

Hauptgruppen		Das Periodensystem der Elemente (PSE)																		
Ordnungszahl (= Protonenzahl)	Elementname	94 Pu* —Elementsymbol		Hauptgruppen																
Relative Atommasse	(Klammer: stabilstes Isotop)	*	Plutonium	III A	IV A	V A	VI A	VII A	13	14	15	16	17	18	VIII A					
1	H Wasserstoff (1,008 ¹)																			
2	Li Lithium (6,94 ¹)	4 Be Beryllium (9,012)	3 Li Lithium (6,94 ¹)	1 H Wasserstoff (1,008 ¹)	5 B Bor (10,81 ¹)	6 C Kohlenstoff (12,011 ¹)	7 N Stickstoff (14,007 ¹¹)	8 O Sauerstoff (15,989 ¹¹)	9 F Fluor (18,998)	10 Ne Neon (20,1797)	11 Na Natrium (22,99)	12 Mg Magnesium (24,305)	13 Al Aluminium (26,982)	14 Si Silicium (28,085)	15 P Phosphor (30,974)	16 S Schwefel (32,061)	17 Cl Chlor (35,451)	18 Ar Argon (36,948)		
Periode	3 Ca Calcium (40,078)	4 Sc Scandium (44,956)	5 V Vanadium (51,986)	6 Cr Chrom (54,938)	7 Mn Mangan (55,845)	8 Fe Eisen (56,933)	9 Co Cobalt (58,693)	10 Ni Nickel (63,546)	11 Cu Kupfer (65,38)	12 Zn Zink (69,732)	13 Ga Gallium (72,630)	14 Ge Germanium (74,922)	15 As Arsen (78,971)	16 Se Selen (79,904 ¹)	17 Br Brom (83,798)	18 Kr Krypton (83,1293)				
	6 Ti Titan (47,867)	7 Vvanadium (50,942)	8 Crchrom (51,986)	9 Mn Mangan (54,938)	10 Fe Eisen (55,845)	11 Co Cobalt (58,693)	12 Ni Nickel (63,546)	13 Cu Kupfer (65,38)	14 Zn Zink (69,732)	15 Ga Gallium (72,630)	16 Ge Germanium (74,922)	17 As Arsen (78,971)	18 Se Selen (79,904 ¹)	19 Br Brom (83,798)	20 Kr Krypton (83,1293)					
	11 Sr Strontium (87,62)	12 Yttrium (88,906)	13 Zr Zirconium (91,224)	14 Nb Niob (92,906)	15 Ta Tantal (95,95)	16 W Wolfram (98)	17 Os Osmium (101,07)	18 Pt Platin (102,906)	19 Rh Rhodium (106,42)	20 Pd Palladium (107,868)	21 Ag Silber (112,414)	22 Cd Cadmium (114,818)	23 In Indium (114,818)	24 Sn Stann (118,710)	25 Te Tellur (121,760)	26 At Astat (126,904)	27 Xe Xenon (131,293)			
	14 Cs Caesium (85,468)	15 Ba Barium (87,62)	16 La Lanthan (57)	17 Hf Hafnium (72)	18 Ta Tantal (73)	19 W Rhenium (74)	20 Os Osmium (75)	21 Ir Iridium (76)	22 Pt Platinum (77)	23 Au Gold (78)	24 Hg Quecksilber (79)	25 Pb Blei (80)	26 Bi Bismut (81)	27 Po Polonium (82)	28 At Astat (83)	29 Rn Radon (85)				
	18 Fr Francium (132,905)	19 Ac Actinium (137,33)	20 Rf Ruthenium (138,905)	21 Db Dubnium (104)	22 Bk Americium (105)	23 Cf Curium (106)	24 Es Americium (108)	25 Am Curium (109)	26 Cf Americium (108)	27 Bk Americium (109)	28 Cf Americium (110)	29 Pu Americium (111)	30 Utr Thorium (113)	31 Utr Thorium (114)	32 Utr Thorium (115)	33 Uuo Uranium (116)	34 Uuo Uranium (117)			
	22 Rn Radium (223)	23 Fr Francium (226)	24 Ra Radium (227)	25 Ac Actinium (227)	26 Rf Ruthenium (267)	27 Db Dubnium (268)	28 Bk Americium (271)	29 Cf Curium (272)	30 Es Americium (276)	31 Am Curium (276)	32 Bk Americium (281)	33 Utr Thorium (284)	34 Utr Thorium (285)	35 Utr Thorium (288)	36 Utr Thorium (289)	37 Utr Thorium (293)	38 Utr Thorium (294)			
Lanthanoide		58 Ce Praseodym (140,116)	59 Pr Neodym (140,907)	60 Nd Promethium (144,242)	61 Pm Samarium (145)	62 Sm Europium (150,36)	63 Eu Sama-rium (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)					
Actinoide		90 Th Protactinium (231,036)	91 Pa Protactinium (232,038)	92 U Uranium (238,029)	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americum (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Americum (247)	98 Cf Curium (251)	99 Es Americum (252)	100 Fm Fermium (258)	101 Md Mendelevium (257)	102 No Nobelium (258)	103 Lr Lawrencium (262)					

Die Bezeichnung der Elemente 113, 115, 117 und 118 sind von IUPAC vorläufig vergeben.

¹¹ 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 den Isotopenzusammensetzung dieser Elemente.

Für Berechnungen werden die angegebenen gerundeten Werte empfohlen.

Nebengruppen

Die Bezeichnung der Elemente 113, 115, 117 und 118 sind von IUPAC vorläufig vergeben.

¹¹ 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 den Isotopenzusammensetzung dieser Elemente.

Für Berechnungen werden die angegebenen gerundeten Werte empfohlen.

