

Kai Schild | Wolfgang M. Willems

# Wärmeschutz

Grundlagen – Berechnung – Bewertung

**PRAXIS**



**VIEWEG+  
TEUBNER**

**DETAILWISSEN BAUPHYSIK**

Kai Schild | Wolfgang M. Willems

Wärmeschutz

Kai Schild | Wolfgang M. Willems

# Wärmeschutz

Grundlagen – Berechnung – Bewertung

PRAXIS



**VIEWEG+**  
**TEUBNER**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

1. Auflage 2011

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2011

Lektorat: Karina Danulat | Annette Prenzer

Vieweg+Teubner Verlag ist eine Marke von Springer Fachmedien.

Springer Fachmedien ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

[www.viewegteubner.de](http://www.viewegteubner.de)



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg

Druck und buchbinderische Verarbeitung: AZ Druck und Datentechnik, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-1456-2

# Vorwort

In den letzten Jahren hat sich das Fachgebiet der Bauphysik enorm verändert. Immer neue und umfassendere Erkenntnisse, Berechnungsvorschriften, Normen und Richtlinien haben dazu geführt, dass aus einem früher recht überschaubaren Fachgebiet ein unübersichtlicher Themenkomplex geworden ist. Umso wichtiger ist es, dass dem bauphysikalisch tätigen Praktiker Hilfe für seine tägliche Arbeit in der Art und Weise angeboten wird, dass er die wichtigsten fachlichen Grundlagen übersichtlich und eingängig aufbereitet findet. Zu diesem Zweck erschien im Jahr 2006 das zweibändige „Vieweg Handbuch Bauphysik“, welches mit über 1200 Seiten den ursprünglich geplanten Umfang um mehr als das Doppelte übertraf. Fünf Jahre später wurde im Zuge der anstehenden Überarbeitung dieses Werkes schnell klar, dass diese zweibändige Form nicht länger sinnvoll und der Komplexität der Inhalte angemessen ist. Die einzelnen Teilgebiete werden daher nun sukzessive in Einzelbänden aufgearbeitet und durch zusätzliche Veröffentlichungen zu Spezialthemen der Bauphysik ergänzt. Die Umsetzung dieses - wie der Verlag und wir hoffen - ganzheitlichen Konzeptes erfolgt innerhalb der Buchreihe „Detailwissen Bauphysik“.

Der vorliegende Band behandelt die Grundlagen des Wärmeschutzes sowie der angrenzenden Gebiete. Die benötigten Rechenverfahren und physikalischen Grundlagen werden in übersichtlicher Weise dargestellt und, wo nötig, kommentiert. Die hier dargestellten Zusammenhänge bilden die fachliche Grundlage für weiterführende Nachweisführungen, zum Beispiel im Rahmen der Energieeinsparverordnung. Insofern bildet dieser Band einen Gesamtkomplex mit dem in der gleichen Reihe bereits erschienenen Band „Energieeffizienzbewertung von Gebäuden“.

Ein Fachbuch wird - realistisch gesehen - auch trotz größter Bemühungen niemals umfassend und fehlerfrei sein. Daher bitten wir Sie, unsere Leser, darum, uns Anregungen, Kritik und Fehler mitzuteilen, auf dass wir dies in der nächsten Auflage berücksichtigen können.

Grafenwald und Marl im Januar 2011

Wolfgang Willems

Kai Schild

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Berechnungshilfen</b> .....	1
<b>1.1</b>	<b>Einheitenumrechnungstafeln</b> .....	1
1.1.1	Länge.....	1
1.1.2	Fläche.....	1
1.1.3	Volumen.....	1
1.1.4	Masse.....	2
1.1.5	Zeit.....	2
1.1.6	Kraft.....	2
1.1.7	Spannung.....	3
1.1.8	Druck.....	3
1.1.9	Arbeit.....	3
1.1.10	Leistung.....	4
1.1.11	Wärmeleitfähigkeit.....	4
1.1.12	Spezifische Wärmekapazität.....	4
1.1.13	Wärmedurchgangskoeffizient.....	4
1.1.14	Wärmestromdichte.....	5
<b>1.2</b>	<b>Griechisches Alphabet</b> .....	5
<b>1.3</b>	<b>Mathematische Grundlagen</b> .....	6
1.3.1	Flächenberechnung.....	6
1.3.2	Volumenberechnung.....	8
1.3.3	Rechenregeln.....	12
1.3.4	Trigonometrie.....	13
<b>1.4</b>	<b>Bauschraffuren gemäß DIN 1356-1 und DIN ISO 128-50</b> .....	14
<b>1.5</b>	<b>Wärme- und feuchtetechnische Kennwerte von Baustoffen</b> .....	16
1.5.1	Putze, Mörtel, Asphalt und Estriche.....	16
1.5.2	Beton.....	17
1.5.3	Bauplatten.....	19
1.5.4	Mauerwerk aus Klinkern und Ziegeln.....	20
1.5.5	Mauerwerk aus Kalksand-, Hütten- und Porenbeton-Plansteinen.....	21
1.5.6	Mauerwerk aus Betonsteinen.....	22
1.5.7	Wärmedämmstoffe.....	24
1.5.8	Holz und Holzwerkstoffe.....	28
1.5.9	Fußbodenbeläge, Abdichtstoffe, Dachbahnen, Folien.....	29

1.5.10	Lose Schüttungen .....	30
1.5.11	Glas, Natursteine.....	30
1.5.12	Lehmbaustoffe.....	31
1.5.13	Metalle .....	31
1.5.14	Böden .....	32
1.5.15	Gase .....	32
1.5.16	Gummi .....	33
1.5.17	Massive Kunststoffe .....	33
1.5.18	Eis, Wasser, Schnee .....	34
<b>2</b>	<b>Grundlagen des Wärmeschutzes .....</b>	<b>35</b>
<b>2.1</b>	<b>Grundbegriffe.....</b>	<b>35</b>
2.1.1	Rohdichte .....	35
2.1.2	Wärmeleitfähigkeit.....	35
2.1.3	Wärmetransport.....	36
2.1.4	Spezifische Wärmekapazität .....	38
2.1.5	Temperaturleitzahl.....	38
2.1.6	Wärmeeindringkoeffizient.....	39
2.1.7	Wärmestrom .....	40
2.1.8	Wärmestromdichte .....	40
<b>2.2</b>	<b>Wärmedämmstoffe .....</b>	<b>40</b>
2.2.1	Allgemeines .....	40
2.2.2	Anwendungstypen / -gebiete.....	42
2.2.3	Kennwerte am Markt verfügbarer Wärmedämmstoffe .....	44
<b>2.3</b>	<b>Wärmeübergangswiderstand .....</b>	<b>59</b>
<b>2.4</b>	<b>Wärmedurchlasswiderstand .....</b>	<b>62</b>
2.4.1	Wärmedurchlasswiderstand für eine Baustoffschicht .....	62
2.4.2	Wärmedurchlasswiderstand einer Luftschicht.....	63
2.4.3	Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume .....	67
<b>2.5</b>	<b>Wärmedurchgangswiderstand .....</b>	<b>68</b>
2.5.1	Einschichtige, homogene Bauteile .....	69
2.5.2	Mehrschichtige homogene Bauteile .....	69
2.5.3	Mehrschichtige inhomogene Bauteile .....	69
<b>2.6</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient opaker Bauteile .....</b>	<b>71</b>
2.6.1	Korrektur des U-Wertes bei Luftspalten im Bauteil .....	72

