



## Hinweise zur Arbeit mit diesem Tabellenbuch

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

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

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

<b>1.1 Allgemeine Grundlagen</b>	<b>5</b>
Griechisches Alphabet	6
Römische Ziffern	6
Basisgrößen und Basiseinheiten	6
Vorsätze vor Einheiten	7
Formelzeichen und Einheiten	7
<b>1.2 Allgemeine Mathematik</b>	<b>15</b>
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
<b>1.3 Technische Mathematik</b>	<b>33</b>
Teilung von Längen (Gitterteilung)	33
Teilung auf dem Lochkreis	33
Rohlängen von Pressteilen (Schmiedelänge)	33
Gestreckte Längen (kreisförmig gebogen)	34
Zusammengesetzte Längen und zusammengesetzte Flächen	34
Berechnung der Masse bei Halbzeugen	34
Volumeninhalt und Oberfläche wichtiger Behälterböden	35
Inhalt unregelmäßiger Flächen	35
Diagramme und Nomogramme	36



Sonnenuntergang  
mit Windrad

1

2

3

4

5

6

7

8

## Griechisches Alphabet

Großbuchstabe	Kleinbuchstabe	Bedeutung	Name	Großbuchstabe	Kleinbuchstabe	Bedeutung	Name
A	α	a	Alpha	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 ISO<sup>1)</sup> und Basiseinheiten (SI-Einheiten<sup>2)</sup>)

## 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

<sup>1)</sup> International System of Quantities (Internationales Größensystem)

<sup>2)</sup> 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 <b>0</b> bis <b>4</b> , wird <b>abgerundet</b> , d. h. die Ziffer auf der Rundestelle behält ihren Wert. Steht rechts neben der Rundestelle eine der Ziffern <b>5</b> bis <b>9</b> , wird <b>aufgerundet</b> , d. h. die Ziffer auf der Rundestelle um den Wert <b>1</b> 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: <b>7,658</b></p> <p>Zu rundende Zahl: 526,2364                      Rundestelle: ↑                      Halber Rundestellenwert: 0,005                      Summe: 526,2414                      Gerundete Zahl: <b>526,24</b></p>

**Runden einer negativen Zahl**

Regel	Beispiel
Der <b>Betrag</b> 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: <b>-7,658</b></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:

$\vartheta$ in °C	$\rho$ in kg/m <sup>3</sup>
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  $\rho_{55}$  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/m<sup>3</sup> +  $(983,2$  kg/m<sup>3</sup> -  $988,1$  kg/m<sup>3</sup>) ·  $0,5$   
 $y = \rho_{55} = \mathbf{985,65$  kg/m<sup>3</sup>

**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.

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

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

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

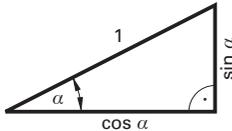
Der Tangens eines Winkels ist gleich dem Cotangens seines Ergänzungswinkels (Komplementwinkel) und umgekehrt.

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

**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)

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

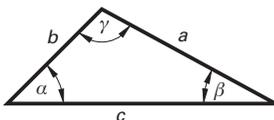
$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

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

**Wichtige Funktionswerte der vier Winkelfunktionen**

	$0^\circ$	$30^\circ = \frac{\pi}{6}$ 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	$\sqrt{3} = 1,7321$	$\infty$	0	0
cot	$\infty$	$\sqrt{3} = 1,7321$	1	$\frac{1}{3} \cdot \sqrt{3} = 0,5774$	0	$\infty$	$\infty$

**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**

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

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

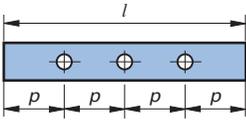
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma$$

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)**

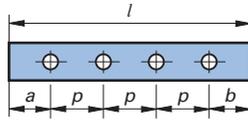
**Randabstand = Teilung**



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

$$z = n + 1$$

**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 (gleich oder ungleich) mm

**Teilung auf dem Lochkreis**

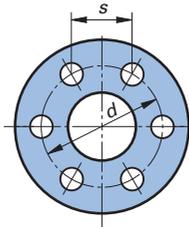
$$s = d \cdot \sin \frac{180^\circ}{n} = d \cdot k$$

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

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

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

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



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

(→ Flanschverbindungen)