Lanthanoide

Dunkelrote Hinterlegung:
Unter Normbedingungen
flüssig

Hellrote Hinterlegung:
Unter Normbedingungen
gasförmig



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für metalltechnische Berufe

Grundlagen 1

Technische
Physik 2

Tabellenbuch

Wärme • Kälte • Klima

Technische
Kommunikation 3

Stoffkunde 4

Fertigungs-
technik 5

9. überarbeitete Auflage

Klimatechnik 6

Kältetechnik 7

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

Europa-Nr.: 1731X

Allgemeine
Anlagentechnik 8

Autoren:

Ewald Bach	Oberstudienrat
Peter Bertrand	Studienrat
Walter Bierwerth	Studiendirektor a. D., Dipl.-Ing.
Bahar 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 Technikerausbildung**. 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 Technikerausbildung** 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
2	Technische Physik	TP
3	Technische Kommunikation	TK
4	Stoffkunde	SK

5	Fertigungstechnik	FT
6	Klimatechnik	KL
7	Kältetechnik	KT
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 angedeutete 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 Hinweispfeile (→) die Sachverhalte miteinander verkettet wurden. Die Hinweispfeile 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

1	Großbuchstabe	Kleinbuchstabe	Bedeutung	Name	Großbuchstabe	Kleinbuchstabe	Bedeutung	Name
2	A	α	a	Alpha	N	ν	n	Ny
	B	β	b	Beta	Ξ	ξ	x	Xi
	Γ	γ	g	Gamma	O	\circ	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
3	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 80 000-1: 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**

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.

Beispiel

Zu rundende Zahl: 7,658413
Rundestelle: ↑
Halber Rundestellenwert: 0,0005
Summe: 7,658913
Gerundete Zahl: **7,658**

Zu rundende Zahl: 526,2364
Rundestelle: ↑
Halber Rundestellenwert: 0,005
Summe: 526,2414
Gerundete Zahl: **526,24**

Runden einer negativen Zahl**Regel**

Der **Betrag** der gegebenen negativen Zahl wird wie eine positive Zahl gerundet (siehe oben), anschließend wird vor den gerundeten Betrag das Minuszeichen gesetzt.

Beispiel

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**

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. Tabellenwerteintervalls bis zum Argument x

Beispiel:

Stoffwerte von Wasser bei $p = 1$ bar:	
ϑ in °C	ϱ in kg/m³
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 Funktionswerteintervalls: Von 50 °C bis 55 °C sind es 5 Teilungsschritte von insgesamt 10 des Intervalls, somit ein Anteil von 50 %, d. h. $t = 0,5$.
- $y = y_0 + (y_1 - y_0) \cdot t = 988,1 \text{ kg/m}^3 + (983,2 \text{ kg/m}^3 - 988,1 \text{ kg/m}^3) \cdot 0,5$
 $y = \varrho_{55} = 985,65 \text{ kg/m}^3$

1

2

3

4

5

6

7

8

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.

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

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

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

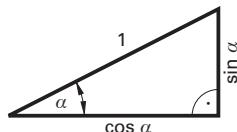
Der Tangens eines Winkels ist gleich dem Cotangens seines Ergänzungswinkels (Komplementwinkel) und umgekehrt.

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

Beziehungen zwischen den Funktionswerten der Winkelfunktionen

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

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



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

(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	$360^\circ = \pi$ 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

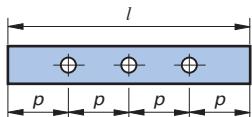
		Sinussatz		Cosinussatz	
		$a : b : c = \sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma$	$\frac{\sin \alpha}{a} = \frac{\sin \beta}{b} = \frac{\sin \gamma}{c}$	$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos \alpha$	$b^2 = a^2 + c^2 - 2 \cdot a \cdot c \cdot \cos \beta$
				$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma$	$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma$

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

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

Teilung von Längen (Gitterteilung)

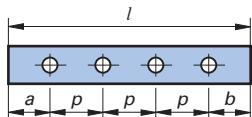
Randabstand = Teilung



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

$$z = n + 1$$

Randabstand ≠ Teilung



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

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

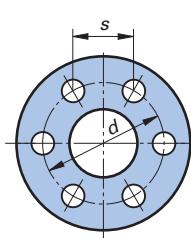
Teilung auf dem Lochkreis

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

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

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

$$s = 225 \text{ mm} \cdot \sin \frac{180^\circ}{17} \\ s = 41,34 \text{ mm}$$



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

(→ Flanschverbindungen)

Sehnenkonstanten:

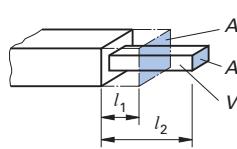
<i>n</i>	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>k</i>
1	0,000 00	26	0,120 54	51	0,061 56	76	0,041 32
2	1,000 00	27	0,116 09	52	0,060 38	77	0,040 79
3	0,866 03	28	0,111 96	53	0,059 24	78	0,040 27
4	0,707 11	29	0,108 12	54	0,058 14	79	0,039 76
5	0,587 79	30	0,104 53	55	0,057 09	80	0,039 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

Rohlängen von Pressteilen (Schmiedelänge)

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

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

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



<i>l₁</i>	Ausgangslänge	mm
<i>l₂</i>	Press- bzw. Schmiedelänge	mm
<i>A₁</i>	Ausgangs- querschnitt	mm ²
<i>A₂</i>	Endquerschnitt	mm ²
<i>V</i>	Volumen	mm ³

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

Definition des Kreisprozesses und thermischer Wirkungsgrad

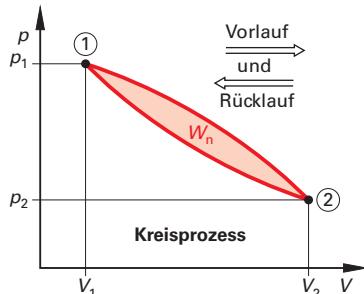
Wird bei einem thermodynamischen Prozess durch das Ablaufen **mehrerer Zustandsänderungen** wieder der Ausgangszustand erreicht, dann ist dies ein **geschlossener Prozess** oder **Kreisprozess**.

