

← Hauptgruppen		Das Periodensystem der Elemente (PSE)																→ Hauptgruppen			
		13 IIIA		14 IVA		15 VA		16 VIA		17 VIIA		18 VIIIA									
		5B		6C		7N		8O		9F		10Ne									
		10,81 ¹⁾		12,01 ¹⁾		14,007 ¹⁾		15,999 ¹⁾		18,998		20,1797									
		13Al		14Si		15P		16S		17Cl		18Ar									
		Aluminium		Silicium		Phosphor		Schwefel		Chlor		Argon									
		26,982		28,085		30,974		32,06 ¹⁾		35,45 ¹⁾		39,948									
		31Ga		32Ge		33As		34Se		35Br		36Kr									
		Gallium		Germanium		Arsen		Selen		Brom		Krypton									
		69,732		72,630		74,922		78,971		79,904 ¹⁾		83,798									
		49In		50Sn		51Sb		52Te		53I		54Xe									
		Indium		Zinn		Antimon		Tellur		Iod		Xenon									
		114,818		118,710		121,760		127,60		126,904		131,293									
		81Tl		82Pb		83Bi		84Po		85At		86Rn									
		Thallium		Blei		Bismut		Polonium		Astat		Radon									
		204,38 ¹⁾		207,2		208,980		(209)		(210)		(222)									
		113Uu*		114Fl*		115Uup*		116Lv*		117Uus*		118Uuo*									
		Ununtrium		Flerovium		Ununpentium		Livermorium		Ununseptium		Ununoctium									
		(284)		(289)		(288)		(293)		(294)		(294)									
		94Pu*		95Am*		96Cm*		97Bk*		98Cf*		99Es*		100Fm*		101Md*		102No*		103Lr*	
		Plutonium		Americium		Curium		Berkelium		Californium		Einsteinium		Fermium		Mendelevium		Nobelium		Lawrencium	
		(244)		(243)		(247)		(247)		(251)		(252)		(257)		(258)		(259)		(262)	

← Hauptgruppen		Das Periodensystem der Elemente (PSE)																→ Hauptgruppen	
		13 IIIA		14 IVA		15 VA		16 VIA		17 VIIA		18 VIIIA							
		5B		6C		7N		8O		9F		10Ne							
		10,81 ¹⁾		12,01 ¹⁾		14,007 ¹⁾		15,999 ¹⁾		18,998		20,1797							
		13Al		14Si		15P		16S		17Cl		18Ar							
		Aluminium		Silicium		Phosphor		Schwefel		Chlor		Argon							
		26,982		28,085		30,974		32,06 ¹⁾		35,45 ¹⁾		39,948							
		31Ga		32Ge		33As		34Se		35Br		36Kr							
		Gallium		Germanium		Arsen		Selen		Brom		Krypton							
		69,732		72,630		74,922		78,971		79,904 ¹⁾		83,798							
		49In		50Sn		51Sb		52Te		53I		54Xe							
		Indium		Zinn		Antimon		Tellur		Iod		Xenon							
		114,818		118,710		121,760		127,60		126,904		131,293							
		81Tl		82Pb		83Bi		84Po		85At		86Rn							
		Thallium		Blei		Bismut		Polonium		Astat		Radon							
		204,38 ¹⁾		207,2		208,980		(209)		(210)		(222)							
		113Uu*		114Fl*		115Uup*		116Lv*		117Uus*		118Uuo*							
		Ununtrium		Flerovium		Ununpentium		Livermorium		Ununseptium		Ununoctium							
		(284)		(289)		(288)		(293)		(294)		(294)							

Lanthanoide

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm*	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Cer	Praseodym	Neodym	Promethium	Samarium	Europium	Gadolinium	Terbium	Dysprosium	Holmium	Erbium	Thulium	Ytterbium	Lutetium
140,116	140,907	144,242	(145)	150,36	151,964	157,25	158,925	162,500	164,930	167,259	168,934	173,054	174,967

Dunkelrote Hinterlegung:
Unter Normbedingungen flüssig

Hellrote Hinterlegung:
Unter Normbedingungen gasförmig

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.

Ordnungszahl (= Protonenzahl) **94 Pu*** — Elementsymbol
 Elementname **Plutonium** *****: Alle Nuklide radioaktiv
 Relative Atommasse **(244)** — kursorisch: Künstliches Element
 (Klammer: stabilstes Isotop)

		3 III B		4 IV B		5 V B		6 VI B		7 VII B		8 VIII B		9 VIII B		10 I B		11 I B		12 II B	
		21 Sc		22 Ti		23 V		24 Cr		25 Mn		26 Fe		27 Co		28 Ni		29 Cu		30 Zn	
		Scandium		Titan		Vanadium		Chrom		Mangan		Eisen		Cobalt		Nickel		Kupfer		Zink	
		44,956		47,867		50,942		51,996		54,938		55,845		58,933		58,693		63,546		65,38	
		39 Y		40 Zr		41 Nb		42 Mo		43 Tc*		44 Ru		45 Rh		46 Pd		47 Ag		48 Cd	
		Yttrium		Zirkon		Niob		Molybdän		Technetium		Ruthenium		Rhodium		Palladium		Silber		Cadmium	
		88,906		91,224		92,906		95,95 (98)		101,07		102,906		106,42		107,868		112,414		112,414	
		57 La		72 Hf		73 Ta		74 W		75 Re		76 Os		77 Ir		78 Pt		79 Au		80 Hg	
		Lanthan		Hafnium		Tantal		Wolfram		Rhenium		Osmium		Iridium		Platin		Gold		Quecksilber	
		138,905		178,49		180,948		183,84		186,207		190,23		192,217		195,084		196,967		200,592	
		89 Ac*		104 Rf*		105 Db*		106 Sg*		107 Bh*		108 Hs*		109 Mt*		110 Ds*		111 Rg*		112 Cn*	
		Actinium		Rutherfordium		Dubnium		Seaborgium		Bohrium		Hassium		Meitnerium		Darmstadtium		Roentgenium		Copernicium	
		(227)		(267)		(268)		(271)		(272)		(270)		(276)		(281)		(280)		(285)	



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

10. 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.

10. Auflage 2022

Druck 5 4 3 2 1

ISBN 978-3-7585-1284-1

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

© 2022 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: rkt, 51379 Leverkusen, www.rktypo.com
Umschlag: G. Kuhl mediacreativ, 40724 Hilden
Druck: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

*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 10. 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

Griechisches Alphabet

Großbuchstabe	Kleinbuchstabe	Bedeutung	Name	Großbuchstabe	Kleinbuchstabe	Bedeutung	Name
A	α	a	Alpha	Ν	ν	n	Ny
B	β	b	Beta	Ξ	ξ	x	Xi
Γ	γ	g	Gamma	Ο	ο	o	Omikron
Δ	δ	d	Delta	Π	π	p	Pi
E	ε	e	Epsilon	Ρ	ρ	rh	Rho
Z	ζ	z	Zeta	Σ	σ	s	Sigma
H	η	e	Eta	Τ	τ	t	Tau
Θ	θ	th	Theta	Υ	υ	y	Ypsilon
I	ι	i	Jota	Φ	φ	ph	Phi
K	κ	k	Kappa	Χ	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: 0,0005 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.

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

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

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

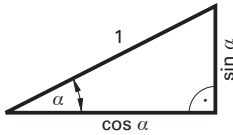
Der Tangens eines Winkels ist gleich dem Cotangens seines Ergänzungswinkels (Komplementwinkel) und umgekehrt.

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

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)

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

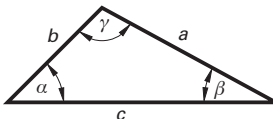
$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

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

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

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

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

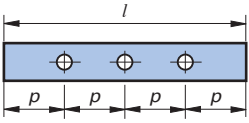
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma$$

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)

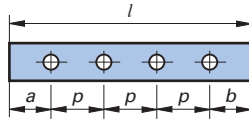
Randabstand = Teilung



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

$$z = n + 1$$

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

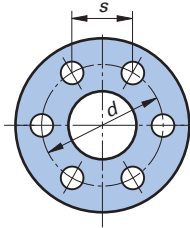
$$s = d \cdot \sin \frac{180^\circ}{n} = d \cdot k$$

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

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:

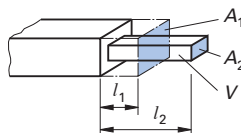
n	k	n	k	n	k	n	k
1	0,00000	26	0,12054	51	0,06156	76	0,04132
2	1,00000	27	0,11609	52	0,06038	77	0,04079
3	0,86603	28	0,11196	53	0,05924	78	0,04027
4	0,70711	29	0,10812	54	0,05814	79	0,03976
5	0,58779	30	0,10453	55	0,05709	80	0,03926
6	0,50000	31	0,10117	56	0,05607	81	0,03878
7	0,43388	32	0,09802	57	0,05509	82	0,03830
8	0,38268	33	0,09506	58	0,05414	83	0,03784
9	0,34202	34	0,09227	59	0,05322	84	0,03739
10	0,30902	35	0,08961	60	0,05234	85	0,03695
11	0,28173	36	0,08716	61	0,05148	86	0,03652
12	0,25882	37	0,08481	62	0,05065	87	0,03610
13	0,23932	38	0,08258	63	0,04985	88	0,03569
14	0,22252	39	0,08047	64	0,04907	89	0,03529
15	0,20791	40	0,07846	65	0,04831	90	0,03490
16	0,19509	41	0,07655	66	0,04758	91	0,03452
17	0,18375	42	0,07473	67	0,04687	92	0,03414
18	0,17365	43	0,07300	68	0,04618	93	0,03377
19	0,16459	44	0,07134	69	0,04551	94	0,03341
20	0,15643	45	0,06976	70	0,04486	95	0,03306
21	0,14904	46	0,06824	71	0,04423	96	0,03272
22	0,14231	47	0,06679	72	0,04362	97	0,03238
23	0,13617	48	0,06540	73	0,04302	98	0,03205
24	0,13053	49	0,06407	74	0,04244	99	0,03173
25	0,12533	50	0,06279	75	0,04188	100	0,03141

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

Wärmetransport (Fortsetzung)

$$R_{\lambda, \text{ges}} = R_{\lambda,1} + R_{\lambda,2} + R_{\lambda,3} + \dots + R_{\lambda,n}$$

Gesamt-wärmeleit-widerstand

$$\dot{Q} = \frac{\Delta\vartheta_1}{R_{\lambda,1}} = \frac{\Delta\vartheta_2}{R_{\lambda,2}} = \dots = \frac{\Delta\vartheta}{R_{\lambda, \text{ges}}}$$

Wärmestrom

Die Wärmeleitfähigkeit λ ist stark temperaturabhängig.

