

← Hauptgruppen		Das Periodensystem der Elemente (PSE)																→ Hauptgruppen																					
←		13	14	15	16	17	18																	17	18	→													
←		III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A																	VII A	VIII A	→													
←		Relative Atommasse (Klammer: stabilstes Isotop)		94 Pu* Plutonium *.: kursiv: (244)		Elementensymbol Alle Nuklide radioaktiv Künstliches Element																		→															
←		Ordnungszahl (= Protonenzahl)		Neberguppen																		→																	
←		1 H Wasserstoff 1,008 ¹⁾		2 He Helium 4,003																				→															
←		3 Li Lithium 6,94 ¹⁾		4 Be Beryllium 9,012																				→															
←		5 B Bor 10,81 ¹⁾		6 C Kohlenstoff 12,01 ¹⁾		7 N Stickstoff 14,007 ¹⁾		8 O Sauerstoff 15,999 ¹⁾		9 F Fluor 18,998		10 Ne Neon 20,1797																				→							
←		11 Na Natrium 22,99		12 Mg Magnesium 24,305 ¹⁾																				→															
←		13 Al Aluminium 26,982		14 Si Silicium 28,085		15 P Phosphor 30,974		16 S Schwefel 32,06 ¹⁾		17 Cl Chlor 35,45 ¹⁾		18 Ar Argon 39,948																				→							
←		19 K Kalium 39,098		20 Ca Calcium 40,078		21 Sc Scandium 44,956		22 Ti Titan 47,867		23 V Vanadium 50,942		24 Cr Chrom 51,996		25 Mn Mangan 54,938		26 Fe Eisen 55,845		27 Co Cobalt 58,933		28 Ni Nickel 58,693		29 Cu Kupfer 63,546		30 Zn Zink 65,38		31 Ga Gallium 69,732		32 Ge Germanium 72,630		33 As Arsen 74,922		34 Se Selen 78,971		35 Br Brom 79,904 ¹⁾		36 Kr Krypton 83,798		→	
←		37 Rb Rubidium 85,468		38 Sr Strontium 87,62		39 Y Yttrium 88,906		40 Zr Zirkon 91,224		41 Nb Niob 92,906		42 Mo Molybdän 95,95		43 Tc Technetium (98)		44 Ru Ruthenium 101,07		45 Rh Rhodium 102,906		46 Pd Palladium 106,42		47 Ag Silber 107,868		48 Cd Cadmium 112,414		49 In Indium 114,818		50 Sn Zinn 118,710		51 Sb Antimon 121,760		52 Te Tellur 127,60		53 I Iod 126,904		54 Xe Xenon 131,293		→	
←		55 Cs Caesium 132,905		56 Ba Barium 137,33		57 La Lanthan 138,905		58 Ce Cer 140,116		59 Pr Praseodym 140,907		60 Nd Neodym 144,242		61 Pm* Promethium (145)		62 Sm Samarium 150,36		63 Eu Europium 151,964		64 Gd Gadolinium 157,25		65 Tb Terbium 158,925		66 Dy Dysprosium 162,500		67 Ho Holmium 164,930		68 Er Erbium 167,259		69 Tm Thulium 168,934		70 Yb Ytterbium 173,054		71 Lu Lutetium 174,967		→			
←		87 Fr* Francium (223)		88 Ra* Radium (226)		89 Ac* Actinium (227)		90 Th* Thorium 232,038		91 Pa* Protactinium 231,036		92 U* Uran 238,029		93 Np* Neptunium (237)		94 Pu* Plutonium (244)		95 Am* Americium (243)		96 Cm* Curium (247)		97 Bk* Berkelium (247)		98 Cf* Californium (251)		99 Es* Einsteinium (252)		100 Fm* Fermium (257)		101 Md* Mendelevium (258)		102 No* Nobelium (259)		103 Lr* Lawrencium (262)		→			
		Lanthanoide																																					
		Actinoide																																					

Dunkelrote Hinterlegung:
Unter Normbedingungen
flüssig

Hellrote Hinterlegung:
Unter Normbedingungen
gasförmig

Die Bezeichnung der Elemente 113, 115, 117 und 118 sind von IUPAC vorläufig vergeben.
¹⁾ Für die Elemente Wasserstoff, Lithium, Bor, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Magnesium, Silicium, Schwefel, Chlor, Brom und Thallium werden seit 2013 von IUPAC Intervalle für die Standard-Atommassen angegeben, begründet durch die Schwankungen in der Isotopenzusammensetzung dieser Elemente.
 Für Berechnungen werden die angegebenen gerundeten Werte empfohlen.



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für metalltechnische Berufe

Grundlagen **1**

Technische
Physik **2**

Technische
Kommunikation **3**

Stoffkunde **4**

Fertigungs-
technik **5**

Klimatechnik **6**

Kältetechnik **7**

Allgemeine
Anlagentechnik **8**

Tabellenbuch

Wärme • Kälte • Klima

9. überarbeitete Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 1731X

Autoren:

Ewald Bach	Oberstudienrat
Peter Bertrand	Studienrat
Walter Bierwerth	Studiendirektor a. D., Dipl.-Ing.
Baha Yücel	M.Sc., Dipl.-Ing. (FH) VDI

Lektorat:

Walter Bierwerth

Autor und Leiter des Arbeitskreises bis 2013:

Dipl.-Ing. Horst Herr Fachoberlehrer a. D. VDI, DKV

Bildbearbeitung:

Michael M. Kappenstein
Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern



Als Service für interessierte Leser bieten wir wichtige Hinweise, Aktualisierungen, Erläuterungen und Ergänzungen unter www.europa-lehrmittel.de/1731X an.

In diesem Tabellenbuch wurden die neuesten Ausgaben der DIN-Normen und der sonstigen Regelwerke zugrunde gelegt. In die Auflage aus zeitlichen Gründen noch nicht eingeflossene neue Normen sind, laufend aktualisiert, auf der Infoseite des Verlags unter www.europa-lehrmittel.de/1731X genannt. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass nur die DIN-Normen selbst verbindlich sind. Diese können in den öffentlichen Normen-Infopoints, die über ganz Deutschland verteilt sind (z. B. in Universitätsbibliotheken) eingesehen oder durch die Beuth Verlag GmbH, Am DIN-Platz, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, bezogen werden.

Obwohl die DIN-Normen mit großer Sorgfalt recherchiert wurden, können Autoren und Verlag keinerlei Gewährleistung übernehmen.

Bei anderen in diesem Tabellenbuch genutzten technischen Regelwerken gilt dies sinngemäß.

9. Auflage 2020

Druck 5 4 3 2 1

ISBN 978-3-7585-1064-9

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2020 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: rkt, 51379 Leverkusen, www.rktypo.com
Umschlag: G. Kuhl mediacreativ, 40724 Hilden
Druck: optimal media GmbH, 17207 Röbel/Müritz

*Die Summe unserer Erkenntnis besteht aus dem,
was wir gelernt, und dem, was wir vergessen haben.*

Marie von Ebner-Eschenbach

Die Zusammenhänge zwischen den berechenbaren und den messbaren Größen in Naturwissenschaft und Technik werden fast immer in ihrer kürzesten Ausdrucksweise, durch **Formeln**, repräsentiert. Somit liegt es auf der Hand, diese in Formelsammlungen zusammenzustellen, denn wegen der großen Anzahl der notwendigen Informationen ist es unmöglich, jede in einem bestimmten Fachgebiet benötigte Formel abrufbereit im Kopf zu haben. Das diesem Vorwort vorangestellte Motto von Marie von Ebner-Eschenbach unterstreicht dies sehr deutlich.

Neben der Vielzahl der Formeln werden in jedem technischen Fachgebiet auch umfangreiche **Tabellen**, oft auch in der Form von **DIN-Blättern** und sonstigen technischen Regelwerken, benötigt. In allen technischen Hauptrichtungen – wie etwa im Maschinenbau, der Elektrotechnik oder der Bautechnik – gehört es seit langem zur guten Tradition, die benötigten Formeln und Tabellen in einem **Tabellenbuch** zusammenzufassen. Hauptorientierungsmerkmale sind dabei die entsprechenden **Verordnungen über die Berufsausbildung** sowie die Lehrpläne für die **Meister- und Techniker Ausbildung**. Dies will nun auch das

Tabellenbuch Wärme • Kälte • Klima

Orientierungsgrundlagen waren dabei vor allem die Verordnungen über die Berufsausbildung, und zwar für **Mechatroniker für Kältetechnik** und **Anlagenmechaniker SHK**. Die Lerninhalte der **beruflichen Erstausbildung** wurden durch solche der **Meister- und Techniker Ausbildung** ergänzt. Von vornherein war also beabsichtigt, ganze Berufsfelder und nicht nur deren Kernbereich zu erfassen. Des Weiteren wurde versucht – dem Buchtitel gemäß – mehrere Berufsfelder zu verbinden. Damit wurde auch dem Trend in Richtung Universalität der Berufsausübung bzw. Berufsausbildung Rechnung getragen.

Bei der Festlegung der Buchinhalte wurde also strikt darauf geachtet, dass auch das „*was man sonst noch braucht*“ seinen Platz gefunden hat. Exemplarisch sind hier die *Mathematik*, die *Technische Kommunikation*, die *Stoffkunde* und die *Fertigungstechnik* zu nennen. Im Abschnitt **Technische Physik** sind bereits viele Lehrinhalte aus der *Anlagentechnik* enthalten bzw. solche Lehrinhalte, die in der Anlagentechnik vorausgesetzt werden. Mit den **acht Hauptabschnitten** (s. Seite 4) wird zwar eine grobe Gliederung der Lehrinhalte erreicht, manche Themenbereiche sind jedoch dort eingegliedert, wo man sie bei der praktischen Anwendung sucht.

Die in einem Tabellenbuch nicht vollständig abdeckbare Stofffülle bringt es mit sich, dass die Auswahl der Themenbereiche und die Breite, in der sie dargestellt werden, subjektiv ist. Wie sich dieses Buch in seinen späteren Auflagen entwickelt, wird ganz wesentlich durch die Reaktionen der Leser und Fachkollegen – worum wir ausdrücklich bitten – beeinflusst.

In der vorliegenden 8. Auflage wurden die wichtigsten Normen aktualisiert und notwendige Änderungen und Ergänzungen vorgenommen. Wegen der Vielzahl der Normen, die derzeit fortwährend im Fachgebiet neu herausgegeben oder ersetzt werden, wird es immer Normen geben, die erst nach Redaktionsschluss oder während der Laufzeit einer Auflage erschienen und deshalb noch nicht berücksichtigt sind. Eine Liste aller entsprechenden Normen kann auf der Internetseite des Verlags, aufrufbar über den QR-Code bzw. unter www.europa-lehrmittel.de/1731X, eingesehen werden.

Wir danken allen, die durch Hinweise und Vorschläge zur weiteren Verbesserung des Tabellenbuches beigetragen haben.

Hinweise und Verbesserungsvorschläge können dem Verlag und damit den Autoren unter lektorat@europa-lehrmittel.de übermittelt werden.

Hinweise zur Arbeit mit diesem Tabellenbuch

Das Tabellenbuch ist in **8 Hauptabschnitte** eingeteilt, und zwar

1	Grundlagen	GR	5	Fertigungstechnik	FT
2	Technische Physik	TP	6	Klimatechnik	KL
3	Technische Kommunikation	TK	7	Kältetechnik	KT
4	Stoffkunde	SK	8	Allgemeine Anlagentechnik	AT

Die **8 Hauptabschnitte** sind deutlich durch das praktische **Daumenregister** voneinander getrennt.

Hauptabschnitt 8 „Allgemeine Anlagentechnik“ ist nochmals in 11 Unterabschnitte durch ange deutete Tabs unterteilt.

Am Anfang dieser Hauptabschnitte befindet sich jeweils ein ausführliches Inhaltsverzeichnis. Daraus ist zu ersehen, dass die Hauptabschnitte nochmals in **Unterabschnitte** unterteilt sind.

