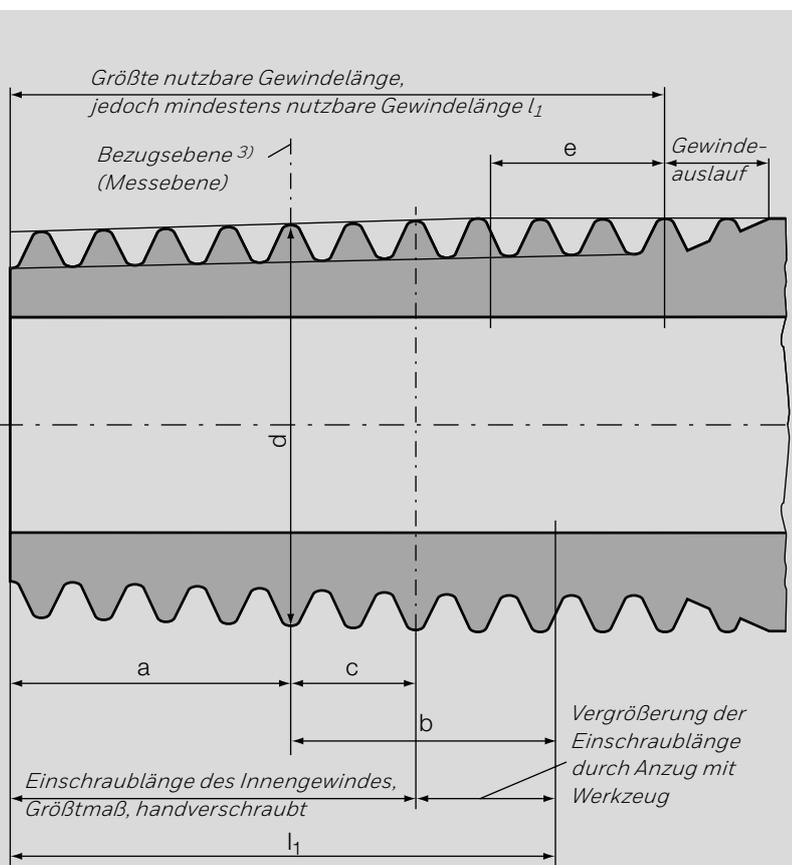


2.2 Kegeliges Außengewinde (Kurzzeichen R) (Kegel 1 : 16)



Nennmaße

Kurzzeichen		Nennweite der Rohre	Abstand der Bezugsebene	Außen-durchmesser	Flanken-durchmesser	Kern-durchmesser	Steigung	Gangzahl auf 25,4 mm	Gewindetiefe	Rundung	Nutzbare Gewindelänge
Außen-gewinde	Innen-gewinde										
			a	d = D	d2 = D2	d1 = D1	P	Z	h1 = H1	r = H	r = H
R 1/16	Rp 1/16	3	4,0	7,723	7,142	6,561	0,907	28	0,581	0,125	6,5
R 1/8	Rp 1/8	6	4,0	9,728	9,147	8,566	0,907	28	0,581	0,125	6,5
R 1/4	Rp 1/4	8	6,0	13,157	12,301	11,445	1,337	19	0,856	0,184	9,7
R 3/8	Rp 3/8	10	6,4	16,662	15,806	14,950	1,337	19	0,856	0,184	10,1
R 1/2	Rp 1/2	15	8,2	20,955	19,793	18,631	1,814	14	1,162	0,249	13,2
R 3/4	Rp 3/4	20	9,5	26,441	25,279	24,117	1,814	14	1,162	0,249	14,5
R 1	Rp 1	25	10,4	33,249	31,770	30,291	2,309	11	1,479	0,317	16,8
R 1 1/4	Rp 1 1/4	32	12,7	41,910	40,431	38,952	2,309	11	1,479	0,317	19,1
R 1 1/2	Rp 1 1/2	40	12,7	47,803	46,324	44,845	2,309	11	1,479	0,317	19,1
R 2	Rp 2	50	15,9	59,614	58,135	56,656	2,309	11	1,479	0,317	23,4
R 2 1/2	Rp 2 1/2	65	17,5	75,184	73,705	72,226	2,309	11	1,479	0,317	26,7
R 3	Rp 3	80	20,6	87,844	86,405	84,926	2,309	11	1,479	0,317	29,8
R 4	Rp 4	100	25,4	113,030	111,551	110,072	2,309	11	1,479	0,317	35,8
R 5	Rp 5	125	28,6	138,430	136,951	135,472	2,309	11	1,479	0,317	40,1
R 6	Rp 6	150	28,6	163,830	162,351	160,872	2,309	11	1,479	0,317	40,1



a = Abstand der Bezugsebene vom Gewindeanfang

b = mittlerer Einschraubbereich mit Werkzeug

c = Vergrößerung der Einschraublängen, hervorgerufen durch Plus-Abweichungen des Innengewindes

e = An der Gewindespitze unvollständige Gewindelänge infolge der Minus-Abweichung des Halbzeuges

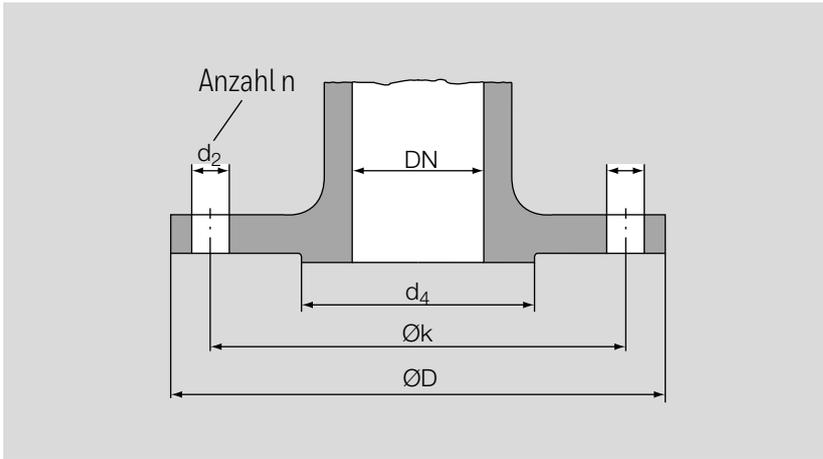
¹⁾ Ein Teil mit Innengewinde muss das Einschrauben eines Rohres bis zur Gewindelänge l_1 beim Größtmaß von a erlauben.