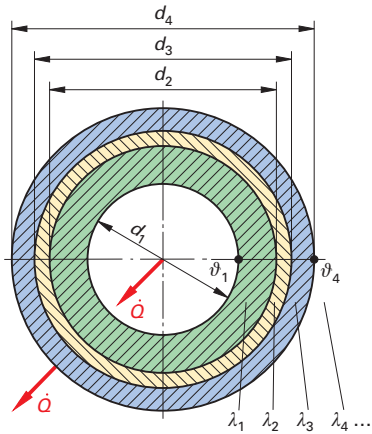
Indices 1 ... n: Wandbezeichnungen

$$\dot{Q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot l \cdot \lambda}{\ln \frac{d_a}{d_i}} \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2)$$

Wärmestrom durch einen Hohlzylinder

$$\dot{Q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot l \cdot \Delta\vartheta_{\text{ges}}}{\frac{1}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \dots}$$

Wärmestrom durch mehrschichtige Zylinderwand (nebst Bild)



In: natürlicher Logarithmus

Indices 1 ... n: Wandbezeichnungen

Der **Temperaturverlauf** in zylindrischen Wänden ist nicht linear, sondern er erfolgt nach einer **logarithmischen Funktion**.

Weitere Formeln für die Berechnung des Wärmestroms durch gekrümmte Wände (nicht zylindrisch) sind in technischen Handbüchern insbesondere im **VDI-Wärmeatlas** zu finden, z.B. für den Wärmedurchgang durch → Klöpperböden.

Wärmeleitfähigkeit (bei $\vartheta = 20\text{ °C}$) (→ Dämm- und Sperrstoffe)

Stoff	λ in W/(m · K)	Stoff	λ in W/(m · K)
Aluminium	209	Kupfer	394
Antimon	22,53	Leder	0,16
Asbest	0,17	Marmor	2,9
Benzen (Benzol)	0,135	Maschinenöl	0,126
Blei	35,01	Messing	81 ... 105
Bronze	58,15	Neusilber	29
Dämmstoffe	0,015 ... 0,11	Nickel	52
Flussstahl	46,5	Platin	80
Glas	0,6 ... 0,9	Porzellan	0,8 ... 1,9
Glimmer	0,41	Quarz	1,09
Glyzerin	0,28	Quecksilber	8,4
Gold	311	Roheisen, weiß	52
Grafit	140	Schwefel	0,27
Grauguss	48,8	Silber	418,7
Holz, Eiche	0,21	Stahlguss	52
Kiefer	0,14	Tombak	93 ... 116
Rotbuche	0,17	Wasser	0,597
Holzkohle	0,08	Weißmetall	35 ... 70
Kesselstein	1,16 ... 3,5	Zink	110
Korkplatten	0,035 ... 0,04	Zinn	64

2

3

4

5

6

7

8

Schallbewertung und Schallausbreitung (Fortsetzung)

1. Gesamtschalldruckpegel $L_{p(S+H)}$ bei laufender Maschine messen.
 2. Hintergrundschalldruckpegel L_{pH} bei abgeschalteter Maschine messen.
 3. Differenz der beiden gemessenen Schalldruckpegel $L_{p(S+H)} - L_{pH}$ ermitteln, ergibt drei mögliche Fälle:
 $L_{p(S+H)} - L_{pH} < 3 \text{ dB}$ → Hintergrundschalldruckpegel L_{pH} ist für eine Messung zu hoch.
 $L_{p(S+H)} - L_{pH} > 10 \text{ dB}$ → Gesamtschalldruckpegel $L_{p(S+H)}$ entspricht dem Schalldruckpegel der Maschine L_{pS} .
- ↙ $3 \text{ dB} \leq (L_{p(S+H)} - L_{pH}) \leq 10 \text{ dB}$
4. Entsprechend Kurve im Diagramm auf vorhergehender Seite erfolgt die Pegelkorrektur, und zwar wird – ausgehend von $L_{p(S+H)} - L_{pH}$ auf der Abszisse – die Pegeldifferenz ΔL_p auf der Ordinate ermittelt (siehe eingezeichnetes Beispiel).
 5. Der Schalldruckpegel der Maschine wird wie folgt ermittelt:

$L_{pS} = L_{p(S+H)} - \Delta L_p$ **Schalldruckpegel des zu messenden Schallgebers in dB**

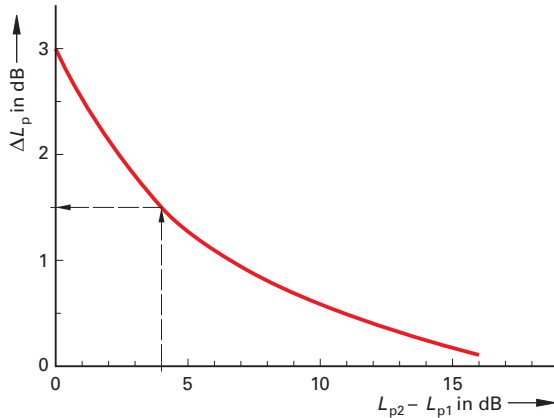
B $L_{p(S+H)} = 90 \text{ dB}$; $L_{pH} = 85,6 \text{ dB}$; $L_{pS} = ?$

$L_{pS} = L_{p(S+H)} - \Delta L_p$ Kurve: $L_{p(S+H)} - L_{pH} = 90 \text{ dB} - 85,6 \text{ dB} = 4,4 \text{ dB}$ → $\Delta L_p = 2 \text{ dB}$

$L_{pS} = 90 \text{ dB} - 2 \text{ dB} = 88 \text{ dB}$

Addition von Schalldruckpegeln:

Pegel werden **bei mehreren Schallquellen** zu einem **Gesamtschalldruckpegel** $L_{p \text{ ges}}$ zusammengefasst, und zwar mit Hilfe des nebenstehenden Bildes. **Bei zwei laufenden Maschinen** oder anderen Schallquellen wird wie folgt verfahren:



1. Schalldruckpegel der einzelnen Maschinen L_{p1} und L_{p2} getrennt messen (evtl. auch schon vom Hersteller angegeben).
2. Differenz dieser Einzelpegel ($L_{p1} - L_{p2}$) bilden. Diese ist auf der Abszisse vorzufinden.
3. Diese Pegeldifferenz liefert – entsprechend eingezeichnetem Beispiel – über die Kurve ein ΔL_p auf die Ordinate.
4. Die Summe des größten Einzelschalldruckpegels $L_{p \text{ max}}$ und L_p ergibt $L_{p \text{ ges}}$. Somit:

$L_{p \text{ ges}} = L_{p \text{ max}} - \Delta L_p$ **Gesamtschalldruckpegel (resultierender Schalldruckpegel) in dB**

Bei **mehr als zwei Schallquellen** zuerst zwei Schallquellen zu einem resultierenden Schalldruckpegel zusammenfassen, diesen dann ebenfalls mit der dritten zusammenfassen usw.

B $L_{p1} = 52 \text{ dB}$; $L_{p2} = 45 \text{ dB}$; $L_{p3} = 54 \text{ dB}$; $L_{p \text{ ges}} = ?$

$L_{p \text{ ges}1,2} = L_{p \text{ max}1,2} + \Delta L_{p1,2} = 52 \text{ dB} + 0,9 \text{ dB} = 52,9 \text{ dB}$

$L_{p \text{ ges}1,2,3} = L_{p \text{ ges}} = L_{p \text{ max}1,2,3} + \Delta L_{p1,2,3} = 54 \text{ dB} + 2,5 \text{ dB} = 56,5 \text{ dB}$

Arbeiten **mehrere Schallgeber gleicher Lautstärke** zusammen, dann kann die Pegeladdition mit Hilfe der folgenden Tabelle erfolgen:

Anzahl der gleich lauten Schallgeber	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	30
Erhöhung des Schalldruckpegels ΔL_p in dB	0	3	5	6	7	8	9	10	12	13	15

Darstellung von Rohrleitungen (Fortsetzung)

(nach DIN EN ISO 6412: 2018-06)

Isometrische Darstellung

Bemaßung

Rohre mit Bögen werden von Mittellinie zu Mittellinie (Maß b) oder von Mittellinie zum Rohrende (Maße a und c) bemaßt (Bild 1).

Anmerkung: Bögen werden vereinfacht dargestellt, indem man die gerade Länge der Fließlinie zum Scheitelpunkt ausdehnt. Die Bögen in den Rohren dürfen zur besseren Klarheit ebenfalls dargestellt werden. Wenn in diesem Fall die Projektionen von Bögen eine elliptische Form haben, dürfen diese durch Kreisbögen dargestellt werden.

