



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

8. überarbeitete Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsseldorfer 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.

8. Auflage 2018

Druck 5 4 3 2 1

ISBN 978-3-8085-1738-3

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

© 2018 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: rkt, 42799 Leichlingen, www.rktypo.com
Umschlag: G. Kuhl mediacreativ, 40724 Hilden
Druck: M.P. Media-Print Informationstechnologie 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 Technikausbildung**. 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 Technikausbildung** 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 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
Rohllängen 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

1.1 Allgemeine Grundlagen

Griechisches Alphabet

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

Römische Ziffern

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

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

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

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

Basisgrößen und Basiseinheiten nach DIN EN ISO 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)

Vorsätze vor Einheiten (→ Potenzrechnung)

(nach DIN 1301-1: 2010-10)

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

Der Vorsatz gibt den Faktor an, mit dem die Einheit zu multiplizieren ist.

$$\text{B} \quad 1 \text{ kW} = 1 \cdot 10^3 \text{ W} = 1000 \text{ W} \quad 1 \mu\text{m} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 0,000\,001 \text{ m}$$

Formelzeichen und Einheiten

(nach DIN 1304-1: 1994-03 und DIN 1301-1: 2010-10)

Name/Bedeutung	Formelzeichen	SI-Einheit Zeichen Name	Bemerkung/wichtige Beziehungen
----------------	---------------	------------------------------	--------------------------------

Raumgrößen und Zeitgrößen

Abklingkoeffizient	δ	1/s	Achtung: Formelzeichen und Einheiten betreffend DIN 1301-1 (Einheitenzeichen) und DIN 1304-1 (Formelzeichen) sind Grundformen und die darin angegebenen Formelzeichen und Einheitenzeichen sollten möglichst bevorzugt verwendet werden. Darüber hinaus gibt es für ganz spezielle Bereiche der Technik auch Fachnormen . Beispiele: DIN EN 764-1 „Druckgeräte“ für Arbeitstemperatur t_0 . DIN 1304-1 für Celsiusstemperatur ϑ oder t . DIN 1304-1 für Zeit t . DIN 1304-1 für (→) Trockenkugelmperatur t_{sic} [sic steht für siccus (trocken)]. In der Praxis der Klimatechnik steht für Trockenkugelmperatur ϑ_{tr} oder ϑ_{TK} . In Analogie: (→) Feuchtkugelmperatur ϑ_{f} oder ϑ_{FK} . Viele weitere Beispiele zeigen, dass es keine einheitliche Bezeichnungsweise bezüglich der Formelzeichen gibt. Konsequenz: In diesem Buch werden die Formelzeichen entsprechend des gerade anstehenden Technikbereiches gewählt.
Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle	c	m/s	
Beschleunigung	a	m/s ²	
→ Kältetechnik, Formelzeichen			
Breite	b	m	
Dehnung (relative Längenänderung)	ε	1	
Dicke, Schichtdicke	δ, d	m	
Durchbiegung, Durchhang	f	m	
Durchmesser	d, D	m	
Ebener Winkel, Drehwinkel (bei Drehbewegungen)	α, β, γ	rad	
Flächeninhalt, Fläche, Oberfläche	A, S	m ²	
Frequenz, Periodenfrequenz	f, ν	Hz	
Geschwindigkeit	v, u, w, c	m/s	
Höhe, Tiefe	h, H	m	
Kreisfrequenz, Pulsanz (Winkelfrequenz)	ω	1/s	
Länge	l	m	
→ Formelzeichen, Regelung			

Statistische Auswertung

(nach DIN 53 804-1: 2002-04)

Aufbereitung statistischen Materials

Zusammenstellung der (z.B. in einer Messreihe aufgenommenen) Beobachtungswerte x_i (also der n Urwerte $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) in einer **Urliste**.

Klassenbildung

Die Anzahl der Klassen (k) richtet sich nach der Aufgabenstellung oder nach der Faustformel:

$$k \approx \sqrt[n]{n} \quad \text{oder} \quad k \approx 1 + 3,32 \cdot \lg n$$

Empfehlung nach DIN:

n	bis 100	ca. 1000	ca. 10 000	ca. 100 000
k	mind. 10	mind. 13	mind. 16	mind. 20

Die Klassenweite w ergibt sich aus der

$$\text{Spannweite} \quad R_n = x_{\max} - x_{\min}$$

und der Klassenzahl k nach der

$$\text{Formel} \quad w = R_n / k$$

Klassenmitten

$$x_i = \frac{x_o + x_u}{2}$$

Summe der relativen Häufigkeiten

$$F_j = \frac{G_j}{n} \cdot 100 \%$$

B **Urliste** von $n = 40$ notierten Temperaturen (in °C) während des Verlaufes einer chemischen Reaktion:

86,8	87,6	86,1	86,6	86,9	86,8	87,3	86,4
86,4	87,2	86,4	86,4	86,8	86,7	87,2	86,2
86,3	86,7	86,8	86,3	86,4	86,9	87,0	86,0
87,4	86,3	86,9	86,4	86,6	87,2	86,9	86,0
87,8	85,9	86,7	86,7	86,7	87,4	86,8	86,2

Klassenzahl $k \approx 1 + 3,32 \cdot \lg 40 \approx 6,3 \approx 6$

Spannweite $R_n = 87,8 - 85,9 = 1,9$

Gewählt: $k = 5$ (\Rightarrow Klassen gleicher Klassenweite)

Klassenweite $w = 1,9/5 \approx 0,4$

Nr. der Klasse j	Klasse in °C	Strichliste	Absolute Häufigkeit n_j	Klassenmitte x_j in °C	n_j aufsummiert = G_j	Häufigkeitssumme F_j in %
1	85,9 bis 86,2	III I	6	86,05	6	15
2	86,3 bis 86,6	IIII III I	11	86,45	17	42,5
3	86,7 bis 87,0	IIII IIII III	15	86,85	32	80
4	87,1 bis 87,4	IIII I	6	87,25	38	95
5	87,5 bis 87,8	II	2	87,65	40	100

x_o Obere Klassengrenze

x_u Untere Klassengrenze

Grafische Darstellung statistischen Materials

a) Histogramm (Rechteck- oder Säulendiagramm)

Abszisse: Merkmalswert (hier x_j in °C)

Ordinate: Besetzungszahl (Säulenbreite \triangleq Klassenweite)

b) Polygonzug (Streckenzug)

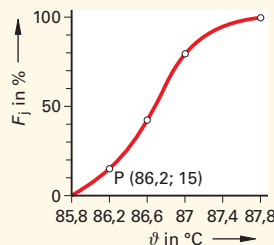
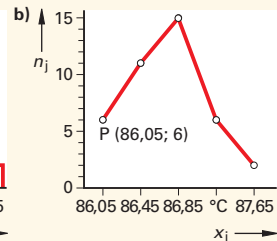
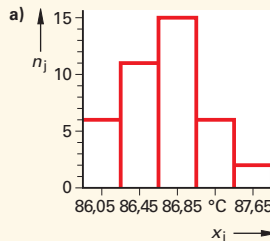
Zum Vergleich mehrerer Verteilungen in einem Diagramm besser geeignet als das Histogramm.

Grafische Darstellung der **Häufigkeitssummenverteilung** (Summenlinie)

Abszisse: Merkmalswert (hier ϑ in °C)

Ordinate: Häufigkeitssumme F_j in %

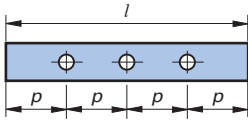
B (Fortsetzung)



Nach obiger Tabelle liegen 15% der Werte x_j im Bereich bis 86,2 °C, deshalb wird die Häufigkeitssumme „15%“ gegen den Merkmalswert „86,2 °C“ aufgetragen.

Teilung von Längen (Gitterteilung)

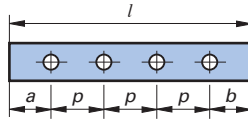
Randabstand = Teilung



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

$$z = n + 1$$

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 (gleich oder ungleich)	mm

Teilung auf dem Lochkreis

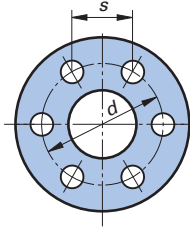
$$s = d \cdot \sin \frac{180^\circ}{n} = d \cdot k$$

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

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

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

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



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

(→ Flanschverbindungen)

Sehnenkonstanten:

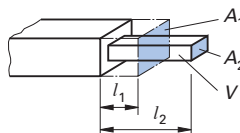
n	k	n	k	n	k	n	k
1	0,000 00	26	0,120 54	51	0,061 56	76	0,041 32
2	1,000 00	27	0,116 09	52	0,060 38	77	0,040 79
3	0,866 03	28	0,111 96	53	0,059 24	78	0,040 27
4	0,707 11	29	0,108 12	54	0,058 14	79	0,039 76
5	0,587 79	30	0,104 53	55	0,057 09	80	0,039 26
6	0,500 00	31	0,101 17	56	0,056 07	81	0,038 78
7	0,433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

Rohrlängen von Pressteilen (Schmiedelänge)

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

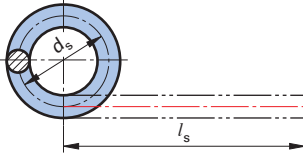
$$l_2 = \frac{V}{A_2}$$

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



l_1	Ausgangslänge	mm
l_2	Press- bzw. Schmiedelänge	mm
A_1	Ausgangs-querschnitt	mm ²
A_2	Endquerschnitt	mm ²
V	Volumen	mm ³

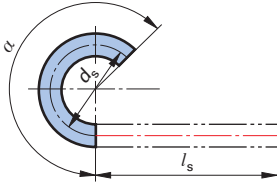
Gestreckte Längen (kreisförmig gebogen)



Gestreckte Länge = Länge der Schwerpunktlinie l_s

$$l_s = d_s \cdot \pi$$

l_s gestreckte Länge mm
 d_s Durchmesser der Schwerpunktlinie. Bei symmetrischen Querschnitten: mittlerer Durchmesser mm
 α Biegewinkel Grad



$$l_s = d_s \cdot \pi \cdot \frac{\alpha^\circ}{360^\circ}$$

(→ Rohrleitungen, Darstellung)