²⁾ Bei freiem Gewindeauslauf darf die nutzbare Gewindelänge l_2 des Innengewindes nicht kleiner sein als 80 % von l_1 beim Kleinstmaß von a .

³⁾ Die Maße in der Bezugsebene (Maßebebene) stimmen mit den Nennmaßen nach Tabelle **Nennmaße** überein.

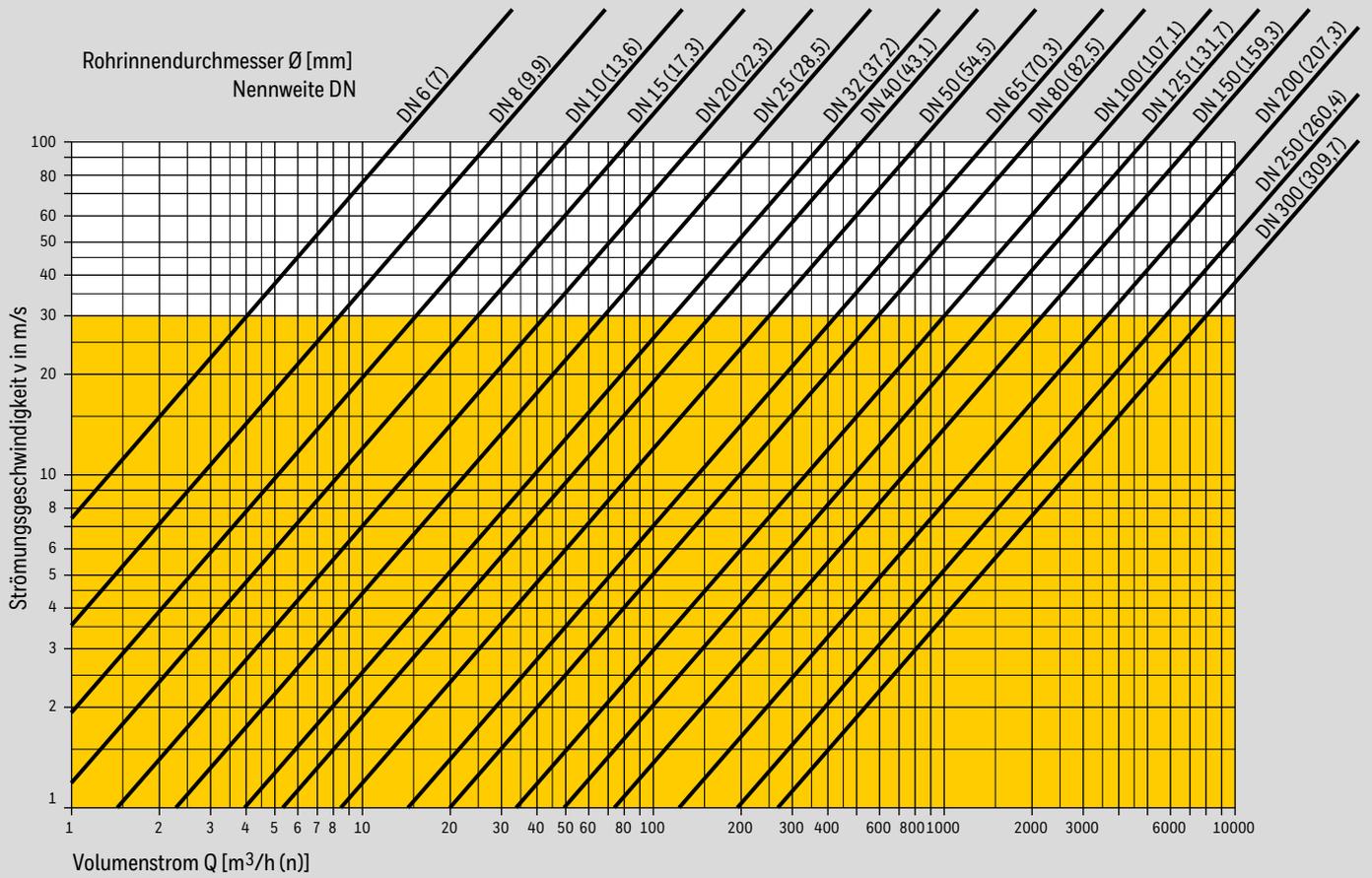
Flanschabmessungen nach DIN EN 1092-1: 2013

Anschlussmaße: Die nachstehende Darstellung erfasst nicht alle Flanscharten, sie dient nur der Darstellung der Anschlussmaße.