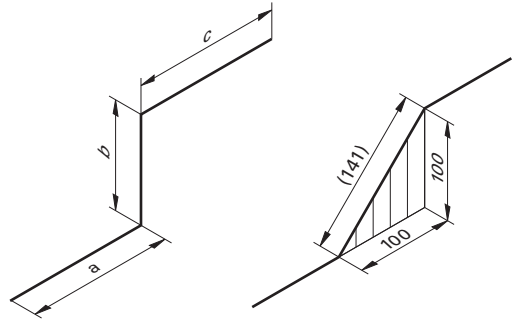


Bild 1

Bild 2

Redundante Bemaßung

Wenn notwendig, werden die schraffierten Hilfsprojektionsebenen bemaßt. Falls es notwendig ist eine Doppelbemaßung anzugeben, ist eines der Maße in Klammern zu setzen (Bild 2).

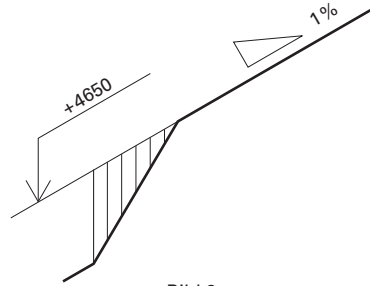


Bild 3

Neigungsrichtung

Die Neigungsrichtung wird durch ein rechtwinkliges Dreieck oberhalb der Fließlinie angegeben, dessen Spitze vom höheren zum niedrigeren Niveau weist. **Die Neigung wird bei isometrischer Darstellung der Fließlinie nicht berücksichtigt.**

Es kann zweckmäßig sein, die Neigung auf ein gegebenes Niveau zu beziehen (Bild 3).

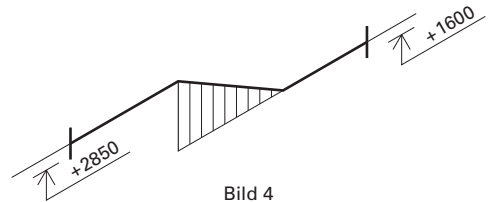


Bild 4

Höhenangaben

Der waagerechte Teil der Hinweislinie ist parallel zur zugeordneten Fließlinie zu zeichnen. Im Beispiel beziehen sich die Höhenangaben auf die Unterseite der Rohrleitungen (Bild 4).

Grafische Symbole

Grafische Symbole sind isometrisch zu zeichnen (Bild 5).

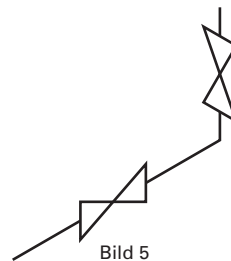


Bild 5

Reduzierungen

Die jeweiligen Nenngrößen sind oberhalb der grafischen Symbole anzugeben (Bild 6).

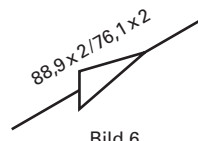


Bild 6

3

4

5

6

7

8

Schaltpläne als funktionsbezogene Dokumente (Forts.) (nach DIN EN 61082-1 [bzw. 2]: 2007-03)

Bezeichnung und Aufgabe der unterschiedlichen Schaltpläne (Fortsetzung)

<p>Stromlaufplan in halb zusammenhängender Darstellung</p> <p>(Üblicherweise für Bauteile mit einer mechanischen Wirkverbindung). Allpolige Darstellung, bei der die Symbole mit mechanischer Wirkverbindung auseinander gezogen und mit gestrichelten Linien gezeichnet sind. Jedes einzelne Teilsymbol im Schaltplan ist so platziert, dass eine klare Anordnung der Stromkreise erreicht wird.</p> <p>Beispiel: Steuerung eines Wechselstrommotors, Schütz Q1 mit separater Stromversorgung über die Klemmen 2.1 und 2.2</p>	
<p>Stromlaufplan in aufgelöster Darstellung</p> <p>Allpolige Darstellung, bei der die Stromkreise nach Stromwegen getrennt sind (z.B. Hauptstromkreis, Steuerstromkreis). Teile mit einer mechanischen Wirkverbindung sind durch ihre Betriebsmittelkennzeichnung zueinander in Verbindung gebracht.</p> <p>Beispiel: Steuerung eines Drehstrommotors</p>	
<p>Funktionsplan (nicht bei SPS)</p> <p>Diagramm, das Funktionen und Verhalten eines Steuerungs- oder Regelungssystems beschreibt, wobei Schritte und Übergänge gezeigt sind. Der Funktionsplan (FUP) der SPS ist dem Logik-Funktionsplan zu entnehmen.</p>	
<p>Ablaufdiagramm (Ablaufabelle)</p> <p>Diagramm (Ablaufabelle), das die Reihenfolge von Vorgängen oder die Zustände von Teilen eines Systems zeigt, z.B. die Hilfsschütze K1 und K2. Dabei sind die Vorgänge oder Zustände der Teile in einer Richtung und die Prozessschritte oder die Zeit im rechten Winkel dazu aufgezeichnet. Dieses Diagramm wird zur Veranschaulichung eines Ablaufs von Schaltvorgängen verwendet.</p>	
<p>Zeitablaufdiagramm</p> <p>Diagramm, bei dem der Ablauf von Vorgängen im zeitgerechten Maßstab dargestellt ist. Die Zeitachse wird meistens nicht eingezeichnet. Die Signalzustände werden entweder mit 0 und 1 bzw. mit L (Low-Pegel) und H (High-Pegel) dargestellt. Oben wird der logische Wert 1 und unten der logische Wert 0 abgetragen. Im Bild bedeutet: C Taktimpuls</p>	
<p>Anschlussfunktionsschaltplan</p> <p>Allpolige Darst. für eine Funktionseinheit mit Kennzeichnung der Anschlusspunkte der Schnittstellenverbindungen. Die internen Funktionen dürfen mit einem gegebenenfalls vereinfachten Stromlaufplan, einem Funktionsschaltplan, Ablaufdiagramm oder mit Text beschriebenen Blöcken beschrieben werden.</p>	
<p>Programmablaufplan (PAP, linkes Bild) und Struktogramm (rechtes Bild) (vgl. DIN 66001 und DIN 66261).</p> <p>Das PAP zeigt anhand von grafischen Symbolen die Folge von Rechenoperationen und Anweisungen zur Lösung einer Aufgabe. Das etwas jüngere Struktogramm (Nassi-Schneider-Diagramm) ersetzt das PAP und zerlegt ebenfalls den Algorithmus zur Lösung eines Gesamtproblems in so kleine Teile, bis nur noch elementare Sequenzen und Kontrollstrukturen übrig bleiben.</p>	

3

4

5

6

7

8

Linienarten und Bemaßung (Fortsetzung)

Liniengruppe I und II → Maßstab ≤ 1 : 100, Liniengruppe III und IV → Maßstab ≥ 1 : 50

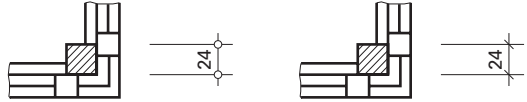
Die Liniengruppe I ist nur dann anzuwenden, wenn eine Zeichnung mit der Liniengruppe III angefertigt, im Verhältnis 2 : 1 verkleinert wurde und die Verkleinerung weiterbearbeitet werden soll. In der Zeichnung mit der Liniengruppe III ist dann die Schriftgröße 5,0 mm zu wählen. **Die Liniengruppe I erfüllt nicht die Anforderungen der Mikroverfilmung.**

Die Liniengruppe IV ist für Ausführungszeichnungen anzuwenden, wenn eine Verkleinerung z.B. vom Maßstab 1 : 50 in den Maßstab 1 : 100 vorgesehen ist und die Verkleinerung den Anforderungen der **Mikroverfilmung** zu entsprechen hat. Die Verkleinerung kann dann gegebenenfalls mit den Breiten der Liniengruppe II weiterbearbeitet werden.

Maßlinienbegrenzung:

Nach DIN wahlweise entsprechend nebenstehender Abbildung, d.h.

- als kleiner Kreis oder
- als kurzer Strich unter 45° von links unten nach rechts oben (Regelfall)

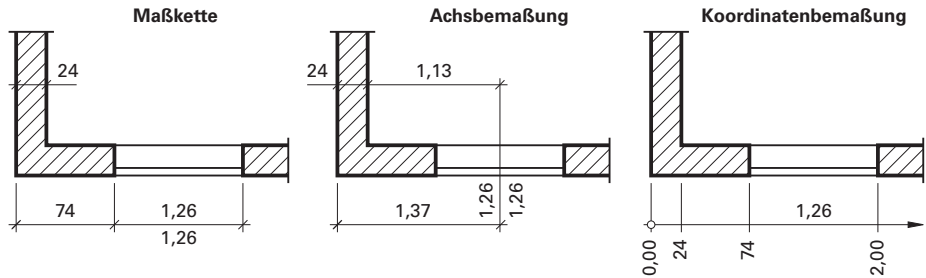


Die **Maßhilfslinie** schneidet die **Maßlinie** unter einem Winkel von 90°.



Maßanordnung:

Die Breite von Türen, Fenstern und sonstigen Öffnungen (**Durchbrüche**) wird über die Maßlinie bzw. Achslinie, die Höhe darunter geschrieben. Die Bemaßung ist nach den drei folgenden Systemen möglich:



Erfolgt eine Bemaßung nicht nach diesen drei Bemaßungssystemen, so entspricht die Folge der Maßangabe den Größen Höhe/Breite. Beispiel: 2,12/1,26 heißt Höhe = 2,12 m und Breite = 1,26 m.