Aus den Unterabschnitten sind die Themenüberschriften mit den entsprechenden Seitenzahlen zu ersehen.

Der Wert eines Fachbuches hängt auch sehr stark vom Umfang des **Sachwortverzeichnisses** ab. Hierauf wurde ein besonderer Wert gelegt. Das Sachwortverzeichnis dieses Tabellenbuches enthält über 1900 Begriffe.

Es ist ganz normal, dass in einem Fachbuch zum gleichen Begriff an mehreren Stellen Aussagen gemacht werden. Dies geht aus den Seitenzahlen im Sachwortverzeichnis hervor.

Orientieren Sie sich in diesem Tabellenbuch vor allem mit Hilfe des Sachwortverzeichnisses.

Eine **Besonderheit dieses Tabellenbuches** besteht jedoch darin, dass durch rote Hinweis Pfeile (→) die Sachverhalte miteinander verkettet wurden. Die Hinweis Pfeile zeigen Ihnen also, wo Sie noch weitere Informationen zu der von Ihnen gewünschten Formel, Tabelle oder zu einem gewünschten Begriff finden können.

Ein roter Pfeil (→) zeigt an, dass Sie dort noch weitere Informationen finden.

Das **Tabellenbuch Wärme • Kälte • Klima** wurde von Herrn Dipl.-Ing. Horst Herr – initiiert durch seine langjährige Tätigkeit an der Bundesfachschule Kälte-Klima-Technik in Maintal – realisiert.



Symbol für die globale Erwärmung:
Erdball und Heizthermostat

1.1 Allgemeine Grundlagen	5
Griechisches Alphabet	6
Römische Ziffern	6
Basisgrößen und Basiseinheiten	6
Vorsätze vor Einheiten	7
Formelzeichen und Einheiten	7
1.2 Allgemeine Mathematik	15
Grundrechenarten	15
Klammerrechnung (Rechnen mit Summen)	17
Bruchrechnung	18
Prozentrechnung	18
Potenzrechnung	19
Radizieren	20
Logarithmieren	20
Gleichungen	21
Runden von Zahlen	23
Interpolieren	23
Statistische Auswertung	24
Flächenberechnung	26
Körperberechnung	27
Geometrische Grundkenntnisse	29
Sätze der Geometrie	30
Trigonometrie	31
1.3 Technische Mathematik	33
Teilung von Längen (Gitterteilung)	33
Teilung auf dem Lochkreis	33
Rohlängen von Pressteilen (Schmiedelänge)	33
Gestreckte Längen (kreisförmig gebogen)	34
Zusammengesetzte Längen und zusammengesetzte Flächen	34
Berechnung der Masse bei Halbzeugen	34
Volumeninhalt und Oberfläche wichtiger Behälterböden	35
Inhalt unregelmäßiger Flächen	35
Diagramme und Nomogramme	36



Sonnenuntergang
mit Windrad

1

2

3

4

5

6

7

8

Griechisches Alphabet

Großbuchstabe	Kleinbuchstabe	Bedeutung	Name	Großbuchstabe	Kleinbuchstabe	Bedeutung	Name
A	α	a	Alpha	N	ν	n	Ny
B	β	b	Beta	Ξ	ξ	x	Xi
Γ	γ	g	Gamma	O	o	o	Omikron
Δ	δ	d	Delta	Π	π	p	Pi
E	ϵ	e	Epsilon	P	ρ	rh	Rho
Z	ζ	z	Zeta	Σ	σ	s	Sigma
H	η	e	Eta	T	τ	t	Tau
Θ	θ	th	Theta	Y	υ	y	Ypsilon
I	ι	i	Jota	Φ	ϕ	ph	Phi
K	κ	k	Kappa	X	χ	ch	Chi
Λ	λ	l	Lambda	Ψ	ψ	ps	Psi
M	μ	m	My	Ω	ω	o	Omega

Römische Ziffern

Römische Ziffern	Arabische Ziffern	Römische Ziffern	Arabische Ziffern	Römische Ziffern	Arabische Ziffern
I	1	XX	20	CC	200
II	2	XXX	30	CCC	300
III	3	XL	40	CD	400
IV	4	L	50	D	500
V	5	LX	60	DC	600
VI	6	LXX	70	DCC	700
VII	7	LXXX	80	DCCC	800
VIII	8	XC	90	CM	900
IX	9	C	100	M	1000
X	10				

B 84 = LXXXIV 99 = XCIX 691 = DCXCI 2016 = MMXVI

Um Verwechslungen zu vermeiden, darf vor einem Zahlzeichen immer nur **ein** kleineres stehen (z. B. für die Zahl 48: XLVIII und nicht IIL).

Basisgrößen in ISO¹⁾ und Basiseinheiten (SI-Einheiten²⁾)

Basisgrößen und Basiseinheiten nach DIN EN ISO 80000-1: 2013-08

Basisgrößen		Basiseinheiten	
Name	Formelzeichen	Name	Zeichen
Länge	l, L	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	I	Ampere	A
Thermodynamische Temperatur	T	Kelvin	K
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtstärke	I_v	Candela	cd

¹⁾ International System of Quantities (Internationales Größensystem)

²⁾ SI ist die Abkürzung für Systeme International d'Unités (Internationales Einheitensystem)

Runden von Zahlen (nach DIN 1333: 1992-02)

Die Stelle eines Zahlsymbols (einer Zahl), an der nach dem Runden die letzte Ziffer stehen soll, heißt **Rundestelle**.

Runden einer positiven Zahl

Regel	Beispiel
Zur gegebenen Zahl wird der halbe Stellenwert der Rundestelle addiert. Im Ergebnis werden dann die Ziffern nach der Rundestelle weggelassen. Alternativ gilt mit gleichem Ergebnis: Steht rechts neben der Rundestelle eine der Ziffern 0 bis 4 , wird abgerundet , d. h. die Ziffer auf der Rundestelle behält ihren Wert. Steht rechts neben der Rundestelle eine der Ziffern 5 bis 9 , wird aufgerundet , d. h. die Ziffer auf der Rundestelle um den Wert 1 erhöht. Die Ziffern nach der Rundestelle werden dann in beiden Fällen weggelassen.	<p>Zu rundende Zahl: 7,658413 Rundestelle: ↑ Halber Rundestellenwert: 0,0005 Summe: 7,658913 Gerundete Zahl: 7,658</p> <p>Zu rundende Zahl: 526,2364 Rundestelle: ↑ Halber Rundestellenwert: 0,005 Summe: 526,2414 Gerundete Zahl: 526,24</p>

Runden einer negativen Zahl

Regel	Beispiel
Der Betrag der gegebenen negativen Zahl wird wie eine positive Zahl gerundet (siehe oben), anschließend wird vor den gerundeten Betrag das Minuszeichen gesetzt.	<p>Zu rundende Zahl: -7,658413 Betrag der Zahl: 7,658413 Rundestelle: ↑ Halber Rundestellenwert: 0,0005 Summe: 7,658913 Gerundeter Betrag: 7,658 Gerundete Zahl: -7,658</p>

Interpolieren

Interpolation nennt man die Bestimmung von **Zwischenwerten** zwischen zwei aufeinander folgenden Tabellenwerten (bzw. Funktionswerten) aufgrund der bekannten Zahlenwerte der Tabelle (bzw. Funktion).

Lineare Interpolation

Formel zur Ermittlung des Zwischenwertes y :

$$y = y_0 + (y_1 - y_0) \cdot t$$

Für das Intervall:

$$h = x_1 - x_0$$

- y Gesuchter Zwischenwert (Funktionswert zum Argument x)
- y_0 Unterer Funktionswert des Intervalls (bzw. Tabellenwert zum Argument x_0)
- y_1 Oberer Funktionswert des Intervalls (bzw. Tabellenwert zum Argument x_1)
- h Intervall
- x Argument zum gesuchten Funktions- bzw. Tabellenwert y
- x_0 Untere Grenze des Intervalls
- x_1 Obere Grenze des Intervalls
- t Anteil des Funktions- bzw. Tabellenwertintervalls bis zum Argument x

Beispiel:

Stoffwerte von Wasser bei $p = 1$ bar:	
ϑ in °C	ρ in kg/m ³
20	998,4
30	995,8
40	992,3
50 (x_0)	988,1 (y_0)
60 (x_1)	983,2 (y_1)
70	977,7
80	971,6

- Gesucht ist die Dichte ρ_{55} bei $\vartheta = 55$ °C
- Intervall: $h = x_1 - x_0 = 60$ °C - 50 °C = 10 °C
- Teilung so wählen, dass 1 Teilungsschritt auf die Temperatur $\vartheta = 55$ °C fällt. Gewählt: Teilungsschritte von 1 °C.
- Anteil des Funktionswertintervalls: Von 50 °C bis 55 °C sind es 5 Teilungsschritte von insgesamt 10 des Intervalls, somit ein Anteil von 50%, d. h. $t = 0,5$.
- $y = y_0 + (y_1 - y_0) \cdot t = 988,1$ kg/m³ + $(983,2$ kg/m³ - $988,1$ kg/m³) · $0,5$
 $y = \rho_{55} = \mathbf{985,65$ kg/m³

Trigonometrie (Fortsetzung)

$$\sin \alpha = \cos \beta = \cos (90^\circ - \alpha)$$

$$\cos \alpha = \sin \beta = \sin (90^\circ - \alpha)$$

Der Cosinus eines Winkels ist gleich dem Sinus seines Ergänzungswinkels (Komplementwinkel) und umgekehrt.

$$\sin 30^\circ = \cos 60^\circ; \quad \cos 3,5^\circ = \sin 86,5^\circ$$

$$\tan \alpha = \cot \beta = \cot (90^\circ - \alpha)$$

$$\cot \alpha = \tan \beta = \tan (90^\circ - \alpha)$$

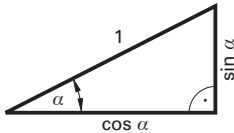
Der Tangens eines Winkels ist gleich dem Cotangens seines Ergänzungswinkels (Komplementwinkel) und umgekehrt.

$$\tan 30^\circ = \cot 60^\circ; \quad \cot 67^\circ = \tan 23^\circ$$

Beziehungen zwischen den Funktionswerten der Winkelfunktionen

$$(\sin \alpha)^2 = \sin^2 \alpha$$

gegeben →	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$\tan \alpha$	$\cot \alpha$
$\sin \alpha$	-	$\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}$	$\frac{\tan \alpha}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}$	$\frac{1}{\sqrt{1 + \cot^2 \alpha}}$
$\cos \alpha$	$\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$	-	$\frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}$	$\frac{\cot \alpha}{\sqrt{1 + \cot^2 \alpha}}$
$\tan \alpha$	$\frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}$	$\frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{\cos \alpha}$	-	$\frac{1}{\cot \alpha}$
$\cot \alpha$	$\frac{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}{\sin \alpha}$	$\frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}$	$\frac{1}{\tan \alpha}$	-



$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

(trigonometrischer Pythagoras)

$$\tan \alpha \cdot \cot \alpha = 1$$

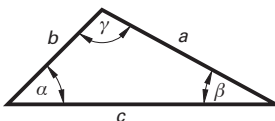
$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\cot \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$$

Wichtige Funktionswerte der vier Winkelfunktionen

	0°	$30^\circ = \frac{\pi}{6}$ rad	$45^\circ = \frac{\pi}{4}$ rad	$60^\circ = \frac{\pi}{3}$ rad	$90^\circ = \frac{\pi}{2}$ rad	$180^\circ = \pi$ rad	$360^\circ = 2\pi$ rad
sin	0	$\frac{1}{2} = 0,5$	$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} = 0,7071$	$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{3} = 0,866$	1	0	0
cos	1	$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{3} = 0,866$	$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} = 0,7071$	$\frac{1}{2} = 0,5$	0	-1	1
tan	0	$\frac{1}{3} \cdot \sqrt{3} = 0,5774$	1	$\sqrt{3} = 1,7321$	∞	0	0
cot	∞	$\sqrt{3} = 1,7321$	1	$\frac{1}{3} \cdot \sqrt{3} = 0,5774$	0	∞	∞