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 $\textcircled{1} \rightarrow \textcircled{2}$ einen anderen Verlauf haben als der Rücklauf $\textcircled{2} \rightarrow \textcircled{1}$.

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 **Wärmekraftmaschinen**).

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

Nutzarbeit

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

(→ Mechanische Arbeit)

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

thermischer Wirkungsgrad

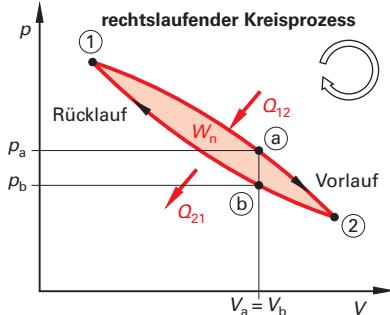
$$\eta_{th} = \frac{W_n}{Q_a} = \frac{W_{v12} - W_{v21}}{Q_{12}}$$

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 $\eta_{th} < 1$

(→ 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	aufgewandte Wärme	J, kJ

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

Diesel-Prozess (Gleichdruckprozess):

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

thermischer Wirkungsgrad

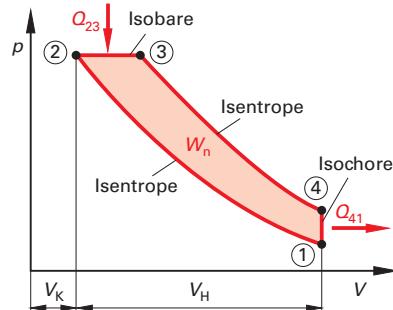
$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} - \frac{\varphi^\kappa - 1}{\kappa \cdot (\varphi - 1)}$$

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

Verdichtungsverhältnis

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

Einspritzverhältnis



Wärmetransport (Fortsetzung)

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

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 $\dot{q} = 4000 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \approx 1100 \text{ W}/\text{m}^2$	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	W
$E = \varepsilon \cdot C_s \cdot A \left(\frac{T}{100} \right)^4 \cdot t$	Emittierte Energie	ε	Emissionskoeffizient (→ Tabelle unten)	1
$\frac{\varepsilon}{a} = \frac{a}{\varepsilon} = \varepsilon_s = a_s = 1$	Gesetz von Kirchhoff	a	Absorptionskoeffizient	1
$C_s \approx 5,67 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$	Strahlungszahl des absolut schwarzen Körpers (s. Anmerkung)	C_s	Strahlungskonstante des absolut schwarzen Körpers	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
		T	absolute Temperatur	K
		A	Körperoberfläche	m^2
		ε_s	Emissionskoeffizient des absolut schwarzen Körpers	1
		a_s	Absorptionskoeffizient des absolut schwarzen Körpers	1

Anmerkung:

C_s beträgt eigentlich $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$. 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 → 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.

(→ Sonnenstrahlung, Sonnenenergie)

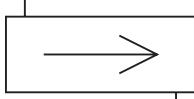
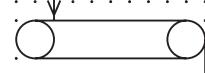
Emissions- und Absorptionskoeffizienten

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

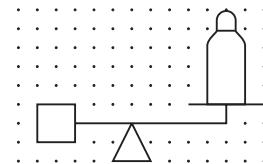
Auswahl der grafischen Symbole (Fortsetzung)

(nach DIN EN 1861: 1998-07)

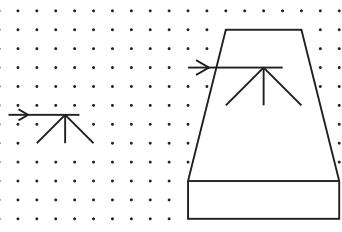
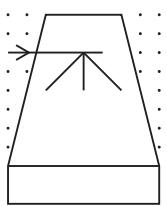
Sachgruppe 17: Hebe-, Förder- und Transporteinrichtungen

Stetigförderer,
allgemeinBandförderer,
allgemein

Sachgruppe 18: Waagen

Plattformwaage
mit Gasflasche

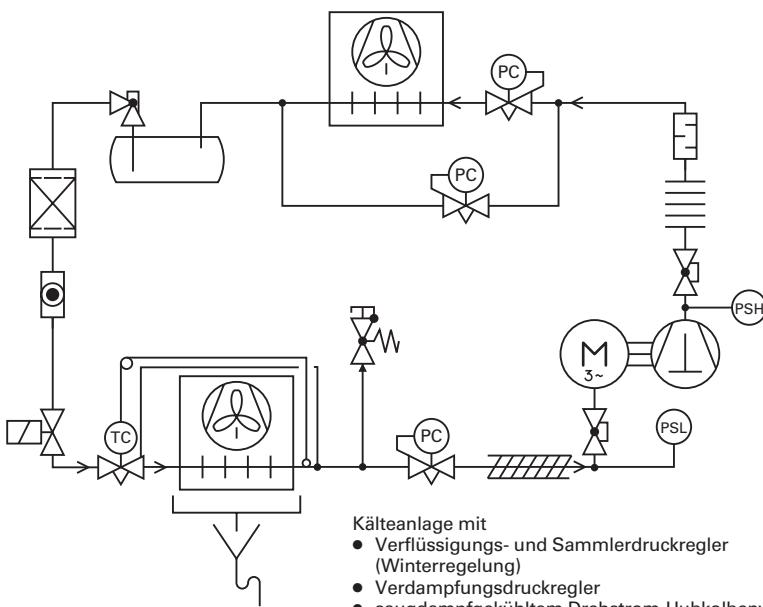
Sachgruppe 19: Verteileinrichtungen

Verteilerelement
für Fluide;
SpritzdüseKühlturm mit
Wasserverteildüse

Sachgruppe 20: Motoren, Kraftmaschinen, Antriebsmaschinen

Antriebsmaschine,
allgemeinElektromotor,
allgemeinVerbrennungsma-
schinePneumatische
AntriebsmaschineHydraulische
AntriebsmaschineGleichstrom-
motorWechselstrom-
motorDrehstrom-
motor