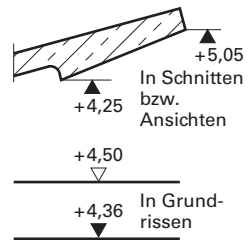
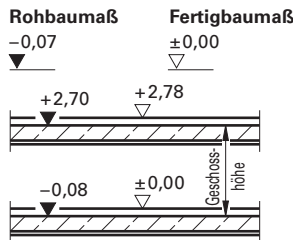
Höhenmaße:

Entsprechend neben gezeichneter Details unterscheidet man

▼ **Rohbaumaß** und

▽ **Fertigbaumaß.**

Geschosshöhen, Brüstungshöhen und Durchgangshöhen müssen grundsätzlich gekennzeichnet sein. Die Höhenangabe besteht aus Höhenkote, entsprechendem Pfeil und Maßbegrenzungslinie.



Toleranzen am Bau: → **AGI-Arbeitsblatt M1** „Maßtoleranzen, Messverfahren und Messgeräte“
AGI-Arbeitsblatt M2 „Abmaße für Längen und Oberflächen von Bauteilen und Bauwerken“

AGI heißt **Arbeitsgemeinschaft Industriebau e.V.**

4.1 Dämm- und Sperrstoffe	173
Auswahlkriterien, Übersicht	174
Dämmstoffe für den praktischen Wärmeschutz bzw. Kälteschutz	174
Sperrschichtmaterialien, Dampfbremsen	180
4.2 Kältemittel	181
Definitionen, Bezeichnungen	181
Einteilung der Kältemittel	184
Eigenschaften von Kältemitteln	188
Nassdampf- p, h -Diagramm für Kältemittel R23	190
$\log p, h$ -Diagramm für Kältemittel R23	192
$\log p, h$ -Diagramm für Kältemittel R134a	193
Nassdampf- p, h -Diagramm für Kältemittel R134a	194
Nassdampf- p, h -Diagramm für Kältemittel R290	196
$\log p, h$ -Diagramm für Kältemittel R290	198
$\log p, h$ -Diagramm für Kältemittel R407C	199
Nassdampf- p, h -Diagramm für Kältemittel R407C	200
Nassdampf- p, h -Diagramm für Kältemittel R410A	202
$\log p, h$ -Diagramm für Kältemittel R410A	204
$\log p, h$ -Diagramm für Kältemittel R507	205
Nassdampf- p, h -Diagramm für Kältemittel R507	206
Nassdampf- p, h -Diagramm für Kältemittel R717	208
$\log p, h$ -Diagramm für Kältemittel R717	210
Nassdampf- p, h -Diagramm für Kältemittel R744	211
Umwelteinflüsse, Treibhauseffekt	212
Grenz- und Vergleichswerte zum Treibhauseffekt	212
GWP-Wert, ODP-Wert, TEWI-Wert	212
Geruchsstoffe	212
Boden und Wasser	212
pH-Werte-Skala, Wasserhärte	213
Kontaminationspfade, Wasserkreislauf	213
4.3 Kältemaschinenöle	214
Mindestanforderungen	214
Grundsätzliche Arten und gebrauchte Kältemittel	217
Kältemittel – Kältemaschinenöl-Gemische	217
4.4 Trockenmittel	219
Trockenmittel	219
4.5 Kühltische und Wärmeträger, Kältemischungen	221
Kälte- und Wärmeträger	221
Kältemischungen	224
4.6 Binäreis, Trockeneis	225
Binäreis	225
Trockeneis	225
4.7 Stoffe für Absorptions- und Adsorptionsvorgänge	226
Arbeitsstoffpaare für Absorptionskälteanlagen	226
Arbeitsstoffpaare für Adsorptionskälteanlagen	226

4

5

6

7

8

Dämmstoffe für den praktischen Wärmeschutz bzw. Kälteschutz (Fortsetzung)

Dämmstoffkennziffer (nach Arbeitsgemeinschaft Industriebau = AGI-Arbeitsblätter)

Dämmstoffe für betriebstechnische Anlagen werden mit einer **zehnstelligen Kennziffer** bezeichnet. Folgende Tabelle zeigt eine Auswahl:

1. und 2. Kennziffer: Dämmstoffart	Ziffern- gruppe	Bedeutung	AGI-Arbeitsblatt		
	11	Glaswolle	Q132		
	12	Steinwolle			
	13	Schlackenwolle			
	21	Polystyrol (PS)-Partikelschaum			Q133-1
	22	Extrudierter Polystyrolhartschaum (XPS)			Q133-2
	23	Polyurethan (PUR)-Hartschaum			Q133-3
	31	Polyethylen (PE)-Schaumstoff (halbhart)			Q134
	36	Schaumstoff aus vernetztem Elastomer (Weichschaum, z.B. Armaflex)			Q143
	40	Schaumglas			Q137
	50	Kork			Q139
	51	Backkork			Q139
	52	imprägnierter Kork			Q139
61	Bläherlit	Q141			
70	Calciumsilikat	Q142			

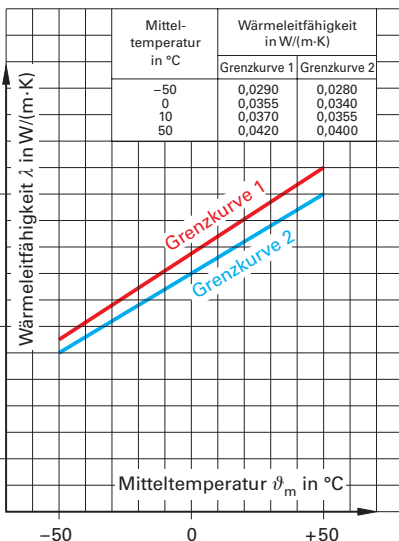
3. und 4. Kennziffer: Lieferform	Ziffern- gruppe	Bedeutung	Ziffern- gruppe	Bedeutung
	01	Bahnen	11	Segmentplatten/Bögen
	04	Filze	12	Schläuche/Rohrshalen
	05	Lamellenmatten	13	Formteile
	06	Matten, versteppt	20	Körnung 0 bis 1 mm
	07	Platten	21	Körnung 0 bis 1,5 mm
	08	Schalen	22	Körnung 0 bis 3 mm
	09	Segmente	99	sonstige

5. und 6. Kennziffer:
Wärmeleitfähigkeit

In den o.g. AGI-Arbeitsblättern erfolgt der Hinweis auf die Einflussparameter, z.B. die **Rohdichte ρ** (geringfügig) \rightarrow Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit und die **Mitteltemperatur ϑ_m** (starke Temperaturabhängigkeit entsprechend folgendem Beispiel)

4

5



B Polystyrol (PS)-Partikelschaum (AGI-Arbeitsblatt Q133-1)

Ziffern- gruppe	Bedeutung (s. nebenstehendes Bild)
10	Grenzkurve 1, Rohdichte $\geq 20 \text{ kg/m}^3$
11	Grenzkurve 2, Rohdichte $\geq 30 \text{ kg/m}^3$

6

- Anmerkungen:**
- Die Zuordnung der Wärmeleitfähigkeit λ erfolgt bei allen anderen Dämmstoffen entsprechend obigem Beispiel, d.h. **Grenzkurven in den oben zugeordneten AGI-Arbeitsblättern sind zu beachten.**
 - Der Hersteller garantiert – wenn dies gewünscht wird – Wärmeleitzahl und andere Stoffwerte.

7

Aus nebenstehendem Bild ist die bei allen Dämmstoffen vorhandene Tendenz erkennbar:

Die Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen nimmt bei zunehmender Temperatur stark zu.

8

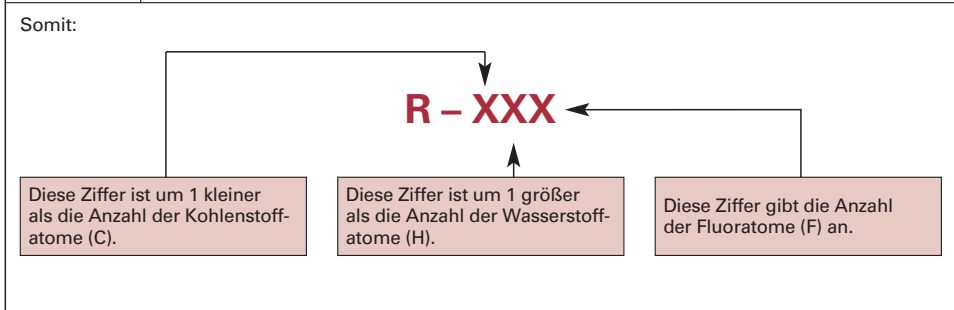
Definitionen, Bezeichnungen (Fortsetzung) (nach DIN 8960: 1998-11)

Kurzzeichen

Kennzahl

Bei den → Kohlenwasserstoffen und den → halogenierten Kohlenwasserstoffen der Methanreihe (ein Kohlenstoffatom mit 4 Bindungen), der Ethanreihe (zwei Kohlenstoffatome mit insgesamt 6 Bindungen) und der Propanreihe (drei Kohlenstoffatome mit insgesamt 8 Bindungen) kann man aus der Kennzahl die Struktur der Verbindung ableiten.