Trigonometrie des schiefwinkligen Dreiecks



Sinussatz

$$a : b : c = \sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma$$

$$\frac{\sin \alpha}{a} = \frac{\sin \beta}{b} = \frac{\sin \gamma}{c}$$

Cosinussatz

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos \alpha$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2 \cdot a \cdot c \cdot \cos \beta$$

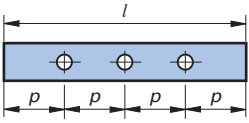
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma$$

Beachten Sie: Der **Satz des Pythagoras** ist ein Sonderfall des Cosinussatzes für $\gamma = 90^\circ$ (rechtwinkliges Dreieck), da $\cos 90^\circ = 0^\circ$.

$$c^2 = a^2 + b^2 \quad \text{für } \gamma = 90^\circ$$

Teilung von Längen (Gitterteilung)

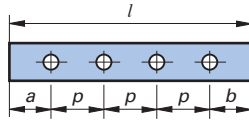
Randabstand = Teilung



$$p = \frac{l}{z+1}$$

$$z = n + 1$$

Randabstand ≠ Teilung



$$p = \frac{l - (a + b)}{n + 1}$$

- l Gesamtlänge mm
- p Teilung mm
- z Anzahl der Teile 1
- n Anzahl der Bohrungen, Markierungen, Sägeschnitte ... 1
- a, b Randabstände mm (gleich oder ungleich)

Teilung auf dem Lochkreis

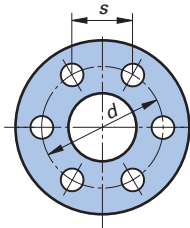
$$s = d \cdot \sin \frac{180^\circ}{n} = d \cdot k$$

$$k = \sin \frac{180^\circ}{n}$$

B $d = 225 \text{ mm}; n = 17, s = ?$

$$s = 225 \text{ mm} \cdot \sin \frac{180^\circ}{17}$$

$$s = 41,34 \text{ mm}$$



- s Teilungsstrecke, Sehnenlänge mm
- d Teilkreisdurchmesser mm
- n Anzahl der Teilungsstrecken bzw. Anzahl der Bohrungen 1
- k Sehnenkonstante 1 (s. Tabelle, unten)

(→ Flanschverbindungen)

Sehnenkonstanten:

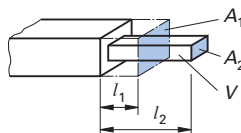
n	k	n	k	n	k	n	k
1	0,000 00	26	0,120 54	51	0,061 56	76	0,041 32
2	1,000 00	27	0,116 09	52	0,060 38	77	0,040 79
3	0,866 03	28	0,111 96	53	0,059 24	78	0,040 27
4	0,707 11	29	0,108 12	54	0,058 14	79	0,039 76
5	0,587 79	30	0,104 53	55	0,057 09	80	0,039 26
6	0,500 00	31	0,101 17	56	0,056 07	81	0,038 78
7	0,433 88	32	0,098 02	57	0,055 09	82	0,038 30
8	0,382 68	33	0,095 06	58	0,054 14	83	0,037 84
9	0,342 02	34	0,092 27	59	0,053 22	84	0,037 39
10	0,309 02	35	0,089 61	60	0,052 34	85	0,036 95
11	0,281 73	36	0,087 16	61	0,051 48	86	0,036 52
12	0,258 82	37	0,084 81	62	0,050 65	87	0,036 10
13	0,239 32	38	0,082 58	63	0,049 85	88	0,035 69
14	0,222 52	39	0,080 47	64	0,049 07	89	0,035 29
15	0,207 91	40	0,078 46	65	0,048 31	90	0,034 90
16	0,195 09	41	0,076 55	66	0,047 58	91	0,034 52
17	0,183 75	42	0,074 73	67	0,046 87	92	0,034 14
18	0,173 65	43	0,073 00	68	0,046 18	93	0,033 77
19	0,164 59	44	0,071 34	69	0,045 51	94	0,033 41
20	0,156 43	45	0,069 76	70	0,044 86	95	0,033 06
21	0,149 04	46	0,068 24	71	0,044 23	96	0,032 72
22	0,142 31	47	0,066 79	72	0,043 62	97	0,032 38
23	0,136 17	48	0,065 40	73	0,043 02	98	0,032 05
24	0,130 53	49	0,064 07	74	0,042 44	99	0,031 73
25	0,125 33	50	0,062 79	75	0,041 88	100	0,031 41

Rohrlängen von Pressteilen (Schmiedelänge)

$$l_1 = \frac{V}{A_1}$$

$$l_2 = \frac{V}{A_2}$$

$$A_1 \cdot l_1 = A_2 \cdot l_2$$



- l_1 Ausgangslänge mm
- l_2 Press- bzw. Schmiedelänge mm
- A_1 Ausgangsquerschnitt mm²
- A_2 Endquerschnitt mm²
- V Volumen mm³

Kreisprozesse im p, V -Diagramm und im T, s -Diagramm

Definition des Kreisprozesses und thermischer Wirkungsgrad

Wird bei einem thermodynamischen Prozess durch das Ablaufen **mehrerer Zustandsänderungen** wieder der Ausgangszustand erreicht, dann ist dies ein **geschlossener Prozess** oder **Kreisprozess**.

Nebenstehendes Bild zeigt einen solchen Kreisprozess im **p, V -Diagramm** dargestellt (reduziert auf zwei Zustandsänderungen).

Man sieht:
Soll **Nutzarbeit** W_n gewonnen werden, dann muss der Vorlauf $① \rightarrow ②$ einen anderen Verlauf haben als der Rücklauf $② \rightarrow ①$.

Somit ist: $W_{v12} > W_{v21}$

Wärmeenergie kann nur dann in mechanische Arbeit umgewandelt werden, wenn zwischen Vorlauf und Rücklauf des Kreisprozesses ein **Temperaturgefälle** vorhanden ist, d.h. im nebenstehenden Bild ist $T_a > T_b$.

Dies führt zu dem Begriff des **rechtslaufenden Kreisprozesses** (Kreisprozesse der **Wärme- kraft- maschinen**).

$W_n = Q_{12} - Q_{21} = W_{v12} - W_{v21}$

Nutzarbeit

$\eta_{th} = \frac{Q_n}{Q_a}$

(\rightarrow Mechanische Arbeit)

$\eta_{th} = \frac{Q_{12} - Q_{21}}{Q_{12}} = 1 - \frac{Q_{21}}{Q_{12}}$

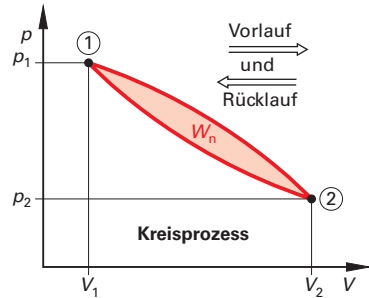
thermischer Wirkungsgrad

$\eta_{th} = \frac{W_n}{Q_a} = \frac{W_{v12} - W_{v21}}{Q_{12}}$

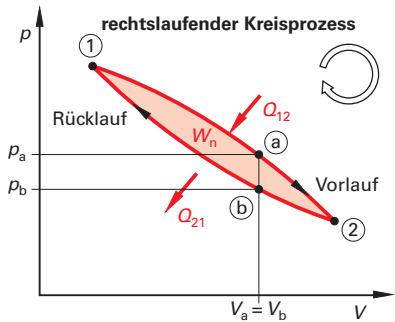
Bei der Berechnung des thermischen Wirkungsgrades η_{th} wird die Nutzarbeit W_n aus der Differenz der Flächen unter den Zustandskurven im p, V -Diagramm ermittelt.

Mit $W_{v12} > W_{v21}$ ist $\eta_{th} < 1$

(\rightarrow Thermodynamische Zustandsänderungen)



Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik (2. HS)



W_n	Nutzarbeit	Nm
Q_{12}	beim Vorlauf zugeführte Wärmeenergie	J, kJ
Q_{21}	beim Rücklauf abgeführte Wärmeenergie	J, kJ
W_{v12}	beim Vorlauf abgegebene Volumenänderungsarbeit	Nm
W_{v21}	beim Rücklauf zugeführte Volumenänderungsarbeit	Nm
η_{th}	thermischer Wirkungsgrad	1, %
Q_n	Nutzwärme	J, kJ
Q_a	aufgewendete Wärme	J, kJ

Kreisprozesse der Wärmekraftmaschinen im p, V -Diagramm (\rightarrow Thermodyn. Zustandsänderungen)

Diesel-Prozess (Gleichdruckprozess):

$\eta_{th} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{\kappa \cdot (T_3 - T_2)}$

thermischer Wirkungsgrad

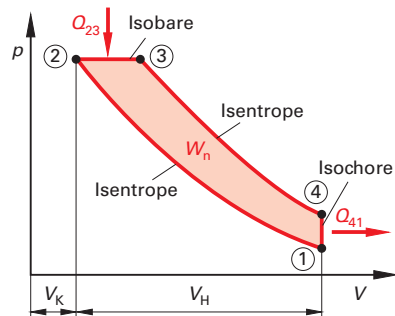
$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\kappa-1}} \cdot \frac{\varphi^{\kappa} - 1}{\kappa \cdot (\varphi - 1)}$

Verdichtungs- verhältnis

$\epsilon = \frac{V_1}{V_2}$

Einspritzverhältnis

$\varphi = \frac{V_3}{V_2}$



Wärmetransport (Fortsetzung)

Überschlagswerte für Wärmeübergangszahlen α in $W/(m^2 \cdot K)$

Fluid	Zustandsform bzw. Bewegungszustand des Fluids	Wärmeübergangszahl α
Wasser	ruhend	250 bis 700
Wasser	strömend	$580 + 2100 \cdot \sqrt{v}$
Wasser	siedend	1 000 bis 15 000
Gase, Luft überhitzte Dämpfe }	ruhend	2 bis 10
Gase, Luft überhitzte Dämpfe }	strömend	$2 + 12 \cdot \sqrt{v}$
Wasserdampf	kondensierend	5 000 bis 12 000
Ammoniak	kondensierend	9 300
Kältemittel	kondensierend	2 300
Ammoniak bei -30 °C und einer Wärmestromdichte von $\dot{q} = 4000\text{ kJ}/(m^2 \cdot h) \approx 1100\text{ W}/m^2$	siedend	500

$v =$ Strömungsgeschwindigkeit des Fluids in m/s

Weitere α - und k -Werte: VDI-Wärmeatlas sowie im Anwendungsbereich dieses Tabellenbuches.

Wärmestrahlung

$\dot{E} = \varepsilon \cdot C_s \cdot A \left(\frac{T}{100}\right)^4$	Energiestrom	\dot{E} Energiestrom ε Emissionskoeffizient (\rightarrow Tabelle unten)	W 1
$E = \varepsilon \cdot C_s \cdot A \left(\frac{T}{100}\right)^4 \cdot t$	Emittierte Energie	a Absorptionskoeffizient C_s Strahlungskonstante des absolut schwarzen Körpers	1 $W/(m^2 \cdot K^4)$
$\frac{\varepsilon}{a} = \frac{a}{\varepsilon} = \varepsilon_s = a_s = 1$	Gesetz von Kirchhoff	T absolute Temperatur A Körperoberfläche ε_s Emissionskoeffizient des absolut schwarzen Körpers	K m^2 1
$C_s \approx 5,67 \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$	Strahlungszahl des absolut schwarzen Körpers (s. Anmerkung)	a_s Absorptionskoeffizient des absolut schwarzen Körpers	1

Anmerkung:

C_s beträgt eigentlich $5,67 \cdot 10^{-8}\text{ W}/(m^2 \cdot K^4)$. Deshalb wird in obigen Gleichungen durch $100^4 = 10^8$ dividiert. Der Umgang mit den Gleichungen wird dadurch erheblich vereinfacht.