---

2.6.2	Korrektur des U-Wertes bei Durchdringung der Dämmschicht durch Befestigungsteile .....	73
2.6.3	Korrektur des U-Wertes durch Niederschlag auf Umkehrdächern.....	74
2.6.4	Berechnung des U-Wertes für Bauteile mit keilförmigen Schichten .....	75
2.6.5	Berechnung des U-Wertes für zweischalige Dach- und Wand-aufbauten im Stahleleichtbau .....	76
2.6.6	Berechnung des U-Wertes für Metall-Sandwichelemente .....	85
2.6.7	Berechnung des U-Wertes für Beton-Sandwichelemente .....	87
<b>2.7</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient erdberührter Bauteile</b> .....	<b>93</b>
2.7.1	Einordnung der Verfahren .....	93
2.7.2	Berechnungsverfahren gemäß DIN EN ISO 13370 .....	94
2.7.3	Bewertung der Rechenverfahren .....	102
<b>2.8</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient von Fenstern</b> .....	<b>107</b>
2.8.1	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung .....	107
2.8.2	Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens .....	110
2.8.3	Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters.....	113
<b>2.9</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient von Türen</b> .....	<b>119</b>
2.9.1	Vollverglaste Türen .....	119
2.9.2	Türen mit Verglasungen und opaken Füllungen .....	119
2.9.3	Türen ohne Verglasung.....	119
2.9.4	Experimentelle Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten kompletter Fenster und Türen .....	120
<b>2.10</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient von Vorhangfassaden</b> .....	<b>120</b>
2.10.1	Einzelbeurteilungsmethode gemäß DIN EN 13947 .....	120
2.10.2	Komponentenmethode gemäß DIN EN 13947 .....	125
<b>2.11</b>	<b>Wärmedurchgangskoeffizient von Rohrleitungen</b> .....	<b>128</b>
<b>2.12</b>	<b>Temperaturverteilungen in Bauteilen</b> .....	<b>129</b>
2.12.1	Eindimensional, stationär .....	129
2.12.2	Eindimensional, instationär .....	131
2.12.3	Mehrdimensionale Aufgabenstellungen .....	136
<b>2.13</b>	<b>Wärmebilanzen</b> .....	<b>138</b>
2.13.1	Einführung .....	138
2.13.2	Netzwerk-Verfahren .....	138
2.13.3	Anwendung auf eindimensionale Aufgabenstellungen .....	141

---

<b>3</b>	<b>Wärmebrücken</b> .....	145
<b>3.1</b>	<b>Einführung</b> .....	145
3.1.1	Definition „Wärmebrücke“ .....	145
3.1.2	Auswirkungen von Wärmebrücken .....	149
<b>3.2</b>	<b>Rechnerische Untersuchung von Wärmebrücken</b> .....	151
3.2.1	Allgemeines .....	151
3.2.2	Randbedingungen gemäß DIN EN ISO 10211 .....	153
3.2.3	Randbedingungen gemäß DIN 4108, Beiblatt 2 .....	156
3.2.4	Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten.....	159
3.2.5	Ermittlung des punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten.....	162
3.2.6	Wärmebrückenkataloge .....	164
3.2.7	Sonderfall Erdreich.....	164
3.2.8	Weitere Definitionslücken und Sonderfälle .....	172
<b>3.3</b>	<b>Sanierung von Wärmebrücken durch Beheizung</b> .....	173
3.3.1	Anwendungsfälle .....	173
3.3.2	Passive Beheizung.....	173
3.3.3	Aktive Beheizung.....	176
<b>4</b>	<b>Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz</b> .....	177
<b>4.1</b>	<b>Abgrenzung und Historie</b> .....	177
<b>4.2</b>	<b>Mindestwärmeschutz – DIN 4108-2</b> .....	179
4.2.1	Bautechnische Maßnahmen für eine energiesparende Bauweise.....	179
4.2.2	Anforderungen an schwere opake Massivbauteile .....	180
4.2.3	Anforderungen an leichte opake Außenbauteile sowie Rahmen- und Skelettbauarten .....	180
4.2.4	Anforderungen für Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen .....	180
4.2.5	Anforderungen im Bereich von Wärmebrücken .....	182
4.2.6	Anforderungen an Fenster, Fenstertüren und Türen .....	183
4.2.7	Anforderungen an Fassaden aus Pfosten-Riegel-Konstruktionen.....	183
4.2.8	Anforderungen an die Luftdichtheit von Außenbauteilen .....	184
<b>4.3</b>	<b>Energiesparender Wärmeschutz</b> .....	184
<b>5</b>	<b>Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz</b> .....	185
<b>5.1</b>	<b>Abgrenzung der Zielsetzungen</b> .....	185
<b>5.2</b>	<b>Einflussgrößen</b> .....	185
5.2.1	Allgemeines .....	185

---

5.2.2	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung.....	186
5.2.3	Wirksamkeit einer Sonnenschutzvorrichtung .....	187
5.2.4	Position des Sonnenschutzes .....	188
5.2.5	Art der Verglasung .....	190
5.2.6	Hinterlüftung des Sonnenschutzes .....	190
5.2.7	Nutzerverhalten .....	191
5.2.8	Flächenanteil der transparenten Außenbauteile .....	191
5.2.9	Orientierung der transparenten Außenbauteile.....	193
5.2.10	Neigungswinkel transparenter Außenbauteile .....	194
5.2.11	Art und Intensität der Raumlüftung .....	195
5.2.12	Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Bauteile.....	196
5.2.13	Raumgeometrie .....	197
5.2.14	Gebäudestandort.....	197
<b>5.3</b>	<b>Temperaturamplitudenverhältnis und Phasenverschiebung .....</b>	<b>198</b>
<b>5.4</b>	<b>Nachweis nach DIN 4108-2 .....</b>	<b>202</b>
5.4.1	Nachweisprinzip .....	202
5.4.2	Sonneneintragskennwert S .....	203
<b>6</b>	<b>Vereinfachte Berechnung des Heizenergiebedarfs .....</b>	<b>209</b>
<b>6.1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>209</b>
<b>6.2</b>	<b>Begriffe .....</b>	<b>209</b>
<b>6.3</b>	<b>Wärmeverluste.....</b>	<b>211</b>
6.3.1	Transmissionswärmeverlust.....	211
6.3.2	Lüftungswärmeverlust .....	212
<b>6.4</b>	<b>Wärmegewinne .....</b>	<b>212</b>
6.4.1	Interne Wärmegewinne .....	212
6.4.2	Solare Wärmegewinne .....	213
<b>6.5</b>	<b>Jahres-Heizwärmebedarf.....</b>	<b>214</b>
<b>6.6</b>	<b>Jahres-Heizenergiebedarf .....</b>	<b>215</b>
<b>7</b>	<b>Bemessung von Gebäudegründungen zur Vermeidung von Frosthebungen .....</b>	<b>217</b>
<b>7.1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>217</b>
<b>7.2</b>	<b>Begriffe .....</b>	<b>217</b>
7.2.1	Gründungstiefe .....	218
7.2.2	Frostindex.....	218