**Sehnenkonstanten:**

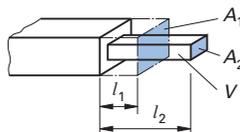
$n$	$k$	$n$	$k$	$n$	$k$	$n$	$k$
1	0,00000	26	0,12054	51	0,06156	76	0,04132
2	1,00000	27	0,11609	52	0,06038	77	0,04079
3	0,86603	28	0,11196	53	0,05924	78	0,04027
4	0,70711	29	0,10812	54	0,05814	79	0,03976
5	0,58779	30	0,10453	55	0,05709	80	0,03926
6	0,50000	31	0,10117	56	0,05607	81	0,03878
7	0,43388	32	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 mm<sup>2</sup>
- $A_2$  Endquerschnitt mm<sup>2</sup>
- $V$  Volumen mm<sup>3</sup>

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

**Definition des Kreisprozesses und thermischer Wirkungsgrad**

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

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

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

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

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

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

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

**Nutzarbeit**

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

(→ Mechanische Arbeit)

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

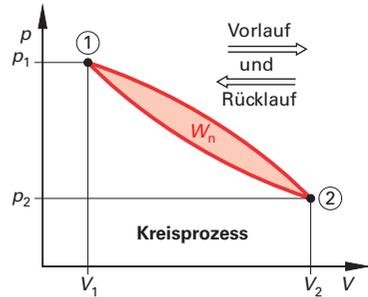
**thermischer Wirkungsgrad**

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

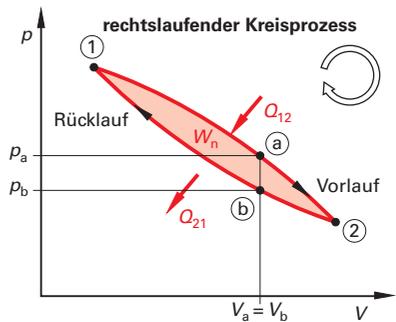
Bei der Berechnung des thermischen Wirkungsgrades  $\eta_{th}$  wird die Nutzarbeit  $W_n$  aus der Differenz der Flächen unter den Zustandskurven im p, V-Diagramm ermittelt.

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

(→ Thermodynamische Zustandsänderungen)



**Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik (2. HS)**



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

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

**Diesel-Prozess** (Gleichdruckprozess):

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

**thermischer Wirkungsgrad**

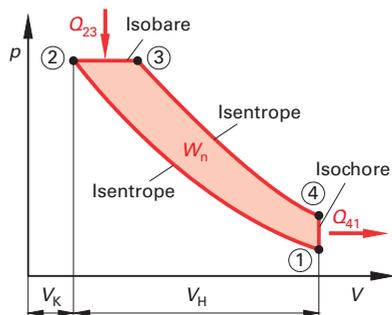
$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\kappa-1}} \cdot \frac{\varphi^{\kappa} - 1}{\kappa \cdot (\varphi - 1)}$

**Verdichtungs- verhältnis**

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

**Einspritzverhältnis**

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



2

3

4

5

6

7

8

**Wärmetransport** (Fortsetzung)

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

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

$v =$  Strömungsgeschwindigkeit des Fluids in m/s

Weitere  $\alpha$ - und  $k$ -Werte: VDI-Wärmeatlas sowie im Anwendungsbereich dieses Tabellenbuches.

**Wärmestrahlung**

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

**Anmerkung:**

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

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

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

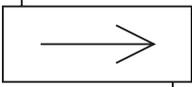
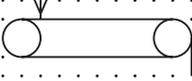
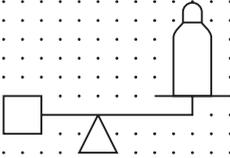
Auf der nächsten Seite sind **zwei wichtige Fälle** einer Wärmeübertragung durch Strahlung beschrieben.

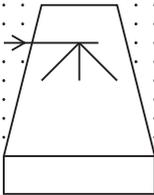
( $\rightarrow$  Sonnenstrahlung, Sonnenenergie)