Die **Energieübertragung durch Strahlung** ist nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik immer vom Ort der höheren Temperatur zum Ort mit niedrigerer Temperatur gerichtet (z.B. Sonne \rightarrow Erde).

In spezieller Fachliteratur (z.B. VDI-Wärmeatlas) sind **Berechnungsformeln für die technischen Fälle der Wärmeübertragung durch Strahlung** angegeben.

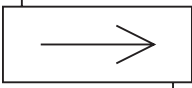
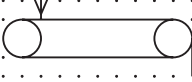
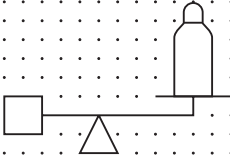
Auf der nächsten Seite sind **zwei wichtige Fälle** einer Wärmeübertragung durch Strahlung beschrieben.


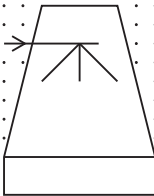
(\rightarrow Sonnenstrahlung, Sonnenenergie)

Emissions- und Absorptionskoeffizienten

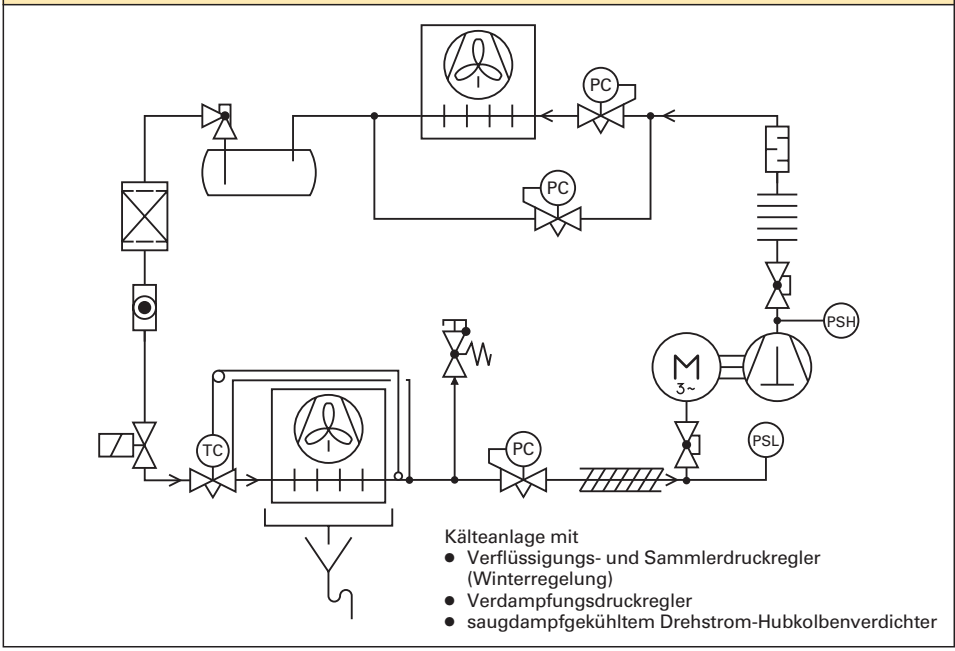
Oberfläche (senkrechte Strahlung)	$\varepsilon = a$
Dachpappe, schwarz	0,91
Schamottesteine	0,75
Ziegelsteine	0,92
Wasseroberfläche	0,95
Eisoberfläche	0,96
Buchenholz	0,93
Aluminium, poliert	0,04
Kupfer, poliert	0,03
Stahl, poliert	0,26
Stahl, stark verrostet	0,85
Heizkörperlack	0,93
schwarzer Mattlack	0,97

Auswahl der grafischen Symbole (Fortsetzung) (nach DIN EN 1861: 1998-07)

Sachgruppe 17: Hebe-, Förder- und Transporteinrichtungen	Sachgruppe 18: Waagen
 <p>Stetigförderer, allgemein</p>  <p>Bandförderer, allgemein</p>	 <p>Plattformwaage mit Gasflasche</p>

Sachgruppe 19: Verteileinrichtungen	Sachgruppe 20: Motoren, Kraftmaschinen, Antriebsmaschinen																
 <p>Verteilelement für Fluide; Spritzdüse</p>  <p>Kühlturm mit Wasserverteildüse</p>	<table border="0"> <tr> <td data-bbox="487 511 591 592"></td> <td data-bbox="637 511 740 592"></td> <td data-bbox="774 511 878 592"></td> <td data-bbox="924 511 1027 592"></td> </tr> <tr> <td>Antriebsmaschine, allgemein</td> <td>Elektromotor, allgemein</td> <td>Verbrennungsmaschine</td> <td>Pneumatische Antriebsmaschine</td> </tr> <tr> <td data-bbox="487 714 591 795"></td> <td data-bbox="637 714 740 795"></td> <td data-bbox="774 714 878 795"></td> <td data-bbox="924 714 1027 795"></td> </tr> <tr> <td>Hydraulische Antriebsmaschine</td> <td>Gleichstrommotor</td> <td>Wechselstrommotor</td> <td>Drehstrommotor</td> </tr> </table>					Antriebsmaschine, allgemein	Elektromotor, allgemein	Verbrennungsmaschine	Pneumatische Antriebsmaschine					Hydraulische Antriebsmaschine	Gleichstrommotor	Wechselstrommotor	Drehstrommotor
Antriebsmaschine, allgemein	Elektromotor, allgemein	Verbrennungsmaschine	Pneumatische Antriebsmaschine														
Hydraulische Antriebsmaschine	Gleichstrommotor	Wechselstrommotor	Drehstrommotor														

Fließbild Beispiel



3

4

5





6

7

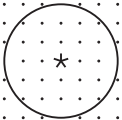
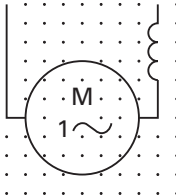
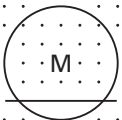
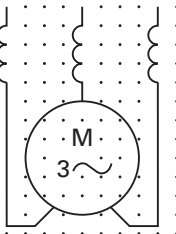
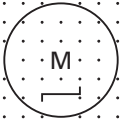
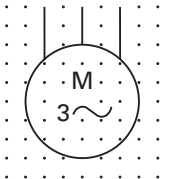
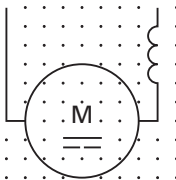
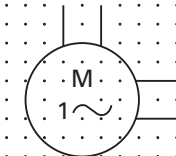
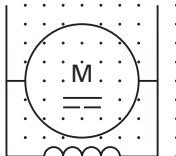
8

Auswahl von grafischen Symbolen (Fortsetzung)

(nach DIN EN 60617: 1997-08)

Grafisches Symbol	Bedeutung	Grafisches Symbol	Bedeutung
	Kondensator mit Voreinstellung		Induktivität mit bewegbarem Kontakt
	Induktivität, Spule, Wicklung, Drossel		Variometer

Erzeugung und Umwandlung elektrischer Energie

3		elektrische Maschine, allgemein		Reihenschlussmotor, einphasig
4		Linearmotor, allgemein		Drehstrom-Reihenschlussmotor
5		Schrittmotor, allgemein		Drehstrom-Asynchronmotor
6		Gleichstrom-Reihenschlussmotor		Asynchronmotor, einphasig, (Enden herausgeführt)
7		Gleichstrom-Nebenschlussmotor		
8				

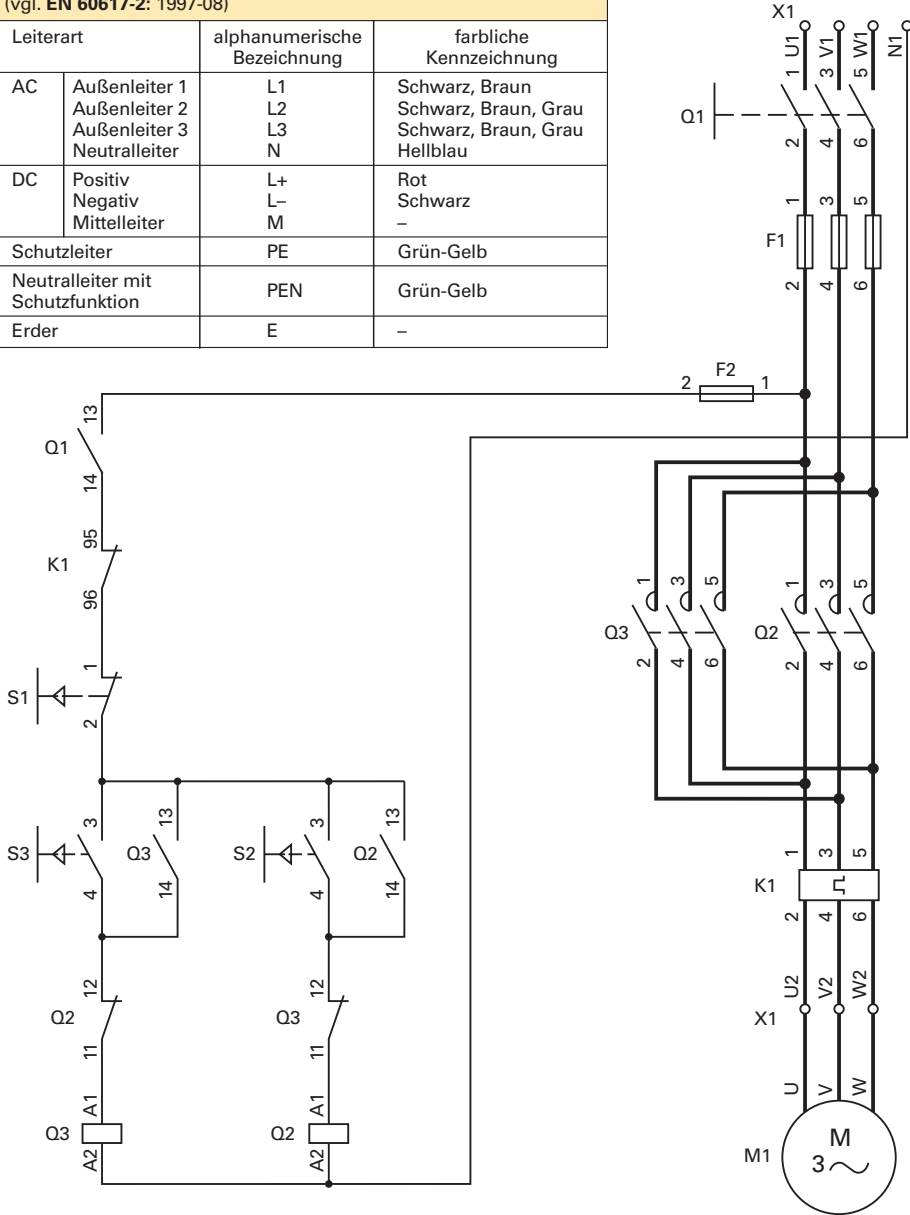
Darstellungsarten für Schaltpläne (Fortsetzung)

(nach DIN EN 61082-1 [bzw. 2]: 2007-03)

Beispiele (Auswahl)

Kennzeichnung von Leitern (DC = Gleichstrom, AC = Wechselstrom)
(vgl. EN 60617-2: 1997-08)

Leiterart		alphanumerische Bezeichnung	farbliche Kennzeichnung
AC	Außenleiter 1	L1	Schwarz, Braun
	Außenleiter 2	L2	Schwarz, Braun, Grau
	Außenleiter 3	L3	Schwarz, Braun, Grau
	Neutralleiter	N	Hellblau
DC	Positiv	L+	Rot
	Negativ	L-	Schwarz
	Mittelleiter	M	-
Schutzleiter		PE	Grün-Gelb
Neutralleiter mit Schutzfunktion		PEN	Grün-Gelb
Erder		E	-



3
4
5
6
7
8

Beispiel 2: Stromlaufplan in aufgelöster Darstellung
Dargestellt ist das gleiche Antriebssystem wie in Beispiel 1