- Die letzte Ziffer gibt die Anzahl der Fluoratome (F) an.
- Die vorletzte Ziffer ist um 1 größer als die Anzahl der Wasserstoffatome (H).
- Die drittletzte Ziffer ist um 1 kleiner als die Anzahl der Kohlenstoffatome (C). Ist nur ein Kohlenstoffatom enthalten, so wird die resultierende „0“ nicht geschrieben.
- Die Zahl der Chloratome (Cl) muss errechnet werden: Man addiert die Zahl der Fluoratome (F) und die der Wasserstoffatome (H). Diese Zahl wird von der Anzahl der Atome, die die enthaltenen Kohlenstoffatome binden können, abgezogen. Das Ergebnis ist die Zahl der enthaltenen Chloratome.



B R125

- letzte Ziffer = 5 → **5 Fluoratome**
- vorletzte Ziffer = 2 → 2 - 1 = **1 Wasserstoffatom**
- drittletzte Ziffer = 1 → 1 + 1 = **2 Kohlenstoffatome**

5 Fluoratome + 1 Wasserstoffatom = 6
2 Kohlenstoffatome können 6 Atome binden

- 6 - 6 = 0 → **0 Chloratome**

d.h. R125 hat die chemische Formel **C₂HF₅**

B R12

- letzte Ziffer = 2 → **2 Fluoratome**
- vorletzte Ziffer = 1 → 1 - 1 = **0 Wasserstoffatome**
- drittletzte Ziffer = 0 → 0 + 1 = **1 Kohlenstoffatom**

2 Fluoratome + 0 Wasserstoffatom = 2
1 Kohlenstoffatom kann 4 Atome binden

- 4 - 2 = 2 → **2 Chloratome**

d.h. R12 hat die chemische Formel **CCl₂F₂**

Kältemittelreihen

Kältemittelreihe	R10 – R50	Basis Methan CH ₄
	R110 – R170	Basis Ethan C ₂ H ₆
	R216 – R290	Basis Propan C ₃ H ₈
	R4..	→ Zeotrope Kältemittelmischungen
	R5..	→ Azeotrope Kältemittelmischungen
	R600 – R611	Verschiedene organische Kältemittel
	R630 – R631	Organische Stickstoffverbindungen
	R7..	Anorganische Verbindungen (die beiden Ziffern nach der 7 geben die → molare Masse des Kältemittels an)
	R1112 – R1270	Ungesättigte organische Verbindungen
RC...	Zyklische Kohlenwasserstoffverbindungen	

4

5

6

7

8

Lufttechnische Prozesse und Berechnungen mit dem h, x -Diagramm (Fortsetzung)

Befeuchtung mit Heißdampf

Die Befeuchtung mit Heißdampf erfolgt ungefähr bei **konstanter Temperatur**.

Kennt man die Enthalpie des Dampfes, so kann man die tatsächliche Zustandsänderung mit Hilfe des **Randmaßstabes** eintragen.

B Geg.: $\dot{m}_L = 1300 \text{ kg/h}$, $\vartheta_{TK} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $x = 3 \text{ g/kg}$.
Es folgt eine Befeuchtung mittels Heißdampf-befeuchter auf $\varphi_{ZU} = 45\%$. Bestimmen Sie den benötigten Befeuchtungsmassenstrom, die Leistungsabgabe des Dampf-befeuchters sowie den tatsächlichen Austrittszustand bei einer Heißdampf-Temperatur von $110 \text{ }^\circ\text{C}$ nach dem Befeuchter. Zunächst wird die Zustandsänderung (bei konstanter Temperatur) in das h, x -Diagramm eingezeichnet.

Es ergeben sich die relevanten Zustandsgrößen:

E: $h = 33 \text{ kJ/kg}$, A: $x = 9 \text{ g/kg}$, $h = 48 \text{ kJ/kg}$

Befeuchtungsmassenstrom:

$$\Delta \dot{m}_D = \dot{m}_L \cdot \Delta x = 1300 \text{ kg/h} \cdot (9 \text{ g/kg} - 3 \text{ g/kg}) = 7800 \text{ g/h}$$

$\Delta \dot{m}_D = 7,8 \text{ kg/h}$

Leistungsabgabe:

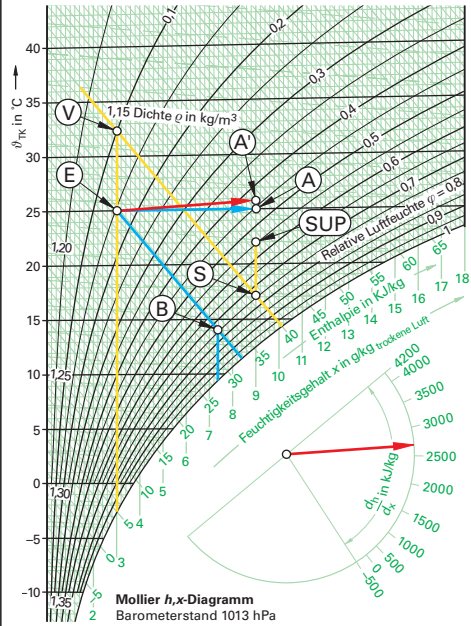
$$\dot{Q} = \dot{m}_L \cdot \Delta h = 1300 \text{ kg/h} \cdot (48 \text{ kJ/kg} - 33 \text{ kJ/kg}) : 3600 \text{ s}$$

$\dot{Q} = 5,42 \text{ kW}$

Bei Benutzung des Randmaßstabes erhält man die tatsächliche Zustandsänderung: h_D ($110 \text{ }^\circ\text{C}$) $\approx 2700 \text{ kJ/kg}$.

Vom Mittelpunkt des Randmaßstabes bis Wert 2700 auf dem Radius (rote Linie) ergibt die tatsächliche Zustandsänderung. Die Parallelverschiebung zum Eintrittszustand ergibt den Austrittszustand A'.

Vorgang im h, x -Diagramm



Bei der Befeuchtung mit Heißdampf steigt die Enthalpie um ca. $2,5 \text{ kJ/kg}$ je g/kg Befeuchtung.

Verdunstungsbefeuchtung

Die Verdunstungsbefeuchtung verläuft im h, x -Diagramm meist bei nahezu **konstanter Enthalpie** (adiabat).

B Luft ($\vartheta_{TK} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $x = 3 \text{ g/kg}$) soll mit einem Verdunstungsbefeuchter befeuchtet werden (Wirkungsgrad $\eta_B = 0,83$). Bestimmen Sie ϑ_{TK} und φ nach dem Wäscher. Zunächst zeichnet man die Enthalpielinie bis zur Sättigungslinie ein (Blau). Dann bestimmt man x_{max} ($x_{\text{max}} = 8,5 \text{ g/kg}$). Mit $x_E = 3 \text{ g/kg}$ folgt:

$$\eta_B = \frac{\Delta x}{\Delta x_{\text{max}}} = \frac{x_A - x_E}{x_{\text{max}} - x_E} \Rightarrow x_A = \eta_B \cdot (x_{\text{max}} - x_E) + x_E$$

$$x_A = 0,83 \cdot (8,5 \text{ g/kg} - 3 \text{ g/kg}) + 3 \text{ g/kg} \approx 7,6 \text{ g/kg}$$

Am Schnittpunkt der Enthalpielinie mit der Linie $x = 7,6 \text{ g/kg}$ befindet sich der Austrittszustand nach dem Befeuchter (Punkt B). $\vartheta_{TK} \approx 13,8 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi \approx 80\%$.

B ZU: $\vartheta_{TK} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi_{ZU} = 55\%$. Bestimmen Sie die Temperatur nach dem Vorerhitzer bei Einsatz des Verdunstungsbefeuchters mit $\eta_B = 0,83$.

Vorgabe ist hier die absolute Feuchte am Austritt des Befeuchters, $x_A = 9 \text{ g/kg} = x_{ZU}$.

Hiermit kann man das benötigte x_{max} und damit die Enthalpielinie bestimmen, auf der die Befeuchtung stattfindet:

$$\eta_B = \frac{\Delta x}{\Delta x_{\text{max}}} = \frac{x_A - x_E}{x_{\text{max}} - x_E} \Rightarrow x_{\text{max}} = \frac{x_A - x_E}{\eta_B} + x_E = \frac{9 \text{ g/kg} - 3 \text{ g/kg}}{0,83} + 3 \text{ g/kg} \approx 10,2 \text{ g/kg}$$

6

7

8

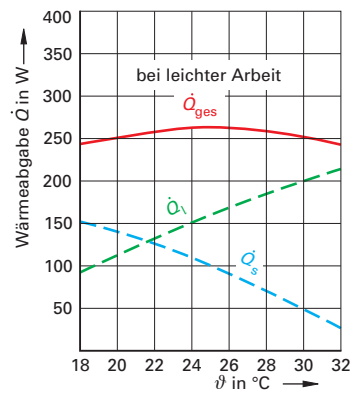
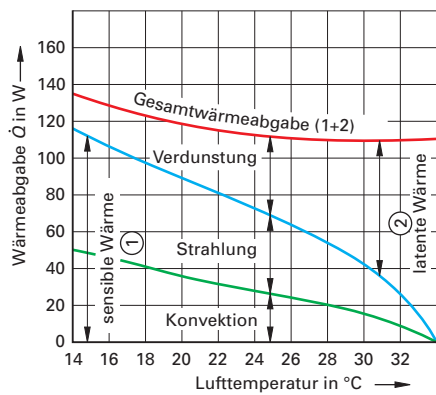
Wärmehaushalt des Menschen (Fortsetzung)

Gesamtwärmeabgabe bei verschiedenen Tätigkeiten

(nach DIN 33 403-3: 2011-07)