7.2.3	Frosteindringtiefe.....	222
<b>7.3</b>	<b>Bodenplatten auf Erdreich bei beheizten Gebäuden.....</b>	<b>222</b>
7.3.1	Fall 1 – ausschließlich vertikale Randdämmung.....	223
7.3.2	Fall 2 – zusätzlich horizontale Erdreichdämmung in den Ecken.....	223
7.3.3	Fall 3 – zusätzlich horizontale Erdreichdämmung um das Gebäude.....	224
<b>7.4</b>	<b>Numerische Berechnungen.....</b>	<b>226</b>
7.4.1	Allgemeines.....	226
7.4.2	Randbedingungen.....	226
7.4.3	Bemessungskriterium.....	228
<b>8</b>	<b>Lüftung und Luftdichtheit.....</b>	<b>229</b>
<b>8.1</b>	<b>Luftbedarf.....</b>	<b>229</b>
8.1.1	Raumluftqualität.....	229
8.1.2	Zielsetzungen einer ausreichenden und kontrollierten Lüftung.....	231
<b>8.2</b>	<b>Luftdichtheit.....</b>	<b>233</b>
8.2.1	Einführung.....	233
8.2.2	Anforderungen und Planungsempfehlungen gemäß DIN 4108-7.....	234
8.2.3	Überprüfung der Luftdichtheit (Blower-Door Test).....	239
<b>8.3</b>	<b>Lüftungssysteme.....</b>	<b>243</b>
8.3.1	Freie Lüftung.....	243
8.3.2	Ventilatorgestützte Lüftung.....	247
<b>8.4</b>	<b>Luftführung bei ventilatorgestützter Lüftung.....</b>	<b>251</b>
8.4.1	Arten der Luftführung.....	251
8.4.2	Lüftungstechnische Zonierung von Nutzungseinheiten.....	252
8.4.3	Vortemperierung der Zuluft über Erdwärmetauscher.....	254
<b>8.5</b>	<b>Wärmetauscher in Lüftungsanlagen.....</b>	<b>256</b>
8.5.1	Verfahren zur Wärmerückgewinnung.....	256
8.5.2	Kreuzwärmetauscher.....	257
8.5.3	Gegenstrom-Wärmetauscher.....	257
8.5.4	Kreisverbund-Wärmetauscher.....	258
8.5.5	Wärmerohre („heat-pipes“ ).....	259
8.5.6	Rotations-Wärmetauscher.....	259
8.5.7	Kapillar-Ventilatoren.....	260
<b>8.6</b>	<b>Lüftungskonzepte für Wohngebäude.....</b>	<b>261</b>
8.6.1	Allgemeines.....	261
8.6.2	Lüftungsstufen gemäß DIN 1946-6.....	261

---

8.6.3	Systeme der Wohnungslüftung gemäß DIN 1946-6 .....	262
8.6.4	Notwendigkeit Lüftungstechnischer Maßnahmen .....	263
8.6.5	Anrechenbarer Luftvolumenstrom durch Infiltration .....	263
8.6.6	Notwendige Außenluftvolumenströme .....	264
8.6.7	Darstellung der Anforderungssystematik .....	265
<b>9</b>	<b>Thermische Behaglichkeit</b> .....	<b>267</b>
<b>9.1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>267</b>
<b>9.2</b>	<b>Wertepaar: Raumlufttemperatur vs. Oberflächentemperaturen</b> .....	<b>269</b>
9.2.1	Raumlufttemperatur vs. Oberflächentemperatur insgesamt .....	269
9.2.2	Raumlufttemperatur vs. Fußbodentemperatur .....	271
9.2.3	Raumlufttemperatur vs. Deckentemperatur .....	272
9.2.4	Innenoberflächentemperatur verschiedener Bauteile .....	273
9.2.5	Raumlufttemperaturen bei unterschiedlichen Nutzungen .....	273
<b>9.3</b>	<b>Raumlufttemperatur vs. Luftfeuchte</b> .....	<b>274</b>
<b>9.4</b>	<b>Raumlufttemperatur vs. Luftgeschwindigkeit</b> .....	<b>276</b>
<b>9.5</b>	<b>Analytische Bestimmung der thermischen Behaglichkeit nach DIN EN ISO 7730</b> .....	<b>276</b>
9.5.1	Anforderungen .....	276
9.5.2	Bestimmung des vorausgesagten mittleren Votums (PMV) .....	278
9.5.3	Bestimmung des vorausgesagten Prozentsatzes an Unzufriedenen (PPD) .....	282
9.5.4	Bestimmung der Beeinträchtigung durch Zugluft (DR) .....	282
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>287</b>
<b>10.1</b>	<b>Verordnungen und Veröffentlichungen</b> .....	<b>287</b>
<b>10.2</b>	<b>Normen und Richtlinien</b> .....	<b>289</b>

# 1 Berechnungshilfen

## 1.1 Einheiten-Umrechnungstabellen

### 1.1.1 Länge

	$\mu\text{m}$	mm	cm	dm	m	km	in	ft	yd
$\mu\text{m}$	1	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$			
mm	$10^3$	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	0,03937	$3281 \cdot 10^{-6}$	$1094 \cdot 10^{-6}$
cm	$10^4$	$10^1$	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-5}$			
dm	$10^5$	$10^2$	$10^1$	1	$10^{-1}$	$10^{-4}$			
m	$10^6$	$10^3$	$10^2$	$10^1$	1	$10^{-3}$	39,37	3,281	1,094
km	$10^9$	$10^6$	$10^5$	$10^4$	$10^3$	1			
in		25,4			0,0254		1	0,08333	0,02778
ft		304,8			0,3048		12	1	0,33333
yd		914,4			0,9144		36	3	1

(in  $\triangleq$  inch; ft  $\triangleq$  feet; yd  $\triangleq$  yard)

### 1.1.2 Fläche

	$\mu\text{m}^2$	$\text{mm}^2$	$\text{cm}^2$	$\text{dm}^2$	$\text{m}^2$	$\text{km}^2$	sq in	sq ft	sq yd
$\mu\text{m}^2$	1	$10^{-6}$	$10^{-8}$	$10^{-10}$	$10^{-12}$	$10^{-18}$			
$\text{mm}^2$	$10^6$	1	$10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$10^{-12}$	$1,55 \cdot 10^{-3}$	$1,076 \cdot 10^{-5}$	$1,196 \cdot 10^{-6}$
$\text{cm}^2$	$10^8$	$10^2$	1	$10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-10}$			
$\text{dm}^2$	$10^{10}$	$10^4$	$10^2$	1	$10^{-2}$	$10^{-8}$			
$\text{m}^2$	$10^{12}$	$10^6$	$10^4$	$10^2$	1	$10^{-6}$	1550	10,76	1,196
$\text{km}^2$	$10^{18}$	$10^{12}$	$10^{10}$	$10^8$	$10^6$	1			
sq in		645,161			$6,45 \cdot 10^{-4}$		1	$6,944 \cdot 10^{-3}$	$0,772 \cdot 10^{-3}$
sq ft		92936			0,0929		144	1	0,1111
sq yd		836120			0,8361		1296	9	1