Fließbild Beispiel



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			
	elektrische Maschine, allgemein		Reihenschlussmotor, einphasig
	Linearmotor, allgemein		Drehstrom-Reihenschlussmotor
	Gleichstrom-Reihenschlussmotor		Drehstrom-Asynchronmotor
	Gleichstrom-Nebenschlussmotor		Asynchronmotor, einphasig, (Enden herausgeführt)

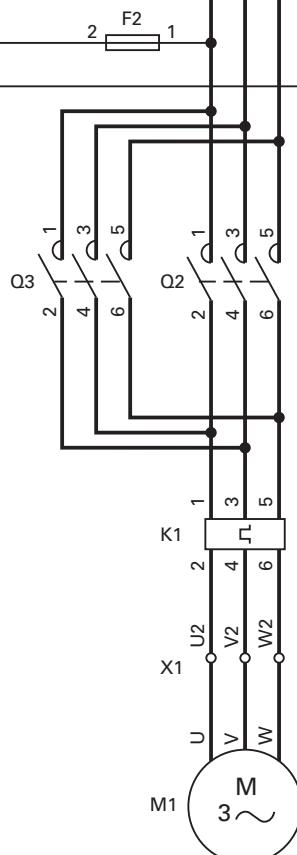
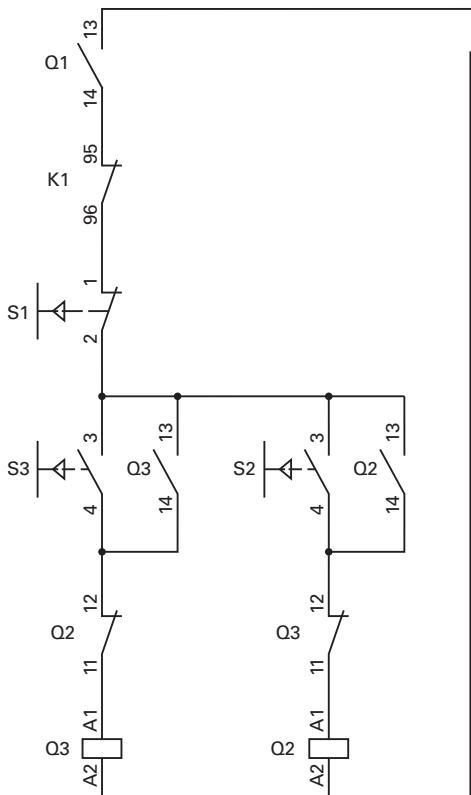
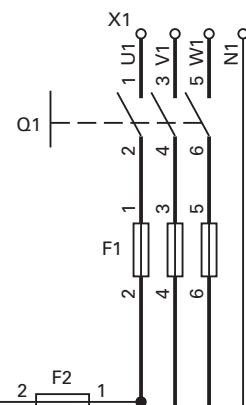
Darstellungsarten für Schaltpläne (Fortsetzung)

(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	-



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	Bolzen-schweiß-verbindung		
9	aufgeweitete HY-Naht			17	Steilflanken-naht		
10	Kehlnaht			18	Halb-Steil-flankennaht		
11	Lochnaht			19	Stirnnaht		
12.1	Widerstands-geschweißte Punktnaht			20.1	Bördelnaht		
12.2	Buckelnahrt			20.2	Bördelecknaht		
13	Schmelz-geschweißte Punktnaht			21	Auftrags-schweißung		
14	Widerstands-rollen-schweißnaht			22	Stichnaht		

Kombinierte Grundsymbole

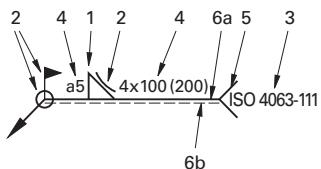
Nr.	Benennung	Darstellung	Symbol	Nr.	Benennung	Darstellung	Symbol
1	Doppel-V-Naht			3	Doppel-U-Naht (DU-Naht)		
2	Doppel-HV-Naht (DHV-Naht)			4	Doppel-HY-Naht mit Kehlnaht (DHY-Naht mit Kehlnaht)		

Lage der Symbole in Zeichnungen (Fortsetzung)

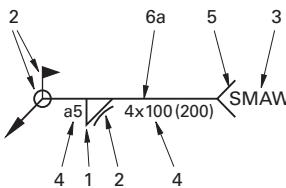
(nach DIN EN ISO 2553: 2014-04)

Beispiel

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



Schweißsymbol System A



Schweißsymbol System B

Legende:

- 1 Grundsymbol (Kehlnaht)
- 2 Zusatzsymbol (konkave Kontur, Baustellennahrt, Ringsum-Naht)
- 3 Zusatzsymbol (Lichtbogenhandschweißen (en: shielded metal arc welding (SMAW)/Prozess111 nach ISO 4063)
- 4 Maße (Sollnahtdicke a5 mm, 4 Einzelnähte, 100 mm lang, 200 mm Abstand zwischen den Einzelnähten)
- 5 Gabel
- 6a Bezugslinie (Volllinie)
- 6b Strichlinie (Indentifizierungs linie) – nur System A