Tätigkeit	Wärmeabgabe		pf Metabolic Rate met
	W/m ²	W	
schlafend	40	70	0,69
liegend	46	80	0,80
sitzend	58	100	1,00
stehend	70	125	1,21
leichte Büroarbeit	70	125	1,21
stehende leichte Tätigkeit	80	145	1,38
aktive Büroarbeit	85	150	1,47
langsames Gehen	125	210	2,16
schwere körperliche Tätigkeit	165	300	2,84
schnelles Gehen	235	400	4,05
schnelles Laufen	325	550	5,60
schwerste Arbeit	410	700	7,07

Anteile der sensiblen und latenten Wärmeabgabe bei sitzender Tätigkeit und leichter Arbeit in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur



Stufung für den Arbeitsenergieumsatz

(nach DIN 33 403-3: 2011-07)

Arbeitsenergieumsatz = Gesamtenergieumsatz abzüglich Grundumsatz

Stufe	Bewertung	Arbeitsenergieumsatz AU		Beispiel
		kJ/min	W	
1	sehr leicht	< 8	< 130	ruhig Sitzen, Schreibmaschine schreiben
2	leicht	8 – 12	> 130 – 200	Gehen (Ebene, 3 km/h)
3	mittelschwer	12 – 16	> 200 – 270	Gehen (Ebene, 4 km/h)
4	mittelscher/ schwer	16 – 20	> 270 – 330	Gehen (Ebene, 5 km/h)
5	schwer	20 – 23	> 330 – 380	Gehen (Ebene, 6 km/h)
6	sehr schwer	23 – 25	> 380 – 420	Gehen (5% Steigung, 4 km/h)
7	schwerst	> 25	> 420	Gehen (5% Steigung, 5 km/h)

Als **Dauerleistungsgrenze** für muskuläre Arbeit gilt ein AU zwischen **16 und 20 kJ/min**. Oberhalb der Stufe 4 ist eine Dauerbelastung nicht mehr tolerierbar bzw. muss die damit verbundene Minderung der Leistungsfähigkeit durch Erholungszeiten ausgeglichen werden.

6

7

8

Grundlagen der Kühllastberechnung nach VDI 2078: 2015-06

Grundsätze

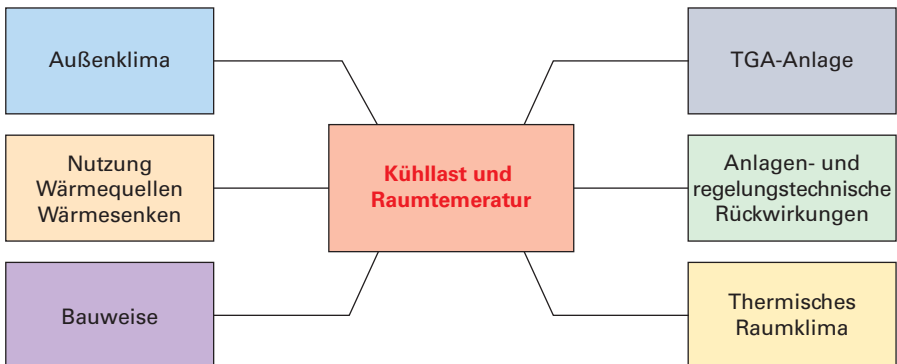
Aufgabe der **VDI 2078: 2015-06**:
 Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation)

- a) Berechnung der Heiz- oder Kühllast, aufgeteilt in
 - konvektiven Anteil
 - Strahlenden Anteil
 - Flächenheizung oder -kühlung
- b) Berechnung der Temperaturen
 - Raumlufttemperatur
 - Operative Temperatur

Wesentliche Neuerungen der **VDI 2078:2015-06**:

- hinreichend genaue Abbildung des thermischen Verhaltens der Bauteile unter Berücksichtigung des konkreten Wandaufbaus
- hinreichend genaue Abbildung des Wärmeaustauschs zwischen den Bauteilen des Raums über Strahlung und Konvektion
- hinreichend genaue Abbildung des Wärmeaustauschs der Außenbauteile mit der Umgebung
- korrekte Wärmebilanz des Raums unter Berücksichtigung aller strahlenden und konvektiven Wärmequellen und -senken
- Kopplung zwischen instationärer thermischer Berechnung und aktiven Anlagenkomponenten, bei denen sich eine Leistungsänderung bei veränderter Raumtemperatur ergibt
- korrekte Berechnung der Raumtemperaturen (Raumluft- und operative Temperatur)
- Klimadaten für die Jahresberechnungen aus Testreferenzjahren
- Definition einer Cooling Design Period (CDP), bestehend aus einer 14-tägigen Vorberechnung mit bedeckten und/oder bewölkten Tagen, einer 4-tägigen Anlaufberechnung mit sonnigen Tagen und anschließendem Cooling Design Day (CDD) mit maximaler Außentemperatur
- für Sonderfälle kann abweichend zum aperiodischen Fall (CDP) der eingeschwungene Zustand (Wiederholung des CDD zum Abbruchkriterium) berechnet werden
- ausführliche Tabellen mit Kennwerten für die Kombination aus Verglasung und Sonnenschutz für Standardfälle von Fenstersonnenschutzkombinationen mit und ohne Hinterlüftung
- Berücksichtigung von Fensterlüftung als auftriebsinduzierte natürliche Lüftung
- Berücksichtigung der Veränderungen des Wärmeeintrags bei Fensterlüftung mit Sonnenschutz
- korrekte Berücksichtigung von Betriebsweise und Regelstrategie
- korrekte Berücksichtigung begrenzter oder nicht verfügbarer Anlagenleistung
- Vorgabe eines zulässigen Schwankungsbereiches für die Raumtemperatur

Einflussparameter auf Kühllast und Raumtemperatur



6

7

8

Kennwerte transparenter Fassaden VDI 2078: 2015-06
Aufbau der Ziffernkombinationen in Spalte 1 der unten stehenden Tabellen (Fenster)

Ziffer 1		Ziffer 2		Ziffer 3		Buchstabe	
	Verglasungsart		Sonnenschutz Lage		Sonnenschutz Art		Durchlüftung
1	1-fach Verglasung	1	Außen durchlüftet	1	Raffstore (45°)	a	Durchlüftet
2	2-fach Isolierverglasung	2	Zwischen den Schichten durchlüftet	2	Lamellenraffstore, verschmutzt	b	Nicht durchlüftet
3	2-fach Wärmeschutzverglasung	3	Innen durchlüftet	3	Screen hell		
4	2-fach neutrale Sonnenschutzverglasung			4	Screen dunkel		
Transmission des Sonnenschutzes						T_L	
5	2-fach silberne Sonnenschutzverglasung		Lamellenraffstore (45°)				0,00
			Lamellenraffstore verschmutzt				0,00
6	3-fach Wärmeschutzverglasung		Screen (hell)				0,20
			Screen (dunkel)				0,10

Tabellen-Kennwerte
Kennwerte Verglasung

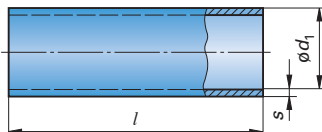
g	Gesamtenergiedurchlassgrad Verglasung	(Ziffer laut Tabelle oben)			
T_L	Licht-Transmission Verglasung	Nr.	g	T_L	a_{kon}
a_{kon}	konvektiver Anteil Verglasung	1	0,90	0,85	0,02
g_{tot}	Gesamtenergiedurchlassgrad	2	0,76	0,73	0,03
$g_{tot,dir}$	Gesamtenergiedurchlassgrad direkte Strahlung	3	0,64	0,72	0,07
$g_{tot,diff}$	Gesamtenergiedurchlassgrad diffuse Strahlung	4	0,40	0,66	0,05
$T_{L,tot,dir}$	Licht-Transmission direkte Strahlung	5	0,31	0,42	0,05
$T_{L,tot,diff}$	Licht-Transmission diffuse Strahlung	6	0,46	0,59	0,09
$a_{tot,kon}$	Konvektiver Anteil	Alle Kennwerte einheitenlos			

Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit Einfachverglasung

1	Einfachverglasung	g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$
1.1.1	Sonnenschutz (1), außen	0,21	0,14	0,43	0,09	0,37	0,10
1.1.2	Sonnenschutz (2), außen	0,19	0,12	0,41	0,03	0,32	0,17
1.1.3 a	Sonnenschutz (3) außen durchlüftet	0,23	0,23	0,23	0,18	0,18	0,09
1.1.3 b	Sonnenschutz (3) außen, nicht durchlüftet	0,25	0,25	0,25	0,18	0,18	0,12
1.1.4 a	Sonnenschutz (4) außen durchlüftet	0,17	0,17	0,17	0,09	0,09	0,19
1.1.4 b	Sonnenschutz (4) außen, nicht durchlüftet	0,21	0,21	0,21	0,09	0,09	0,22
1.3.1	Sonnenschutz (1), innen	0,53	0,45	0,45	0,09	0,37	0,43
1.3.2	Sonnenschutz (2), innen	0,66	0,59	0,59	0,03	0,32	0,50
1.3.3 a	Sonnenschutz (3), innen, durchlüftet	0,50	0,50	0,50	0,18	0,18	0,40
1.3.4 a	Sonnenschutz (4), innen, durchlüftet	0,61	0,61	0,61	0,09	0,09	0,52

Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit 2-fach Isolierverglasung

2	2-fach Isolierverglasung	g_{tot}	$g_{tot,dir}$	$g_{tot,diff}$	$T_{L,tot,dir}$	$T_{L,tot,diff}$	$a_{tot,kon}$
2.1.1	Sonnenschutz (1), außen	0,18	0,11	0,37	0,07	0,33	0,08
2.1.2	Sonnenschutz (2), außen	0,14	0,08	0,33	0,03	0,28	0,14
2.1.3 a	Sonnenschutz (3) außen durchlüftet	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,08
2.1.3 b	Sonnenschutz (3) außen, nicht durchlüftet	0,22	0,22	0,22	0,15	0,15	0,11
2.1.4 a	Sonnenschutz (4) außen durchlüftet	0,13	0,13	0,13	0,07	0,07	0,16
2.1.4 b	Sonnenschutz (4) außen, nicht durchlüftet	0,16	0,16	0,16	0,07	0,07	0,20
2.2.1	Sonnenschutz (1) zwischen den Scheiben	0,34	0,28	0,53	0,08	0,32	0,23
2.3.1	Sonnenschutz (1) innen	0,53	0,47	0,72	0,08	0,32	0,48
2.3.2	Sonnenschutz (2) innen	0,66	0,59	0,85	0,03	0,28	0,54
2.3.3 a	Sonnenschutz (3) innen durchlüftet	0,50	0,50	0,50	0,15	0,15	0,45
2.3.3b	Sonnenschutz (3) innen nicht durchlüftet	0,47	0,47	0,47	0,15	0,15	0,32
2.3.4 a	Sonnenschutz (4) innen durchlüftet	0,61	0,61	0,61	0,07	0,07	0,56
2.3.4 b	Sonnenschutz (4) innen nicht durchlüftet	0,56	0,56	0,56	0,07	0,07	0,41

Rohrleitungen und Kanäle						
Lüftungsrohre (nach DIN EN 1506: 2007-09); DIN EN 12237: 2003-07						
Eigenschaften von Wickelfalzrohren (DIN EN 1506: 2007-09, Herstellerangaben)						
Nennweite in mm	d_2 in mm	s_1 in mm	Masse in kg/m	Freie Querschnittsfläche in m^2	Oberfläche in m^2/m	
63	63	0,4	0,67	0,0031	0,1979	
80	80		0,75	0,0050	0,2513	
90	90		0,84	0,0064	0,2827	
100	100		1,61	0,0079	0,3142	
125	125	0,6	2,05	0,0123	0,3927	
140	140		2,30	0,0154	0,4398	
150	150		2,47	0,0177	0,4712	
160	160		2,65	0,0201	0,5027	
180	180		2,98	0,0254	0,5655	
200	200		3,36	0,0314	0,6283	
250	250		4,20	0,0491	0,7854	
280	280		4,70	0,0616	0,8796	
300	300	0,8	6,73	0,0707	0,9425	
315	315		7,07	0,0779	0,9896	
355	355		7,35	0,0990	1,1153	
400	400		8,25	0,1257	1,2566	
450	450		9,35	0,1590	1,4137	
500	500		10,40	0,1963	1,5708	
560	560		11,70	0,2463	1,7593	
600	600		12,54	0,2827	1,8850	
630	630	1,0	16,50	0,3117	1,9792	
710	710		18,60	0,3959	2,2305	
800	800		21,00	0,5027	2,5133	
900	900		24,60	0,6362	2,8274	
1000	1000	1,2	31,50	0,7854	3,1416	
1120	1120		35,20	0,9852	3,5186	
1250	1250		39,40	1,2272	3,9270	
1400	1400		44,13	1,5394	4,3982	
1600	1600		50,40	2,0106	5,0265	
Geschweißte Blechrohre						
Zulässige Überdrücke						
Nennweite		Zulässiger Überdruck in Pa				
100...250		-2500... +6300				
300...1000		-2000... +6300				
1120...1250		-1600... +6300				
Zulässiger Überdruck = positiver/ negativer Differenzdruck. Die angegebenen Werte gelten für 2000 mm Rohrlänge						
						
Zulässige Drücke						
Nennweite	Überdruck hPa		Pa		Unterdruck hPa	Pa
63... 250	63		6300		25	2500
280... 600	50		5000		14	1400
630... 900	40		4000		8	800
1000...1250	31,5		3150		4	400
>1250	Je nach Hersteller					
Dichtheitsklassen (Nach DIN EN 1506, DIN EN 12237)						
Klasse	Zulässiger Luftleckstrom bei Prüfdruck 1000 Pa in ($m^3/m^2 \cdot s$)		Möglich im Nennweitenbereich			
A	$1,2 \times 10^{-3}$		800...1250			
B	$0,4 \times 10^{-3}$		63...1250			
C	$0,1 \times 10^{-3}$		63... 710			
1000 Pa statische Druckdifferenz zwischen Innendruck und Umgebungsdruck (Überdruck und Unterdruck)						
Längsgefaltete Blechrohre						
Zulässige Überdrücke						
Nennweite	Zulässige Überdrücke in Pa					
	Rohre ohne Versteifung		Rohre mit Versteifung			
100... 300	-2500... +6300		-6300... +6300			
315... 500	-500... +2500		-2500... +6300			
560...1250	-100... +2500		-2500... +6300			
Zulässiger Überdruck als positiver bzw. negativer Differenzdruck, gültig für 2000 mm Rohrlänge						
Nennweiten von geschweißten und längsgefalteten Blechrohren						
Nennweite DN	Nennweite DN	Nennweite DN	Nennweite DN			
100	280	600	1400			
125	300	630	1600			
150	315	710	1800			
160	355	800	2000			
180	400	900	Diese Spalte nur geschweißt			
200	450	1000				
224	500	1120				
250	560	1250				

6

7

8

Druckverluste durch Einbauten (Fortsetzung)

Ermittlung des Druckverlustes mit Hilfe des Widerstandsbeiwertes ζ

Die Druckverluste durch Einbauten werden mit dem Widerstandsbeiwert errechnet, der die Geometrie und die daraus resultierenden Reibungswiderstände enthält.

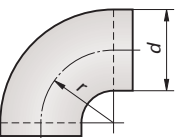
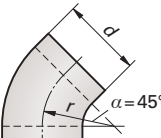
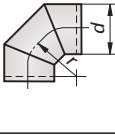
$$Z = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

Druckverluste durch Einbauten
(→ Druckverluste in Rohrleitungen)

- Z Druckverlust des Bauteils Pa
- ζ Widerstandsbeiwert -
- ρ Dichte (bei Luft meist 1,2 kg/m³) kg/m³
- v Strömungsgeschwindigkeit m/s

Widerstandsbeiwerte von Formstücken in RLT-Anlagen

Formstücke für Lüftungsrohre (kreisrund)

Bogen 90°			Bogen 45°			Segmentbogen			
	r/d	ζ		r/d	ζ		r/d	ζ_3	ζ_5
	0,5	0,9		1	0,1		0,5	1,3	1,1
	0,75	0,43		2	0,05		0,75	0,8	0,6
	1,0	0,33			1,0		0,5	0,4	
	1,5	0,24			1,5		0,3	0,25	
	2,0	0,19			2,0		0,25	0,2	
	3,0	0,17							
4,0	0,15								

ζ_3 : Bei 3 Segmenten
 ζ_5 : Bei 5 Segmenten

Übergangsstück stumpf

A_2/A_1	ζ
0,1	0,6
0,2	0,5
0,4	0,3
0,6	0,2
0,8	0,1
1,0	0,05

Übergangsstück konisch, symmetrisch und asymmetrisch

A_2/A_1	ζ
0,2	0,08
0,4	0,08
0,6	0,06
0,8	0,02
1,0	0,0

Abzweig 45°, 60°, 90

v_1/v_2	ζ_2 90°	ζ_2 60°	ζ_2 45°
0,4	7,0	5,0	3,5
0,6	3,4	2,2	1,3
0,8	2,1	1,3	0,7
1,0	1,5	0,8	0,4

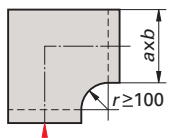
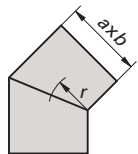
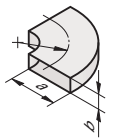
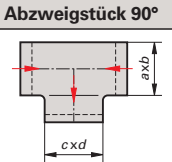
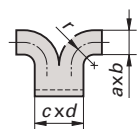
Hosenstück

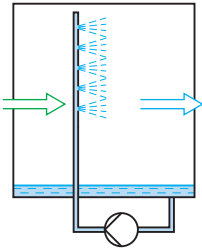
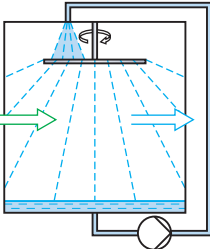
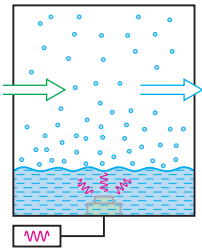
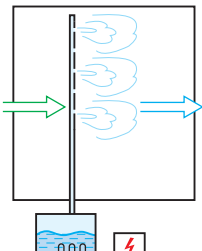
α	ζ
10	0,1
30	0,3
45	0,7
60	1,0

T-Stück

	
Der ζ -Wert beträgt bei Trennung und Zusammenführung 1,4	

Formstücke für Lüftungskanäle (rechteckig)

Bogen 90°			Bogen 45°			Segmentbogen			
	a/b	ζ		r/a	ζ		b/a	r/a	ζ
	0,25	2,1		0	1,4		0,25	0,75	0,55
	0,5	1,7		0,2	0,7			1,0	0,45
	1,0	1,2		0,4	0,6			1,5	0,3
	2,0	0,6		0,6	0,7			0,5	0,75
		0,8	1,1	1,0	0,3				
	a/b	ζ		r/b	ζ		0,75	1,5	0,2
	0,25	2,1		0,5	1,0			0,75	0,4
	0,5	1,7		0,75	0,5			1,0	0,2
	1,0	1,2		1,0	0,25		-3,00	1,5	0,15
	2,0	0,6		1,5	0,15				