Grundsymbole (Fortsetzung)				(nach DIN EN ISO 2553: 2019-12)			
Nr.	Benennung	Darstellung	Symbol	Nr.	Benennung	Darstellung	Symbol
7	HU-Naht J-Naht			15	Schmelzgeschweißte Liniennaht		
8	aufgeweitete Y-Naht			16	Bolzenschweißverbindung		
9	aufgeweitete HY-Naht			17	Steilflanken-naht		
10	Kehlnaht			18	Halb-Steilflanken-naht		
11	Lochnaht			19	Stirrnaht		
12.1	Widerstandsgeschweißte Punktnaht			20.1	Bördelnaht		
12.2	Buckelnaht		System A 	20.2	Bördelecknaht		
			System B 	21	Auftragschweißung		
13	Schmelzgeschweißte Punktnaht			22	Stichnaht		
14	Widerstandsröllenschweißnaht						
Kombinierte Grundsymbole							
Nr.	Benennung	Darstellung	Symbol	Nr.	Benennung	Darstellung	Symbol
1	Doppel-V-Naht			3	Doppel-U-Naht (DU-Naht)		
2	Doppel-HV-Naht (DHY-Naht)			4	Doppel-HY-Naht mit Kehlnaht (DHY-Naht mit Kehlnaht)		

3

4

5

6

7

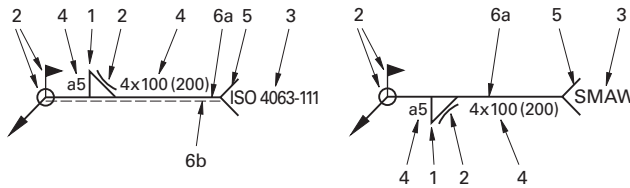
8

Lage der Symbole in Zeichnungen (Fortsetzung)

(nach DIN EN ISO 2553: 2014-04)

Beispiel

5 mm Sollnahtdicke für unterbrochene Kehlnähte, bestehend aus 4 Einzelnähten mit 100 mm Länge und 200 mm Abstand zwischen den Einzelnähten.



Legende:

- 1 Grundsymbol (Kehlnaht)
- 2 Zusatzsymbol (konkave Kontur, Baustellen-naht, Ringsum-Naht)
- 3 Zusatzangaben (Lichtbogenhandschweißen (en: shielded metal arc welding (SMAW)/Prozess111 nach ISO 4063)
- 4 Maße (Sollnahtdicke a 5 mm, 4 Einzelnähte, 100 mm lang, 200 mm Abstand zwischen den Einzelnähten)
- 5 Gabel
- 6a Bezugslinie (Volllinie)
- 6b Strichlinie (Identifizierungs-linie) – nur System A

Schweißsymbol System A

Schweißsymbol System B

Nach DIN EN ISO 2553: 2019-12 unterscheidet man zwischen „Pfeilseite“ bzw. „Gegenseite“ des Stoßes:

- Pfeilseite ist die Seite des Stoßes, auf die der Pfeil zeigt.
- Gegenseite ist die Seite des Stoßes, die der Pfeilseite gegenüber liegt.

Nach den Festlegungen der Norm sind für die selbe Naht jeweils 2 Varianten für das System A und System B möglich.

Pfeilseite/Gegenseite – System A

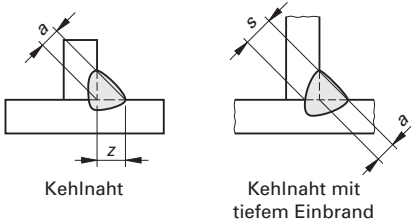
- Symbol auf Volllinie – Naht auf Pfeilseite
- Symbol auf Strichlinie – Naht auf Gegenseite

Pfeilseite/Gegenseite – System B

- Symbol unter Bezugslinie – Naht auf Pfeilseite
- Symbol über Bezugslinie – Naht auf Gegenseite

Bemaßung der Nähte

(nach DIN EN ISO 2553: 2019-12)

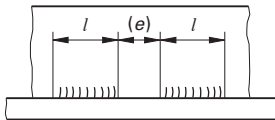


$$z = a \cdot \sqrt{2}$$

- a Nahtdicke mm
- s Nahtdicke bei tiefem Einbrand mm
- z Schenkellänge mm

Für Kehlnähte mit tiefem Einbrand wird die Nahtdicke mit s angegeben.

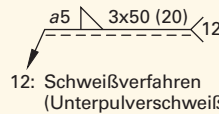
Man unterscheidet durchgehende und unterbrochene Nähte



- l Länge jeder Einzelnaht mm
- e Abstand zwischen den Einzelnähten mm
- n Anzahl der Einzelnähte 1

B Eintragsbeispiel: Kehlnaht

- a = 5 mm
- 3 Nähte mit l = 50 mm
- e = 20 mm

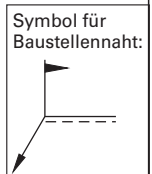


Weitere Bemaßungsregeln in Tabelle 6 der DIN EN ISO 2553: 2019-12

Kennzeichen für Schweiß- und Lötverfahren an Metallen

(nach DIN EN ISO 4063: 2011-03)

Kennzahl	Schweiß- bzw. Lötverfahren	Kennzahl	Schweiß- bzw. Lötverfahren
1	Lichtbogenschmelzschweißen	24	Abtrennstumpfschweißen
11	Metall-Lichtbogenschweißen (ohne Gasschutz)	25	Pressstumpfschweißen
111	Lichtbogenhandschweißen	3	Gasschmelzschweißen (Gasschweißen)
12	Unterpulverschweißen (UP)	311	Gasschweißen mit Sauerstoff-Acetylen-Flamme
13	Metall-Schutzgasschweißen	4	Pressschweißen
131	Metall-Inertgasschweißen; MIG-Schweißen	41	Ultraschallschweißen
135	Metall-Aktivgasschweißen; MAG-Schweißen	42	Reibschweißen
141	Wolfram-Inertgasschweißen; WIG-Schweißen	751	Laserstrahlschweißen
2	Widerstandsschweißen	76	Elektronenstrahlschweißen
21	Widerstands-Punktschweißen	91	Hartlöten
22	Rollennahtschweißen	94	Weichlöten
23	Buckelschweißen		



Dämmstoffe für den praktischen Wärmeschutz bzw. Kälteschutz (Fortsetzung)

7. und 8. Kennziffer: Klassifizierungstemperatur (obere Anwendungstemperatur in °C)	AGI-Arbeitsblätter																																																																																																																																																		
	Q 132		Q 133-3		Q 137		Q 141		Q 143																																																																																																																																										
	Gruppe	°C	Gruppe	°C	Gruppe	°C	Gruppe	°C	Gruppe	°C																																																																																																																																									
	10	100	07	70	10	100	30	300	01	80	12	120	08	80	15	150	35	350	02	85	14	140	09	90	20	200	40	400	03	90	16	160	10	100	25	250	45	450	04	95	∴	∴	Q 134		30	300	50	500	05	100	72	720	01	80	35	350	55	550	06	105	74	740	02	85	40	400	60	600			76	760	03	90	43	430	65	650	Q 133-1		04	95	50	500	70	700	07	70	05	100	Q 139		75	750	08	80	06	105	07	700	Q 133-2		07	110	08	800	07	70	08	115	09	900	08	80	09	120	10	1000			10	125	11	1100					12	1200					13	1300					14	1400					15
Q 133-1		04	95	50	500	70	700	07	70	05	100	Q 139		75	750	08	80	06	105	07	700	Q 133-2		07	110	08	800	07	70	08	115	09	900	08	80	09	120	10	1000			10	125	11	1100					12	1200					13	1300					14	1400					15			1500																																																																												
07	70	05	100	Q 139		75	750	08	80	06	105	07	700	Q 133-2		07	110	08	800	07	70	08	115	09	900	08	80	09	120	10	1000			10	125	11	1100					12	1200					13	1300					14	1400					15	1500																																																																																						
08	80	06	105	07	700	Q 133-2		07	110	08	800	07	70	08	115	09	900	08	80	09	120	10	1000			10	125	11	1100					12	1200					13	1300					14	1400					15	1500																																																																																														
Q 133-2		07	110	08	800	07	70	08	115	09	900	08	80	09	120	10	1000			10	125	11	1100					12	1200					13	1300					14	1400					15	1500																																																																																																				
07	70	08	115	09	900	08	80	09	120	10	1000			10	125	11	1100					12	1200					13	1300					14	1400					15	1500																																																																																																										
08	80	09	120	10	1000			10	125	11	1100					12	1200					13	1300					14	1400					15	1500																																																																																																																
		10	125	11	1100					12	1200					13	1300					14	1400					15	1500																																																																																																																						
				12	1200					13	1300					14	1400					15	1500																																																																																																																												
				13	1300					14	1400					15	1500																																																																																																																																		
				14	1400					15	1500																																																																																																																																								
				15	1500																																																																																																																																														

9. und 10. Kennziffer	Rohdichte	Druckspannung	Druckfestigkeit	Nennschüttdichte	Druckspannung				
	in kg/m ³	bei 10% Stauchung in N/mm ²	in N/mm ²	in kg/m ³	bei 5% Stauchung in N/mm ²				
bei AGI-Arbeitsblatt	Q 132, Q 133-1 Q 133-3, Q 134 Q 139, Q 143	Q 133-2	Q 137	Q 141	Q 142				
9. und 10. Kennziffer kann also Rohdichte, Druckspannung, Druckfestigkeit, Nennschüttdichte bedeuten.	Unterschiedlich in den einzelnen AGI-Arbeitsblättern. z.B. bei Q 132: 0,2 ≥ 20 kg /m ³ oder Q 133-1: 20 ≥ 20 kg/m ³	Gruppe	N/mm ²	Gruppe	N/mm ²	Gruppe	N/mm ²	Gruppe	N/mm ²
		20	0,20	05	0,5	45	45	05	0,5
		25	0,25	06	0,6	65	65	10	1,0
		30	0,30	07	0,7	80	80	15	1,5
		40	0,40	08	0,8				
		50	0,50	09	0,9				
		etc.		10	1,0				
				11	1,1				
				12	1,2				

Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor (-widerstandszahl) μ (→ Diffusion)

Dämmstoff	μ-Wert
Polystyrol-Schaumstoff (aus Granulat)	20 ... 100
Polystyrol - Schaumstoff (extrudiert)	80 ... 300
Polyurethan-Schaumstoff	30 ... 100
PVC-Schaumstoff	160 ... 330
Phenolharzschaumstoff	30 ... 50
Schaumglas	praktisch ∞
Faserdämmstoffe	1,5 ... 4,5

Herstellerangaben unbedingt beachten, evtl. mit Gewährleistung.

4
5
6
7
8

Zustandsgrößen feuchter Luft und deren Berechnung

Assmann'sches Aspirationspsychrometer

Ermittlung des Luftzustandes nach der \rightarrow psychrometrischen Temperaturdifferenz:

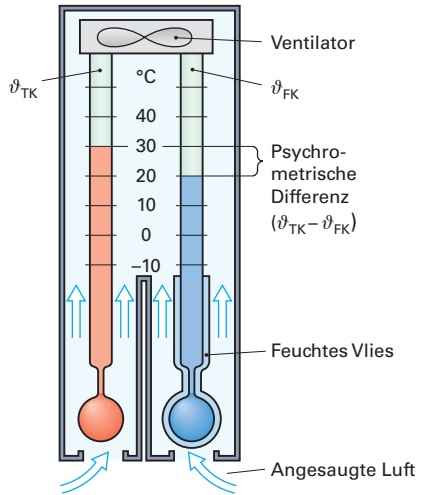
Die psychrometrische Temperaturdifferenz kann man mit Hilfe eines \rightarrow Psychrometers ermitteln:

Gemessen werden die **Trockenkugltemperatur** (normale Temperatur) und die **Feuchtkugltemperatur** (ein mit feuchtem Flies überzogenes Thermometer misst die Temperatur, bei der ein Gleichgewicht zwischen Wärmeabgabe durch Verdunstung und Wärmeaufnahme aus der Umgebung besteht). Die Differenz dieser beiden Temperaturen ist im wesentlichen von der relativen Feuchte der Luft abhängig. Je feuchter die Luft ist, desto geringer die psychrometrische Differenz. Je größer die psychrometrische Differenz ist, desto kleiner ist die Feuchte.