DN	PN 6					PN 10					PN 16					PN 25					PN 40					
	ØD	Øk	Ød2	n	d4	ØD	Øk	Ød2	n	d4	ØD	Øk	Ød2	n	d4	ØD	Øk	Ød2	n	d4	ØD	Øk	Ød2	n	d4	
10	75	50	11	4	35																90	60	14	4	40	
15	80	55	11	4	40																	95	65	14	4	45
20	90	65	11	4	50																	105	75	14	4	58
25	100	75	11	4	60	siehe Maße PN 40					siehe Maße PN 40					siehe Maße PN 40					115	85	14	4	68	
32	120	90	14	4	70																	140	100	18	4	78
40	130	100	14	4	80																	150	110	18	4	88
50	140	110	14	4	90						165	125	18	4	102							165	125	18	4	102
65	160	130	14	4	110						185	145	18	4(8)	122							185	145	18	8	122
80	190	150	18	4	128	siehe Maße PN 16					200	160	18	8	138	siehe Maße PN 40					200	160	18	8	138	
100	210	170	18	4	148						220	180	18	8	158							235	190	22	8	162
125	240	200	18	8	178						250	210	18	8	188							270	220	26	8	188
150	265	225	18	8	202						285	240	22	8	212							300	250	26	8	218
200	320	280	18	8	258	340	295	22	8	268	340	295	22	12	268	360	310	26	12	278	375	320	30	12	285	
250	375	335	18	12	312	395	350	22	12	320	405	355	26	12	320	425	370	30	12	335	450	385	33	12	345	
300	440	395	22	12	365	445	400	22	12	370	460	410	26	12	378	485	430	30	16	395	515	450	33	16	410	
350	490	445	22	12	415	505	460	22	16	430	520	470	26	16	438	555	490	33	16	450	580	510	36	16	465	
400	540	495	22	16	465	565	515	26	16	482	580	525	30	16	490	620	550	36	16	505	660	585	39	16	535	

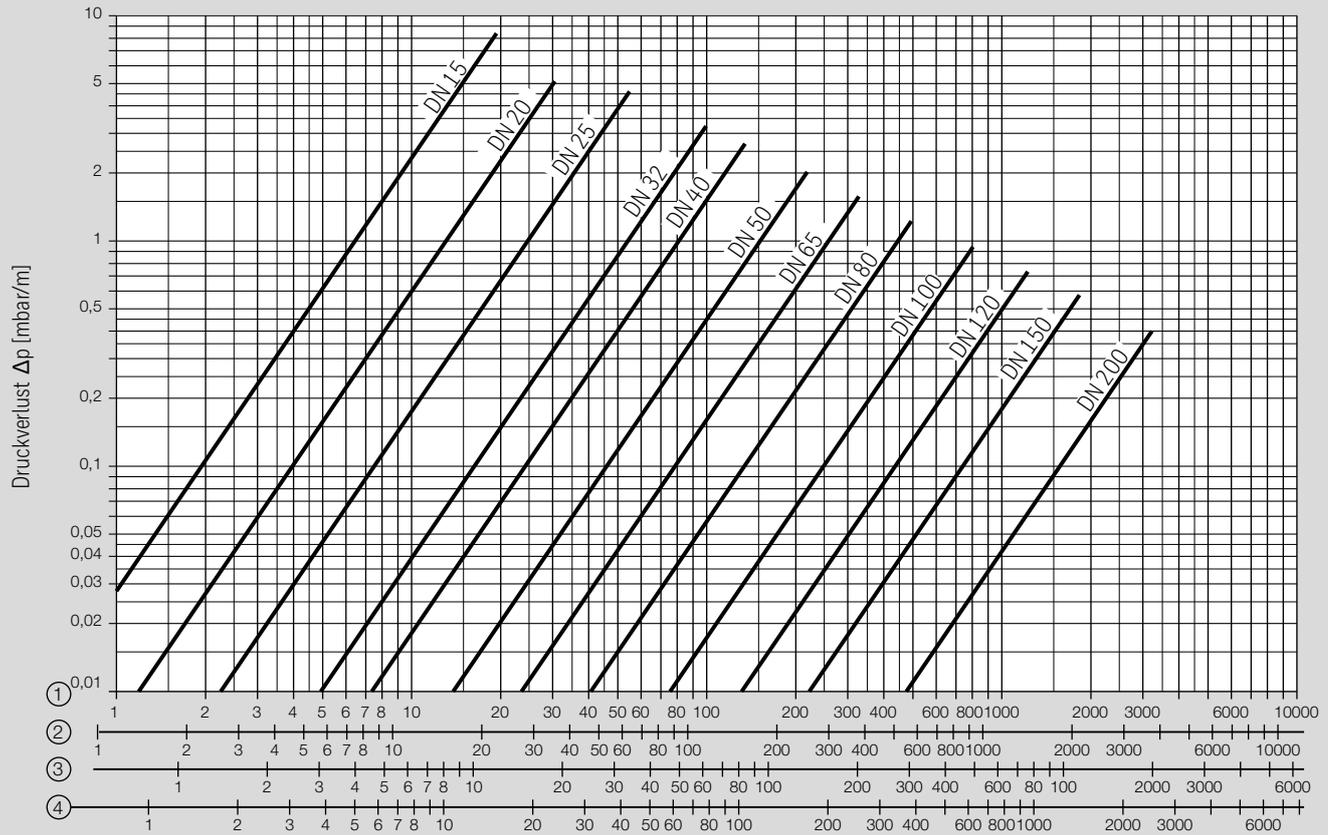
Strömungsgeschwindigkeiten in Rohren



Hinweis

Die Angaben der Innendurchmesser entsprechen den gebräuchlichsten, in den Normen DIN 2440 und DIN 2450 festgelegten Abmessungen für Gasrohre. Bei anderen Querschnitten ergeben sich entsprechend abweichende Strömungsgeschwindigkeiten.