(sq in  $\triangleq$  square inch; sq ft  $\triangleq$  square feet; sq yd  $\triangleq$  square yard)

### 1.1.3 Volumen

	$\mu\text{m}^3$	$\text{mm}^3$	$\text{cm}^3$	$\text{dm}^3 = 1 \ell$	$\text{m}^3$	$\text{km}^3$	cu in	cu ft	cu yd
$\mu\text{m}^3$	1	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$	$10^{-15}$	$10^{-27}$			
$\text{mm}^3$	$10^6$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-18}$	$6,102 \cdot 10^{-5}$	$3,532 \cdot 10^{-8}$	$1,307 \cdot 10^{-9}$
$\text{cm}^3$	$10^9$	$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-15}$			
$\text{dm}^3$	$10^{12}$	$10^6$	$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-12}$			

	$\mu\text{m}^3$	$\text{mm}^3$	$\text{cm}^3$	$\text{dm}^3 = 1 \ell$	$\text{m}^3$	$\text{km}^3$	cu in	cu ft	cu yd
$\text{m}^3$	$10^{15}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	1	$10^{-9}$	61023	35,32	1,307
$\text{km}^3$	$10^{27}$	$10^{18}$	$10^{15}$	$10^{12}$	$10^9$	1			
cu in		16387			$1,64 \cdot 10^{-5}$		1	$5,786 \cdot 10^{-4}$	$2,144 \cdot 10^{-5}$
cu ft		$2,83 \cdot 10^7$			0,0283		1728	1	0,037
cu yd		$7,65 \cdot 10^8$			0,765		46656	27	1

<sup>1)</sup>  $1 \text{ dm}^3 \triangleq 1 \text{ Liter} = 1 \ell$

(cu in  $\triangleq$  cubic inch; cu ft  $\triangleq$  cubic feet; cu yd  $\triangleq$  cubic yard)

### 1.1.4 Masse

	mg	g	kg	t	oz	lb	Kt
mg	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$			$5 \cdot 10^{-3}$
g	$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	0,03527	0,00221	5
Kg	$10^6$	$10^3$	1	$10^{-3}$	35,27	2,205	$5 \cdot 10^3$
t	$10^9$	$10^6$	$10^3$	1			$5 \cdot 10^{-6}$
oz		28,35	0,02832		1	0,0625	141,75
lb		453,6	0,4531		16	1	2268
Kt	200	0,2	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-6}$	$7,055 \cdot 10^{-3}$	$4,409 \cdot 10^{-4}$	1

(oz  $\triangleq$  ounce; lb  $\triangleq$  pound; Kt  $\triangleq$  Karat)

### 1.1.5 Zeit

	ms	s	min	h	d	a
ms	1	$10^{-3}$	$1,667 \cdot 10^{-5}$	$2,778 \cdot 10^{-7}$		
s	$10^3$	1	$1,667 \cdot 10^{-2}$	$2,778 \cdot 10^{-4}$	$1,157 \cdot 10^{-5}$	$3,171 \cdot 10^{-8}$
min	$60 \cdot 10^3$	60	1	$1,667 \cdot 10^{-2}$	$6,944 \cdot 10^{-4}$	$1,903 \cdot 10^{-6}$
h	$3,6 \cdot 10^6$	3600	60	1	$4,167 \cdot 10^{-2}$	$1,142 \cdot 10^{-4}$
d		86400	1440	24	1	$2,740 \cdot 10^{-3}$
a		$31,54 \cdot 10^6$	525600	8760	356	1

### 1.1.6 Kraft

	$\text{N}^{(1)}$	kN	MN	kp	Mp	dyn
N	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	0,10197	$1,0197 \cdot 10^{-4}$	$10^5$
kN	$10^3$	1	$10^{-3}$			
MN	$10^6$	$10^3$	1			
kp	9,80665			1	$10^{-3}$	$9,80665 \cdot 10^5$
Mp	9806,65			$10^3$	1	$9,80665 \cdot 10^8$
dyn	$10^{-5}$			$1,0197 \cdot 10^{-6}$	$1,0197 \cdot 10^{-9}$	1

<sup>1)</sup>  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$

(dyn  $\triangleq$  dyne)

### 1.1.7 Spannung

	N/mm <sup>2</sup> ( $\triangleq$ MN/m <sup>2</sup> )	N/cm <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup> ( $\triangleq$ 1Pa)	kN/mm <sup>2</sup>	kN/cm <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup> ( $\triangleq$ 1kPa)	MN/cm <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup> ( $\triangleq$ 1MPa)
N/mm <sup>2</sup>	1	10 <sup>2</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>-3</sup>	0,1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>-4</sup>	1
N/cm <sup>2</sup>	10 <sup>-2</sup>	1	10 <sup>4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-3</sup>	10	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-2</sup>
N/m <sup>2</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-4</sup>	1	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-6</sup>
kN/mm <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>9</sup>	1	10 <sup>2</sup>	10 <sup>6</sup>	0,1	10 <sup>3</sup>
kN/cm <sup>2</sup>	10	10 <sup>3</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>-2</sup>	1	10 <sup>4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10
kN/m <sup>2</sup>	10 <sup>-3</sup>	0,1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-4</sup>	1	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-3</sup>
MN/cm <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>10</sup>	10	10 <sup>3</sup>	10 <sup>7</sup>	1	10 <sup>4</sup>
MN/m <sup>2</sup>	1	10 <sup>2</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>-3</sup>	0,1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>-4</sup>	1

### 1.1.8 Druck

	N/mm <sup>2</sup>	Pa	kp/cm <sup>2</sup>	mbar ( $\triangleq$ 1hPa)	bar	Torr
N/mm <sup>2</sup>	1	10 <sup>6</sup>	10,1972	10 <sup>4</sup>	10	7,5·10 <sup>3</sup>
Pa	10 <sup>-6</sup>	1	1,01972·10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-5</sup>	0,0075
kp/cm <sup>2</sup>	9,80665·10 <sup>-2</sup>	98066,5	1	9,80665·10 <sup>2</sup>	9,80665·10 <sup>-1</sup>	736
mbar	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>2</sup>	1,01972·10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>-3</sup>	0,75
bar	0,1	10 <sup>5</sup>	1,01972	10 <sup>3</sup>	1	750
Torr	0,133·10 <sup>-3</sup>	133	1,3562·10 <sup>-3</sup>	1,36	1,36·10 <sup>-3</sup>	1

### 1.1.9 Arbeit

	J ( $\triangleq$ 1 Nm)	Wh	kWh	kp m	kcal	PS h	ft lb	Btu
J	1	0,278·10 <sup>-3</sup>	0,278·10 <sup>-6</sup>	0,101972	0,239·10 <sup>-3</sup>	0,378·10 <sup>-6</sup>	0,7376	948,4·10 <sup>-6</sup>
Wh	3600	1	10 <sup>-3</sup>	367	0,860	1,36·10 <sup>-3</sup>		
kWh	3,6·10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	1	3,67·10 <sup>3</sup>	860	1,36	2,655·10 <sup>6</sup>	3413
kp m	9,80665	2,73·10 <sup>-3</sup>	2,73·10 <sup>-6</sup>	1	2,345·10 <sup>-3</sup>	3,70·10 <sup>-6</sup>	7,233	9,301·10 <sup>-3</sup>
kcal	4186,8	1,16	1,16·10 <sup>-3</sup>	426,9	1	1,58·10 <sup>-3</sup>	3,087·10 <sup>3</sup>	3,968
PS h	2,65·10 <sup>6</sup>	736	0,736	0,27·10 <sup>6</sup>	632	1		
ft lb	1,356		376,8·10 <sup>-9</sup>	0,1383	324·10 <sup>-6</sup>		1	1,286·10 <sup>-3</sup>
Btu	1055		293·10 <sup>-6</sup>	107,6	0,252		778,6	1