**Emissions- und Absorptionskoeffizienten**

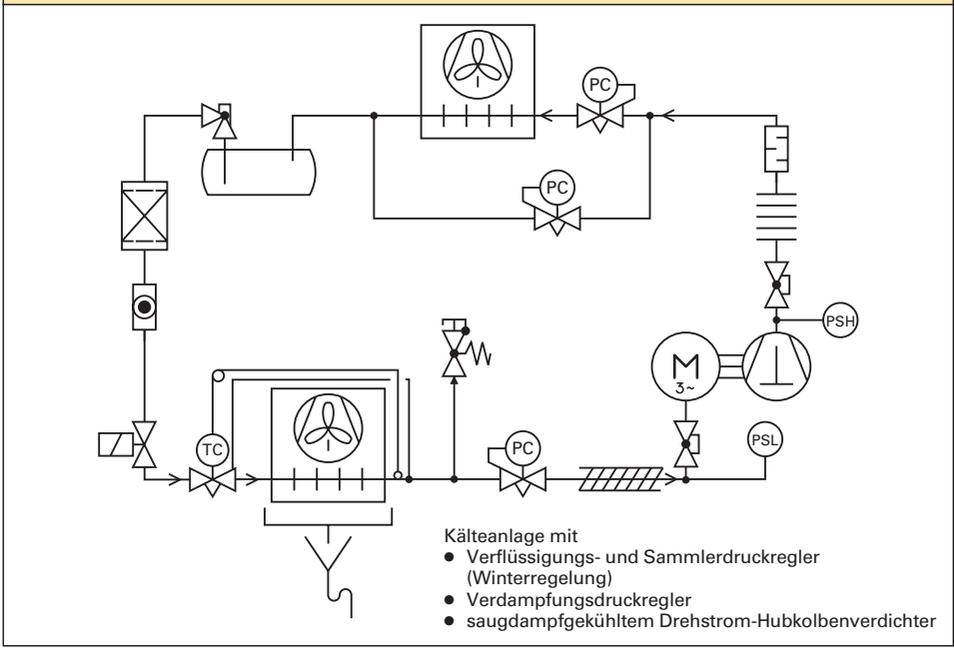
Oberfläche (senkrechte Strahlung)	$\varepsilon = a$
Dachpappe, schwarz	0,91
Schamottesteine	0,75
Ziegelsteine	0,92
Wasseroberfläche	0,95
Eisoberfläche	0,96
Buchenholz	0,93
Aluminium, poliert	0,04
Kupfer, poliert	0,03
Stahl, poliert	0,26
Stahl, stark verrostet	0,85
Heizkörperlack	0,93
schwarzer Mattlack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

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

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

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

Fließbild Beispiel



3

4

5

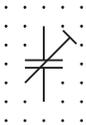
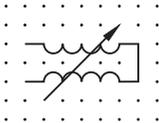
6

7

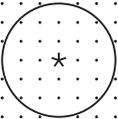
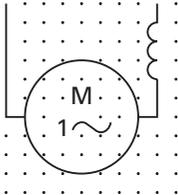
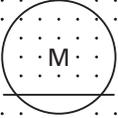
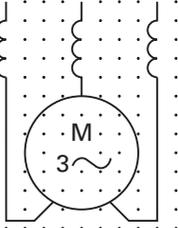
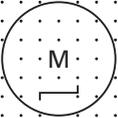
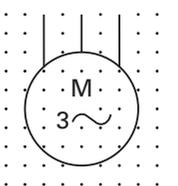
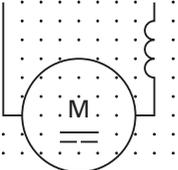
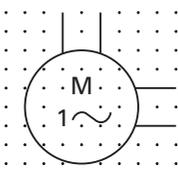
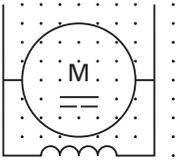
8

**Auswahl von grafischen Symbolen (Fortsetzung)**

(nach DIN EN 60617: 1997-08)