Druckverlust in Rohrleitungen



Hinweis: Die oberen Endpunkte der Kurven entsprechen einer Strömungsgeschwindigkeit von 30 m/s. Volumenstrom Q [m³/h (n)]

① = Erdgas, ② = Stadgas, ③ = Flüssiggas, ④ = Luft

Inhalt von Rohrleitungen

DN mm	Rohraußen Ø mm	Rohrinnen Ø mm	Inhalt der Rohrleitungen in Liter Rohrlänge in m									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	21,25	15,75	0,19	0,39	0,59	0,78	0,98	1,17	1,37	1,65	1,76	1,95
20	26,75	21,25	0,36	0,72	1,08	1,44	1,80	2,16	2,52	2,88	3,24	3,60
25	33,50	27,00	0,57	1,44	1,71	2,28	2,85	3,42	3,99	4,56	5,13	5,70
32	42,25	35,75	1,00	2,00	3,01	4,01	5,02	6,02	7,02	8,03	9,04	10,04
40	48,25	41,25	1,34	2,68	4,02	5,36	6,70	8,04	9,38	10,72	12,06	13,40
40	50,00	42,50	2,17	4,34	6,51	8,68	10,85	13,02	15,19	17,36	19,53	21,70
50	60,30	53,00	2,33	4,67	7,00	9,33	11,67	14,00	16,33	18,66	21,00	23,33
65	76,10	70,30	3,88	7,76	11,64	15,53	19,41	23,30	27,17	31,10	35,00	38,80
80	88,90	82,50	5,35	10,70	16,10	21,45	26,75	32,10	37,45	42,80	48,15	53,50
100	101,60	94,40	7,00	14,00	21,00	28,00	35,00	42,00	49,00	58,00	63,00	70,00
100	114,30	107,10	9,01	18,02	27,03	36,04	45,05	54,06	63,07	72,08	81,09	90,10
125	139,70	131,70	13,62	27,24	40,86	54,48	68,10	81,75	95,34	108,96	122,58	136,20
150	168,30	159,30	19,93	39,86	59,76	79,72	99,65	119,58	139,51	159,44	179,37	199,30
175	193,70	182,90	26,27	52,54	78,81	105,08	131,35	157,62	183,89	210,16	236,43	262,70
200	219,10	207,30	33,75	67,50	101,25	135,00	168,75	202,50	236,25	270,00	303,75	337,50
225	244,50	231,90	42,24	84,48	126,72	168,96	211,20	253,44	295,68	337,92	380,16	422,40
250	273,00	250,40	53,26	106,52	159,78	213,04	266,30	319,56	372,82	426,08	479,34	532,60
300	323,90	309,70	75,33	150,66	226,00	301,32	376,65	451,96	527,31	602,64	677,97	753,30
325	355,60	339,60	90,58	181,18	271,74	362,32	452,90	543,48	634,06	724,64	815,22	905,80

Griechische Buchstaben

α	β	γ	δ	ε	ζ	η	θ	θ	ι	κ	λ	μ
Alpha	Beta	Gamma	Delta	Epsilon	Zeta	Eta	Theta		Jota	Kappa	Lambda	My

ν	ξ	ο	π	ρ	σ	ς	τ	υ	φ	χ	ψ	ω
Ny	Xi	Omikron	Pi	Rho	Sigma		Tau	Ypsilon	Phi	Chi	Psi	Omega

Α	Β	Γ	Δ	Ε	Ζ	Η	Θ	Ι	Κ	Λ	Μ
Alpha	Beta	Gamma	Delta	Epsilon	Zeta	Eta	Theta	Jota	Kappa	Lambda	My

Ν	Ξ	Ο	Π	Ρ	Σ	Τ	Υ	Φ	Χ	Ψ	Ω
Ny	Xi	Omikron	Pi	Rho	Sigma	Tau	Ypsilon	Phi	Chi	Psi	Omega

Bezeichnung dekadisch vervielfachter Einheiten

Vorsatzsilbe	Kurzzeichen	Vielfaches	Potenz	Name	Vorsatzsilbe	Kurzzeichen	Potenz	Teil	Name
Deka	da	10	10 ¹	Zehn	Dezi	d	10 ⁻¹	0,1	Zehntel
Hekto	h	100	10 ²	Hundert	Zenti	c	10 ⁻²	0,01	Hunderstel
Kilo	k	1.000	10 ³	Tausend	Milli	m	10 ⁻³	0,001	Tausendstel
Mega	M	1.000.000	10 ⁶	Million	Mikro	μ	10 ⁻⁶	0,000 001	Millionstel
Giga	G	1.000.000.000	10 ⁹	Milliarde ¹⁾	Nano	n	10 ⁻⁹	0,000 000 001	Milliardstel ¹⁾
Tera	T	1.000.000.000.000	10 ¹²	Billion ¹⁾	Piko	p	10 ⁻¹²	0,000 000 000 001	Billionstel ¹⁾

¹⁾ In den USA wird 10⁹ mit Billion und 10¹² mit Trillion bezeichnet

Formelzeichen und Einheiten

Größe	Formelzeichen	Einheitenzeichen	Einheitenname
Länge	l	m	Meter
Fläche	A, S	m ²	Quadratmeter
Volumen	V	m ³	Kubikmeter
Zeit	t	s min h d a	Sekunde Minute Stunde Tag Jahr
Geschwindigkeit	v	m/s m/min km/h	Meter pro Sekunde Meter pro Minute Kilometer pro Stunde
Winkelgeschwindigkeit	ω	1/s rad/s	1 pro Sekunde Radiant pro Sekunde
Beschleunigung	a, g	m/s ²	Meter pro Sekunde hoch zwei
Drehzahl	n	1/s 1/min	1 pro Sekunde 1 pro Minute
Frequenz	f	Hz	Hertz
Masse	m	kg g t	Kilogramm Gramm Tonne
Dichte	ρ	kg/m ³	Kilogramm pro Meter hoch drei
Druck	p	Pa mbar bar	Pascal Millibar Bar
Kraft	F	N	Newton
Drehmoment	M	N·m	Newton mal Meter
Energie, Arbeit, Wärmemenge	E, W	J	Joule
Leistung	P	W	Watt
Elektrische Stromstärke	I	A	Ampere
Elektrische Spannung	U	V	Volt
Elektrischer Widerstand	R	Ω	Ohm
Thermodynamische Temperatur	T, Θ	K	Kelvin
Celsius-Temperatur	t, ϑ	°C	Grad Celsius
Wärmemenge	Q	J	Joule