(Btu  $\triangleq$  british thermal unit)

### 1.1.10 Leistung

	mW	W ( $\triangleq$ 1 N m/s)	kW	MW	kp m/s	kcal/h	Btu/s	PS
mW	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$0,102 \cdot 10^{-3}$	$0,860 \cdot 10^{-3}$	$948,4 \cdot 10^{-9}$	$1,36 \cdot 10^{-6}$
W <sup>1)</sup>	$10^3$	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	0,101972	0,860	$948,4 \cdot 10^{-6}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$
kW	$10^6$	$10^3$	1	$10^{-3}$	101,972	860	0,9484	1,36
MW	$10^9$	$10^6$	$10^3$	1	$101,97 \cdot 10^3$	$860 \cdot 10^3$	$0,9484 \cdot 10^3$	$1,36 \cdot 10^3$
kp m/s	$9,806 \cdot 10^3$	9,80665	$9,81 \cdot 10^{-3}$	$9,81 \cdot 10^{-6}$	1	8,43	$9,296 \cdot 10^{-3}$	$13,3 \cdot 10^{-3}$
kcal/h	$1,16 \cdot 10^3$	1,16	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$1,16 \cdot 10^{-6}$	0,119	1	$1,102 \cdot 10^{-3}$	$1,58 \cdot 10^{-3}$
Btu/s	$1055 \cdot 10^3$	$1,055 \cdot 10^3$	1,055	$1,055 \cdot 10^{-3}$	107,6	907,258	1	1,4348
PS	$736 \cdot 10^3$	736	0,736	$0,736 \cdot 10^{-3}$	75	632	0,697	1

(1 PS = 75 kp m/s = 735.49875 W  $\neq$  1 hp = 745.69987158227022 W)

### 1.1.11 Wärmeleitfähigkeit

	W/mK	cal/(s·m·°C)	cal/(s·cm·°C)	BTU/(h·ft·°F)	BTU in/(h·ft <sup>2</sup> ·°F)
W/mK	1	0,23885	0,00239	0,57779	6,93347
cal/(s·m·°C)	4,1868	1	0,01	2,419087	29,02905
cal/(s·cm·°C)	418,67980	100	1	241,9087	$2,90291 \cdot 10^3$
BTU/(h·ft·°F)	1,73074	0,41338	0,00413	1	12
BTU in/(h·ft <sup>2</sup> ·°F)	0,14423	0,03445	$3,44483 \cdot 10^{-4}$	0,08333	1

### 1.1.12 Spezifische Wärmekapazität

	J/(kg·K)	J/(g·K)	cal/(g·K)	Btu/(lb·°F)
J/(kg·K)	1	$10^{-3}$	$2,38846 \cdot 10^{-4}$	$2,39006 \cdot 10^{-4}$
J/(g·K)	$10^3$	1	0,23885	0,23901
cal/(g·K)	$4,1868 \cdot 10^3$	4,1868	1	1,00067
Btu/(lb·°F)	$4,184 \cdot 10^3$	4,184	0,99933	1

### 1.1.13 Wärmedurchgangskoeffizient

	W/(m <sup>2</sup> ·K)	cal/(s·cm <sup>2</sup> ·°C)	kcal/(h·m <sup>2</sup> ·°C)	Btu/(h·ft <sup>2</sup> ·°F)
W/(m <sup>2</sup> ·K)	1	$2,38846 \cdot 10^{-5}$	0,85985	0,17611
cal/(s·cm <sup>2</sup> ·°C)	$4,1868 \cdot 10^4$	1	$3,6 \cdot 10^4$	$7,37338 \cdot 10^3$
kcal/(h·m <sup>2</sup> ·°C)	1,163	$2,77778 \cdot 10^{-5}$	1	0,20482
Btu/(h·ft <sup>2</sup> ·°F)	5,67826	$1,35623 \cdot 10^{-4}$	4,88243	1

### 1.1.14 Wärmestromdichte

	$W/m^2$	$cal/(s \cdot cm^2)$	$kcal/(h \cdot m^2)$	$Btu/(h \cdot ft^2)$
$W/m^2$	1	$2,38846 \cdot 10^{-5}$	0,85985	0,317
$cal/(s \cdot cm^2)$	$4,1868 \cdot 10^4$	1	$3,6 \cdot 10^4$	$1,32721 \cdot 10^4$
$kcal/(h \cdot m^2)$	1,163	$2,77778 \cdot 10^{-5}$	1	0,36867
$Btu/(h \cdot ft^2)$	3,15459	$7,53461 \cdot 10^{-5}$	2,71246	1

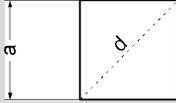
## 1.2 Griechisches Alphabet

Sprechweise	Groß	Klein
Alpha	$A$	$\alpha$
Beta	$B$	$\beta$
Gamma	$\Gamma$	$\gamma$
Delta	$\Delta$	$\delta$
Epsilon	$E$	$\varepsilon$
Zeta	$Z$	$\zeta$
Eta	$H$	$\eta$
Theta	$\Theta$	$\theta$
Iota	$I$	$\iota$
Kappa	$K$	$\kappa$
Lambda	$\Lambda$	$\lambda$
My	$M$	$\mu$
Ny	$N$	$\nu$
Xi	$\Xi$	$\xi$
Omikron	$O$	$o$
Pi	$\Pi$	$\pi$
Rho	$P$	$\rho$
Sigma	$\Sigma$	$\sigma$
Tau	$T$	$\tau$
Ypsilon	$Y$	$\upsilon$
Phi	$\Phi$	$\varphi$
Chi	$X$	$\chi$
Psi	$\Psi$	$\psi$
Omega	$\Omega$	$\omega$