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

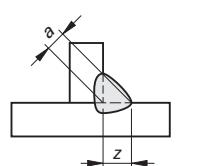
- Symbol auf Volllinie – Naht auf Pfeilseite
- Symbol auf Strichlinie – Naht auf Gegenseite

Pfeilseite/Gegenseite – System B

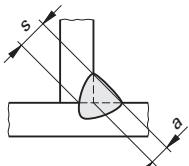
- Symbol unter Bezugslinie – Naht auf Pfeilseite
- Symbol über Bezugslinie – Naht auf Gegenseite

Bemaßung der Nähte

(nach DIN EN ISO 2553: 2019-12)



Kehlnaht



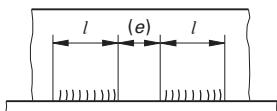
Kehlnaht mit tiefem Einbrand

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

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



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

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

B Eintragungsbeispiel: Kehlnaht

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

12: Schweißverfahren (Unterpulverschweißen)

Kennzeichen für Schweiß- und Lötverfahren an Metallen

(nach DIN EN ISO 4063: 2011-03)

Kennzahl	Schweiß- bzw. Lötverfahren	Kennzahl	Schweiß- bzw. Lötverfahren
1	Lichtbogenschmelzschielen	24	Abrennstumpfschweißen
11	Metall-Lichtbogenschweißen (ohne Gasschutz)	25	Pressstumpfschweißen
111	Lichtbogenhandschweißen	3	Gasschmelzschielen (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		
			Symbol für Baustellennahrt:

Dämmstoffe für den praktischen Wärmeschutz bzw. Kälteschutz (Fortsetzung)

7. und 8. Kennziffer: Klassifizie- rungs- temperatur (obere An- wendungstemperatur in °C)	AGI-Arbeitsblätter															
	Q 132		Q 133-3		Q 137		Q 141									
	Gruppe	°C	Gruppe	°C	Gruppe	°C	Gruppe	°C								
	10	100	07	70	10	100	30	300								
	12	120	08	80	15	150	35	350								
	14	140	09	90	20	200	40	400								
	16	160	10	100	25	250	45	450								
	:	:			30	300	50	500								
	72	720			35	350	55	550								
	74	740	01	80	40	400	60	600								
4	76	760	02	85	43	430	65	650								
	Q 133-1		03	90	50	500	70	700								
	07	70	04	95	55	550	75	750								
	08	80	05	100	60	600	Q 142									
	Q 133-2		06	105	Q 139		07	700								
	07	70	07	110	05	50	08	800								
	08	80	08	115	06	60	09	900								
			09	120	07	70	10	1000								
			10	125	08	80	50	1050								
			11		09	90										
5	12		10		10	100										
	13		11		11	110										
	14		12		12	120										
	15		13		13	130										
			14		14	140										
			15		15	150										
	Rohdichte		Druckspannung bei 10% Stauchung in N/mm²		Druckfestigkeit		Nennschütt- dichte									
	in kg/m³		in N/mm²		in N/mm²		in kg/m³									
	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											
6	9. und 10. Kennziffer kann also Rohdichte, Druck- spannung, Druckfestig- keit, Nenn- schüttdichte bedeuten.		Unterschied- lich in den einzelnen AGI-Arbeits- blättern.		Gruppe		Gruppe									
			z.B. bei Q 132: 0,2 \leq 20 kg /m³ oder Q 133-1: 20 \geq 20 kg/m³		N mm²		N mm²									
			20		05		45									
			25		06		65									
			30		07		65									
			40		08		80									
			50		09		80									
			etc.		10		10									
			11		11		11									
			12		12		12									
B 12.06.01.56.10: Bezeichnung eines Mineraldämmstoffes aus Steinwolle als versteppete Matte, Wärmeleitfähigkeitskurve 1, Klassifizierungstemperatur 560 °C, Rohdichte 100 kg/m³.																
61.21.02.75.65: Bezeichnung eines Dämmstoffes aus Blähperlit-Körnung 0 bis 1,5 mm, Wärmeleitfähigkeitskurve Bild 2, obere Anwendungstemperatur 750 °C, Schüttdichte 65 kg/m³.																

Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor (-widerstandszahl) μ (\rightarrow Diffusion)

Dämmstoff	μ -Wert	Herstellerangaben unbedingt beachten, evtl. mit Gewährleistung.
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	

Zustandsgrößen feuchter Luft und deren Berechnung

Assmann'sches Aspirationspsychrometer

Ermittlung des Luftzustandes nach der → psychrometrischen Temperaturdifferenz:

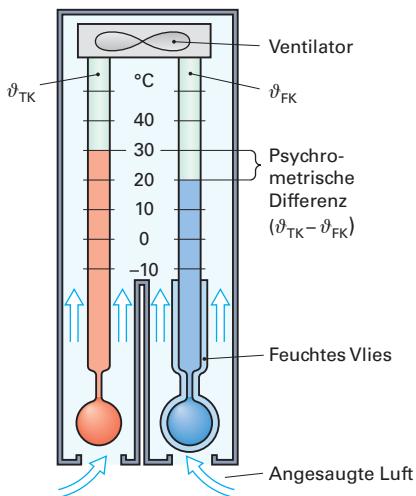
Die **psychrometrische Temperaturdifferenz** kann man mit Hilfe eines → Psychrometers ermitteln:

Gemessen werden die **Trockenkugeltemperatur** (normale Temperatur) und die **Feuchtkugeltemperatur** (ein mit feuchtem Flies überzogenen 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 → Berechnungsformeln für feuchte Luft kann man alle benötigten Zustandsgrößen berechnen.