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

**Erzeugung und Umwandlung elektrischer Energie**

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

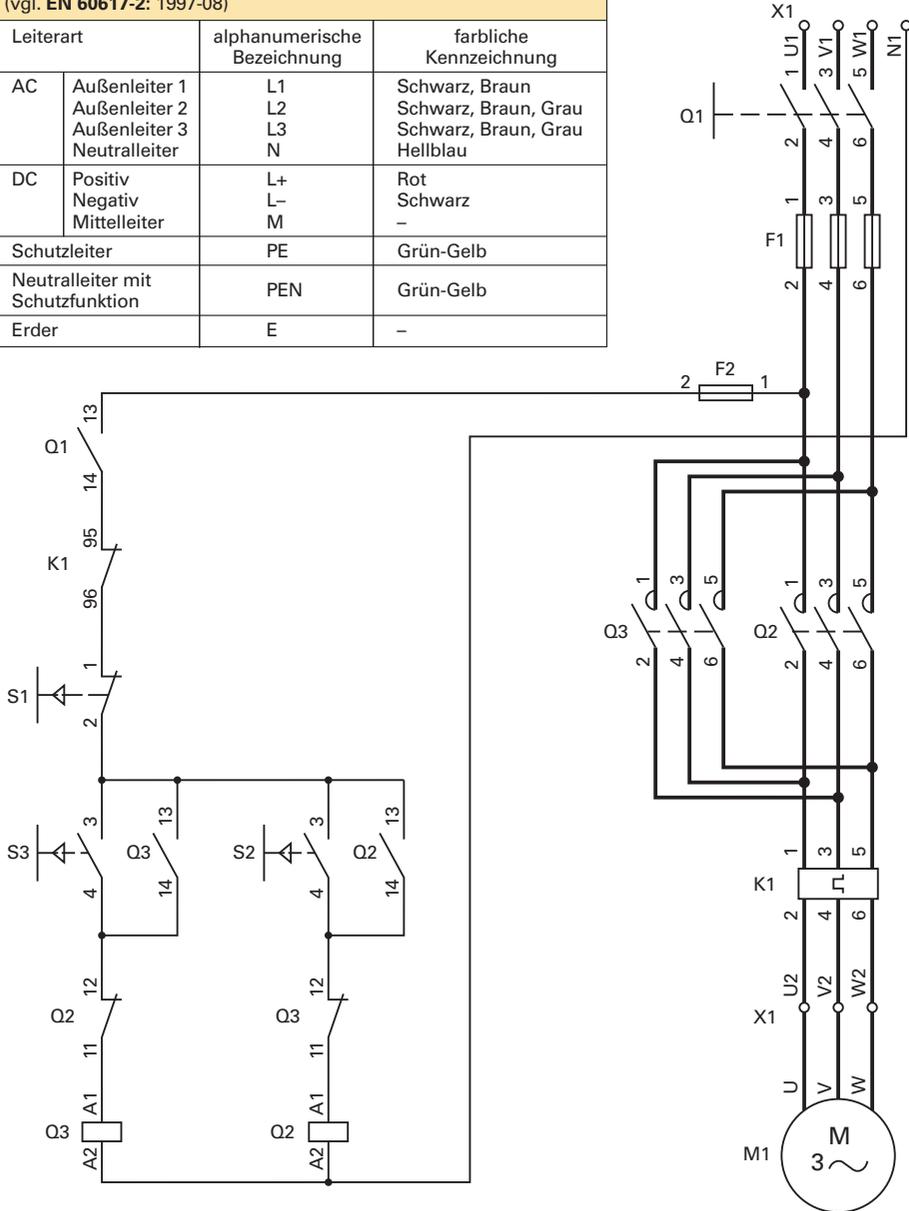
Darstellungsarten für Schaltpläne (Fortsetzung)

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

Beispiele (Auswahl)

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

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



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

3  
4  
5  
6  
7  
8

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

3

4

5

6

7

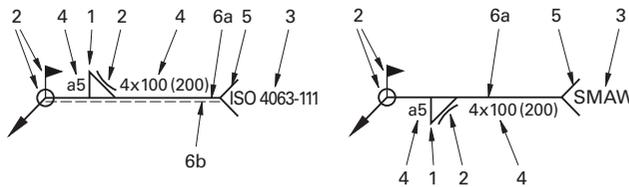
8

Lage der Symbole in Zeichnungen (Fortsetzung)

(nach DIN EN ISO 2553: 2014-04)

Beispiel

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



Legende:

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

Schweißsymbol System A

Schweißsymbol System B

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

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

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

Pfeilseite/Gegenseite – System A

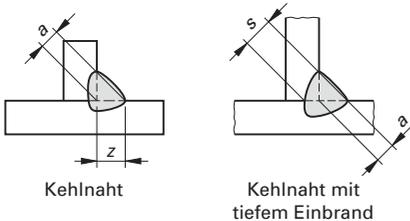
- Symbol auf Volllinie – Naht auf Pfeilseite
- Symbol auf Strichlinie – Naht auf Gegenseite

Pfeilseite/Gegenseite – System B

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

Bemaßung der Nähte

(nach DIN EN ISO 2553: 2019-12)

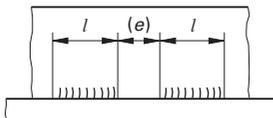


$$z = a \cdot \sqrt{2}$$

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

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

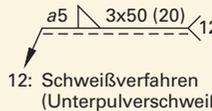
Man unterscheidet durchgehende und unterbrochene Nähte