## 1.3 Mathematische Grundlagen

### 1.3.1 Flächenberechnung

Quadrat

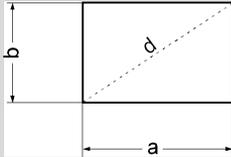


$$A = a^2$$

$$a = \sqrt{A}$$

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

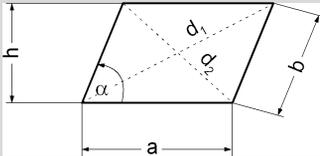
Rechteck



$$A = a \cdot b$$

$$d = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Parallelogramm

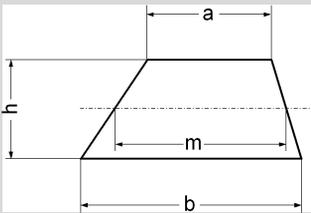


$$A = a \cdot h = a \cdot b \cdot \sin \alpha$$

$$d_1 = \sqrt{(a + h \cdot \cot \alpha)^2 + h^2}$$

$$d_2 = \sqrt{(a - h \cdot \cot \alpha)^2 + h^2}$$

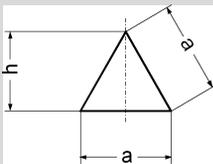
Trapez



$$A = \frac{a+b}{2} \cdot h = m \cdot h$$

$$m = \frac{a+b}{2}$$

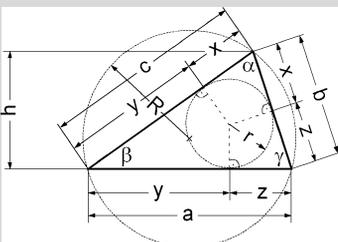
Gleichseitiges Dreieck



$$A = \frac{a^2}{4} \cdot \sqrt{3}$$

$$h = \frac{a}{2} \cdot \sqrt{3}$$

Allgemeines Dreieck



$$A = \frac{a \cdot h}{2} = \sqrt{s \cdot x \cdot y \cdot z} = r \cdot s$$

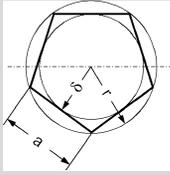
$$= \frac{1}{2} \cdot b \cdot c \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot a \cdot c \cdot \sin \beta = \frac{1}{2} \cdot a \cdot b \cdot \sin \gamma$$

mit :

$$s = \frac{a+b+c}{2}; \quad r = \frac{a \cdot h}{2 \cdot s}; \quad R = \frac{b \cdot c}{2 \cdot h}$$

$$x = s - a; \quad y = s - b; \quad z = s - c$$

Regelmäßiges Fünfeck

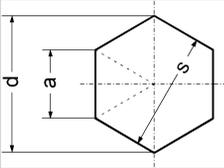


$$A = \frac{5}{8} \cdot r^2 \cdot \sqrt{10 + 2 \cdot \sqrt{5}}$$

$$a = \frac{1}{2} \cdot r \cdot \sqrt{10 - 2 \cdot \sqrt{5}}$$

$$s = \frac{1}{4} \cdot r \cdot \sqrt{6 + 2 \cdot \sqrt{5}}$$

Regelmäßiges Sechseck

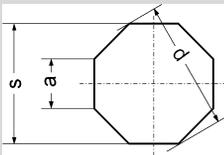


$$A = \frac{3}{2} \cdot a^2 \cdot \sqrt{3}$$

$$d = 2 \cdot a = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot s \approx 1,155 \cdot s$$

$$s = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot d \approx 0,866 \cdot d$$

Regelmäßiges Achteck



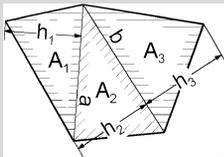
$$A = 2 \cdot a \cdot s = 2 \cdot s \cdot \sqrt{d^2 - s^2} \approx 0,83 \cdot s^2$$

$$a = s \cdot \tan 22,5^\circ$$

$$s = d \cdot \cos 22,5^\circ$$

$$d = \frac{s}{\cos 22,5^\circ}$$

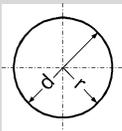
Vieleck



$$A = A_1 + A_2 + A_3$$

$$= \frac{a \cdot h_1 + b \cdot h_2 + c \cdot h_3}{2}$$

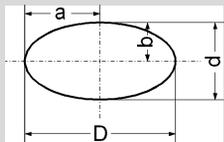
Kreis



$$A = \pi \cdot r^2 = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \approx 0,785 \cdot d^2$$

$$U = 2 \cdot \pi \cdot r = \pi \cdot d$$

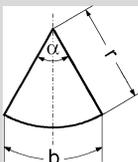
Ellipse



$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot d = \pi \cdot a \cdot b$$

$$U \approx \frac{\pi}{2} \cdot [3 \cdot (a + b) - 2 \cdot \sqrt{a \cdot b}]$$

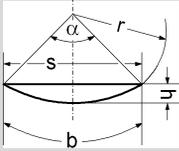
Kreisausschnitt



$$A = \frac{\alpha^\circ}{360^\circ} \cdot \pi \cdot r^2 = \frac{\alpha}{2} \cdot r^2 = \frac{b \cdot r}{2}$$

$$b = \frac{\alpha^\circ}{180^\circ} \pi \cdot r$$

## Kreisabschnitt



$$A = \frac{r^2}{2} \cdot \left( \pi \cdot \frac{\alpha^\circ}{180^\circ} - \sin \alpha \right) \approx \frac{h}{6 \cdot s} \cdot (3 \cdot h^2 + 4 \cdot s^2)$$

$$s = 2 \cdot r \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \approx \sqrt{b^2 - \frac{16}{3} \cdot h^2}$$

$$r = \frac{h}{2} + \frac{s^2}{8 \cdot h}$$

$$h = r \cdot \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) = \frac{s}{2} \cdot \tan \frac{\alpha}{4} = 2 \cdot r \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{4}$$

## Kreising

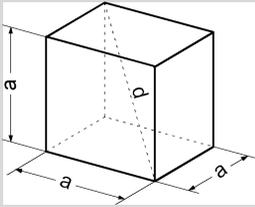


$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = \pi \cdot b \cdot (d + b)$$

$$b = \frac{D - d}{2}$$

## 1.3.2 Volumenberechnung

## Würfel

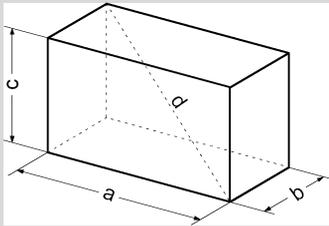


$$V = a^3$$

$$O = 6 \cdot a^2$$

$$d = \sqrt{3} \cdot a$$

## Quader

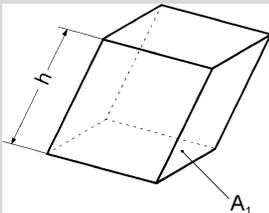


$$V = a \cdot b \cdot c$$

$$O = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c)$$

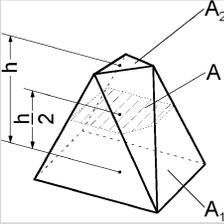
$$d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

## Schiefer Quader



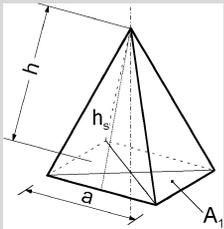
$$V = A_1 \cdot h$$

Prismatoid



$$V = \frac{h}{6} \cdot (A_1 + 4 \cdot A + A_2)$$

Pyramide

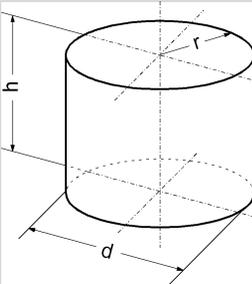


$$V = \frac{1}{3} \cdot A_1 \cdot h$$

$$O = 4 \cdot \frac{a \cdot h_s}{2} + a^2$$

$$h_s = \sqrt{h^2 + \frac{a^2}{4}}$$

Zylinder

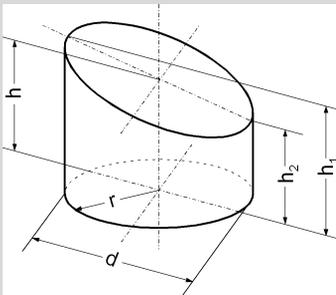


$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h$$

$$M = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$$

$$O = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot (r + h)$$

Schief abgeschnittener Zylinder

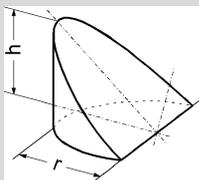


$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h$$

$$M = \pi \cdot d \cdot h$$

$$O = \pi \cdot r \cdot \left[ h_1 + h_2 + r + \sqrt{r^2 + \frac{(h_1 - h_2)^2}{4}} \right]$$