Nach Bestimmung der **psychrometrischen Temperaturdifferenz** kann man die relative Feuchte φ aus der → Psychometertafel ablesen:

Assmann'sches Aspirations-Psychrometer

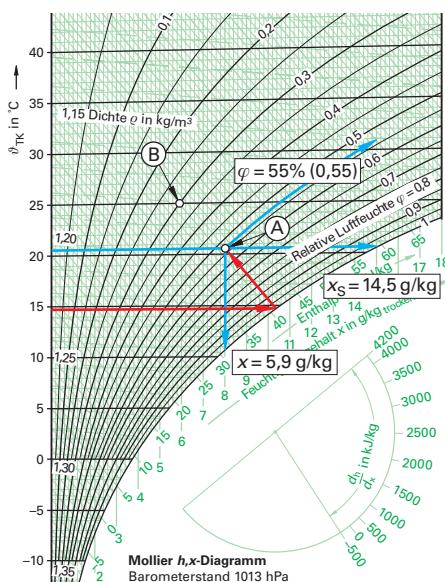


Psychometertafel

→ Trockenkugel-temperatur [°C]	→ 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								
-6	88	75	64	52	40	28								
-5	88	77	66	54	43	32								
-4	89	78	67	57	46	36								
-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	65	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

$$\text{Psychrometrische Temperaturdifferenz: } \Delta\vartheta = \vartheta_{TK} - \vartheta_{FK}$$

B $\vartheta_{TK} = 23^\circ\text{C}$, $\vartheta_{FK} = 17^\circ\text{C}$
 $\Delta\vartheta = 6,0\text{ K}$, also $\varphi = 55\%$

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: $\vartheta_{TK} = 20^\circ\text{C}$, $\vartheta_{FK} = 14.5^\circ\text{C}$. Es ergibt sich Punkt A.

Ablesen kann man folgende Feuchtwerte:

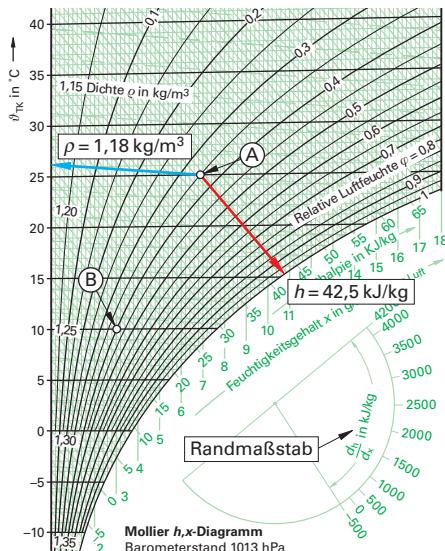
$$x = 8 \text{ g/kg}; x_S = 14.5 \text{ g/kg}$$

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

B $\vartheta_{TK} = 25^\circ\text{C}$, $\varphi = 30\%$ (typische „Heizungsluft“)

Mit den gegebenen Größen kann man den Punkt B einzeichnen und die Zustandsgrößen bestimmen.

Es ergibt sich: $x = 5.9 \text{ g/kg}$; $\vartheta_{TP} \approx 6^\circ\text{C}$; $\vartheta_{FK} \approx 14.5^\circ\text{C}$; 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 $\vartheta_{TK} = 25^\circ\text{C}$, $\varphi = 35\%$, ergibt Punkt A.

Für die Enthalpie ergibt sich ein Wert von $h \approx 42.5 \text{ kJ/kg}$ und für die Dichte $\rho \approx 1.18 \text{ kg/m}^3$.

Punkte in das h, x -Diagramm einzeichnen:

B $\vartheta_{TK} = 10^\circ\text{C}$, $\varphi = 40\%$, es ergibt sich Punkt B und folgende Zustandsgrößen:

$$\vartheta_{TP} \approx -2.5^\circ\text{C}, \vartheta_{FK} \approx 4.5^\circ\text{C}, x = 3 \text{ g/kg}, x_S \approx 7.7 \text{ g/kg}, h \approx 12.5 \text{ kJ/kg}, \rho \approx 1.245 \text{ kg/m}^3$$

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 bestimbar 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

Lichttechnische Größen (Fortsetzung)

Lichtquelle	E_v in lx	Lichtquelle	E_v in lx
Sonne im Sommer (Durchschnitt)	75000	Straßenbeleuchtung (Durchschnitt)	10
Sonne im Winter (Durchschnitt)	6000	Wohnzimmerbeleuchtung (gemäßigt)	150
Vollmond	1	Grenze der Farbwahrnehmung	3
Arbeitsplatzbeleuchtung (hochwertig)	1000		

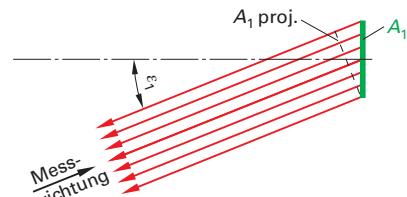
Strahlungsdichte und Leuchtdichte:

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

Strahldichte

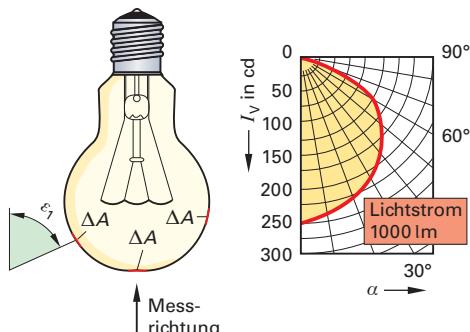
$$L_v = \frac{I_v}{A_1 \cdot \cos \varepsilon_1}$$