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

B Eintragsbeispiel: Kehlnaht

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

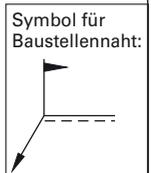


Weitere Bemaßungsregeln in Tabelle 6 der DIN EN ISO 2553: 2019-12

Kennzeichen für Schweiß- und Lötverfahren an Metallen

(nach DIN EN ISO 4063: 2011-03)

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



Dämmstoffe für den praktischen Wärmeschutz bzw. Kälteschutz (Fortsetzung)

7. und 8. Kennziffer: Klassifizierungstemperatur (obere Anwendungstemperatur in °C)	AGI-Arbeitsblätter									
	Q 132		Q 133-3		Q 137		Q 141		Q 143	
	Gruppe	°C	Gruppe	°C	Gruppe	°C	Gruppe	°C	Gruppe	°C
	10	100	07	70	10	100	30	300	01	80
	12	120	08	80	15	150	35	350	02	85
	14	140	09	90	20	200	40	400	03	90
	16	160	10	100	25	250	45	450	04	95
	∴	∴	Q 134		30	300	50	500	05	100
	72	720			35	350	55	550	06	105
	74	740	01	80	40	400	60	600		
	76	760	02	85	43	430	65	650		
	Q 133-1		03	90	50	500	70	700		
			04	95	55	550	75	750		
	07	70	05	100	Q 139		Q 142			
	08	80	06	105						
	Q 133-2		07	110	05	50	07	700		
			07	70	08	115	06	60		
	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/m <sup>3</sup>	bei 10% Stauchung in N/mm <sup>2</sup>	in N/mm <sup>2</sup>	in kg/m <sup>3</sup>	bei 5% Stauchung in N/mm <sup>2</sup>

bei AGI-Arbeitsblatt	Q 132, Q 133-1 Q 133-3, Q 134 Q 139, Q 143	Q 133-2	Q 137	Q 141	Q 142
----------------------	--	---------	-------	-------	-------

9. und 10. Kennziffer kann also Rohdichte, Druckspannung, Druckfestigkeit, Nennschüttdichte bedeuten.	Unterschiedlich in den einzelnen AGI-Arbeitsblättern.  z.B. bei Q 132: 0,2 ≥ 20 kg/m <sup>3</sup> oder Q 133-1: 20 ≥ 20 kg/m <sup>3</sup>	Gruppe	N/mm <sup>2</sup>						
		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						

**B 12.06.01.56.10:** Bezeichnung eines Mineraldämmstoffes aus Steinwolle als versteppte Matte, Wärmeleitfähigkeitskurve 1, Klassifizierungstemperatur 560 °C, Rohdichte 100 kg/m<sup>3</sup>.

**61.21.02.75.65:** Bezeichnung eines Dämmstoffes aus Blähperlit-Körnung 0 bis 1,5 mm, Wärmeleitfähigkeitskurve Bild 2, obere Anwendungstemperatur 750 °C, Schüttdichte 65 kg/m<sup>3</sup>.

Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor (-widerstandszahl) μ (→ Diffusion)

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

Herstellerangaben unbedingt beachten, evtl. mit Gewährleistung.

4  
5  
6  
7  
8

Zustandsgrößen feuchter Luft und deren Berechnung

Assmann'sches Aspirationspsychrometer

Ermittlung des Luftzustandes nach der  $\rightarrow$  psychrometrischen Temperaturdifferenz:

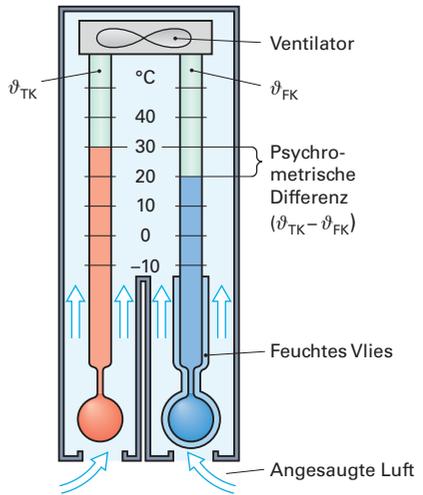
Die psychrometrische Temperaturdifferenz kann man mit Hilfe eines  $\rightarrow$  Psychrometers ermitteln:

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

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

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

Assmann'sches Aspirations-Psychrometer



Psychrometertafel

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

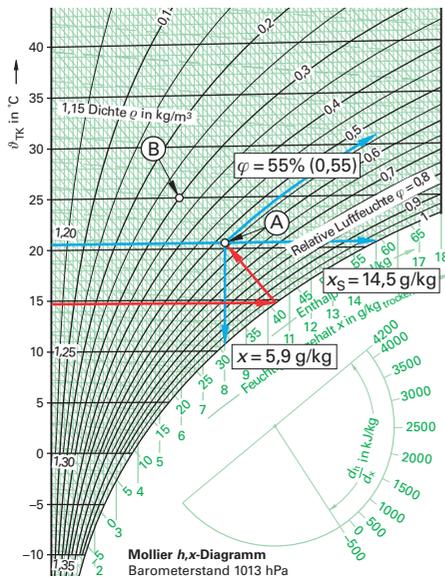
6

7

8

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

**Zustandsgrößen im  $h, x$ -Diagramm**



**Feuchte:**

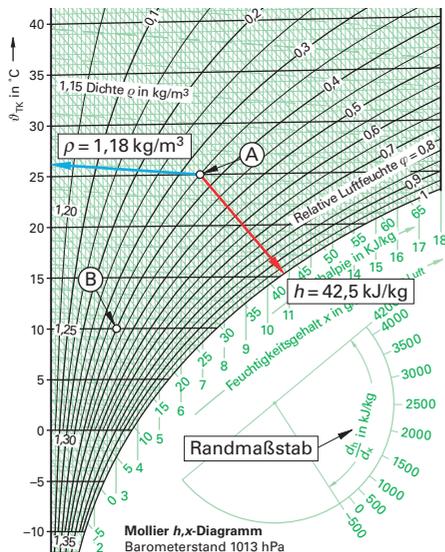
- $x$ : → absolute Feuchte (senkrechte Linien), gibt an, wieviel g Wasserdampf je kg trockener Luft enthalten sind [g/kg]
- $x_s$ : → Sättigungsfeuchte, gibt an, wieviel g Wasserdampf die Luft bei einer bestimmten Temperatur aufnehmen kann [g/kg] (entlang der Temperatur bis zur Sättigungslinie)
- $\varphi$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

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

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

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

**Zustandsgrößen im  $h, x$ -Diagramm**



**Dichte und spezifische Enthalpie**

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

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

Punkte in das  $h, x$ -Diagramm einzeichnen:

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

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

**Zusammenfassung:**

Mit dem  $h, x$ -Diagramm kann man Zustandsgrößen feuchter Luft bestimmen. Dies sind  $\vartheta_{TK}$ ,  $x$ ,  $\varphi$ ,  $\rho$  und  $h$ , indirekt bestimmbar sind  $\vartheta_{TP}$ ,  $\vartheta_{FK}$  und  $x_S$ .

**Ausnahmen:**

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

$\vartheta_{TK}$  mit  $x_S$   
 $\vartheta_{TP}$  mit  $x$   
 $\vartheta_{FK}$  mit  $h$

6

7

8

**Lichttechnische Größen (Fortsetzung)**

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

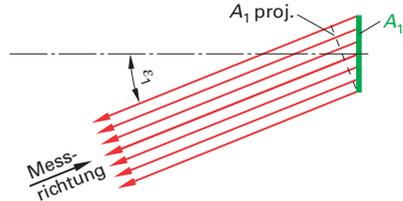
**Strahlungsdichte und Leuchtdichte:**

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

**Strahlendichte**

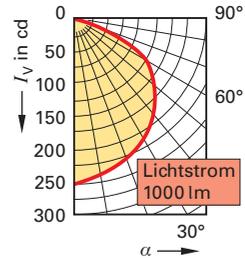
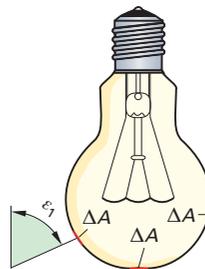
$$L_v = \frac{I_v}{A_1 \cdot \cos \varepsilon_1}$$

**Leuchtdichte**



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

- $L_e$  Strahlendichte W/(sr · m<sup>2</sup>)
- $I_e$  Strahlstärke W/sr
- $A_1$  Senderfläche m<sup>2</sup>
- $\varepsilon_1$  Abstrahlwinkel Grad
- $L_v$  Leuchtdichte cd/m<sup>2</sup>
- $I_v$  Lichtstärke cd