Mit Hilfe der \rightarrow **Berechnungsformeln für feuchte Luft** kann man alle benötigten Zustandsgrößen berechnen.

Nach Bestimmung der psychrometrischen Temperaturdifferenz kann man die relative Feuchte φ aus der \rightarrow **Psychrometertafel** ablesen:

Assmann'sches Aspirations-Psychrometer



Psychrometertafel

\rightarrow Trockenkugeltemperatur [°C]	\rightarrow Psychrometrische Differenz in K																	
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0				
-7	87	74	62	49	36	24	Psychrometrische Temperaturdifferenz: $\Delta\vartheta = \vartheta_{TK} - \vartheta_{FK}$											
-6	88	75	64	52	40	28												
-5	88	77	66	54	43	32												
-4	89	78	67	57	46	36	B $\vartheta_{TK} = 23\text{ °C}, \vartheta_{FK} = 17\text{ °C}$ $\Delta\vartheta = 6,0\text{ K}, \text{ also } \varphi = 55\%$											
-3	89	79	69	59	49	39		29	19									
-2	90	80	70	61	52	42		33	23									
-1	91	81	72	63	54	45		36	27									
0	91	82	73	64	56	47		39	31									
1	91	83	75	66	58	50	42	34	26	18								
2	92	84	76	68	60	52	45	37	30	22								
3	92	84	77	69	62	54	47	40	33	25								
4	92	85	78	70	63	56	79	42	36	29								
5	93	86	79	72	65	58	51	45	38	32	26	19						
6	93	86	79	73	66	60	53	47	41	35	29	23						
7	93	87	80	75	67	61	55	49	43	37	31	26	22	14				
8	94	87	81	75	69	62	57	51	45	40	34	29	23	18				
9	94	88	82	76	70	64	58	53	47	42	36	31	26	21				
10	94	88	82	77	71	65	60	55	49	44	39	34	29	24				
11	94	88	83	77	72	66	61	56	51	46	41	36	31	26				
12	94	89	83	78	73	68	62	57	53	48	43	38	33	29				
13	95	89	84	79	74	69	64	59	54	49	45	40	36	31				
14	95	90	84	79	74	70	65	60	56	51	46	42	38	33				
15	95	90	85	80	75	71	66	61	57	53	48	44	40	35				
16	95	90	85	81	76	71	67	62	58	54	50	46	42	37				
17	95	90	86	81	77	72	68	63	59	55	51	47	43	39				
18	95	91	86	82	77	73	69	65	61	56	53	49	45	41				
19	95	91	86	82	78	74	70	66	62	58	54	50	46	43				
20	96	91	87	83	78	74	70	66	63	59	55	51	48	44				
21	96	91	87	83	79	75	71	67	64	60	56	52	49	45				
22	96	92	88	84	80	75	72	68	64	61	57	54	50	47				
23	96	92	88	84	80	76	72	69	65	62	58	55	51	48				
24	96	92	88	85	80	77	73	70	66	62	59	56	53	49				
25	96	92	88	85	81	77	74	70	67	63	60	57	54	51				

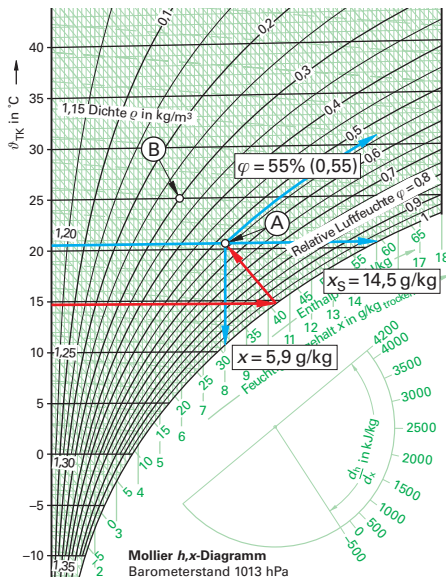
6

7

8

AbleSEN von Zustandsgrößen im h, x -Diagramm für feuchte Luft (Fortsetzung)

Zustandsgrößen im h, x -Diagramm



Feuchte:

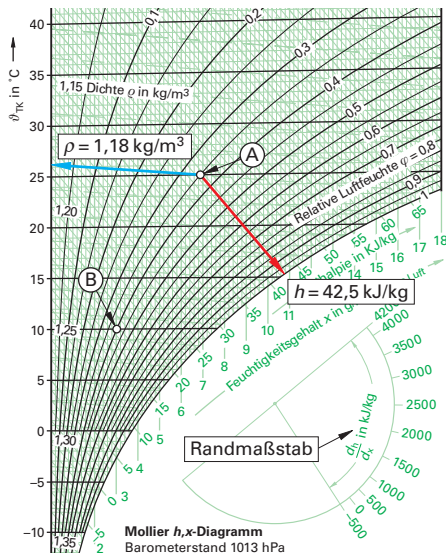
- x : → absolute Feuchte (senkrechte Linien), gibt an, wieviel g Wasserdampf je kg trockener Luft enthalten sind [g/kg]
- x_S : → Sättigungsfeuchte, gibt an, wieviel g Wasserdampf die Luft bei einer bestimmten Temperatur aufnehmen kann [g/kg] (entlang der Temperatur bis zur Sättigungslinie)
- φ : → relative Feuchte, gibt an, wie stark die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist [%; -] (geschwungene Linien).

B Eine Messung ergibt folgende Daten: $\vartheta_{TK} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{FK} = 14,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Es ergibt sich Punkt **A**.
AbleSEN kann man folgende Feuchtwerte:
 $x = 8 \text{ g/kg}$; $x_S = 14,5 \text{ g/kg}$

Umgekehrt kann man auch hier mit 2 Zustandsgrößen Punkte in das h, x -Diagramm einzeichnen:

B $\vartheta_{TK} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi = 30\%$ (typische „Heizungsluft“)
Mit den gegebenen Größen kann man den Punkt **B** einzeichnen und die Zustandsgrößen bestimmen.
Es ergibt sich: $x = 5,9 \text{ g/kg}$; $\vartheta_{TP} \approx 6 \text{ }^\circ\text{C}$;
 $\vartheta_{FK} \approx 14,5 \text{ }^\circ\text{C}$; x_S ist nicht bestimmbar, es liegt außerhalb des Diagramms.

Zustandsgrößen im h, x -Diagramm



Dichte und spezifische Enthalpie

- ρ : → Dichte der Luft [kg/m^3], ergibt in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchte die Dichte (Gestrichelte Linien)
- h : → spezifische Enthalpie [kJ/kg], ergibt den Wärmeinhalt in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchte (schräg abfallende Linien).

B $\vartheta_{TK} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi = 35\%$, ergibt Punkt **A**.
Für die Enthalpie ergibt sich ein Wert von $h \approx 42,5 \text{ kJ/kg}$ und für die Dichte $\rho = 1,18 \text{ kg/m}^3$.

Punkte in das h, x -Diagramm einzeichnen:

B $\vartheta_{TK} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi = 40\%$, es ergibt sich Punkt **B** und folgende Zustandsgrößen:
 $\vartheta_{TP} \approx -2,5 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{FK} \approx 4,5 \text{ }^\circ\text{C}$, $x = 3 \text{ g/kg}$, $x_S \approx 7,7 \text{ g/kg}$, $h \approx 12,5 \text{ kJ/kg}$, $\rho \approx 1,245 \text{ kg/m}^3$

Bei Angabe der Enthalpie h mit der Feuchtkugeltemperatur ϑ_{FK} ist keine eindeutige Lösung möglich.

Zusammenfassung:

Mit dem h, x -Diagramm kann man Zustandsgrößen feuchter Luft bestimmen. Dies sind ϑ_{TK} , x , φ , ρ und h , indirekt bestimmbar sind ϑ_{TP} , ϑ_{FK} und x_S .

Ausnahmen:

Bei der Kombination nebenstehender Größen ist keine eindeutige Zuordnung möglich, da diese Zustandsgrößen von einander abhängig sind.

ϑ_{TK} mit x_S
 ϑ_{TP} mit x
 ϑ_{FK} mit h

6

7

8

Lichttechnische Größen (Fortsetzung)

Lichtquelle	E_v in lx	Lichtquelle	E_v in lx
Sonne im Sommer (Durchschnitt)	75 000	Straßenbeleuchtung (Durchschnitt)	10
Sonne im Winter (Durchschnitt)	6 000	Wohnzimmerbeleuchtung (gemütlich)	150
Vollmond	1	Grenze der Farbwahrnehmung	3
Arbeitsplatzbeleuchtung (hochwertig)	1 000		

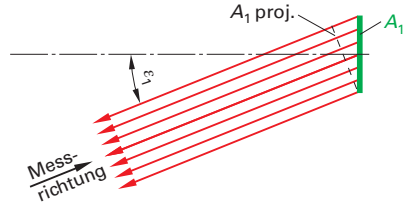
Strahlungsdichte und Leuchtdichte:

$$L_e = \frac{I_e}{A_1 \cdot \cos \varepsilon_1}$$

Strahlendichte

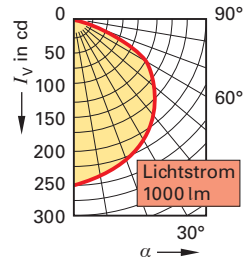
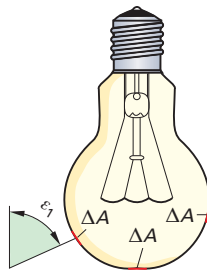
$$L_v = \frac{I_v}{A_1 \cdot \cos \varepsilon_1}$$

Leuchtdichte



Lichtquelle	Leuchtdichte in $\frac{cd}{m^2}$
Mittagssonne klarer Himmel	150 000
Mond	0,2 ... 1,2
Kohlefadenlampe	0,25 ... 0,5
Glühlampe (40 – 100 W), klar	45 ... 80
Glühlampe innen mattiert	100 ... 2000
Opallampe	10 ... 50
Leuchtstofflampe	1 ... 5
Hochspannungsleuchtröhre	0,3 ... 1,2
Quecksilberdampfampe	0,1 ... 0,8
Natriumdampfampe	4 ... 620
Xenon-Hochdrucklampe	10 ... 400 bis 95 000

- L_e Strahlendichte W/(sr · m²)
- I_e Strahlstärke W/sr
- A_1 Senderfläche m²
- ε_1 Abstrahlwinkel Grad
- L_v Leuchtdichte cd/m²
- I_v Lichtstärke cd



Photometrisches Entfernungsgesetz:

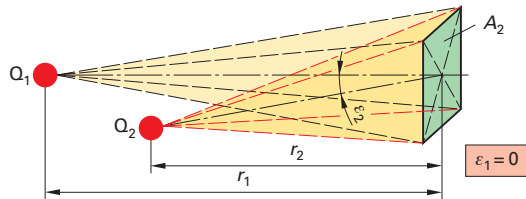
$$E_v = \frac{I_v \cdot \cos \varepsilon}{r^2}$$

Beleuchtungsstärke

$$I_{v2} = I_{v1} = \frac{\cos \varepsilon_1}{\cos \varepsilon_2} \cdot \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2$$

unbekannte Lichtstärke

Die **Beleuchtungsstärke** E_v ist proportional der Lichtstärke I_v und dem Kosinus des Abstrahlwinkels ε . Sie ist aber umgekehrt proportional dem Abstand r zum Quadrat zwischen Lichtquelle und Empfängerfläche A_2 .



