

Detailwissen Bauphysik

Kai Schild
Wolfgang M. Willems

Wärmeschutz

Grundlagen – Berechnung – Bewertung

2. Auflage

 Springer Vieweg

Detailwissen Bauphysik

Herausgeber:
W. M. Willems
K. Schild

Das Fachgebiet der Bauphysik stellt einen wichtigen und zentralen Arbeitsbereich für Architekten und Bauingenieure in der Praxis dar.

Die Reihe „Detailwissen Bauphysik“ von Springer Vieweg vermittelt das Wissen und das Handwerkszeug für dieses Aufgabenfeld praxisnah und mit direktem Bezug zu den aktuellen Entwicklungen in Technik und Wissenschaft.

Bezogen auf bauphysikalische Fragestellungen werden auch Themen aus anderen Bereichen der Bautechnik behandelt.

Die Darstellungstiefe der Inhalte spricht sowohl Praktiker als auch Studierende an, die die Thematik Bauphysik während des Studiums vertiefen möchten.

Die Titel dieser Reihe sind anwendungsbezogen und lösungsorientiert.

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang M. Willems

Dr.-Ing. Kai Schild

Kai Schild • Wolfgang M. Willems

Wärmeschutz

Grundlagen – Berechnung – Bewertung

2. Auflage

Kai Schild
Wolfgang M. Willems

Technische Universität Dortmund, Deutschland

ISBN 978-3-658-02570-0
DOI 10.1007/978-3-658-02571-7

ISBN 978-3-658-02571-7 (eBook)

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2011, 2013

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, 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.

Lektorat: Karina Danulat, Annette Prenzer

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.
www.springer-vieweg.de

Vorwort zur 2. Auflage

Gegenüber der ersten Auflage wurden die Kapitel "Mindestwärmeschutz" und "Sommerlicher Wärmeschutz" an die Neuauflage von DIN 4108-2 angepasst. Alle anderen Abschnitte wurden überarbeitet und, wo sinnvoll, erweitert. Wir bedanken uns für die Rückmeldungen zur 1. Auflage und hoffen auch weiterhin auf Resonanz aus dem Kreis der Leserschaft.