**Photometrisches Entfernungsgesetz:**

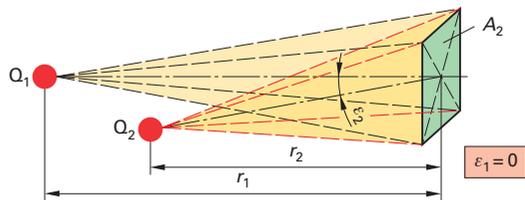
$$E_v = \frac{I_v \cdot \cos \varepsilon}{r^2}$$

**Beleuchtungsstärke**

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

**unbekannte Lichtstärke**

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



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

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

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

- $E_v$  Beleuchtungsstärke lm/m<sup>2</sup>
- $I_v$  Lichtstärke cd
- $\varepsilon$  Abstrahlwinkel Grad
- $I_e$  Strahlstärke W/sr
- $r$  Abstand von Lichtquelle zur Empfängerfläche m

**Index 1:** bekannte Lichtquelle (Normallampe)

**Index 2:** unbekante (zu messende) Lichtquelle

6

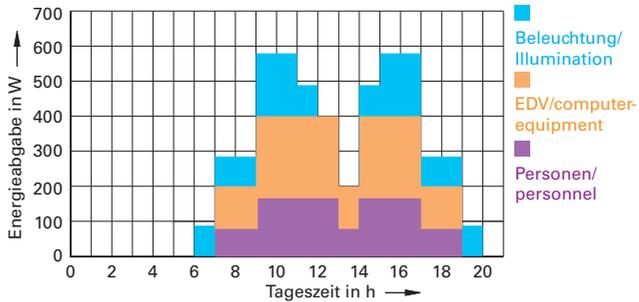
7

8

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

Innere Wärmequellen im Tagesgang

Beispiel eines Büros mit zwei Personen



Spezifische elektrische Bewertungsleistung in Abhängigkeit von Beleuchtungsart und Vorschaltgerät

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

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

Anpassungsfaktor  $k_R$  zur Berücksichtigung der Raumauslegung in Abhängigkeit des Raumindex  $k$

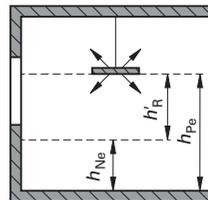
Raumindex $k$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Beleuchtungsart	Anpassungsfaktor $k_R$											
Direkt	1,08	0,97	0,89	0,82	0,77	0,68	0,63	0,58	0,55	0,53	0,51	0,48
Direkt/Indirekt	1,3	1,17	1,06	0,97	0,90	0,79	0,72	0,64	0,58	0,56	0,53	0,53
Indirekt	1,46	1,25	1,08	0,95	0,85	0,69	0,60	0,52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

Ermittlung des Raumindex  $k$

Raumindex  $k$

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

- $\alpha_R$  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	Metallhalogenlamp-Hochdruck mit KVG	1,0
Halogenglühlampen	5		
Leuchtstofflampen, externes Vorschaltgerät	EVG	1,2	Natriumdampf-Hochdruck mit KVG
	VVG	1,4	
	KVG	1,5	
Leuchtstofflampen kompakt, integriertes Vorschaltgerät	EVG	1,6	LED-Ersatzlampen (Ersatz für Glüh-, Halogen- bzw. Leuchtstofflampen) mit EVG
	VVG	-	
	KVG	-	
		LED in dafür konstruierten Leuchten mit EVG	1,1

6

7

8

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

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

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

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

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

## Raumtyp XL – sehr leicht

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

## Raumtyp L – leicht

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

## Raumtyp M – mittel

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

## Raumtyp S – schwer

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

## Raumtyp XS – sehr schwer

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

6

7

8

## Druckverluste durch gerade Leitungsabschnitte (Fortsetzung)

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

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

6

7

8

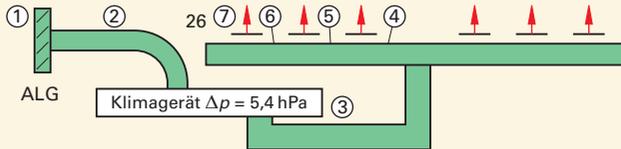
**Beispiel zur Druckverlustberechnung in RLT-Anlagen**

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

Folgen aus diesem Grundsatz für die Berechnung sind:

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

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



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

Der Gesamtvolumenstrom beträgt 8000 m<sup>3</sup>/h.