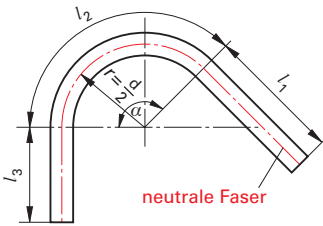
(→ Maßnormen für Rohre)

B Der zylindrische Mantel eines Kessels mit dem Innendurchmesser $d_i = 750$ mm wird aus Blech mit der Wanddicke $s = 8$ mm hergestellt. Welche gestreckte Länge hat das Kesselblech?

$$l_s = d_s \cdot \pi = \frac{d_o + d_i}{2} \cdot \pi$$

$$l_s = \frac{766 \text{ mm} + 750 \text{ mm}}{2} \cdot \pi = 2381,3 \text{ mm}$$

Zusammengesetzte Längen und zusammengesetzte Flächen



Die Schwerpunktlinie heißt auch **Biegelinie** oder **neutrale Faser**. (→ Biegung, Schwerpunkt)

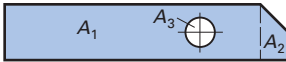
Die gestreckte Länge l_s entspricht der Länge der neutralen Faser.

$$l_s = l_1 + l_2 + l_3 + \dots$$

B In nebenstehender Zeichnung ist $l_1 = 85$ mm, $l_3 = 95$ mm, $\alpha = 135^\circ$ und $d = 200$ mm. Berechnen Sie l_s .

$$l_s = l_1 + l_2 + l_3 = l_1 + \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha^\circ}{360^\circ} + l_3$$

$$l_s = 85 \text{ mm} + \frac{\pi \cdot 200 \text{ mm} \cdot 135^\circ}{360^\circ} + 95 \text{ mm} = 415,62 \text{ mm}$$

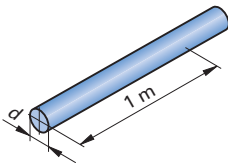


Ebenso wie die Summe der Teillängen die Gesamtlänge ergibt, errechnet sich die Gesamtfläche aus der Summe der Teilflächen.

$$A = \Sigma A_i = A_1 + A_2 + A_3 \pm \dots$$

Berechnung der Masse bei Halbzeugen

Längenbezogene Masse (→ Masse)



m' in $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$

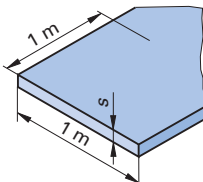
$$m = m' \cdot l$$

m Masse kg
 l Länge m
 m' längenbezogene Masse kg/m

Die längenbezogene Masse wird z.B. bei Normquerschnitten, wie etwa bei Stahl- und Leichtbauprofilen bzw. auch bei Rohren in den entsprechenden Normen angegeben.

B Ein T-Profil T 50 steht in der **DIN EN 10055** mit $m' = 4,44$ kg/m. Wie groß ist die Masse eines Stabes mit $l = 3,6$ m.
 $m = m' \cdot l = 4,44 \text{ kg/m} \cdot 3,6 \text{ m}$
 $m = 15,98 \text{ kg}$

Flächenbezogene Masse (→ Masse)



m'' in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

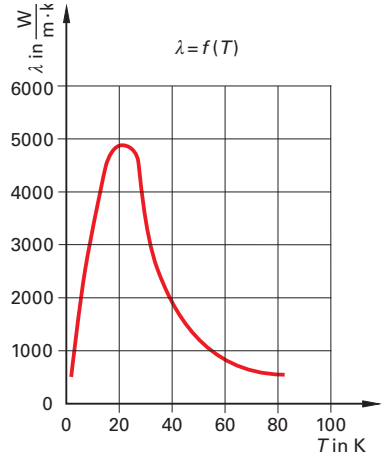
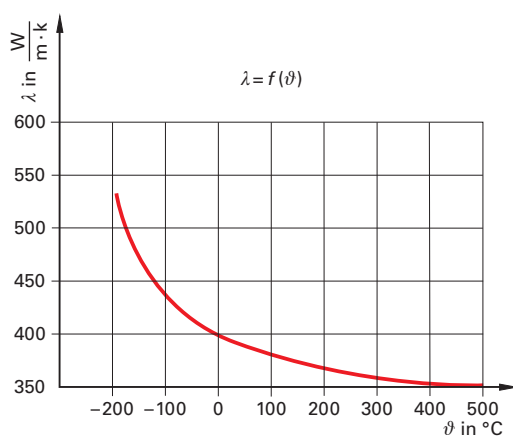
$$m = m'' \cdot A$$

m'' flächenbezogene Masse kg/m²
 A Fläche m²

B Wie groß ist die Masse bzw. das Gewicht (Gewichtskraft) eines 3 mm dicken Stahlbleches mit $A = 6,3 \text{ m}^2$ und $m'' = 23,6 \text{ kg/m}^2$?
 $m = m'' \cdot A = 23,6 \text{ kg/m}^2 \cdot 6,3 \text{ m}^2$
 $m = 148,68 \text{ kg}$
 $F_G = m \cdot g = 148,68 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$
 $F_G = 1458,55 \text{ N}$

Wärmetransport (Fortsetzung)

Die folgenden Diagramme zeigen die **Abhängigkeit der Wärmeleitzahl λ von Kupfer von der Temperatur**:



Wegen der Temperaturabhängigkeit wird der für die **Mitteltemperatur** geltende λ -Wert in die Rechnung eingesetzt, insbesondere gilt dies **bei der Verwendung von \rightarrow Dämmstoffen**.

$$\vartheta_m = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2}$$

Mitteltemperatur

ϑ_1, ϑ_2 Grenztemperaturen an den Begrenzungsflächen der Dämmung °C

λ -Werte für Baustoffe und \rightarrow Dämmstoffe:

Herstellerangaben beachten und gegebenenfalls garantieren lassen. Siehe auch im **Anwendungsbe- reich dieses Tabellenbuches**.

Außer von der Temperatur sind die λ -Werte für Baustoffe und Dämmstoffe auch stark vom **Feuchtigkeitsgehalt** abhängig.

Wärmeübergang und Wärmedurchgang

Unter einem **Wärmeübergang** versteht man die Wärmeübertragung zwischen zwei direkt benachbarten Fluiden oder aber zwischen einem Fluid und einer festen Wand bzw. umgekehrt. Dabei treten in unmittelbarer Nähe der Wand **Temperaturdifferenzen** auf (s. nebenstehendes Bild).

$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot \Delta\vartheta$$

Wärmestrom
(Übergang)

$$\Delta\vartheta = R_\alpha \cdot \dot{Q}$$

Ohm'sches Gesetz
des Wärmeübergangs

$$R_\alpha = \frac{1}{\alpha \cdot A}$$

**Wärmeübergangs-
widerstand**

$$\alpha = Nu \cdot \frac{\lambda_F}{l}$$

Wärmeübergangszahl

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta\vartheta$$

Wärmestrom
(Durchgang)

$$\Delta\vartheta = R_k \cdot \dot{Q}$$

Ohm'sches Gesetz
des Wärmedurchgangs

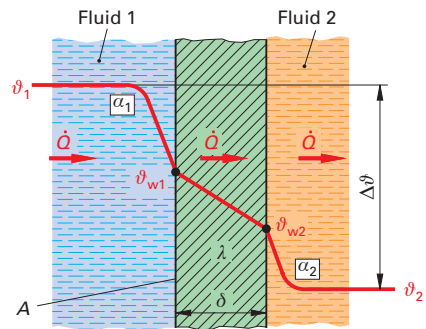
$$R_k = \frac{1}{k \cdot A}$$

**Wärmedurch-
gangswider-
stand**

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

**Wärmedurch-
gangszahl**
(k -Wert)
(\rightarrow Kleidung)

Nach DIN EN 12831 statt k -Wert als **U-Wert** bezeichnet (\rightarrow Wärme- u. Kälteschutz)



\dot{Q}	Wärmestrom	W
α	Wärmeübergangszahl	W/(m ² · K)
A	Wandfläche	m ²
$\Delta\vartheta$	Temperaturdifferenz	K, °C
R_α	Wärmeübergangswiderstand	K/W
Nu	Nußelt-Zahl (s.Anm. Seite 99)	1
λ_F	Fluid-Wärmeleitzahl	W/(m · K)
l	charakteristische Baugröße eines Wärmetauschers	m
$k = U$	Wärmedurchgangszahl (k -Wert)	W/(m ² · K)
R_k	Wärmedurchgangswiderstand	K/W
λ	Wärmeleitzahl	W/(m · K)
δ	Wanddicke	m

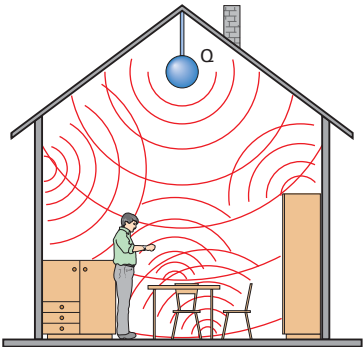
Schallbewertung und Schallausbreitung (Fortsetzung)

Schallausbreitung in Räumen (→ Schalldämmung und Schalldämpfung)

Akustische Beschreibung eines Raumes:

Nebenstehendes Bild zeigt:

Das Schallfeld in Räumen ist in der Regel ein Diffusfeld.



Zur akustischen Beschreibung dienen

Schallabsorptionsgrad α und
Schallreflexionsgrad ϱ } $\alpha + \varrho = 1$

$\alpha = 1 - \varrho$ Schallabsorptionsgrad (s. Seite 105)

Man unterscheidet folgende Grenzfälle:

Schalltoter Raum → $\alpha = 1$; $\varrho = 0$

Hallraum → $\alpha = 0$; $\varrho = 1$

In der Praxis liegen die α -Werte zwischen 0,02 und 0,45 (s. folgende Tabelle)

Wände in ...	Schallabsorptionsgrad α	Wände in ...	Schallabsorptionsgrad α
Fabrikhallen	0,02 bis 0,07	Schulen	0,07 bis 0,12
Küchen	0,03 bis 0,08	Büros	0,12 bis 0,15
Restaurants	0,05 bis 0,1	Konzertsälen	0,25 bis 0,3
Wohnzimmer	0,06 bis 0,11	Tonstudios	0,35 bis 0,45

Äquivalente Absorptionsfläche und Nachhallzeit:

Denkt man sich die gesamte Rauminnenfläche in absolut reflektierende und absolut absorbierende Anteile aufgeteilt, dann nennt man den total absorbierenden Anteil die äquivalente Absorptionsfläche A_{eq} .