B $I_{v1} = 5 \text{ cd}; \varepsilon_1 = 25^\circ; \varepsilon_2 = 10^\circ;$
 $r_1 = 5 \text{ m}; r_2 = 3 \text{ m}; I_{v2} = ?$

$$I_{v2} = I_{v1} = \frac{\cos \varepsilon_1}{\cos \varepsilon_2} \cdot \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2$$

$$I_{v1} = 5 \text{ cd} \cdot \frac{\cos 25^\circ}{\cos 10^\circ} \cdot \left(\frac{3 \text{ m}}{5 \text{ m}} \right)^2 = 1,657 \text{ cd}$$

- E_v Beleuchtungsstärke lm/m²
- I_v Lichtstärke cd
- ε Abstrahlwinkel Grad
- I_e Strahlstärke W/sr
- r Abstand von Lichtquelle zur Empfängerfläche m

Index 1: bekannte Lichtquelle (Normallampe)

Index 2: unbekante (zu messende) Lichtquelle

6

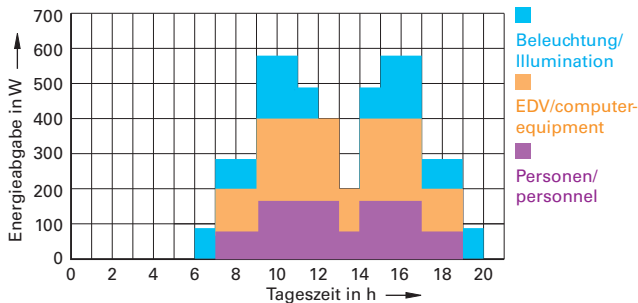
7

8

Grundlagen der Kühllastberechnung nach VDI 2078: 2015-06 (Fortsetzung)

Innere Wärmequellen im Tagesgang

Beispiel eines Büros mit zwei Personen



Spezifische elektrische Bewertungsleistung in Abhängigkeit von Beleuchtungsart und Vorschaltgerät

Beleuchtungsart	Spezifische elektrische Bewertungsleistung $p_{l,ix}$ in W/(m ² lx)		
	EVG	VVG	KVG
Direkt	0,05	0,057	0,062
Direkt/Indirekt	0,06	0,068	0,074
Indirekt	0,10	0,114	0,123

EVG: elektronisches Vorschaltgerät, VVG: verlustarmes Vorschaltgerät, KVG: konventionelles Vorschaltgerät

Anpassungsfaktor k_R zur Berücksichtigung der Raumauslegung in Abhängigkeit des Raumindex k

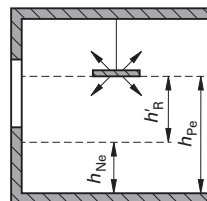
Raumindex k	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Beleuchtungsart	Anpassungsfaktor k_R											
Direkt	1,08	0,97	0,89	0,82	0,77	0,68	0,63	0,58	0,55	0,53	0,51	0,48
Direkt/Indirekt	1,3	1,17	1,06	0,97	0,90	0,79	0,72	0,64	0,58	0,56	0,53	0,53
Indirekt	1,46	1,25	1,08	0,95	0,85	0,69	0,60	0,52	0,4	0,44	0,42	0,39

Ermittlung des Raumindex k

Raumindex k

$$k = \frac{\alpha_R \cdot b_R}{h'_R \cdot (a_R + b_R)}$$

- α_R Raumtiefe m
- b_R Raumbreite m
- h'_R Differenz zwischen Leuchtenebene und Nutzebene m



Anpassungsfaktor k_L für unterschiedliche Lampentypen nach DIN V 18599-4: 2013-06

Lampenart	Anpassungs-faktor k_L	Lampenart	Anpassungs-faktor k_L
Glühlampen	6	Metallhalogen dampf-Hochdruck mit KVG	1,0
Halogenglühlampen	5		
Leuchtstofflampen, externes Vorschaltgerät	EVG 1,2	Natriumdampf-Hochdruck mit KVG	0,8
	VVG 1,4	Quecksilberdampf-Hochdruck mit KVG	1,7
	KVG 1,5		
Leuchtstofflampen kompakt, integriertes Vorschaltgerät	EVG 1,6	LED-Ersatzlampen (Ersatz für Glüh-, Halogen- bzw. Leuchtstofflampen) mit EVG	1,5
	VVG -		
	KVG -		

6

7

8

Verringerung der Kühllast durch geöffnete Fenster; Raumtypen (VDI 2078: 2015-06)

Verringerung der Kühllast durch geöffnete Fenster bei verschiedenen Temperaturdifferenzen für die Fälle a bis d

	Fenster Doppel-flügel	Fenster	Terras-sentür	Fenster	Fenster-Doppel-flügel	Fenster	Fenster	Terras-sentür	Fenster-Doppel-flügel	Fenster
Maße in m	1,4×1,4	1,4×1,4	1,0×2,0	1,0×1,6	1,4×1,6	1,4×1,6	0,6×1,4	0,8×2,0	0,8×1,3	0,8×1,3
$\Delta\theta$ in K	Verringerung der Kühllast in W									
d) 15	963	1382	1803	1461	1118	1990	1585	2477	1580	2362
14	869	1246	1625	1318	1008	1794	1429	2233	1424	2129
13	777	1115	1454	1179	902	1605	1279	1998	1274	1905
12	689	989	1290	1046	800	1424	1134	1772	1130	1690
11	605	868	1132	918	702	1249	995	1555	992	1483
10	524	752	981	795	608	1083	863	1348	860	1285
9	448	642	838	679	519	925	737	1151	734	1098
8	375	538	702	569	435	775	617	965	615	920
7	307	441	575	466	356	634	505	790	504	753
6	244	350	456	370	283	503	401	627	400	597
4	133	190	248	201	154	274	218	341	218	325
2	47	67	88	71	54	97	77	121	77	115

Raumtypen und deren Eigenschaften (VDI 2078: 2015-06)

Raumtyp (Einteilung in 5 Klassen)	Dichte ρ der Hüllfläche in kg/m ³	Speicherkapazität $C_{w,H}$ in Wh/(m ² · K)	Zeitkonstante T
XL – sehr leicht	bis 400	5	24,1
L – leicht	600 ... 700	15	70,9
M – mittel	700 ... 1100	30	141,2
S – schwer	1100 ... 1700	60	290,6
XS – sehr schwer	über 1700	130	397,3

Raumtyp XL – sehr leicht

Art	Fußboden	Dach	Innenwände	Tür	Außenwand	Fenster
Fläche A in m ²	18,75	19,15	36,51	2,0	7,39	5,13
U-Wert in W/(m ² · K)	0,436	0,290	0,63	2,2	0,365	

Raumtyp L – leicht

Art	Fußboden	Dach	Innenwände	Tür	Außenwand	Fenster
Fläche A in m ²	18,75	19,15	36,51	2,0	7,39	5,13
U-Wert in W/(m ² · K)	0,784	0,294	0,61	2,2	0,368	

Raumtyp M – mittel

Art	Fußboden	Dach	Innenwände	Tür	Außenwand	Fenster
Fläche A in m ²	18,75	19,5	36,51	2,0	8,13	5,13
U-Wert in W/(m ² · K)	0,782	0,292	1,96	2,6	0,369	

Raumtyp S – schwer

Art	Fußboden	Dach	Innenwände	Tür	Außenwand	Fenster
Fläche A in m ²	18,75	19,5	36,51	2,0	7,30	5,13
U-Wert in W/(m ² · K)	0,869	0,276	1,63	2,6	0,372	

Raumtyp XS – sehr schwer

Art	Fußboden	Dach	Innenwände	Tür	Außenwand	Fenster
Fläche A in m ²	18,75	20,75	36,51	2,0	7,82	5,13
U-Wert in W/(m ² · K)	2,09	0,274	2,3	2,6	1,654	

6

7

8

Druckverluste durch gerade Leitungsabschnitte (Fortsetzung)

Druckabfall R_0 durch gerade Leitungsabschnitte, Tabelle
(Nach den Formeln von Blasius und \rightarrow Nikuradse)

v in m/s	Nenn Durchmesser in mm											
	71		80		90		100		125		140	
	\dot{V} in m ³ /h	R_0 in Pa/m	\dot{V} in m ³ /h	R_0 in Pa/m	\dot{V} in m ³ /h	R_0 in Pa/m	\dot{V} in m ³ /h	R_0 in Pa/m	\dot{V} in m ³ /h	R_0 in Pa/m	\dot{V} in m ³ /h	R_0 in Pa/m
1,0	14	0,33	18	0,29	23	0,25	28	0,22	44	0,16	55	0,14
1,1	16	0,39	20	0,34	25	0,29	31	0,26	49	0,19	61	0,17
1,2	17	0,46	22	0,39	27	0,34	34	0,30	53	0,23	67	0,20
1,3	19	0,53	24	0,45	30	0,39	37	0,34	57	0,26	72	0,22
1,4	20	0,60	25	0,52	32	0,44	40	0,39	62	0,30	78	0,26
1,6	23	0,76	29	0,65	37	0,56	45	0,49	71	0,37	89	0,32
1,8	26	0,93	33	0,80	41	0,69	51	0,61	80	0,46	100	0,40
2,0	29	1,12	36	0,96	46	0,83	57	0,73	88	0,55	111	0,48
2,2	31	1,32	40	1,14	50	0,98	62	0,86	97	0,65	122	0,56
2,4	34	1,54	43	1,32	55	1,14	68	1,00	106	0,76	133	0,66
2,6	37	1,77	47	1,52	60	1,31	74	1,15	115	0,87	144	0,76
2,8	40	2,01	51	1,73	64	1,50	79	1,31	124	0,99	155	0,86
3,0	43	2,27	54	1,96	69	1,69	85	1,48	133	1,12	166	0,97
3,2	46	2,54	58	2,19	73	1,89	90	1,66	141	1,25	177	1,09
3,4	48	2,83	62	2,44	78	2,10	96	1,84	150	1,39	188	1,21
3,6	51	3,12	65	2,69	82	2,32	102	2,04	159	1,54	200	1,34
3,8	54	3,43	69	2,96	87	2,55	107	2,24	168	1,69	211	1,47
4,0	57	3,76	72	3,24	92	2,79	113	2,45	177	1,85	222	1,61
4,2	60	4,09	76	3,53	96	3,04	119	2,67	186	2,02	233	1,75
4,4	63	4,44	80	3,82	101	3,30	124	2,89	194	2,19	244	1,90
4,6	66	4,80	83	4,13	105	3,57	130	3,13	203	2,37	255	2,05
4,8	68	5,17	87	4,45	110	3,84	136	3,37	212	2,55	266	2,21
5,0	71	5,55	90	4,78	115	4,13	141	3,62	221	2,74	277	2,38
5,2	74	5,95	94	5,12	119	4,42	147	3,88	230	2,93	288	2,55
5,4	77	6,35	98	5,47	124	4,72	153	4,14	239	3,13	299	2,72
5,6	80	6,77	101	5,83	128	5,03	158	4,41	247	3,34	310	2,90
5,8	83	7,20	105	6,20	133	5,35	164	4,69	256	3,55	321	3,08
6,0	86	7,64	109	6,58	137	5,68	170	4,98	265	3,77	333	3,27
6,2	88	8,09	112	6,97	142	6,02	175	5,27	274	3,99	344	3,46
6,4	91	8,55	116	7,37	147	6,36	181	5,57	283	4,22	355	3,66
6,6	94	9,03	119	7,77	151	6,71	187	5,88	292	4,45	366	3,86
6,8	97	9,51	123	8,19	156	7,07	192	6,20	300	4,69	377	4,07
7,0	100	10,00	127	8,62	160	7,44	198	6,52	309	4,93	388	4,28
7,5	107	11,29	136	9,72	172	8,39	212	7,36	331	5,57	416	4,83
8,0	114	12,64	145	10,89	183	9,40	226	8,24	353	6,23	443	5,41
8,5	121	14,05	154	12,11	195	10,45	240	9,16	376	6,93	471	6,01
9,0	128	15,53	163	13,38	206	11,55	254	10,12	398	7,66	499	6,65
9,5	135	17,07	172	14,71	218	12,69	269	11,13	420	8,42	526	7,31
10,0	143	18,68	181	16,09	229	13,89	283	12,17	442	9,21	554	7,99
10,5	150	20,34	190	17,52	240	15,12	297	13,26	464	10,03	582	8,71
11,0	157	22,07	199	19,01	252	16,41	311	14,38	486	10,88	610	9,44
11,5	164	23,85	208	20,55	263	17,73	325	15,54	508	11,76	637	10,21
12,0	171	25,70	217	22,13	275	19,10	339	16,75	530	12,67	665	11,00

6

7

8

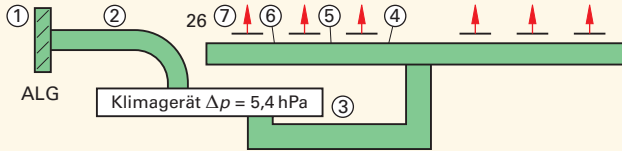
Beispiel zur Druckverlustberechnung in RLT-Anlagen

Grundsatz: Es ist der Druckverlust auf dem **ungünstigsten Weg** eines Teilchens zu ermitteln. Ist der ungünstigste Weg nicht ersichtlich, müssen mehrere Berechnungen durchgeführt werden.