Umrechnen von Maßen für den atmosphärischen Druck

Höhe über dem Meeresspiegel	Druck p	
	m	mbar = hPa
0	760	1013
200	742	989
400	724	966
600	707	943
800	690	921
1.000	673	899
1.200	657	876
1.400	641	854
1.600	626	851
1.800	611	835
2.000	596	795
2.200	581	775
2.400	567	756
2.600	553	737
2.800	539	719
3.000	525	701
3.200	512	684
3.400	499	665
3.600	487	650
3.800	475	632
4.000	463	616
5.000	405	540
10.000	198	264
20.000	41	55

Verwendung neuer Formelzeichen

Folgende Formelzeichen werden entsprechend der DIN EN 334/14382, EN 88-1 und DVGW G 491 künftig in technischen Dokumentationen verwendet

Bezeichnung	alt	neu	Einheit
Eingangsdruck	p_e	p_u	mbar/bar
Maximaler Eingangsdruck	$p_{e\ max}$	$p_{u\ max}$	mbar/bar
Ausgangsdruck	p_a, p_G	p_d	mbar/bar
Maximaler Ausgangsdruck	$p_{a\ max}$	$p_{d\ max}$	mbar/bar
Maximaler zulässiger Druck	p_{zul}	PS	mbar/bar
Oberer Ansprechdruck	p_o, p_{so}	p_{do}	mbar/bar
Unterer Ansprechdruck	p_u, p_{su}	p_{du}	mbar/bar
Spezifischer Einstellbereich für oberen Ansprechdruck	W_{ao}	W_{dso}	mbar/bar
Spezifischer Einstellbereich für unteren Ansprechdruck	W_{au}	W_{dsu}	mbar/bar
Ansprechdruckabweichung	A_w	A_w	mbar/bar
Ansprechdruckgruppe	AG	AG	-
Ansprechzeit	t_a	t_a	s
Signaldruck (Luft-Steuerdruck)	p_s, p_L	p_{sa}	mbar/bar
Signaldruck (Feuerraum-Steuerdruck)	p_F	p_{sc}	mbar/bar
Schließdruck	p_s, p_{so}	p_f	mbar/bar
Schließzeit	t	t_f	s
Schließdruckgruppe	SG	SG	%
Schließdruckzonengruppe	-	SZ	%
Genauigkeitsklasse	RG	AC	%
Differenzdruck	Δp	Δp	mbar/bar
Mindestdruckgefälle	Δp_{min}	Δp_{min}	mbar/bar
Wiedereinrastdifferenz	Δp_w	Δp_w	mbar/bar
Führungsbereich	W_h	W_d	mbar/bar
Spezifischer Führungsbereich	W_a	W_{ds}	mbar/bar
Normdruck	p_n	p_n	mbar/bar
Nenndruck	PN/ANSI	PN/Class	bar
Normtemperatur	T_n	T_n	K (°C)
Norm-Volumenstrom	V_n	Q_n	m ³ /h
Betriebs-Volumenstrom	V_b	Q_b	m ³ /h
Nennweite	DN	DN	
Istwert (Index i)	z.B. p_i	z.B. p_i	
Sollwert (Index s)	z.B. p_s	z.B. p_s	
Betriebsdruck in der Anlage	p	OP	bar
Eingangsseitig maximaler Betriebsdruck in der Anlage	p_{max}	MOP_u	bar
Ausgangsseitig maximaler Betriebsdruck in der Anlage	p_{max}	MOP_d	bar
Eingangsseitig maximal zulässiger Betriebsdruck in der Anlage	-	MIP_u	bar
Ausgangsseitig maximal zulässiger Betriebsdruck in der Anlage	-	MIP_d	bar
Temporärer Betriebsdruck in der Anlage		TOP	bar

Druckeinheiten

Einheitenzeichen	Name der Einheit	Pa = N/m ²	hPa = mbar	bar	kp/m ² □ mm WS	m WS	kp/cm ² = at	p/cm ²
1 Pa = 1 N/m ²	Pascal	1	0,01	0,00001	0,10197	0,0001	0,00001	0,0102
1 mbar	Millibar	100	1	0,001	10,2	0,0102	0,001	1,02
1 bar	Bar	100.000	1000	1	10197,2	10,1972	1,01972	1.019,72
1 kp/m ² ≙ 1 mm WS	Millimeter Wassersäule	9,80665	-	-	1	0,001	0,0001	0,1
1 m WS	Meter Wassersäule	9.806,65	98,07	0,09807	1.000	1	0,1	100
1 kp/m ² = 1 at	Techn. Atmosphäre	98.066,5	980,67	0,098067	10.000	10	1	1.000
1 atm	Phys. Atmosphäre	101.325	1.013,25	1,01325	10.332,3	10,3323	1,03323	1.033,23
1 Torr = 1 mm Hg	Millimeter Quecksilbersäule	133,322	1,33	0,00133	13,5951	0,013595	0,00136	1,35951
1 lb/in ² (psi)	pound-force per square inch	6.894,76	69,95	0,06895	703,07	0,70307	0,07031	70,307
1 lb/ft ² (psf)	pound-force per square foot	47,8803	0,48	0,00048	4,88234	0,00488	0,00048	0,48824
1 in Hg	inch Quecksilbersäule	3.386,39	33,86	0,03368	345,316	0,34532	0,03453	34,5316