Bei gleichem Wandaufbau aller Innenflächen kann A_{eq} mit nebenstehendem Diagramm ermittelt werden.

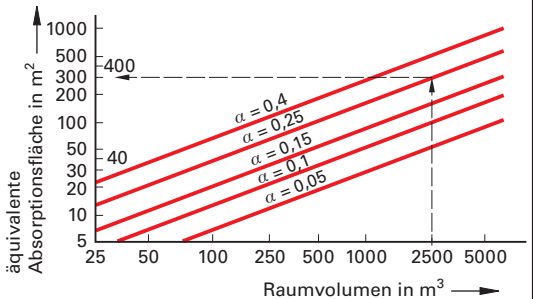
Besteht die Oberfläche der Raumwände aus verschiedenen Baustoffen (Regelfall), dann gilt

$$A_{eq} = \sum (\alpha_n \cdot A_n)$$

äquivalente Absorptionsfläche

$$T = 0,1635 \frac{V}{A_{eq}}$$

Nachhallzeit
(Zahlenwertgleichung)



A_{eq}	äquivalente Absorptionsfläche	m^2
n	Anzahl der Teilflächen	1
A_n	Teilfläche	m^2
α_n	Absorptionsgrad der Teilfläche	1
T	Nachhallzeit	s
V	Raumvolumen	m^3

Die Nachhallzeit ist die Zeit, in der nach Aufhören des Schallereignisses die Schallenergie auf den 10^{-6} ten Teil bzw. der Schalldruckpegel um 60 dB abnimmt.

Zur akustischen Beurteilung gibt es – in Abhängigkeit vom Benutzerzweck – optimale Richtwerte für die Nachhallzeit (s. folgende Tabelle):

Benutzerzweck des Raumes	optimale Nachhallzeit T in s	Benutzerzweck des Raumes	optimale Nachhallzeit T in s
Hotelzimmer	0,9 bis 1,0	Theater	0,8 bis 1,2
Büros	0,5 bis 1,5	Konzertsäle	1,7 bis 2,6
Kirchen	2,0 bis 3,0	Versammlungsräume	0,5 bis 1,5
Schwimmbäder	1,5 bis 4,0	Hörsäle	0,8 bis 1,5

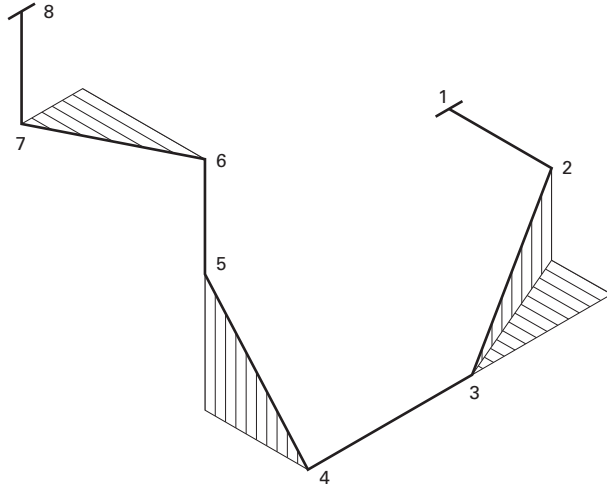
Darstellung von Rohrleitungen (Fortsetzung)

(nach DIN ISO 6412: 1991-05)

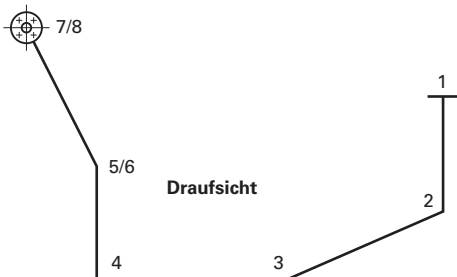
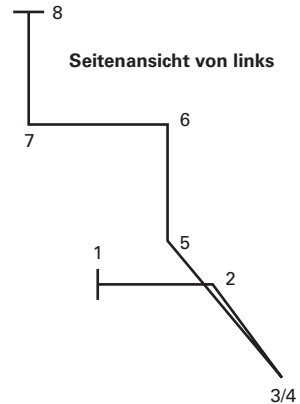
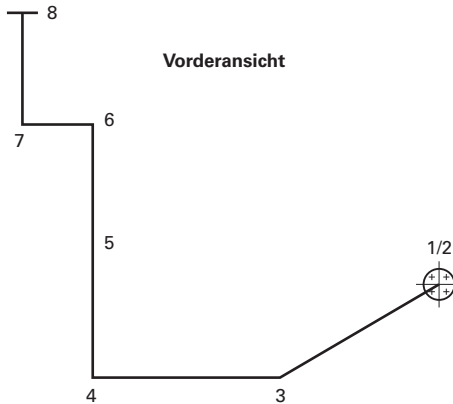
Beispiel isometrische Darstellung

Pos. Nr.	Koordinaten		
	x	y	z
1	0	0	0
2	0	-5	0
3	-7	-8	-4
4	-15	-8	-4
5	-15	-3	2
6	-15	-3	7
7	-18	3	7
8	-18	3	12

Derselbe Rohrstrang ist unten in orthogonaler Darstellung gezeichnet.



Beispiel orthogonale Darstellung



Pos. Nr.	Koordinaten		
	x	y	z
1	0	0	0
8	-18	3	12

Derselbe Rohrstrang ist oben in isometrischer Darstellung gezeichnet.

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

Beispiele (Auswahl)

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

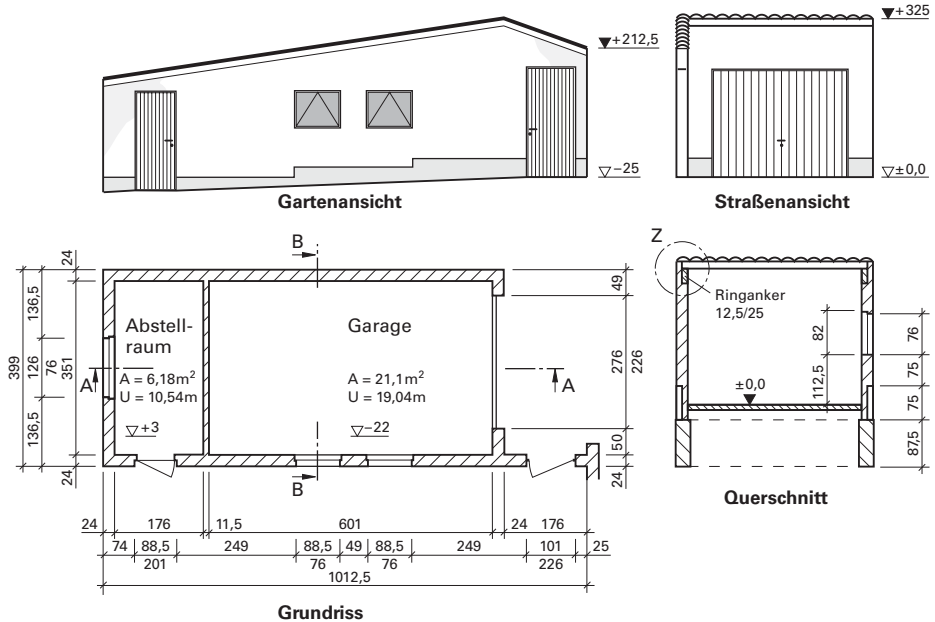
Leiterart		alphanumerische Bezeichnung	farbliche Kennzeichnung
AC	Außenleiter 1	L1	Schwarz, Braun
	Außenleiter 2	L2	Schwarz, Braun, Grau
	Außenleiter 3	L3	Schwarz, Braun, Grau
	Neutralleiter	N	Hellblau
DC	Positiv	L+	Rot
	Negativ	L-	Schwarz
	Mittelleiter	M	-
Schutzleiter		PE	Grün-Gelb
Neutralleiter mit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

Beispiel 1: Stromlaufplan in zusammenhängender Darstellung

Dargestellt ist ein Antriebssystem für 2 Drehrichtungen

Ansichten und Schnitte, Maßeinheiten

Grundlage ist **DIN ISO 128**: 2002-05, **DIN ISO 5456**: 1998-04, **DIN ISO 6433**: 1982-09, **DIN ISO 10209**: 1994-12
 → Darstellung von Körpern. Folgende Bilder zeigen unmaßstäbliche Beispiele:

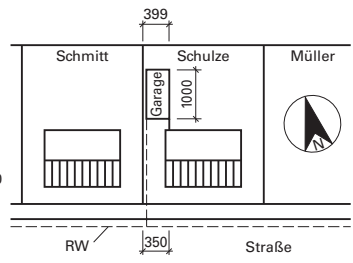
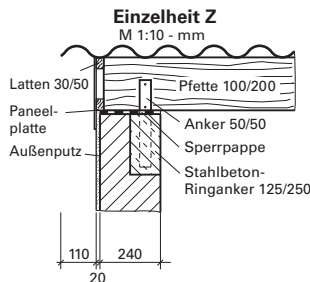


Einzelheiten:

Sie zeigen Details in größerem Maßstab und werden meist im Schnitt gezeichnet.

Lagepläne:

Sie zeigen die örtlichen Gegebenheiten. Sie werden mit einem **Nordpfeil** versehen. Hinter dem Maßstab wird die Einheit in m oder cm angegeben.