Leuchtdichte



Lichtquelle	Leuchtdichte in cd m^{-2}
Mittagssonne klarer Himmel	150000 0,2 ... 1,2
Mond	0,25 ... 0,5
Kohlefadenlampe	45 ... 80
Glühlampe (40 – 100 W), klar	100 ... 2000
Glühlampe innen mattiert	10 ... 50
Opallampe	1 ... 5
Leuchtstofflampe	0,3 ... 1,2
Hochspannungsleuchtröhre	0,1 ... 0,8
Quecksilberdampflampe	4 ... 620
Natriumdampflampe	10 ... 400
Xenon-Hochdrucklampe	bis 95000

L_e	Strahldichte	$W/(sr \cdot m^2)$
I_e	Strahlstärke	W/sr
A_1	Senderfläche	m^2
ε_1	Abstrahlwinkel	Grad
L_v	Leuchtdichte	cd/m^2
I_v	Lichtstärke	cd

**Photometrisches Entfernungsgesetz:**

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

Beleuchtungsstärke

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

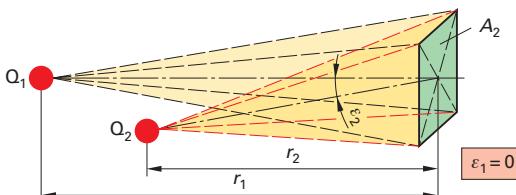
unbekannte
Lichtstärke

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

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

$$I_{v2} = 5 \text{ cd} \cdot \frac{\cos 25^\circ}{\cos 10^\circ} \cdot \left(\frac{3 \text{ m}}{5 \text{ m}} \right) = 1,657 \text{ cd}$$



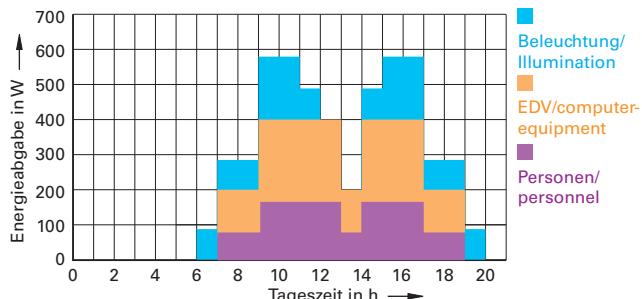
E_v	Beleuchtungsstärke	lm/m^2
I_v	Lichtstärke	cd
ε	Abstrahlwinkel	Grad
I_e	Strahlstärke	W/sr
r	Abstand von Lichtquelle zur Empfängerfläche	m

Index 1: bekannte Lichtquelle (Normallampe)
Index 2: unbekannte (zu messende) Lichtquelle

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 $p_{j,ix}$ 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

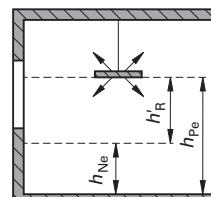
Anpassungsfaktor k_R zur Berücksichtigung der Raumauslegung in Abhängigkeit des Raumindex k

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												
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

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

a_R Raumtiefe m
 b_R Raumbreite m
 h'_R Differenz zwischen Leuchteebene und Nutzebene m

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

Lampenart	Anpassungsfaktor k_L	Lampenart	Anpassungsfaktor k_L
Glühlampen	6	Metallhalogendampf-Hochdruck mit KVG	1,0
Halogenglühlampen	5	Natriumdampf-Hochdruck mit KVG	0,8
Leuchtstofflampen, externes Vorschaltgerät	EVG	Quecksilberdampf-Hochdruck mit KVG	1,7
	VVG	LED-Ersatzlampen (Ersatz für Glüh-, Halogen- bzw. Leuchtstofflampen) mit EVG	1,5
	KVG	LED in dafür konstruierten Leuchten mit EVG	1,1
Leuchtstofflampen kompakt, integriertes Vorschaltgerät	EVG	–	–
	VVG	–	–
	KVG	–	–

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- sentur	Fenster	Fenster- Doppel- flügel	Fenster	Fenster	Terras- sentur	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
Δϑ 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	19,15	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	

Druckverluste durch gerade Leitungsabschnitte (Fortsetzung)

Druckabfall R_0 durch gerade Leitungsabschnitte, Tabelle

(Nach den Formeln von Blasius und → Nikuradse)

v in m/s	Nenndurchmesser in mm											
	71		80		90		100		125		140	
	\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

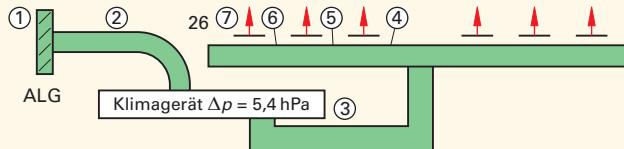
Beispiel zur Druckverlustberechnung in RLT-Anlagen

Grundsatz: Es ist der Druckverlust auf dem **ungünstigsten Weg eines Teilchens** zu ermitteln. Ist der ungünstige 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 $8000 \text{ m}^3/\text{h}$.

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 Leiblechen

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	8000	2,22	7	710	—	—	5,61
3	8000	2,22	6,5	—	800	500	615
4	4000	1,11	4	—	500	500	4,44
5	2667	0,74	4	—	500	400	444
6	1333	0,37	4	—	300	300	300
7	1333	0,37	—	—	1000	400	—
							0,78