Folgen aus diesem Grundsatz für die Berechnung sind:

- 1) Nur der ungünstigste Strang (derjenige, der den größten Druckverlust erzeugt) ist zu berücksichtigen.
- 2) Sobald das eine Teilchen aus der Anlage austritt, ist die Berechnung vorbei, z.B. in einem Zuluftkanal mit mehreren Auslässen wird nur der Druckverlust des ungünstigsten Auslasses, also des letzten, berücksichtigt.

B Der Druckverlust in der unten dargestellten Anlage soll ermittelt werden.



Nach dem Grundsatz zur Berechnung muss der Druckverlust auf dem Weg von Teilstück 1 bis zum Teilstück 6 (Ungünstigster Weg) ermittelt werden. Folgende Daten sind bekannt:

Der Gesamtvolumenstrom beträgt 8000 m³/h.

Teilstück 1: Außenluftgitter $a \cdot b = 1200 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$

Teilstück 2: Außenluftrohr $d = 710 \text{ mm}$, Wickelfalzrohr, Länge 7 m mit einem 90°-Bogen, $r/d = 0,75$

Teilstück 3: Zuluftkanal $a \cdot b = 800 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ Rauigkeit 0,5 mm, Länge 6,5 m mit 2 Bögen 90°, mit Leitblechen

Teilstück 4: Zuluftkanal $a \cdot b = 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$, Rauigkeit 0,5 mm, Länge 4 m, 1 T-Stück am Beginn

Teilstück 5: Zuluftkanal $a \cdot b = 500 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$, Rauigkeit 0,5 mm, Länge 4 m

Teilstück 6: Zuluftkanal $a \cdot b = 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$, Rauigkeit 0,5 mm, Länge 4 m

Teilstück 7: Zuluftgitter, $a \cdot b = 1000 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$

Die Lösung erfolgt in Tabellenform, um eine bessere Übersichtlichkeit zu schaffen.

Tabelle Zur Ermittlung des Gesamtdruckverlustes, Teil 1

TS	\dot{V}_h in m ³ /h	\dot{V}_s in m ³ /s	l in m	d in mm	$a \times b$ in mm		d_h in mm	v in m/s
1	8000	2,22	-	-	1200	800	-	2,31
2	8000	2,22	7	710	-	-	-	5,61
3	8000	2,22	6,5	-	800	500	615	5,55
4	4000	1,11	4	-	500	500	500	4,44
5	2667	0,74	4	-	500	400	444	3,7
6	1333	0,37	4	-	300	300	300	4,11
7	1333	0,37	-	-	1000	400	-	0,78

Tabelle Zur Ermittlung des Gesamtdruckverlustes, Teil 2

TS	R_0 in Pa	f_R	R in Pa	$l \times R$ in Pa	$\Sigma \zeta$	Z in Pa	Δp auf dem Teilstück in Pa	Bemerkung
1	-	-	-	-	10	32	32	Außenluftgitter
2	0,4	1,24	0,5	3,5	0,43	8,11	11,61	Bogen 90°, $r/d = 0,75$
3	0,47	1,3	0,64	2,66	0,7	12,94	15,6	2 Bögen 90°, Leitbleche
4	0,39	1,27	0,5	2,0	1,4	16,6	18,6	T- Stück Abzweig
5	0,33	1,23	0,41	1,64	-	-	1,64	
6	0,65	1,33	0,86	3,44	-	-	3,44	
7	-	-	-	-	2,0	0,73	0,73	Zuluftgitter

Bem.: Bei der Ermittlung der Werte für R_0 und f_r wurden ungefähre Tabellenmittlwerte gewählt.

Gesamt:	83,62
Gerät:	540,00
Gesamtdruckverlust:	623,62

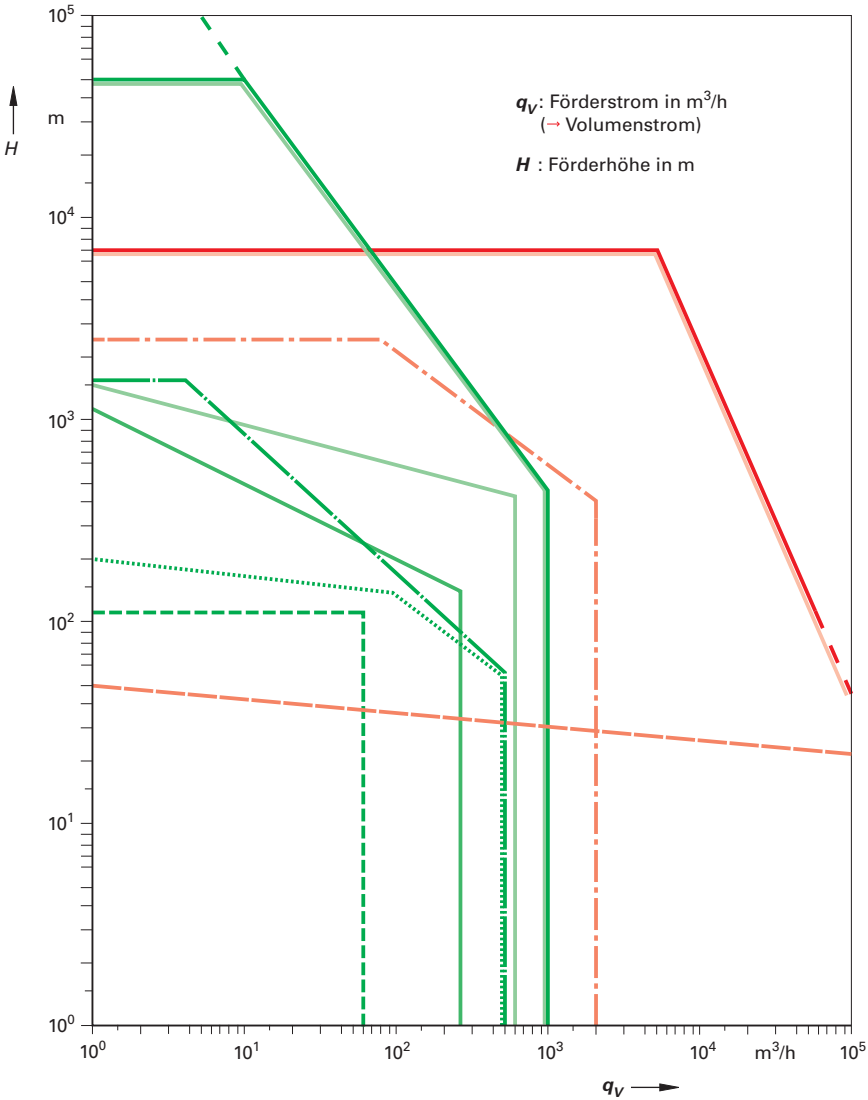
Achtung: Wenn d_h benutzt wird, muss R_0 mit der Strömungsgeschwindigkeit v ermittelt werden, keinesfalls mit dem Volumenstrom.

6

7

8

Übersicht



Verdrängerpumpen:		Kreiselpumpen:
Hubkolbenpumpen	Kreiskolbenpumpen	Kreiselpumpen, radial
Schraubenspindel-pumpen	Exzenterschnecken-pumpen	Kreiselpumpen, axial (Propellerpumpen)
Schlauchpumpen	Zahnradpumpen	Seitenkanalpumpen



Regeln für den praktischen Schallschutz				
Schutzbedürftige Räume DIN 4109-1, -2: 2018-01, -4: 2016-07				
Raumart	Beispiel	A-Schalldruckpegel in dB (A) ¹⁾		Mittlere → Nach- hallzeit in s
		hoch	niedrig	
Arbeitsräume	* Einzelbüro	35	40	0,5
	Großraumbüro	45	50	0,5
	Werkstätten	50	-	1,5
	Chemie-Labor	52 ²⁾	52 ²⁾	2,0
Versammlungs- räume	Konzertsaal, Opernhaus	25	30	1,5
	Theater, Kino	30	35	1,0
	Konferenzraum	35	40	1,0
Wohnräume	* Hotelzimmer	30	35	0,5
Sozialräume	* Ruheraum, Pausenraum	30	35	1,0
	Wasch- und WC-Raum	45	55	2,0
Unterrichtsräume	Lesesaal	30	35	1,0
	* Klassen- und Seminarraum	35	40	1,0
	* Hörsaal	35	40	1,0
Krankenhaus Gemäß DIN 1946-4: 2018-09	* Bettzimmer, Ruheraum	30	30	1,0
	Operationsraum	40	40	2,0
	Untersuchungsraum	40	40	2,0
	Labore	45	45	2,0
	Bäder und Schwimmbäder	50	50	2,0
	Umkleieräume und andere Räume	50	50	2,0
	Bettzimmer, normal	35	35	1,0
Räume mit Publikumsverkehr	Museen	35	40	1,5
	Gaststätten	40	55	1,0
	Verkaufsräume	45	60	1,0
	Schalterhalle	40	45	1,5
Sportstätten	Turn- und Sporthallen	45	50	2,0
	Schwimmbäder	45	50	2,0
Sonstige Räume	Rundfunkstudio	15	25	0,5
	Fernsehstudio	25	30	0,5
	EDV-Raum	45	60	1,5
	Reiner Raum (Reinraum)	55	60	1,5
	Küche	50	60	1,5
	Schutzraum	45	55	2,0

→ Schalldämpfer in der RLT-Anlage
→ DIN EN 16798-3: 2017-11

¹⁾ zeitlicher Mittelwert ²⁾ dieser Wert darf nach **DIN 1946-7: 2009-07** nicht überschritten werden.
* diese Räume gehören nach **DIN 4109-1: 2018-01** zu den „schutzbedürftigen Räumen“

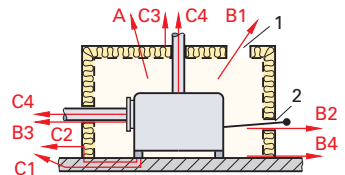
Schallschutz durch Kapselung

Schalldämmende Kapselung ist als **passive Schallschutzmaßnahme** oft die einzige Möglichkeit zur Verminderung der Schallabstrahlung von Maschinen und Geräten.

Nebenstehendes Bild zeigt ein **Beispiel für die Schallübertragungswege einer Kapselung** (→ Schallschutzmaßnahmen).

- Weg A: Luftschallübertragung über die Kapselwandung.
- Weg B: Luftschallübertragung über die Undichtigkeiten und unvermeidbaren Öffnungen, z.B. Öffnungen über Be- und Entlüftung, zum Materialein- und -auslauf, Durchführung von Leitungen und Maschinenteilen.
- Weg C: Körperschallübertragung und anschließende Abstrahlung als Luftschall.

Die besondere Bedeutung der Kapselung liegt darin, dass bereits in unmittelbarer Nähe der Schallquellen der Schalldruckpegel herabgesetzt wird.



Strömungsgeräusche

VDI-Richtlinie 2081,
Blatt 1: 2019-03

- Ermittlung von **Ventilatorgeräuschen**
- **Strömungsgeräusche** von raumlufttechnischen Geräten und Komponenten.