Maßeinheiten

Spalte	1	2	3	4
Zeile	Maßeinheit Bemaßung in	Maße unter 1 m z.B.	Maße über 1 m z.B.	Maße über 1 m z.B.
1	cm	24	88,5 ¹⁾	388,5 ¹⁾
2	m und cm	24	88 ⁵	3,88 ^{5 1)}
3	mm	240	885	3885

¹⁾ Anstelle des Punktes darf auch ein Komma gesetzt werden (→ Maßeintragen)

Allgemeine Zeichen

Anwendungsbereich	Zeichen
Richtung	←
Höhenangabe Oberfläche – Fertigkonstruktion – Rohkonstruktion	▽ ▼
Höhenangabe Unterfläche – Fertigkonstruktion – Rohkonstruktion	△ ▲

Auswahlkriterien, Übersicht				
Auswahlkriterien			Bedeutung	
Rohdichte ρ			→ Dichte. Dies ist die Dichte ρ des Dämmstoffes in kg/m^3 , d.h. Dichte unter Berücksichtigung des Porenanteiles.	
Wärmeleitzahl λ			→ Wärmetransport	
Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor μ			→ Diffusion	
Festigkeit			Zug und Druckspannung	
Stauchverhalten			Dehnung und Verlängerung. VDI 2055-2: 2013-10 lässt eine maximale Stauchung von 10 % zu → Dämmstoffe	
Kältekontraktion			→ Wärmeausdehnung	
Brandverhalten			(s. folgende Tabelle)	
Baustoffklassen (→ Brandschutz) (nach DIN 4102-1: 2008-09)				
Klasse		Benennung		Hinweise
A	A1	nicht brennbare Baustoffe wie Beton, Stahl, Gips, Ziegel. Bei A2 muss ein Nachweis erbracht werden.		Baustoffe der Klassen A1, A2, B1 bedürfen i.d.R. eines Prüfzeichens. Für Lüftungsleitungen nur A1, A2.
	A2			
B	B1	schwer entflammbar	brennbar	Klasse B1 darf nur innerhalb eines Brandabschnittes verwendet werden.
	B2	normal entflammbar		
	B3	leicht entflammbar		
Mehr oder weniger verwendete Dämmstoffe				
Stoff		Wärmeleitfähigkeit λ in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ bei einer Mitteltemperatur von 20 °C		Rohdichte ρ in kg/m^3
organisch:				
Baumwolle		0,04		80
Holzfaserplatten (hart)		0,17		1000
Holzfaserplatten (porös)		0,06		300
Holzwolleplatten		0,09		400
Korkplatten		0,035 ... 0,04		80 ... 200
Pappe		0,07		700
Phenol-Schaumstoff		0,035		25
Polystyrol-Hartschaum		0,025 ... 0,04		20 ... 30
Polyurethan-Hartschaum		0,02 ... 0,035		40 ... 70
Schafwolle		0,04		140
Schilfrohr		0,06		220
Zellulosefasern		0,04 ... 0,045		35 ... 65
anorganisch:				
Glaswolle		0,035 ... 0,05		60 ... 200
Keramikwolle		0,035 ... 0,14		50 ... 190
Kieselgur		0,06 ... 0,07		200
Perlit-Schüttung		0,06		100
Schaumglas		0,045 ... 0,055		100 ... 160
Steinwolle		0,035 ... 0,05		60 ... 200
Dämmstoffe für den praktischen Wärmeschutz bzw. Kälteschutz				
Wärmeschutz:		Objekttemperatur ist höher als die Umgebungstemperatur.		
Kälteschutz:		Objekttemperatur ist niedriger als die Umgebungstemperatur.		

Dämmstoffe für den praktischen Wärmeschutz bzw. Kälteschutz (Fortsetzung)										
7. und 8. Kennziffer: Klassifizierungstemperatur (obere Anwendungstemperatur in °C)	AGI-Arbeitsblätter									
	Q 132		Q 133-3		Q 137		Q 141		Q 143	
	Gruppe	°C	Gruppe	°C	Gruppe	°C	Gruppe	°C	Gruppe	°C
	10	100	07	70	10	100	30	300	01	80
	12	120	08	80	15	150	35	350	02	85
	14	140	09	90	20	200	40	400	03	90
	16	160	10	100	25	250	45	450	04	95
	⋮	⋮	Q 134		30	300	50	500	05	100
	72	720	01	80	35	350	55	550	06	105
	74	740	02	85	40	400	60	600		
	76	760	03	90	43	430	65	650		
	Q 133-1		04	95	50	500	70	700		
	07	70	05	100	55	550	75	750		
	08	80	06	105	60	600	Q 142			
	Q 133-2		07	110	Q 139		07	700		
	07	70	08	115	05	50	08	800		
	08	80	09	120	06	60	09	900		
		10	125	07	70	10	1000			
				08	80	50	1050			
				09	90					
				10	100					
				11	110					
				12	120					
				13	130					
				14	140					
				15	150					
9. und 10. Kennziffer	Rohdichte		Druckspannung		Druckfestigkeit		Nennschüttdichte		Druckspannung	
	in kg/m³		bei 10% Stauchung in N/mm²		in N/mm²		in kg/m³		bei 5% Stauchung in N/mm²	
bei AGI-Arbeitsblatt	Q 132, Q 133-1 Q 133-3, Q 134 Q 139, Q 143		Q 133-2		Q 137		Q 141		Q 142	
9. und 10. Kennziffer kann also Rohdichte, Druckspannung, Druckfestigkeit, Nennschüttdichte bedeuten.	Unterschiedlich in den einzelnen AGI-Arbeitsblättern. z.B. bei Q 132: 0,2 ≥ 20 kg/m³ oder Q 133-1: 20 ≥ 20 kg/m³		Gruppe	N/mm²	Gruppe	N/mm²	Gruppe	N/mm²	Gruppe	N/mm²
			20	0,20	05	0,5	45	45	05	0,5
			25	0,25	06	0,6	65	65	10	1,0
			30	0,30	07	0,7	80	80	15	1,5
			40	0,40	08	0,8				
			50	0,50	09	0,9				
			etc.		10	1,0				
					11	1,1				
					12	1,2				
<div><div>B</div><div>12.06.01.56.10: Bezeichnung eines Mineraldämmstoffes aus Steinwolle als versteppte Matte, Wärmeleitfähigkeitskurve 1, Klassifizierungstemperatur 560 °C, Rohdichte 100 kg/m³. 61.21.02.75.65: Bezeichnung eines Dämmstoffes aus Bläherlit-Körnung 0 bis 1,5 mm, Wärmeleitfähigkeitskurve Bild 2, obere Anwendungstemperatur 750 °C, Schüttdichte 65 kg/m³.</div></div>										
Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor (-widerstandszahl) μ (→ Diffusion)										
Dämmstoff					μ-Wert					
Polystyrol-Schaumstoff (aus Granulat)					20 ... 100					
Polystyrol - Schaumstoff (extrudiert)					80 ... 300					
Polyurethan-Schaumstoff					30 ... 100					
PVC-Schaumstoff					160 ... 330					
Phenolharzschaumstoff					30 ... 50					
Schaumglas					praktisch ∞					
Faserdämmstoffe					1,5 ... 4,5					
					Herstellerangaben unbedingt beachten, evtl. mit Gewährleistung.					

Einteilung der Kältemittel					
Kältemittelübersicht					
Kälte-mittel-nummer	Ein-stufung	Chemische Bezeichnung oder Zusammensetzung	Chem. Formel oder Handelsname	Siede-punkt (°C)	Molare Masse (kg/kmol)
R11	FCKW	Trichlorfluormethan	CCl ₃ F	23,8	137,4
R12	FCKW	Dichlordifluormethan	CCl ₂ F ₂	− 29,0	120,9
R13	FCKW	Chlortrifluormethan	CClF ₃	− 81,4	104,5
R13B1	FCKW	Bromtrifluormethan	CBF ₃	− 58,0	148,9
R14	FKW	Tetrafluormethan	CF ₄	− 128,0	88,0
R22	HFCKW	Chlordifluormethan	CHClF ₂	− 40,8	86,5
R23	HFKW	Trifluormethan	CHF ₃	− 82,1	70,0
R30	HFCKW	Dichlormethan	CH ₂ Cl ₂	40,0	84,9
R32	HFKW	Difluormethan	CH ₂ F ₂	− 51,7	52,0
R50	KW	Methan	CH ₄	− 161	16,0
R113	FCKW	Trichlortrifluoroethan	CCl ₂ FCClF ₂	47,6	187,4
R114	FCKW	Dichlortetrafluoroethan	CClF ₂ CClF ₂	3,8	170,9
R115	FCKW	Chlorpentafluoroethan	CClF ₂ CF ₃	− 39,0	154,5
R116	FKW	Hexafluoroethan	CF ₃ CF ₃	− 79,0	138,0
R123	HFCKW	Dichlortrifluoroethan	CHCl ₂ CF ₃	27,9	153,0
R124	HFCKW	Chlortetrafluoroethan	CHClFCF ₃	− 12,1	136,5
R125	HFKW	Pentafluoroethan	CHF ₂ CF ₃	− 48,1	120,0
R134a	HFKW	Tetrafluoroethan	CH ₂ FCF ₃	− 26,2	102,0
R141b	HFCKW	Dichlorfluoroethan	CH ₃ CCl ₂ F	32,0	117,0
R142b	HFCKW	Chlordifluoroethan	CH ₃ CClF ₂	− 10,0	100,5
R143a	HFKW	Trifluoroethan	CH ₃ CF ₃	− 47,0	84,0
R152a	HFKW	Difluoroethan	CH ₃ CHF ₂	− 25,0	66,0
R170	KW	Ethan	CH ₃ CH ₃	− 89,0	30,0
R218	FKW	Octafluorpropan	CF ₃ CF ₂ CF ₃	− 37,0	188,0
R227ea	HFKW	Heptafluorpropan	CF ₃ CHFCF ₃	− 15,6	170,0
R236ea	HFKW	Hexafluorpropan	CF ₃ CH ₂ CF ₃	− 1,4	152,0
R245fa	HFKW	Pentafluorpropan	CF ₃ CH ₂ CHF ₂	14,9	134,0
R290	KW	Propan	CH ₃ CH ₂ CH ₃	− 42,0	44,0
R401A	HFCKW	R22/R152a/R124 (53,0/13,0/34,0)	MP39	− 33,4/− 27,8	94,4
R401B	HFCKW	R22/R152a/R124 (61,0/11,0/28,0)	MP66	− 34,9/− 29,6	92,8
R401C	HFCKW	R22/R152a/R124 (33,0/15,0/52,0)	MP52	− 28,9/− 23,3	101,0
R402A	HFCKW	R125/R290/R22 (60,0/2,0/38,0)	HP80	− 49,2/− 47,0	101,5
R402B	HFCKW	R125/R290/R22 (38,0/2,0/60,0)	HP81	− 47,2/− 44,8	94,7
R403A	HFCKW	R290/R22/R218 (5,0/75,0/20,0)	Isceon 69S	− 47,7/− 44,3	92,0
R403B	HFCKW	R290/R22/R218 (5,0/56,0/39,0)	Isceon 69L	− 49,1/− 46,8	103,2
R404A	HFKW	R125/R143a/R134a (44,0/52,0/4,0)	HP62 / FX70	− 46,5/− 45,7	97,6
R405A	HFCKW	R225/R152a/R142b/R318 (45,0/7,0/5,5/42,5)	G2015	− 32,8/− 24,4	111,9
R406A	HFCKW	R22/R600a/R142b (55,0/4,0/41,0)	GHG– HP	− 32,7/− 23,5	89,9
R407A	HFKW	R32/R125/R134a (20,0/40,0/40,0)	Klea60	− 45,2/− 38,7	90,1
R407B	HFKW	R32/R125/R134a (10,0/70,0/20,0)	Klea61	− 46,8/− 42,4	102,9
R407C	HFKW	R32/R125/R134a (23,0/25,0/52,0)	Klea66	− 43,8/− 36,7	86,2
R407D	HFKW	R32/R125/R134a (15,0/15,0/70,0)		− 39,4/− 32,7	90,9
R407E	HFKW	R32/R125/R134a (25,0/15,0/60,0)		− 42,8/− 35,6	83,8
R408A	HFCKW	R125/R143a/R22 (7,0/46,0/47,0)	FX10	− 44,6/− 44,1	87,0
R409A	HFCKW	R22/R124/R142b (60,0/25,0/15,0)	FX56	− 34,7/− 26,3	97,5
R409B	HFCKW	R22/R124/R142b (65,0/25,0/10,0)	FX57	− 35,8/− 28,2	96,7
R410A	HFKW	R32/R125 (50,0/50,0)	Suva9100 / AZ20	− 51,6/− 51,5	72,6
R410B	HFKW	R32/R125 (45,0/55,0)		− 51,5/− 51,4	75,5
R411A	HFCKW	R1270/R22/R152a (1,5/87,5/11,0)	G2018A	− 39,6/− 37,1	82,5
R411B	HFCKW	R1270/R22/R152a (3,0/94,0/3,0)	G2019B	− 41,6/− 40,2	83,3
R412A	HFCKW	R22/R218/R142b (70,0/5,0/25,0)	TP5R	− 36,5/− 28,9	92,2
R413A	FKW	R218/R134a/R600a (9,0/88,0/3,0)	Isceon MO49	− 29,4/− 27,4	103,9
R414A	HFCKW	R22/R124/R600a/R142b (51,0/28,5/4,0/16,5)	GHG–X4	− 33,2/− 24,7	97,0
R414B	HFCKW	R22/R124/R600a/R142b (50,0/39,0/1,5/9,5)	Hot Shot	− 33,1/− 24,7	101,6