Druckeinheiten (Fortsetzung)

Einheitenzeichen	Name der Einheit	atm	Torr = mm Hg	lbf/in ² (psi)	lbf/ft ² (psf)	in Hg
1 Pa = 1 N/m ²	Pascal	-	0,0075	0,00014	0,02089	0,000295
1 bar	Bar	0,98692	750,062	14,5037	2.088,54	29,53
1 kp/m ² ≙ 1 mm WS	Millimeter Wassersäule	-	0,07356	0,00142	0,20482	0,0029
1 m WS	Meter Wassersäule	0,09678	73,5559	1,42233	204,816	2,8959
1 kp/m ² = 1 at	Techn. Atmosphäre	0,96784	735,559	14,2233	2048,16	28,959
1 atm	Phys. Atmosphäre	1	760	14,696	2116,22	29,9213
1 Torr = 1 mm Hg	Millimeter Quecksilbersäule	0,00132	1	0,01934	2,78449	0,03937
1 lbf/in ² (psi)	pound-force per square inch	0,06805	51,7149	1	144	2,03602
1 lbf/ft ² (psf)	pound-force per square foot	0,00047	0,35913	0,00694	1	0,01414
1 in Hg	inch Quecksilbersäule	0,03342	25,4	0,49115	70,7262	1

Umrechnungsfaktoren

Temperatur

Temperatur	ϑ °Celsius	T Kelvin	t °Fahrenheit	r °Rankine
Grad Celsius °C	ϑ	$T - 273,15$	$\frac{5}{9}(t - 32)$	$\frac{5}{9}(r - 491,67)$
Grad Kelvin K	$\vartheta + 273,15$	T	$\frac{5}{9}(t - 455,67)$	$5/9 \times r$
Grad Fahrenheit °F	$\frac{9}{5}\vartheta + 32$	$\frac{9}{5}T - 459,67$	t	$r - 459,67$
Grad Rankine °R	$\frac{9}{5}\vartheta + 491,67$	$\frac{9}{5}T$	$t + 459,67$	r

Dichte

Dichte g/cm ³	lb/cu. inch	lb/cu. foot	cwt/cu. yard	
1 g/cm ³	1	0,03613	62,428	15,0496
1 pound/cu. inch	27,68	1	1728	416,57
1 pound/cu. foot	0,01602	$5,79 \cdot 10^{-4}$	1	0,2411
1 cwt/cu. yard	0,06645	$2,4 \cdot 10^{-3}$	4,148	1

Zeiteinheiten

s	ns	1 μ s	ms	min	
1 s	1	10^9	10^6	10^3	$16,66 \times 10^{-3}$
1 ns	10^{-9}	1	10^{-3}	10^{-6}	$16,66 \times 10^{-12}$
1 μ s	10^{-6}	10^3	1	10^{-3}	$16,66 \cdot 10^{-9}$
1 ms	10^{-3}	10^6	10^3	1	$16,66 \times 10^{-6}$
1 min	60	60×10^9	6×10^6	6×10^3	1

Kraft-, Gewichtskrafteinheiten

	N ₂	kN	MM	[kp]	[dyn]
1 N	1	10^{-3}	10^{-6}	0,102	10^5
1 kN	10^3	1	10^{-3}	$0,102 \times 10^3$	10^8
1 MM	10^6	10^3	1	$0,102 \times 10^6$	10^{11}
[1 kp]	9,81	$9,81 \times 10^{-3}$	$9,81 \times 10^{-6}$	1	$9,81 \times 10^5$
[1 dyn]	10^{-5}	10^{-8}	10^{-11}	$0,102 \times 10^{-5}$	1

²⁾ 1 N = 1 kg m/s² = 1 Newton

Gewichte, Masse

Einheitenzeichen	Name der Einheit	g	kg	t	oz	lb	sh cwt	cwt	sh tn	Lg tn
1 g	Gramm	1	0,001	-	0,03527	0,0022	0,00002	-	-	-
1 kg	Kilogramm	1.000	1	0,001	35,274	2,20462	0,022	0,01968	0,0011	0,00098
1 t	Tonne	-	1.000	1	35.274	2204,62	22,0462	19,6841	1,10231	0,9842
1 oz	ounce	28,3495	0,02835	-	1	0,0625	0,00062	0,00056	-	0,00003
1 lb	pound	453,592	0,045359	0,00045	16	1	0,03704	0,00893	0,0005	0,00045
1 sh cwt	short hundredweight (US)	45.359,2	45,3592	0,04536	1.600	100	0,01	0,89286	0,05	0,04464
1 cwt	(long) hundredweight (UK)	50.802,2	50,8023	0,05802	1.792	112	1,12	1	0,056	0,05
1 sh tn	short ton (US)	907.185	907,185	0,90719	3.200	2.000	20	17,8572	1	0,89285
1 Lg tn	(long) ton (UK)	-	1.016,05	1,01605	35.840	2.240	22,4	20	1,12	1

Längeneinheiten

Einheitenzeichen	Name der Einheit	mm	cm	m	km	in	ft	yd (UK)	mile	sm
1 mm	Millimeter	1	0,1	0,001	-	0,03937	0,00328	-	-	-
1 cm	Zentimeter	10	1	0,01	-	0,3937	0,03281	-	-	-
1 m	Meter	1.000	100	1	0,001	39,37	3,28084	1,09362	-	-
1 km	Kilometer	-	100.000	1000	1	39.370	3.280,84	1093,62	0,62137	0,53996
1 in	inch	25,4	2,54	0,0254	-	1	0,08333	0,0277778	0,07778	-
1 ft	foot	304,8	30,48	0,3048	-	12	1	0,33333	-	-
1 yd (UK)	yard (UK)	914,398	91,4398	0,914398	-	36	3	1	-	-
1 mile	statute mile	-	-	1.609,34	1,609	63.360	5.280	1.760	1	0,86898
1 sm	Seemeile	-	-	18,52	1,852	72913	6.076,12	2.025,38	1,15078	1