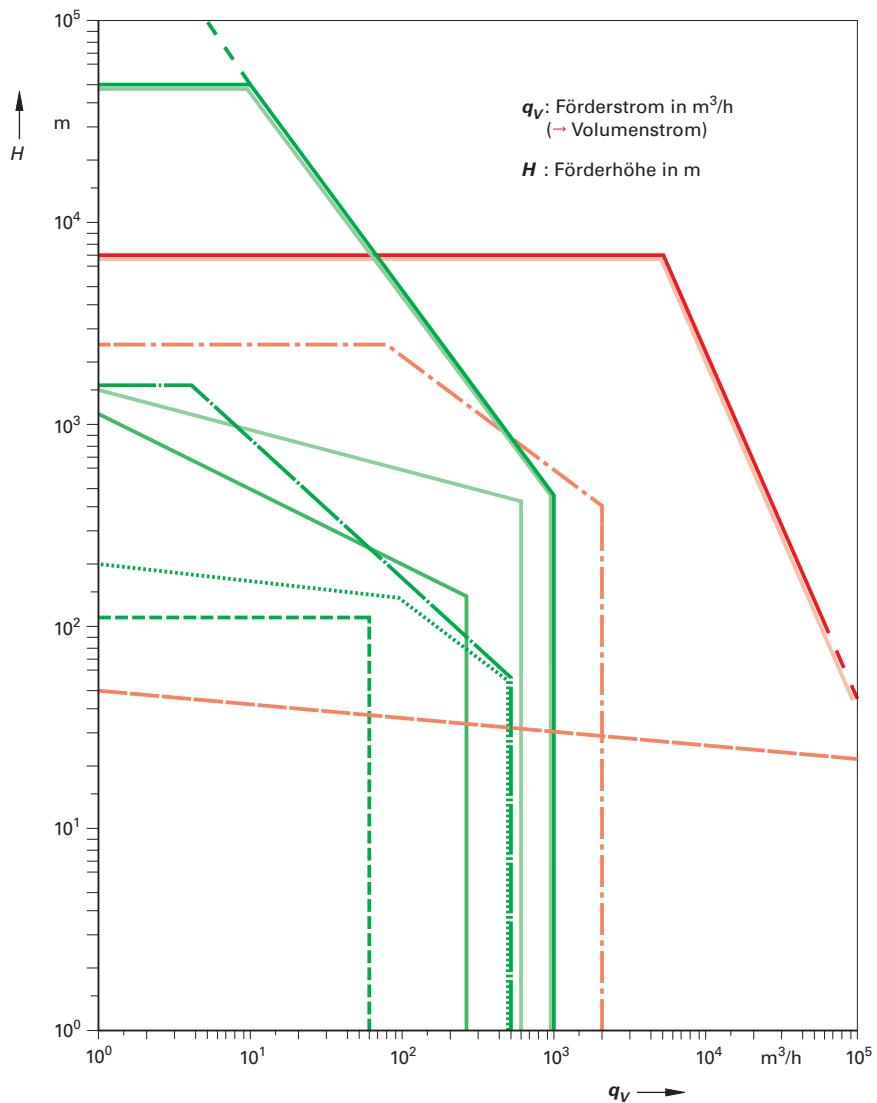
Tabelle Zur Ermittlung des Gesamtdruckverlustes, Teil 2

TS	R_0 in Pa	f_R	R in Pa	$l \times R$ in Pa	Σz	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° , Leibleche
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 Tabellenmittelwerte gewählt.	Gesamt:	83,62	Achtung: Wenn d_h benutzt wird, muss R_0 mit der Strömungsgeschwindigkeit v ermittelt werden, keinesfalls mit dem Volumenstrom.
	Gerät:	540,00	
	Gesamtdruckverlust:	623,62	



Übersicht



Verdrängerpumpen:

- | | |
|------------------------|---------------------------|
| Hubkolbenpumpen | Kreiskolbenpumpen |
| Schraubenspindelpumpen | Exzenterorschneckenpumpen |
| Schlauchpumpen | Zahnradpumpen |

Kreiselpumpen:

- | |
|--|
| Kreiselpumpen, radial |
| Kreiselpumpen, axial (Propellerpumpen) |
| 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
		Anforderungen hoch	niedrig	
Arbeitsräume	✗ Einzelbüro Großraumbüro Werkstätten Chemie-Labor	35 45 50 52 ²⁾	40 50 – 52 ²⁾	0,5 0,5 1,5 2,0
Versammlungs- räume	Konzertsaal, Opernhaus Theater, Kino Konferenzraum	25 30 35	30 35 40	1,5 1,0 1,0
Wohnräume	✗ Hotelzimmer	30	35	0,5
Sozialräume	✗ Ruheraum, Pausenraum Wasch- und WC-Raum	30 45	35 55	1,0 2,0
Unterrichtsräume	Lesesaal ✗ Klassen- und Seminarraum ✗ Hörsaal	30 35 35	35 40 40	1,0 1,0 1,0
Krankenhaus Gemäß DIN 1946-4: 2018-09	✗ Bettenzimmer, Ruheraum Operationsraum Untersuchungsraum Labore Bäder und Schwimmbäder Umkleideräume und andere Räume Bettenzimmer, normal	30 40 40 45 50 50 35	30 40 40 45 50 50 35	1,0 2,0 2,0 2,0 2,0 2,0 1,0
Räume mit Publikumsverkehr	Museen Gaststätten Verkaufsräume Schalterhalle	35 40 45 40	40 55 60 45	1,5 1,0 1,0 1,5
Sportstätten	Turn- und Sporthallen Schwimmbäder	45 45	50 50	2,0 2,0
Sonstige Räume	Rundfunkstudio Fernsehstudio EDV-Raum Reiner Raum (Reinraum) Küche Schutzraum	15 25 45 55 50 45	25 30 60 60 60 55	0,5 0,5 1,5 1,5 1,5 2,0

¹⁾ zeitlicher Mittelwert²⁾ 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.

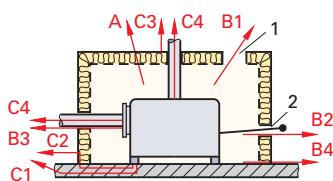
Nebenstehendes Bild zeigt ein **Beispiel für die Schallübertragungswege einer Kapselung** (→ Schallschutzmaßnahmen).

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 raumluftechnischen Geräten und Komponenten.