4

5

6

7

8

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

Kühlung mit Entfeuchtung

Bei der Kühlung mit Entfeuchtung muss der Kühler eine Oberflächentemperatur unterhalb des Taupunktes des gewünschten Zuluftzustandes haben ($t_{\text{oeff}}\text{-Methode}$).

Austrittszustand des Kühlers nach der $t_{\text{oeff}}\text{-Methode}$

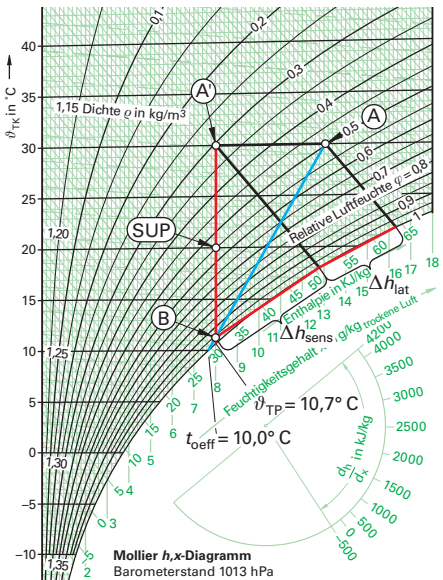
- 1) Der gewünschte Zuluftzustand (SUP) und der Eintrittszustand in den Kühler (A) wird in das h, x-Diagramm eingezeichnet.
- 2) Der Taupunkt des Zuluftzustandes wird eingezeichnet.
- 3) 0,5–1 K unterhalb des Taupunktes auf der Sättigungslinie liegt der t_{oeff} -Punkt bei einer Temperatur, die auf ,0 oder ,5 endet (bei 2 Möglichkeiten kleinere Differenz).
- 4) Der Kühleraustrittszustand liegt auf dem Schnittpunkt von der Linie E- t_{oeff} mit der Linie ZU- ϑ_{TP} .

B SUP: $\vartheta_{\text{TK}} = 20^\circ\text{C}$, $x = 8\text{ g/kg}$; A: $\vartheta_{\text{TK}} = 30^\circ\text{C}$, $\varphi = 50\%$. Ges.: Austrittszustand, Entfeuchtung sowie die gesamte, latente und sensible Wärmemenge im Kühler. Der Taupunkt liegt bei ca. $10,7^\circ\text{C}$, der t_{oeff} -Punkt bei 10°C . Hiermit ergibt sich nach Punkt 4) der Kühleraustritt KA.

B: $\vartheta_{\text{TK}} = 11,3^\circ\text{C}$, $\varphi \approx 95\%$, $h = 32\text{ kJ/kg}$;
SUP: $h = 40\text{ kJ/kg}$;
E: $x = 12,3\text{ g/kg}$; $h = 64\text{ kJ/kg}$

$\Delta x = x_E - x_A = 13,2\text{ g/kg} - 8\text{ g/kg} = 5,2\text{ g/kg}$
 $\Delta h_{\text{ges}} = 64\text{ kJ/kg} - 32\text{ kJ/kg} = 32\text{ kJ/kg}$
 $\Delta h_{\text{lat}} = 64\text{ kJ/kg} - 51\text{ kJ/kg} = 13\text{ kJ/kg}$
 $\Delta h_{\text{ges}} = 51\text{ kJ/kg} - 32\text{ kJ/kg} = 19\text{ kJ/kg}$

Vorgang im h, x-Diagramm



Bei der Kühlung mit Entfeuchtung wird die Luft gleichzeitig sensible Wärme und latente Wärme entzogen.

Mischung

Der Zustand der Mischluft liegt auf der Verbindungsgeraden zwischen den Eintrittszuständen.

$$\dot{m}_{\text{LODA}} + \dot{m}_{\text{LRCA}} = \dot{m}_{\text{LMIA}}$$

Massenbilanz Luft

$$\dot{m}_{\text{LODA}} \cdot x_{\text{ODA}} + \dot{m}_{\text{LRCA}} \cdot x_{\text{RCA}} = \dot{m}_{\text{LMIA}} \cdot x_{\text{MIA}}$$

Massenbilanz Wasserdampf

$$\dot{m}_{\text{LODA}} \cdot h_{\text{ODA}} + \dot{m}_{\text{LRCA}} \cdot h_{\text{RCA}} = \dot{m}_{\text{LMIA}} \cdot h_{\text{MIA}}$$

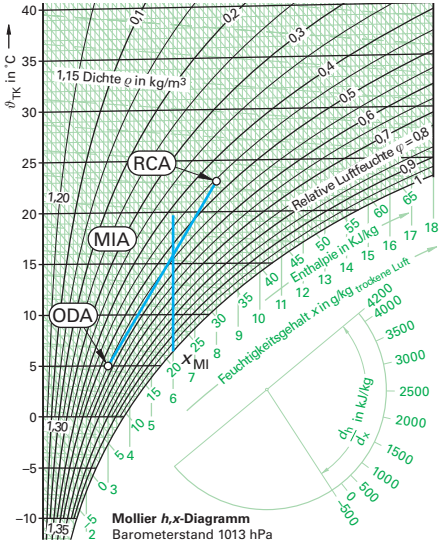
Energiebilanz

B ODA: 5°C ; 3 g/kg ; 350 kg/h ;
RCA: 23°C , 8 g/kg ; 550 kg/h
Aus 1 und 2:

$$x_{\text{MIA}} = \frac{\dot{m}_{\text{LODA}} \cdot x_{\text{ODA}} + \dot{m}_{\text{LRCA}} \cdot x_{\text{RCA}}}{\dot{m}_{\text{LMIA}}}$$
$$x_{\text{MIA}} = \frac{350\text{ kg/h} \cdot 3\text{ g/kg} + 550\text{ kg/h} \cdot 8\text{ g/kg}}{350\text{ kg/h} + 550\text{ kg/h}}$$

$x_{\text{MIA}} = 6\text{ g/kg} \Rightarrow t_{\text{MIA}} = 16^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{MIA}} = 52,5\%$

Vorgang im h, x-Diagramm



Behaglichkeit

Das **Wärmegleichgewicht** kann in einem breiten Spektrum von Temperatur und Luftfeuchte eingehalten werden, wohingegen **thermische Behaglichkeit** nur in einem eng begrenzten Bereich und unter Einfluss vieler Faktoren erreicht werden kann.

Die Raumlufttechnik befasst sich mit der **thermischen Behaglichkeit**.

Einflussgrößen auf die thermische Behaglichkeit und die Raumluftqualität
(DIN EN 16798-3: 2017-11)

- Die thermische Behaglichkeit und die Luftqualität werden beeinflusst durch
- a) **Personen:**

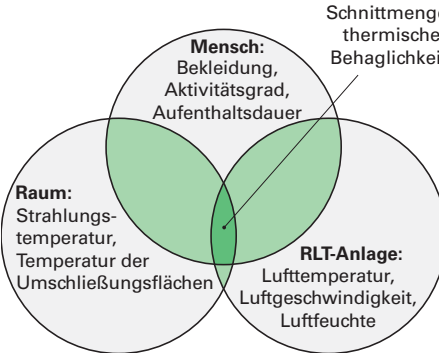
 - Tätigkeit
 - Bekleidung
 - Aufenthaltsdauer
 - thermische und stoffliche Belastung
 - Belegung bzw. Anzahl
 - Alter, Geschlecht, Gewicht
- b) **Raum:**

 - Temperatur der Umschließungsflächen
 - Lufttemperaturverteilung
 - Wärmequellen
 - Schadstoffquellen
- c) **RLT-Anlage:**

 - Lufttemperatur
 - Luftfeuchte
 - Luftaustausch
 - Luftführung
 - Reinheit der Luft (Qualität)

Die thermische Behaglichkeit kann nur durch das Zusammenwirken der Einflussgrößen **Mensch, Raum und RLT-Anlage** erreicht werden.