Flächeneinheiten

Einheitenzeichen	Name der Einheit	mm ²	cm ²	m ²	a	ha	km ²	in ²	ft ²	yd ² (UK)	sq. mile
1 mm ²	Quadratmillimeter	1	0,01	1 × 10 ⁻⁶	-	-	-	1,55 × 10 ⁻³	1,08 × 10 ⁻⁵	1,2 × 10 ⁻⁶	-
1 cm ²	Quadratcentimeter	10	1	0,001	-	-	-	0,155	0,00108	0,00012	-
1 m ²	Quadratmeter	1 × 10 ⁶	10.000	1	0,01	0,0001	-	1.550	10,7639	1,19599	-
1 a	Ar	-	-	100	1	0,01	0,0001	0,001	-	1076,39	119,599
1 ha	Hektar	-	-	10.000	100	1	0,01	-	107.639	11.959,9	0,00386
1 km ²	Quadratkilometer	-	-	-	1.000	100	1	-	-	-	0,3861
1 in ²	square inch	6,45 × 10 ²	6,4516	-	-	-	-	1	0,00694	0,00077	-
1 ft ²	square foot	9,29 × 10 ⁴	929,03	0,0929	0,00093	-	-	144	1	0,11111	-
1 yd ² (UK)	square yard (UK)	8,36 × 10 ⁵	8.361,24	0,83612	0,00836	0,00008	-	1.296	9	1	-
1 sq. mile	square mile	-	-	25.899,9	258,999	2,58999	-	-	-	1	1

Volumen, Raumeinheiten

Einheitenzeichen	Name der Einheit	cm ³	dm ³ = 1 l	m ³	in ³	ft ³	yd ³ (UK)	fl. oz. (UK)	fl. oz. (US)	gal (UK)	gal (US)
1 cm ³	Kubikzentimeter	1	0,001	10 ⁻⁶	0,061102	-	-	0,0352	0,03381	0,00022	0,00026
1 dm ³ = 1 l	Kubikdezim. = Liter	1000	1	10 ⁻³	61,0237	0,03531	0,00131	35,1952	33,8138	0,21997	0,26417
1 m ³	Kubikmeter	10 ⁶	1000	1	61.023,7	35,31	1,31	35.195,2	33.813,8	219,97	264,17
1 in ³	cubic inch	16,3871	0,01639	16,39 × 10 ⁻⁶	1	0,00058	-	0,57675	0,55411	0,0036	0,00433
1 ft ³	cubic foot	28.316,8	28,3186	0,02832	17,28	1	0,03704	996,614	957,499	6,22882	7,48047
1 yd ³ (UK)	cubic yard (UK)	764.551	764,551	0,76455	46.655,7	27	1	26.908,5	25.852,4	168,187	201,972
1 fl. oz. (UK)	fluid ounce (UK)	28,413	0,0284	28,413 × 10 ⁻⁶	1,73388	0,001	0,00004	1	0,96075	0,00625	0,00751
1 fl. oz. (US)	fluid ounce (US)	29,5737	0,0296	29,573 × 10 ⁻⁶	1,8047	0,00104	0,00004	1,04085	1	0,00651	0,00781
1 gal (UK)	gallon (UK)	4.546,09	4,54609	4,564 × 10 ⁻³	277,42	0,16054	0,00595	160	153,721	1	1,20094
1 gal (US)	gallon (US)	3.785,43	3,78543	3,785 × 10 ⁻³	231	0,13368	0,00495	133,223	128	0,83268	1

Leistung

	J/s = 1 W	kpm/s	PS	kW	kcal/h	ft-lb/s	HP	BTU/s
1 J/s = 1 W	1	0,10197	1,36 × 10 ⁻³	0,001	0,860	0,738	0,00134	0,948 × 10 ⁻³
1 kpm/s	9,8067	1	0,0133	9,81 × 10 ⁻³	2,34 × 10 ⁻³	7,23	0,0131	9,20 × 10 ⁻³
1 PS	735,48	75	1	0,735	0,176	542,47	0,986	0,697
1 kW	1.000	102	1,359	1	860	737,54	1,34	0,948
1 kcal/h	1,163	0,1186	1,58 × 10 ⁻³	1,163 × 10 ⁻³	1	0,86	1,56 × 10 ⁻³	1,10 × 10 ⁻³
1 ft-lb/s	1,36	0,138	1,84 × 10 ⁻³	1,36 × 10 ⁻³	1,163	1	1,821 × 10 ⁻³	1,29 × 10 ⁻³
1 HP	746	76,1	1,014	0,746	0,178	550	1	0,707
1 BTU/s	1.060	108	1,43	1,06	0,252	779,59	1,42	1

Spezifische Wärme

J/kg grd	kcal/kg grd	kWh/kg grd	BTU/lb deg*
1 J/kg grd	1	2,38844 × 10 ⁻⁴	2,77778 × 10 ⁻⁷
1 kcal/kg grd	4.186,8	1	1,16300 × 10 ⁻³
1 kWh/kg grd	3,6 × 10 ⁶	859,845	1
1 BTU/lb deg*	4.186,8	1	1,16300 · 10 ⁻³