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

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

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

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

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

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

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

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

**Tabelle Zur Ermittlung des Gesamtdruckverlustes, Teil 1**

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

**Tabelle Zur Ermittlung des Gesamtdruckverlustes, Teil 2**

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

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

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

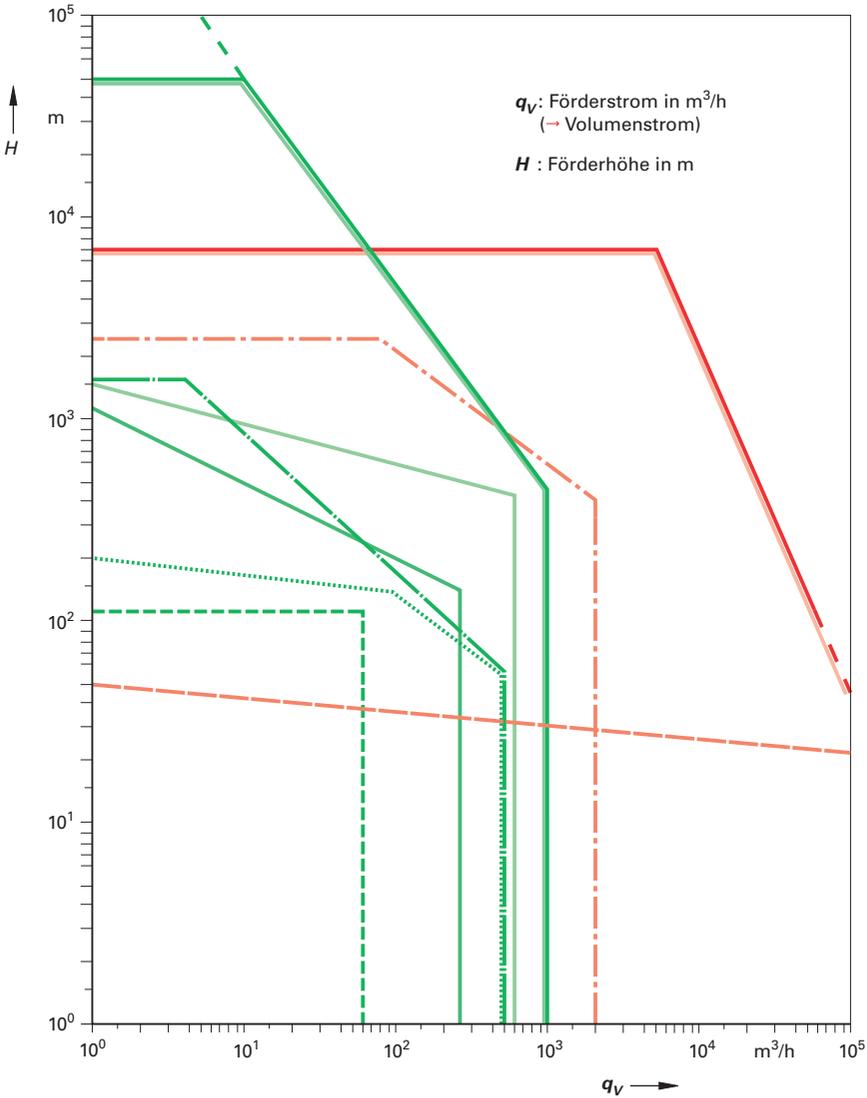
**Achtung:** Wenn  $d_h$  benutzt wird, muss  $R_0$  mit der Strömungsgeschwindigkeit  $v$  ermittelt werden, keinesfalls mit dem Volumenstrom.

6

7

8

Übersicht



Verdrängerpumpen:		Kreiselpumpen:
Hubkolbenpumpen	Kreiskolbenpumpen	Kreiselpumpen, radial
Schraubenspindelpumpen	Exzentrerschneckenpumpen	Kreiselpumpen, axial (Propellerpumpen)
Schlauchpumpen	Zahnradpumpen	Seitenkanalpumpen



**Regeln für den praktischen Schallschutz**

**Schutzbedürftige Räume**

DIN 4109-1, -2: 2018-01, -4: 2016-07

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

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

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

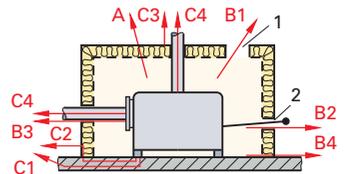
**Schallschutz durch Kapselung**

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

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

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

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



**Strömungsgeräusche**

VDI-Richtlinie 2081,  
Blatt 1: 2019-03

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