Aus der Schnittmenge aller Faktoren (siehe Aufstellung links) ergibt sich eine Zone der Behaglichkeit:



Behaglichkeit wird nicht nur durch thermische, sondern auch durch andere Einflussgrößen wie z.B. **Raumakustik, Lichtverhältnisse** und andere Einflüsse bestimmt.

Das Raumklima kann mit Hilfe von Raum-Luft-Technischen Anlagen (RLT-Anlagen) realisiert werden.

Faktoren der RLT-Anlage

Raumlufttemperatur

Ein *h-x*-Diagramm (Abbildung rechts) zeigt die Bereiche, die bei einem Arbeitsenergieumsatz von 100, 200 und 300 W noch zu ertragen sind:

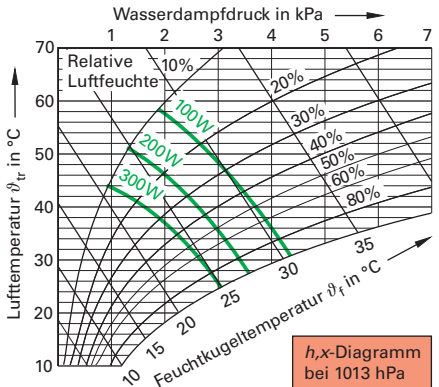
Normale Arbeitskleidung und eine Luftgeschwindigkeit von 0,5 m/s sind hierbei zugrunde gelegt.

Es ist zu erkennen:

Die maximale andauernd ertragbare Lufttemperatur muss in Abhängigkeit von Luftfeuchte und Arbeitsenergieumsatz gesehen werden.

Behaglichkeitstemperatur an Arbeitsstätten
(nach Arbeitsstättenverordnung ASR 5 und 6)

Tätigkeit	°C
Gießereien und Schmieden	10 ... 12
Montagehallen	12 ... 15
Mechanische Fertigung	16 ... 18
Verkaufsräume	18 ... 19
Büroräume	20 ... 21
Maximaltemperatur:	26 °C



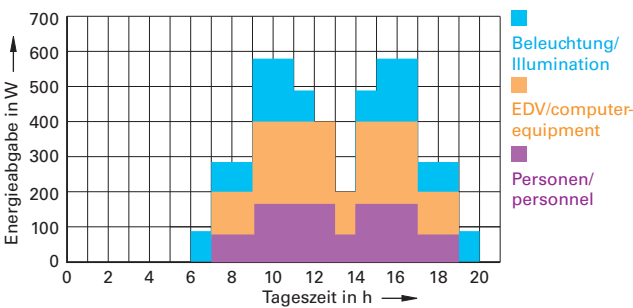
Anmerkung:

Bei einer relativen Luftfeuchte von 5 % kann ein gesunder Mensch kurzzeitig 100 °C (Sauna), bei absolut trockener Luft (0%) kurzzeitig 120 °C Lufttemperatur ertragen.

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

Innere Wärmequellen im Tagesgang

Beispiel eines Büros mit zwei Personen



Spezifische elektrische Bewertungsleistung in Abhängigkeit von Beleuchtungsart und Vorschaltgerät

Beleuchtungsart	Spezifische elektrische Bewertungsleistung $p_{l,bx}$ in W/(m²lx)		
	EVG	VVG	KVG
Direkt	0,05	0,057	0,062
Direkt/Indirekt	0,06	0,068	0,074
Indirekt	0,10	0,114	0,123

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

Anpassungsfaktor k_R zur Berücksichtigung der Raumauslegung in Abhängigkeit des Raumindex k

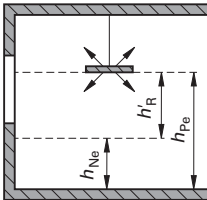
Raumindex k	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Beleuchtungsart	Anpassungsfaktor k_R											
Direkt	1,08	0,97	0,89	0,82	0,77	0,68	0,63	0,58	0,55	0,53	0,51	0,48
Direkt/Indirekt	1,3	1,17	1,06	0,97	0,90	0,79	0,72	0,64	0,58	0,56	0,53	0,53
Indirekt	1,46	1,25	1,08	0,95	0,85	0,69	0,60	0,52	0,4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

Ermittlung des Raumindex k

Raumindex k

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

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



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

Lampenart	Anpassungs-faktor k_L	Lampenart	Anpassungs-faktor k_L
Glühlampen	6	Metallhalogen dampf-Hochdruck mit KVG	1,0
Halogen glühlampen	5	Natrium dampf-Hochdruck mit KVG	0,8
Leuchtstoff lampen, externes Vorschaltgerät	EVG 1,2	Quecksilber dampf-Hochdruck mit KVG	1,7
	VVG 1,4	LED-Ersatz lampen (Ersatz für Glüh-, Halogen- bzw. Leuchtstoff lampen) mit EVG	1,5
	KVG 1,5	LED in dafür konstruierten Leuchten mit EVG	1,1
Leuchtstoff lampen kompakt, integriertes Vorschaltgerät	EVG 1,6		
	VVG -		
	KVG -		

Kennwerte transparenter Fassaden VDI 2078: 2015-06 (Fortsetzung)**Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit 2-fach Wärmeschutzverglasung**

3	2-fach Wärmeschutzverglasung	g_{tot}	$g_{\text{tot,dir}}$	$g_{\text{tot,diff}}$	$T_{\text{L,tot,dir}}$	$T_{\text{L,tot,diff}}$	$a_{\text{tot,kon}}$
3.1.1	Sonnenschutz (1) außen	0,13	0,08	0,27	0,07	0,32	0,08
3.1.2	Sonnenschutz (2) außen	0,09	0,05	0,23	0,03	0,27	0,12
3.1.3a	Sonnenschutz (3) außen durchlüftet	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,10
3.1.3b	Sonnenschutz (3) außen, nicht durchlüftet	0,17	0,17	0,17	0,15	0,15	0,12
3.1.4a	Sonnenschutz (4) außen durchlüftet	0,09	0,09	0,09	0,07	0,07	0,15
3.1.4b	Sonnenschutz (4) außen, nicht durchlüftet	0,11	0,11	0,11	0,07	0,07	0,19
3.2.1	Sonnenschutz (1) zwischen den Scheiben	0,22	0,18	0,36	0,07	0,32	0,21
3.2.3	Sonnenschutz (3) zwischen den Scheiben	0,24	0,24	0,24	0,15	0,15	0,20
3.2.4	Sonnenschutz (4) zwischen den Scheiben	0,23	0,23	0,23	0,07	0,07	0,29
3.3.1	Sonnenschutz (1) innen	0,51	0,46	0,64	0,07	0,32	0,56
3.3.2	Sonnenschutz (2) innen	0,59	0,54	0,72	0,03	0,27	0,59
3.3.3a	Sonnenschutz (3) innen durchlüftet	0,48	0,48	0,48	0,15	0,15	0,53
3.3.3b	Sonnenschutz (3) innen nicht durchlüftet	0,45	0,45	0,45	0,15	0,15	0,38
3.3.4a	Sonnenschutz (4) innen durchlüftet	0,55	0,55	0,55	0,07	0,07	0,61
3.3.4b	Sonnenschutz (4) innen, nicht durchlüftet	0,52	0,52	0,52	0,07	0,07	0,44

Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit 2-fach Sonnenschutzverglasung

4	2-fach Sonnenschutzverglasung	g_{tot}	$g_{\text{tot,dir}}$	$g_{\text{tot,diff}}$	$T_{\text{L,tot,dir}}$	$T_{\text{L,tot,diff}}$	$a_{\text{tot,kon}}$
4.1.1 a	Sonnenschutz (1) außen	0,09	0,06	0,18	0,07	0,29	0,10
4.1.2 a	Sonnenschutz (2) außen	0,07	0,04	0,16	0,02	0,25	0,15
4.1.3 a	Sonnenschutz (3) außen durchlüftet	0,10	0,10	0,10	0,14	0,14	0,11
4.1.3 b	Sonnenschutz (3) außen, nicht durchlüftet	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	0,15
4.1.4 a	Sonnenschutz (4) außen durchlüftet	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,18
4.1.4 b	Sonnenschutz (4) außen, nicht durchlüftet	0,09	0,09	0,09	0,07	0,07	0,23
4.2.1	Sonnenschutz (1) zwischen den Scheiben	0,23	0,20	0,32	0,07	0,29	0,27
4.2.3	Sonnenschutz (3) zwischen den Scheiben	0,23	0,23	0,23	0,14	0,14	0,26
4.2.4	Sonnenschutz (4) zwischen den Scheiben	0,27	0,27	0,27	0,07	0,07	0,33
4.3.1 a	Sonnenschutz (1) innen	0,30	0,27	0,38	0,07	0,29	0,53
4.3.2 a	Sonnenschutz (2) innen	0,36	0,33	0,45	0,02	0,25	0,57
4.3.3 a	Sonnenschutz (3) innen durchlüftet	0,28	0,28	0,28	0,14	0,14	0,50
4.3.3 b	Sonnenschutz (3) innen nicht durchlüftet	0,27	0,27	0,27	0,14	0,14	0,36
4.3.4 a	Sonnenschutz (4) innen durchlüftet	0,33	0,33	0,33	0,07	0,07	0,59
4.3.4 b	Sonnenschutz (4) innen, nicht durchlüftet	0,32	0,32	0,32	0,07	0,07	0,43

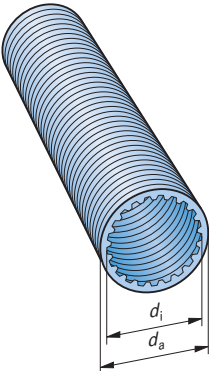
Standardwerte für Sonnenschutzsysteme mit 2-fach Sonnenschutzverglasung, verspiegelt