Zylinderhuf (Zylinderabschnitt)

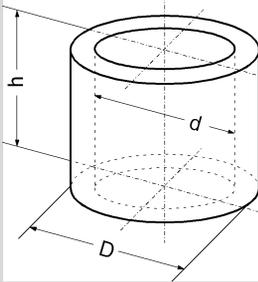


$$V = \frac{2}{3} \cdot r^2 \cdot h$$

$$M = 2 \cdot r \cdot h$$

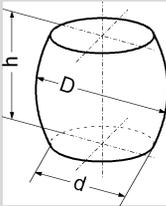
$$O = M + \frac{\pi}{2} \cdot r^2 + \frac{\pi}{2} \cdot r \cdot \sqrt{r^2 + h^2}$$

## Hohlzylinder



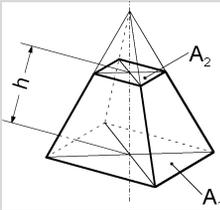
$$V = \frac{\pi}{4} \cdot h \cdot (D^2 - d^2)$$

## Fass



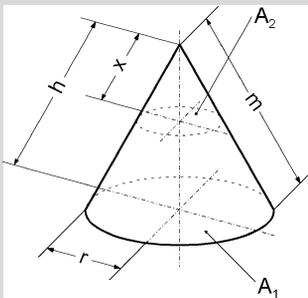
$$V \approx \frac{\pi}{12} \cdot h \cdot (2 \cdot D^2 + d^2)$$

## Pyramidenstumpf (gilt auch bei „anderseckigen“ Grundflächen)



$$V = \frac{h}{3} \cdot (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$$

## Kegel



$$V = \frac{\pi}{3} \cdot r^2 \cdot h$$

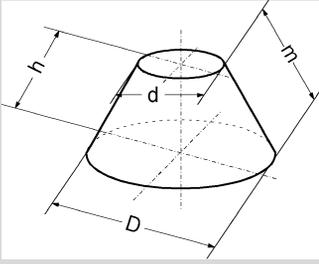
$$M = \pi \cdot r \cdot m$$

$$O = \pi \cdot r \cdot (r + m)$$

$$m = \sqrt{h^2 + r^2}$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{x^2}{h^2}$$

## Kegelstumpf

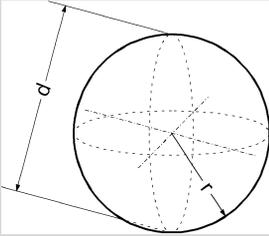


$$V = \frac{\pi}{12} \cdot h \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2)$$

$$M = \frac{\pi}{2} \cdot m \cdot (D + d)$$

$$m = \sqrt{\left(\frac{D-d}{2}\right)^2 + h^2}$$

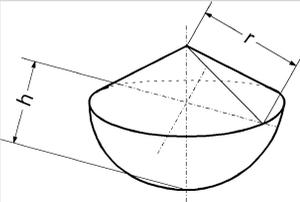
## Kugel



$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = \frac{1}{6} \pi \cdot d^3 \approx 4,189 \cdot r^3$$

$$O = 4 \cdot \pi \cdot r^2 = \pi \cdot d^2$$

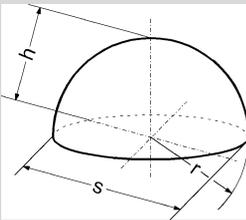
## Kugelausschnitt



$$V = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$O = \pi \cdot r \cdot (2 \cdot h + \sqrt{h \cdot (2 \cdot r - h)})$$

## Kugelabschnitt



$$V = \frac{\pi}{3} \cdot h^2 \cdot (3 \cdot r - h)$$

$$M = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$$

$$O = \pi \cdot h \cdot (4 \cdot r - h)$$

$$s = 2 \cdot \sqrt{h \cdot (2 \cdot r - h)}$$

### 1.3.3 Rechenregeln

#### Potenzen

$$a^0 = 1$$

$$a^n \cdot b^n = (a \cdot b)^n$$

$$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$$

$$(a^m)^n = a^{m \cdot n}$$

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

$$\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$$

$$\frac{a^n}{b^n} = \left(\frac{a}{b}\right)^n$$

$$(a+b)^2 = a^2 + 2 \cdot a \cdot b + b^2$$

$$(a-b)^2 = a^2 - 2 \cdot a \cdot b + b^2$$

$$(a+b) \cdot (a-b) = a^2 - b^2$$

$$(a+b)^3 = a^3 + 3 \cdot a^2 \cdot b + 3 \cdot a \cdot b^2 + b^3$$

$$(a-b)^3 = a^3 - 3 \cdot a^2 \cdot b + 3 \cdot a \cdot b^2 - b^3$$

#### Wurzeln

$$\sqrt[n]{a} = a^{\frac{1}{n}}$$

$$\sqrt[n]{a^n} = a$$

$$\sqrt[n]{a^m} = a^{\frac{m}{n}}$$

$$\sqrt[n]{a^{m \cdot n}} = a^m$$

$$\sqrt[n]{a \cdot b} = \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b}$$

$$\sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}}$$

$$\sqrt[n]{\frac{1}{a}} = \frac{1}{\sqrt[n]{a}} = a^{-\frac{1}{n}}$$

$$\sqrt[n]{\sqrt[m]{a}} = \sqrt[n \cdot m]{a} = \sqrt[m]{\sqrt[n]{a}}$$

**Logarithmen**

$$\log_e a = \ln a$$

$$e^{\ln a} = a$$

$$\log_{10} a = \lg a$$

$$10^{\lg a} = a$$

$$\log_b a = c \Leftrightarrow b^c = a$$

$$\log_b 1 = 0$$

$$\log_b b = 1$$

$$\log_b (c \cdot d) = \log_b c + \log_b d$$

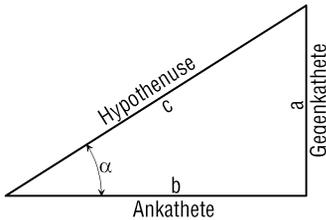
$$\log_b \left( \frac{c}{d} \right) = \log_b c - \log_b d$$

$$\log_b a^n = n \cdot \log_b a$$

$$\log_b \sqrt[n]{a} = \frac{1}{n} \cdot \log_b a$$

**Quadratische Gleichung**

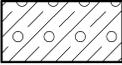
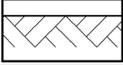
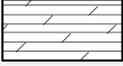
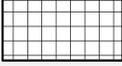
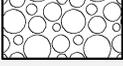
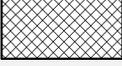
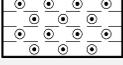
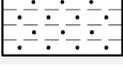
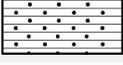
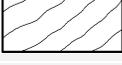
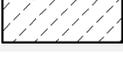
$$x^2 + p \cdot x + q = 0 \quad x_{1/2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$$