* degree = Grad Fahrenheit

Arbeit, Energie, Wärmemenge

Einheitszeichen	Name der Einheit	J = Nm	kpm	PSh	kWs	kWh	kcal	R. grd	lb. ft	ft ³ .lb/in ²	BTU	hph
1 J = Nm	Joule = Newtonmeter	1	0,10197	3,7768 × 10 ⁻⁷	0,001	2,7778 × 10 ⁻⁷	2,3885 × 10 ⁻⁴	0,12028	0,73765	0,00512	0,00095	3,7251 × 10 ⁻⁷
1 kpm	Kilopondmeter	9,80665	1	3,7037 × 10 ⁻⁶	0,00981	2,7241 × 10 ⁻⁶	0,002342	1,17949	7,233	0,05023	0,00929	3,653 × 10 ⁻⁶
1 PSh	Pferdestärkenstunde	2,647 790	270.000	1	2647,79	0,735499	632,415	318,464	1.952.907	13.561,9	2508,33	0,98632
1 kW _s	Kilowattsekunde	1000	101,972	3,7768 × 10 ⁻⁴	1	2,7778 × 10 ⁻⁴	0,238846	120,276	737,561	5,12196	0,94733	3,7251 × 10 ⁻⁴
1 kWh	Kilowattstunde	3.000.000	367 098	1,359648	3.600	1	859,845	432,991	2.655.220	18.439,1	3412,14	1,341021
1 kcalIT	Int. Tafelkilokalorie	4,186,8	426,935	0,0011581	4,1868	0,001163	1	503,575	3,088	21,4446	3,96381	0,00156
1 R. grd	Gaskonstante	8,3142	0,84782	3,14 × 10 ⁻⁶	0,00831	2,3095 × 10 ⁻⁴	0,001986	1	6,13223	0,04259	0,00788	3,0971 × 10 ⁻⁶
1 lb. ft	pound-force foot	1,35582	0,13826	5,1206 × 10 ⁻⁷	0,00136	3,7662 × 10 ⁻⁷	3,2383 × 10 ⁻⁴	0,16307	1	0,00695	0,00128	5,0505 × 10 ⁻⁷
1 ft ³ × lb/in ²	cubic ft. pound-force per square inch	195,238	19,9087	7,3736 × 10 ⁻⁵	0,19524	5,4233 × 10 ⁻⁵	0,046632	23,4822	144	1	0,18495	7,2727 × 10 ⁻⁵
1 BTU	British thermal unit	1,055,06	107,585	3,9848 × 10 ⁻⁴	1,05506	0,000293	0,251995	126,963	778,171	5,40398	1	0,000393
1 hph	horsepower-hour	2,684,520	273 745	1,013869	2,684,52	0,7457	641,1863	332,881	1.980.000	13.750	2.543,12	1

Beständigkeitstabelle

Durchflussmedium	Formel	Gehäusewerkstoff					Dichtung	
		Alu	Bronze	Edelstahl	Grauguss	Stahl	Perbunan NBR	Fluorelastom. Viton
Hauptbestandteile mit Konzentration < 100 Volumen-%								
Äthan	C ₂ H ₆	1	1	2	2	2	1	1
Butan (i-, n-)	C ₄ H ₁₀	2	1	2	2	2	2	1
Kohlendioxid	CO ₂	1	1	1	2	1	1	1
Kohlenmonoxid	CO	-	1	-	-	-	1	1
Methan	CH ₄	1	1	2	2	2	1	1
Propan	C ₃ H ₈	1	1	2	2	2	1	1
Propylen, Propen	C ₃ H ₆	-	1	2	2	2	4	-
Stickstoff	N ₂	1	1	1	1	1	1	1
Wasserstoff	H ₂	1	2	1	2	2	1	1
Bestandteile mit Konzentration < 3 Volumen-%								
O₂-Gehalt in Deponiegas bis 15 % möglich								
Benzol	C ₆ H ₆	2	2	2	2	2	4	2
Pentan (i-, n-)	C ₅ H ₁₂	1	1	1	2	2	1	1
Sauerstoff	O ₂	4	1	1	2	2	4	4
Begleitstoffe mit Konzentration < 4 g/m³								
Acetaldehyd	C ₂ H ₄	2	2	1	3	3	4	3
Aceton	C ₂ H ₆ CO	1	1	1	1	1	4	4
Äthylen, Äthen	C ₂ H ₄	-	1	1	2	2	1	1
Äthylmercaptan	C ₂ H ₅ SH	-	4	-	-	-	4	-
Ammoniak	NH ₃	2	4	1	2	1	2	4
Argon	Ar	1	1	1	1	1	1	1
Cyanwasserstoff, Blaus.	HCN	1	4	1	3	3	2	-
Halogenverbindungen	Gemisch	-	-	-	-	-	-	-
Heptan (n-)	C ₇ H ₁₆	1	1	1	2	2	1	1
Hexan	C ₆ H ₁₄	1	2	2	2	2	1	1
Naphtalin	C ₁₀ H ₈	2	2	2	2	2	1	1
Nonan	C ₉ H ₂₀	-	-	-	-	-	-	-
Octan	CH ₈ H ₁₈	-	-	-	-	-	-	-
Schwefel	S	1	4	2	3	3	4	1
Schwefelverbindungen	Gemisch	-	-	-	-	-	-	-
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	2	4	1	2	3	2	1
Stickstoffmonoxid	NO	-	-	-	-	-	-	-

1 = geeignet

2 = meistens geeignet

3 = wahrscheinlich nicht geeignet

4 = noch nicht ermittelt

**Technische
Information zu
unseren Produkten**
www.docuthek.com

Ansprechpartner

www.kromschroeder.de → Vertrieb → Kontakte
Elster GmbH
Strotheweg 1 · 49504 Lotte (Büren)
Deutschland
Tel. +49 541 1214-0
hts.lotte@honeywell.com
www.kromschroeder.de

Technische Änderungen,
die dem Fortschritt dienen,
vorbehalten.
Copyright © 2020 Elster GmbH
Alle Rechte vorbehalten.

Honeywell
**krom
schroder**

03250208