5	2-fach Sonnenschutzverglasung, verspiegelt	g_{tot}	$g_{\text{tot,dir}}$	$g_{\text{tot,diff}}$	$T_{\text{L,tot,dir}}$	$T_{\text{L,tot,diff}}$	$a_{\text{tot,kon}}$
5.1.1	Sonnenschutz (1) außen	0,08	0,05	0,15	0,05	0,20	0,11
5.1.2	Sonnenschutz (2) außen	0,06	0,04	0,13	0,02	0,16	0,17
5.1.3 a	Sonnenschutz (3) außen durchlüftet	0,09	0,090	0,09	0,10	0,10	0,12
5.1.3 b	Sonnenschutz (3) außen, nicht durchlüftet	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,15
5.1.4 a	Sonnenschutz (4) außen durchlüftet	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,19
5.1.4 b	Sonnenschutz (4) außen, nicht durchlüftet	0,08	0,08	0,08	0,05	0,05	0,24
5.2.1	Sonnenschutz (1) zwischen den Scheiben	0,20	0,18	0,27	0,05	0,20	0,27
5.2.3	Sonnenschutz (3) zwischen den Scheiben	0,19	0,19	0,19	0,10	0,10	0,25
5.2.4	Sonnenschutz (4) zwischen den Scheiben	0,21	0,21	0,21	0,04	0,04	0,33
5.3.1	Sonnenschutz (1) innen	0,25	0,23	0,32	0,05	0,20	0,53
5.3.2	Sonnenschutz (2) innen	0,29	0,27	0,36	0,02	0,16	0,57
5.3.3 a	Sonnenschutz (3) innen durchlüftet	0,24	0,24	0,24	0,10	0,10	0,50
5.3.3 b	Sonnenschutz (3) innen nicht durchlüftet	0,23	0,23	0,23	0,10	0,10	0,36
5.3.4 a	Sonnenschutz (4) innen durchlüftet	0,27	0,27	0,27	0,05	0,05	0,59
5.3.4 b	Sonnenschutz (4) innen, nicht durchlüftet	0,25	0,25	0,25	0,05	0,05	0,43

Rohrleitungen und Kanäle (Fortsetzung) (Auszug)

Flexible Lüftungsrohre (DIN EN 13180: 2002-03)

Nenn- durchmesser DN in mm	Innendurchmesser mm	zu. Ab- weichung	Außen- durchmesser ca. in mm	Zulässiger Über- und Unterdruck in Pa
50	50	0/+ 1,0	57	3150
63	63			
71	71			
80	80			
90	90			
100	100			
125	125			
140	140			
150	150	0/+ 2,0	161	2500
160	160			
180	180			
200	200			
224	224			
250	250			
300	300			
315	315			
350	350	0/+ 3,0	364	1600
400	400			
450	450			
500	500			



- Der minimale Biegeradius beträgt 1 x DN, bei erschwerten Montagebedingungen auch 1,5xDN
- Die Biegehäufigkeit beträgt 7
- Fertigung aus Aluminium, verzinktem Stahlblech oder Edelstahl

Blechkanäle gefalzt und geschweißt DIN EN 1505: 1998-02

Querschnittsfläche A in m^2 und hydraulischer Durchmesser bei Maßen a, b in mm

a/b	2000	1800	1600	1400	1200	1000	800	600	500	400	300	250	200	150	100
100	0,200 190	0,180 189	0,160 188	0,140 187	0,120 185	0,100 182	0,080 178	0,060 171	0,050 167	0,040 160	0,030 150	0,025 143	0,020 133	0,015 120	0,010 100
200	0,399 364	0,360 360	0,320 356	0,280 350	0,240 343	0,200 333	0,160 320	0,120 300	0,100 286	0,080 267	0,060 240	0,050 222	0,040 200		
250	0,500 444	0,450 439	0,400 432	0,350 424	0,300 414	0,250 400	0,200 381	0,150 353	0,125 333	0,100 308	0,075 273	0,063 250			
300	0,600 522	0,540 514	0,480 505	0,420 494	0,360 480	0,300 462	0,240 436	0,180 400	0,150 375	0,120 343	0,090 300				
400	0,800 667	0,720 655	0,640 640	0,560 622	0,480 600	0,400 571	0,320 533	0,240 480	0,200 444	0,160 400					
500	1,000 800	0,900 783	0,800 762	0,700 737	0,600 706	0,500 667	0,400 615	0,300 545	0,250 500						
600	1,200 923	1,080 900	0,960 873	0,840 840	0,720 800	0,600 750	0,480 686	0,360 600							
800	1,600 1143	1,440 1108	1,280 1067	1,120 1018	0,960 960	0,800 889	0,640 800								
1000	2,000 1333	1,800 1286	1,600 1231	1,400 1167	1,200 1091	1,000 1000									
1200	2,400 1500	2,160 1440	1,920 1371	1,680 1292	1,440 1200										
1400	2,800 1647	2,520 1575	2,240 1493	1,960 1400											
1600	3,200 1778	2,880 1694	2,560 1600												
1800	3,600 1895	3,240 1800													

Die obere Zeile enthält jeweils die freie Querschnittsfläche A in m^2 , die untere Zeile den hydraulischen Durchmesser d_h in mm.

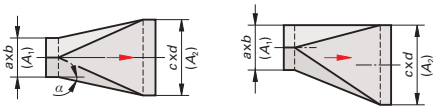
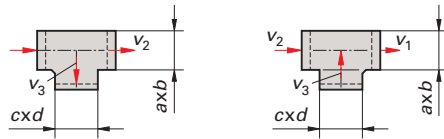
$$d_h = \frac{2 \cdot a \cdot b}{(a + b)} = \frac{4 \cdot A}{U}$$

hydraulischer Durchmesser

B Für einen Kanal mit $a = 800 \text{ mm}$, $b = 500 \text{ mm}$ soll der hydraulische Durchmesser bestimmt werden.

$$d_h = \frac{2 \cdot a \cdot b}{(a + b)} = \frac{2 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 500 \text{ mm}}{(800 \text{ mm} + 500 \text{ mm})} = 615 \text{ mm}$$

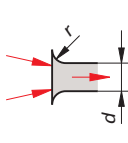
Der hydraulische Durchmesser ist der Durchmesser eines Lüftungsrohres, das bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit den selben \rightarrow Druckabfall wie der rechteckige Kanal erzeugt.

Druckverluste durch Einbauten (Fortsetzung)**Widerstandsbeiwerte von Formstücken in RLT-Anlagen (Fortsetzung)****Übergangsstücke****Abzweig 90°**

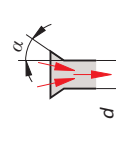
A_1/A_2	$\alpha = 5^\circ$	$7,5^\circ$	10°	15°	20°	$>30^\circ$	Trennung					Vereinigung			
0,5	0,06	0,08	0,12	0,20	0,28	0,29	v_3/v_1	0,4	0,6	0,8	1,0	0,4	0,6	0,8	1,0
0,33	0,10	0,15	0,21	0,37	0,46	0,49	ζ_3	7	3,4	2,1	1,5	0,5	0,9	1,3	1,5

Verschiedenartige Formstücke und Einbauten**Einstromöffnung scharfkantig**

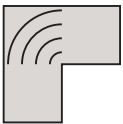
ζ	0,9	1,25
ζ	0,6	0,7

Einstromöffnung abgerundet

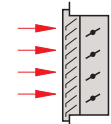
r/d	ζ
0,25	0,2
0,5	0,1
0,75	0,05
1,0	0,005

Einstromöffnung winkelig

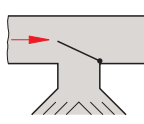
α°	ζ
15	0,5
30	0,3
45	0,3
60	0,4

Bogen 90° mit Leitblechen

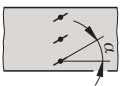
Der ζ -Wert beträgt 0,35

Außen- und Fortluftgitter

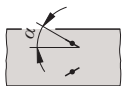
$\zeta = 10$
Starke Abhängigkeit von der Jalousienstellung

Deckenzu- und Abluftgitter

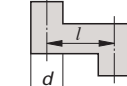
$\zeta = 2,0$
Starke Abhängigkeit von der Klappenstellung

Jalousienklappe gleichläufig

α°	ζ
0	0,25
15	0,7
30	2,2
45	6,5
60	20

Jalousienklappe gegenläufig

α°	ζ
0	0,35
15	1,1
30	3,3
45	10
60	30

Etagenstück

l/d	ζ
0,5	1,6
1,0	1,9
2,0	2,1
3,0	2,3
4,0	2,5

Grundsätze der Dimensionierung**Dimensionierung von Lüftungsleitungen in RLT-Anlagen**

Aus der Berechnungsgleichung für den \rightarrow Volumenstrom ergibt sich das gesuchte Maß, gewählt wird das nächst größere Maß.

$$b = \frac{\dot{V}_h}{a \cdot v \cdot 3600 \text{ s/h}}$$

Erforderliches Kanalmaß

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}_h}{\pi \cdot v \cdot 3600 \text{ s/h}}}$$

Erforderlicher Rohrdurchmesser

$$v_{\text{tat}} = \frac{b}{b_{\text{gewählt}}} \cdot v$$

Tatsächliche Strömungsgeschwindigkeit bei Kanälen

b	Gesuchtes Rechteckmaß	m
a	Vorgegebenes Maß	m
v	Gewählte Strömungsgeschwindigkeit	m/s
\dot{V}_h	Stündlicher Volumenstrom	m ³ /h
d	Gesuchter Durchmesser	m
v_{tat}	Tatsächliche Strömungsgeschwindigkeit	m/s
b	Errechnete Breite/Höhe	m; mm
$b_{\text{gewählt}}$	Gewählte Breite/Höhe	m; mm
v	Geschwindigkeitsannahme	m/s
d	Errechneter Durchmesser	m; mm
$d_{\text{gewählt}}$	Gewählter Durchmesser	m; mm