Luftbefeuchtung		
Zerstäubung		
Bauform	Eigenschaften	Funktion schematisch
<p>Sprühbefeuchter (Luftwäscher)</p>	<p>In einer Befeuchtungskammer, durch die Luft strömt, wird mittels Düsen Wasser fein zerstäubt. Die entstehenden feinen Wassertröpfchen werden in der Luft verdunstet.</p> <p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Keine Wasseraufbereitung erforderlich (Umlaufwasser) - bedingte Regelbarkeit (z.B. durch Düsendruck) - Luft wird gereinigt - Einsatz zur adiabaten Kühlung (Wenn hohe Luftfeuchtigkeit gefordert ist) möglich. <p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verkeimung des Wassers möglich - Verschlämzung des Wasserreservoirs - Hohe Pumpenleistung erforderlich - Regelbereich klein 	
<p>Scheibenzerstäuber</p>	<p>Eine horizontal in einer Kammer angebrachte drehbare Scheibe wird von Düsen mit Wasser besprüht. Aufgrund der Zentrifugalkräfte wird das Wasser in den Vorbeiströmenden Luftstrom zerstäubt.</p> <p>Vorteil:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mobiler Einsatz möglich <p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verkalkung der Scheiben - geringe Ausnutzung des Strömungsquerschnittes - Verkeimungsgefahr (Umlaufendes Wasser) 	
<p>Ultraschallschwinzerstäuber</p>	<p>Eine Membran im Wasser wird in hochfrequente Schwingungen versetzt. Da Wasser inkompressibel ist, setzt sich diese Schwingung bis zur Wasseroberfläche fort und erzeugt dort feinste Wassertröpfchen.</p> <p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sehr feine Zerstäubung (Nebelähnlich) - Mobiler Einsatz möglich - Wenig Geräuschemissionen <p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hoher Preis - Nur in kleinen Größen wirtschaftlich sinnvoll 	
Verdampfung		
Bauform	Eigenschaften	Funktion schematisch
<p>Dampfbefeuchter</p>	<p>Außerhalb des Leitungsnetzes (oder des Raumes) wird Wasser mit Hilfsenergie (Elektrisch, Verbrennung, Abwärme) verdampft. Der Dampf wird (bei einer Temperatur von 110 bis 120 °C) über Leitungen der Luft (im Raum oder Leitung) zugeführt).</p> <p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Keine hygienischen Probleme bei Vermeidung von Korrosion - Einfache Regelung über Energiezufuhr - Mobil einsetzbar - Einfache Wartung (Dampfzylinder reinigen oder austauschen). <p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Teuer in der Anschaffung - Bei elektrischer Beheizung teuer im Betrieb - Verkalkung des Dampfzylinders - Bei ungewollter Kondensation des Dampfes Hygienische und Korrosionsprobleme. 	

6

7

8



Sonnenkollektoranlagen

Technische Kenngrößen von Kollektoranlagen

$$\text{Solärer Deckungsgrad} = \frac{\text{Solarenergie}}{\text{Zusatzenergie} + \text{Solarenergie}}$$

Der solare Deckungsgrad gibt an, wie groß der prozentuale Anteil der Energie ist, der von dem gesamten Energieverbrauch mit der Solaranlage erzeugt wird.

Betriebsart	Solarer Deckungsgrad (Durchschnittswerte)	Solarer Ertrag (kWh/m ² pro Jahr)
Vorwärmanlage	25 bis 35 %	400 bis 500
Optimierte Anlage	35 bis 50 %	350 bis 400
Hohe Brennstoffeinsparung	> 50 %	220 bis 350

Vorwärmanlage: Es wird versucht, die Anlage so zu dimensionieren, dass die Kosten für die solar erzeugte Wärme möglichst gering sind.

Optimierte Anlage: Die Systemkosten pro m² Kollektorfläche sind um so niedriger, je größer die Anlage ist. Andererseits gilt auch, je größer die Anlage, desto niedriger der Ertrag pro m² Kollektorfläche. Beide Tendenzen müssen in der Praxis mit der **Kosten-Nutzen-Analyse** optimiert werden.

$$\eta_{\text{optisch}} = \eta_{\text{trans}} \cdot \eta_{\text{absorb}}$$

Optischer Wirkungsgrad

$$\eta_{\text{trans}} = \frac{\text{durch die Glasscheibe eintretende Strahlungsleistung}}{\text{eingestrahle Leistung}}$$

Transmissionsgrad

$$\eta_{\text{absorb}} = \frac{\text{absorbierte Wärmeleistung}}{\text{durch die Glasscheibe eintretende Leistung}}$$

Absorptionsgrad

k-Wert = Energieverlust in W pro m² Kollektorfläche und °C Temperaturdifferenz zwischen Absorber und Umgebung

Thermischer Verlustfaktor

Mit Hilfe des **Glaswirkungsgrades** η_{gl} können die Gläser von Kollektorabdeckungen in folgende Leistungsklassen eingeteilt werden:

unbehandelte Gläser		behandelte Gläser (ohne AR, z.B. schmutzabweisend, Anti-Reflex)		AR-behandelte Gläser	
Klasse U1	$\eta_{\text{gl}} \geq 0.900$	Klasse Z1	$\eta_{\text{gl}} \geq 0.900$	Klasse X1	$\eta_{\text{gl}} \geq 0.950$
Klasse U2	$\eta_{\text{gl}} \geq 0.885$	Klasse Z2	$\eta_{\text{gl}} \geq 0.885$	Klasse X2	$\eta_{\text{gl}} \geq 0.935$
Klasse U3	$\eta_{\text{gl}} \geq 0.870$	Klasse Z3	$\eta_{\text{gl}} \geq 0.870$	Klasse X3	$\eta_{\text{gl}} \geq 0.920$
Klasse U4	$\eta_{\text{gl}} \geq 0.850$	Klasse Z4	$\eta_{\text{gl}} \geq 0.850$	Klasse X4	$\eta_{\text{gl}} \geq 0.890$
Kein Solarglas	$\eta_{\text{gl}} < 0.850$	Kein Solarglas	$\eta_{\text{gl}} < 0.850$	Kein Solarglas	$\eta_{\text{gl}} < 0.890$

Hinweis:

Der **Glaswirkungsgrad** beschreibt den Einfluss der Kollektorabdeckung auf den Kollektorfeldertrag einer (Referenz) Solaranlage zur Wassererwärmung. Dieser Glaswirkungsgrad setzt sich zusammen aus:

- dem solaren Transmissionsgrad
- dem winkelabhängigen solaren Transmissionsgrad
- der Degradation durch Umwelteinflüsse

Planungsschritte bei der Dimensionierung einer Solaranlage

1. Ausgangsdaten ermitteln: Warmwasserbedarf, Dachneigung und -ausrichtung, Art der Heizung
2. Solardaten erfassen: standortabhängige Solardaten ermitteln, evtl. Schattenwurf berücksichtigen
3. Kollektorfläche: Kollektorfeldgröße mit Hilfe von Faustformeln (z.B. bei Warmwasser 1,5 m² pro Person), Computerprogrammen oder Nomogrammen bestimmen
4. Speichergroße: Dimensionierung mit Hilfe von Faustformeln (z.B. bei Warmwasser 50 Liter pro m² Kollektorfläche)
5. Anlage: Dimensionierung der Rohrleitungen, Rohrisolierung, Pumpe, Ausdehnungsgefäß, Armaturen, E-Patrone, Frostschutzmenge, Wärmetauscher, Regelungstechnik, ...
6. Kalkulation- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen unter Berücksichtigung von Förderungsmöglichkeiten



Normen zu Korrosion und Korrosionsschutz

Auswahl von DIN-Normen zu Korrosion, Korrosionsschutz und Korrosionsprüfung

DIN-Nr.	Titel
DIN EN 12285-1: 2018-12	Werksgefertigte Tanks aus Stahl
DIN EN ISO 8044: 2020-08	Korrosion von Metallen und Legierungen – Grundbegriffe
DIN 50905	
T 1: 2009-09	Korrosion der Metalle; Korrosionsuntersuchung; Grundsätze
T 2: 1987-01	Korrosion der Metalle; Korrosionsuntersuchung; Korrosionsgrößen bei gleichmäßiger Flächenkorrosion
T 3: 1987-01	Korrosion der Metalle; Korrosionsuntersuchung; Korrosionsgrößen bei ungleichmäßiger und örtlicher Korrosion ohne mechanische Belastung
T 4: 2018-03	Korrosion der Metalle; Korrosionsuntersuchung; Durchführung von chemischen Korrosionsversuchen ohne mechanische Belastung in Flüssigkeiten in Laboratorien
DIN EN ISO 3651-2: 1998-08	Prüfung nichtrostender Stähle auf Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion
DIN 50918: 2018-09	Korrosion der Metalle; Elektrochemische Korrosionsuntersuchungen
DIN 50919: 2022-02	Korrosion der Metalle; Korrosionsuntersuchungen der Bimetallkorrosion in Elektrolytlösungen
DIN 50920-1: 1985-10 (z)	Korrosion der Metalle; Korrosionsuntersuchungen in strömenden Flüssigkeiten; Allgemeines
DIN EN ISO 3651-1: 1998-08	Korrosion der Metalle; Prüfung nichtrostender austenitischer und ferritisch-austenitischer (Duplex)-Stähle auf Beständigkeit gegen örtliche Korrosion in stark oxidierenden Säuren
DIN 50927: 1985-08 (z)	Planung und Anwendung des elektrochemischen Korrosionsschutzes für die Innenflächen von Apparaturen, Behältern und Rohren (Innenschutz).
DIN 50930-1: 2005-03	Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speichersystemen