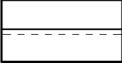
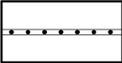
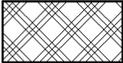
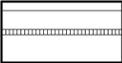
**1.3.4 Trigonometrie**

$$\sin a = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{a}{c} \quad \cos a = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{b}{c}$$

$$\tan a = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}} = \frac{a}{b} \quad \cot a = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}} = \frac{b}{a}$$

## 1.4 Bauschraffuren gemäß DIN 1356-1 und DIN ISO 128-50

	1	2	3	4
1	Darstellungsart	Material / Bauteil	Darstellungsart	Material / Bauteil
2		Aufgefülltes Erdreich		Leichtbeton
3		Gewachsenes Erdreich		Wasserundurchlässiger Beton
4		Fels		Beton-Fertigteil
5		Kies		Dichtstoff
6				Mauerwerk (natürlicher Stein)
7		Sand		Mauerwerk (künstlicher Stein)
8				Mauerwerk (geringe Festigkeit)
9				Mauerwerk (höhere Festigkeit)
10		Schluff		Holz (quer zur Faser)
11		Ton		Holz (längs zur Faser)
12		Torf, Humus		Holz (Querschnitt)
13		Mudde		Holz (Nut- und Federbretter)
14		Gipsplatten		Holzwerkstoff
15		Mörtel, Putz		Stahl
16		Bewehrter Beton		Lichtdurchlässiges Material
17		Unbewehrter Beton		Dämmstoff

	1	2	3	4
1	Darstellungsart	Material / Bauteil	Darstellungsart	Material / Bauteil
18		Voranstrich		Kunststoffe
19		Sperrstoff / Abdichtung (gegen Feuchtigkeit)		Gummi, Elastomere
20		Kunststoff-Folie		Duroplaste
21		Kleber, Klebefilm		Thermoplaste
22		Dampfdruck- ausgleichsschicht		

## 1.5 Wärme- und feuchtetechnische Kennwerte von Baustoffen

In den folgenden Tabellen sind wärme- und feuchtetechnische Kennwerte von Baustoffen gemäß DIN V 4108-4 und DIN EN ISO 12524 zusammengestellt.

### 1.5.1 Putze, Mörtel, Asphalt und Estriche

	1	2	3	4
1	Stoff	$\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ in W/(mK)	$\mu$ [-]
2	Putze			
3	Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	(1800)	1,0	15 / 35
4	Putzmörtel aus Kalkgips, Gips, Anhydrit und Kalkanhydrit	(1400)	0,70	10
5		< 1300	0,56	
6	Leichtputz	≤ 1000	0,38	15 / 20
7		≤ 700	0,25	
8	Gipsputz ohne Zuschlag	(1200)	0,51	10
9	Wärmedämmputz nach DIN 18550-3			
10	Wärmeleitfähigkeitsgruppe 060		0,060	
11	070		0,070	
12	080	(≥ 200)	0,080	5 / 20
13	090		0,090	
14	100		0,100	
15	Kunstharzputz	(1100)	0,70	
16	Mauermörtel			
17	Zementmörtel	(2000)	1,6	
18	Normalmörtel (NM)	(1800)	1,2	
19	Dünnbettmauermörtel (DM)	(1600)	1,0	15 / 35
20	Leichtmauermörtel (LM) nach DIN 1053-1	LM21	≤ 1000	0,36
21		LM36	≤ 700	0,21
22	Leichtmauermörtel	250	0,10	5 / 20
23		400	0,14	
24		700	0,25	
25		1000	0,38	
26		1500	0,69	
27	Asphalt			
28	Asphalt	2100	0,70	50000
29	Estriche			
30	Zement-Estrich	(2000)	1,4	
31	Anhydrit-Estrich	(2100)	1,2	
32	Magnesia-Estrich	1400	0,47	15 / 35
33		2300	0,70	

## 1.5.2 Beton

	1		2	3	4
1	Stoff		$\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ in W/(mK)	$\mu$ [-]
2	Beton		1800	1,15	60 / 100
3			2000	1,35	
4			2200	1,65	70 / 120
5			2400	2,00	80 / 130
6		Stahlbeton	1% Stahlanteil	2300	2,3
7	2% Stahlanteil		2400	2,5	
8	Leichtbeton und Stahlleichtbeton mit geschlossenem Gefüge nach DIN EN 206 und DIN 1045-1, hergestellt unter Verwendung von Zuschlägen mit porigem Gefüge nach DIN 4226-2 ohne Quarzsandzusatz <i>(Bei Quarzsandzusatz erhöhen sich die Werte von <math>\lambda</math> um 20 %)</i>		800	0,39	70 / 150
9			900	0,44	
10			1000	0,49	
11			1100	0,55	
12			1200	0,62	
13			1300	0,70	
14			1400	0,79	
15			1500	0,89	
16			1600	1,0	
17			1800	1,3	
18			2000	1,6	
19	Dampfgehärteter Porenbeton nach DIN 4223-1		300	0,10	5 / 10
20			350	0,11	
21			400	0,13	
22			450	0,15	
23			500	0,16	
24			550	0,18	
25			600	0,19	
26			650	0,21	
27			700	0,22	
28			750	0,24	
29			800	0,25	
30			900	0,29	
31			1000	0,31	
32	Leichtbeton mit haufwerkporigem Gefüge - mit nichtporigen Zuschlägen nach DIN 4226-1, z.B. Kies		1600	0,81	3 / 10
33			1800	1,1	
34			2000	1,4	5 / 10

	1	2	3	4
1	Stoff	$\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ in W/(mK)	$\mu$ [-]
35	Leichtbeton mit haufwerkporigem Gefüge - mit porigen Zuschlägen nach DIN 4226-1, ohne Quarzsandzusatz  (Bei Quarzsandzusatz erhöhen sich die Werte von $\lambda$ um 20 %)	600	0,22	5 / 15
36		700	0,26	
37		800	0,28	
38		1000	0,36	
39		1200	0,46	
40		1400	0,57	
41		1600	0,75	
42		1800	0,92	
43		2000	1,2	
44	Leichtbeton mit haufwerkporigem Gefüge - ausschließlich unter Verwendung von Naturbims	500	0,16	5 / 15
45		600	0,18	
46		700	0,21	
47		800	0,24	
48		900	0,28	
49		1000	0,32	
50		1100	0,37	
51		1200	0,41	
52		1300	0,47	
53	Leichtbeton mit haufwerkporigem Gefüge - ausschließlich unter Verwendung von Blähton	400	0,13	5 / 15
54		500	0,16	
55		600	0,19	
56		700	0,23	
57		800	0,27	
58		900	0,30	
59		1000	0,35	
60		1100	0,39	
61		1200	0,44	
62		1300	0,50	
63		1400	0,55	
64		1500	0,60	
65		1600	0,68	
66		1700	0,76	