Kriterien für die Auswahl von Luftbefeuchtern													
Bewertungskriterien													
	Zerstäubung						Verdunstung		Verdampfung				
	Luftwäscher	Ultraschallbefeuchter		Scheibenzerstäuber		Verdunstungsfilter	Dampf-befeuchter						
Funktion													
Luftbefeuchtung	+++	+++		+++		+++	+++						
Adiabatische Kühlung	++++	+++		++		+++	–						
Luftreinigung	++	–		–		+++	–						
Platzierung													
Kanaleinbau	++	++		++		+++	++++						
Klimagerät	++	+++		++		+++	+++						
Mobil –	++	++		++		++++							
Luftgeschwindigkeit in m/s													
	1 ... 4	... 3		... 6		1 ... 2,5	... 10						
Wirkungsgrad der Befeuchtung $\Delta x/\Delta x_{\max}$ in %													
	... 98	... 100		... 95		... 93	... 100						
Luftvolumenstrom in m³/h													
> 8000	++++	+++		+		++	++						
2500 ... 8000	+++	+++		++		+++	+++						
< 2500	++	+++		+++		+++	+++						
Befeuchtungsleistung Δx in g/kg													
> 7	+++	++		+		+	++						
3 ... 7	+++	+++		++		++	+++						
< 3	+++	+++		++		+++	+++						
++++: sehr gut; +++: gut; ++ ausreichend; + möglichst vermeiden; – nicht möglich													
Leistung eines Dampfbefeuchters überschlägig ($\eta_{el} = 0,9$) in kW													
Außenluftvolumenstrom in m³/h	Befeuchtung $\Delta x = x_{ZUL} - x_{AUL}$ in g/kg												
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10
	Leistungsaufnahme des Dampfbefeuchters in kW												
500	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9
1000	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,9	2,3	2,7	3,1	3,5	3,9
1500	0,6	0,9	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3	2,9	3,5	4,1	4,6	5,2	5,8
2000	0,8	1,2	1,5	1,9	2,3	2,7	3,1	3,9	4,6	5,4	6,2	6,9	7,7
2500	1,0	1,4	1,9	2,4	2,9	3,4	3,9	4,8	5,8	6,8	7,7	8,7	9,6
3000	1,2	1,7	2,3	2,9	3,5	4,1	4,6	5,8	6,9	8,1	9,3	10,4	11,6
3500	1,4	2,0	2,7	3,4	4,1	4,7	5,4	6,8	8,1	9,5	10,8	12,2	13,5
4000	1,5	2,3	3,1	3,9	4,6	5,4	6,2	7,7	9,3	10,8	12,3	13,9	15,4
5000	1,9	2,9	3,9	4,8	5,8	6,8	7,7	9,6	11,6	13,5	15,4	17,4	19,3
6000	2,3	3,5	4,6	5,8	6,9	8,1	9,3	11,6	13,9	16,2	18,5	20,8	23,1
8000	3,1	4,6	6,2	7,7	9,3	10,8	12,3	15,4	18,5	21,6	24,7	27,8	30,9
10000	3,9	5,8	7,7	9,6	11,6	13,5	15,4	19,3	23,1	27,0	30,9	34,7	38,6
20000	7,7	11,6	15,4	19,3	23,1	27,0	30,9	38,6	46,3	54,0	61,7	69,4	77,2
30000	11,6	17,4	23,1	28,9	34,7	40,5	46,3	57,9	69,4	81,0	92,6	104	116
40000	15,4	23,1	30,9	38,6	46,3	54,0	61,7	77,2	92,6	108	123	139	154
45000	17,4	26,0	34,7	43,4	52,1	60,8	69,4	86,8	104	122	139	156	174
50000	19,3	28,9	38,6	48,2	57,9	67,5	77,2	96,5	116	135	154	174	193
60000	23,1	34,7	46,3	57,9	69,4	81,0	92,6	116	139	162	185	208	231
70000	27,0	40,5	54,0	67,5	81,0	94,5	108	135	162	189	216	243	270

6

7

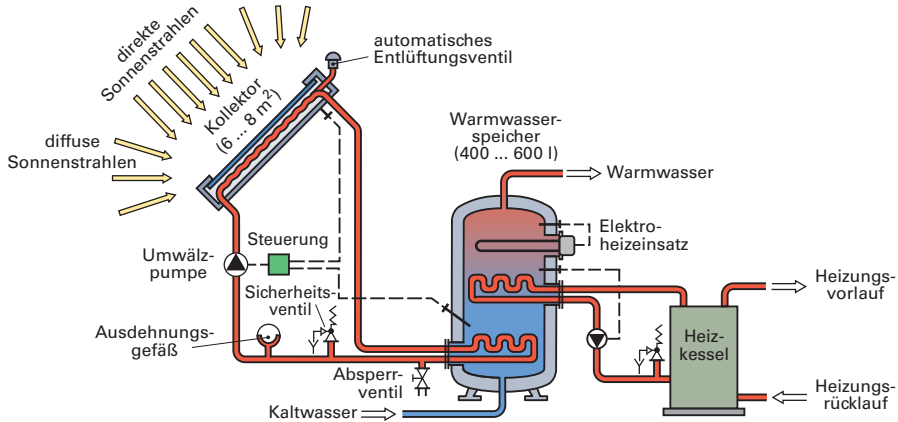
8



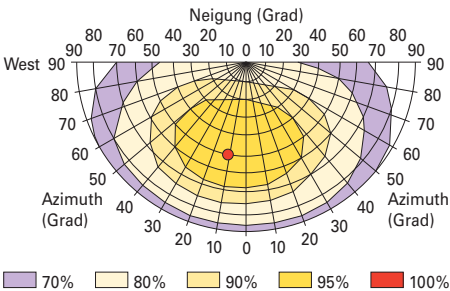
Sonnenkollektoranlagen (Fortsetzung)

Aufbau einer Kollektoranlage und standortabhängige Einflussfaktoren

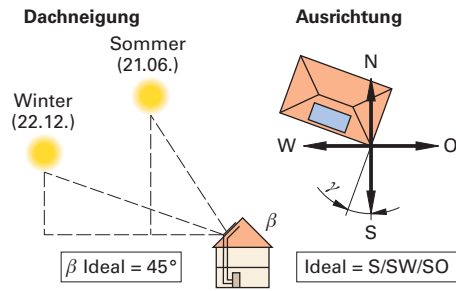
Anlagenschema einer Warmwasseraufbereitungsanlage mit Heizungsunterstützung



Einfluss von Dachneigung und Ausrichtung auf den Anlagenwirkungsgrad

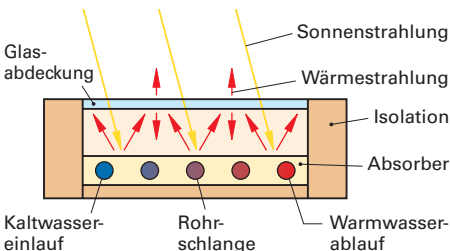


Abhängigkeit des Solarertrags von Neigung und Ausrichtung der Kollektorfläche

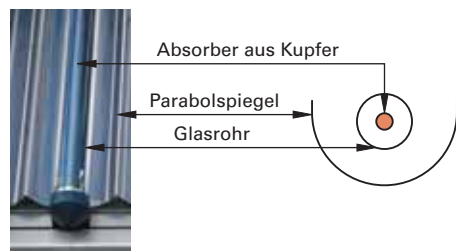


Bauart des Kollektors	η_{optisch}	k-Wert in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Prozesstemperatur in $^{\circ}\text{C}$
Absorber ohne Glasscheibe	0,82 bis 0,97	10 bis 30	bis 40
Flachkollektor	0,66 bis 0,83	2,9 bis 5,3	20 bis 80
Vakuum-Flachkollektor	0,81 bis 0,83	2,6 bis 4,3	20 bis 120
Speicherkollektor	0,5 bis 0,84	2,6 bis 4,3	20 bis 70
Vakuum-Röhrenkollektor	0,62 bis 0,84	0,7 bis 2,0	50 bis 150
Luftkollektor	0,62 bis 0,84	8 bis 30	20 bis 50

Flachkollektor



Vakuum-Röhrenkollektor



Gefahrensymbole und Gefahrenbezeichnungen

Das Global Harmonisierte System (GHS) der Vereinten Nationen vereinheitlicht weltweit die Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (ab 20.01.2009 in Kraft, verbindlich ab 01.12.2010 für Stoffe und ab 01.06.2015 für Gemische).


Die kennzeichnenden Elemente des Systems sind:

- **Gefahrenpiktogramme** (Gefahrensymbole), z.B.  (entzündbare Stoffe)

- **Signalwort** (Gefahr oder Achtung)


- **Gefahrenhinweise (H-Sätze, ähnlich den bisherigen R-Sätzen)**, z.B. H220

H **2** **20**


Laufende Nummer (hier für *extrem entzündbares Gas*)
Gruppierung (2 Physikalische Gefahren 3 Gesundheitsgefahren 4 Umweltgefahren)
Gefahrenhinweis (Hazard Statement)

- **Sicherheitshinweise (P-Sätze, ähnlich den bisherigen S-Sätzen)**, z.B. P240

P **2** **40**


Laufende Nummer (40 für *Behälter und zu befüllende Anlage erden*)
Gruppierung (1 Allgemein 2 Prävention 3 Reaktion 4 Lagerung 5 Entsorgung)
Sicherheitshinweis (Precautionary Statement)

Pikto- gramm	Kodierung und Bezeichnung	Pikto- gramm	Kodierung und Bezeichnung
	GHS01 Explodierende Bombe Instabile explosive Stoffe und Gemische, Explosive Stoffe/Gemische und Erzeugnisse mit Explosivstoff, Selbstzersetzliche Stoffe und Gemische, Organische Peroxide		GHS06 Totenkopf mit gekreuzten Knochen Akute Toxizität (oral, dermal, inhalativ)
	GHS02 Flamme Entzündbare Gase, Entzündbare Aerosole, Entzündbare Flüssigkeiten, Entzündbare Feststoffe, Selbstzersetzliche Stoffe und Gemische, pyrophore Flüssigkeiten, pyrophore Feststoffe, Selbsterhitzungsfähige Stoffe und Gemische, Stoffe und Gemische, die bei Berührung mit Wasser entzündbare Gase abgeben, Organische Peroxide		GHS07 Ausrufezeichen Akute Toxizität (oral, dermal, inhalativ), Reizung der Haut, Augenreizung, Sensibilisierung der Haut, Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition), Atemwegsreizung, narkotisierende Wirkungen
	GHS03 Flamme über einem Kreis Oxidierende Gase, Oxidierende Flüssigkeiten, Oxidierende Feststoffe		GHS08 Gesundheitsgefahr Sensibilisierung der Atemwege, Keimzellmutagenität, Karzinogenität, Reproduktionstoxizität, Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition), Spezifische Zielorgan-Toxizität (wiederholte Exposition), Aspirationsgefahr
	GHS04 Gasflasche Gase unter Druck: verdichtete Gase, verflüssigte Gase, tiefgekühlt verflüssigte Gase, gelöste Gase		
	GHS05 Ätzwirkung Auf Metalle korrosiv wirkend, Hautätzend, Schwere Augenschädigung		GHS09 Umwelt Gewässergefährdend – akut gewässergefährdend – chronisch gewässergefährdend