Grafenwald und Marl im Juli 2013

Wolfgang Willems

Kai Schild

Vorwort zur 1. Auflage

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

| | | |
|------------|--|----|
| 1 | Berechnungshilfen | 1 |
| 1.1 | Einheitenumrechnungstabeln | 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 |
| 1.2 | Griechisches Alphabet | 5 |
| 1.3 | Mathematische Grundlagen | 6 |
| 1.3.1 | Flächenberechnung..... | 6 |
| 1.3.2 | Volumenberechnung | 8 |
| 1.3.3 | Rechenregeln | 12 |
| 1.3.4 | Trigonometrie | 13 |
| 1.4 | Bauschraffuren gemäß DIN 1356-1, DIN ISO 128-50 und Flachdachrichtlinie | 14 |
| 1.5 | Wärme- und feuchtetechnische Kennwerte von Baustoffen | 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 |
| 1.6 | Modale Hilfsverben in der Normung | 34 |
| 2 | Grundlagen des Wärmeschutzes | 35 |
| 2.1 | Grundbegriffe | 35 |
| 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 |
| 2.2 | Wärmedämmstoffe | 40 |
| 2.2.1 | Allgemeines | 40 |
| 2.2.2 | Anwendungstypen / -gebiete | 42 |
| 2.2.3 | Kennwerte am Markt verfügbarer Wärmedämmstoffe | 45 |
| 2.3 | Wärmeübergangswiderstand | 60 |
| 2.4 | Wärmedurchlasswiderstand | 63 |
| 2.4.1 | Wärmedurchlasswiderstand für eine Baustoffschicht | 63 |
| 2.4.2 | Wärmedurchlasswiderstand einer Luftschicht | 64 |
| 2.4.3 | Wärmedurchlasswiderstand unbeheizter Räume | 68 |
| 2.5 | Wärmedurchgangswiderstand | 69 |
| 2.5.1 | Einschichtige, homogene Bauteile | 69 |
| 2.5.2 | Mehrschichtige homogene Bauteile | 70 |
| 2.5.3 | Mehrschichtige inhomogene Bauteile | 70 |
| 2.6 | Wärmedurchgangskoeffizient opaker Bauteile | 73 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 2.6.1 | Korrektur des U-Wertes bei Luftspalten im Bauteil | 74 |
| 2.6.2 | Korrektur des U-Wertes bei Durchdringung der Dämmschicht durch Befestigungsteile | 74 |
| 2.6.3 | Korrektur des U-Wertes durch Niederschlag auf Umkehrdächern..... | 75 |
| 2.6.4 | Berechnung des U-Wertes für Bauteile mit keilförmigen Schichten | 77 |
| 2.6.5 | Berechnung des U-Wertes für zweischalige Dach- und Wand- aufbauten im Stahlleichtbau | 80 |
| 2.6.6 | Berechnung des U-Wertes für Metall-Sandwichelemente | 89 |
| 2.6.7 | Berechnung des U-Wertes für Beton-Sandwichelemente | 91 |
| 2.7 | Wärmedurchgangskoeffizient erdberührter Bauteile | 97 |
| 2.7.1 | Einordnung der Verfahren | 97 |
| 2.7.2 | Berechnungsverfahren gemäß DIN EN ISO 13370 | 98 |
| 2.7.3 | Bewertung der Rechenverfahren | 106 |
| 2.8 | Wärmedurchgangskoeffizient von Fenstern | 111 |
| 2.8.1 | Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung | 111 |
| 2.8.2 | Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens | 114 |
| 2.8.3 | Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters | 117 |
| 2.8.4 | Wärmedurchgangskoeffizient von Rollladenkästen | 123 |
| 2.8.5 | Wärmedurchlasswiderstand von Rollläden, Fensterläden, etc. | 124 |
| 2.9 | Wärmedurchgangskoeffizient von Türen | 126 |
| 2.9.1 | Vollverglaste Türen | 126 |
| 2.9.2 | Türen mit Verglasungen und opaken Füllungen | 126 |
| 2.9.3 | Türen ohne Verglasung | 126 |
| 2.9.4 | Experimentelle Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten kompletter Fenster und Türen | 127 |
| 2.10 | Wärmedurchgangskoeffizient von Vorhangfassaden | 127 |
| 2.10.1 | Einzelbeurteilungsmethode gemäß DIN EN 13947 | 127 |
| 2.10.2 | Komponentenmethode gemäß DIN EN 13947 | 132 |
| 2.11 | Wärmedurchgangskoeffizient von Rohrleitungen | 135 |
| 2.12 | Temperaturverteilungen in Bauteilen | 136 |
| 2.12.1 | Eindimensional, stationär | 136 |
| 2.12.2 | Eindimensional, instationär | 138 |
| 2.12.3 | Mehrdimensionale Aufgabenstellungen | 143 |
| 2.13 | Wärmebilanzen | 145 |
| 2.13.1 | Einführung | 145 |
| 2.13.2 | Netzwerk-Verfahren | 145 |

| | | |
|------------|--|-----|
| 2.13.3 | Anwendung auf eindimensionale Aufgabenstellungen | 148 |
| 3 | Wärmebrücken | 151 |
| 3.1 | Einführung | 151 |
| 3.1.1 | Definition „Wärmebrücke“ | 151 |
| 3.1.2 | Auswirkungen von Wärmebrücken | 155 |
| 3.2 | Rechnerische Untersuchung von Wärmebrücken | 157 |
| 3.2.1 | Allgemeines | 157 |
| 3.2.2 | Randbedingungen gemäß DIN EN ISO 10211 | 159 |
| 3.2.3 | Randbedingungen gemäß DIN 4108, Beiblatt 2 | 162 |
| 3.2.4 | Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten | 165 |
| 3.2.5 | Ermittlung des punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten | 168 |
| 3.2.6 | Wärmebrückenkataloge | 170 |
| 3.2.7 | Sonderfall Erdreich | 170 |
| 3.2.8 | Weitere Definitionslücken und Sonderfälle | 178 |
| 3.3 | Sanierung von Wärmebrücken durch Beheizung | 179 |
| 3.3.1 | Anwendungsfälle | 179 |
| 3.3.2 | Passive Beheizung | 180 |
| 3.3.3 | Aktive Beheizung | 181 |
| 4 | Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz | 183 |
| 4.1 | Abgrenzung und Historie | 183 |
| 4.2 | Mindestwärmeschutz – DIN 4108-2 | 185 |
| 4.2.1 | Bautechnische Maßnahmen für eine energiesparende Bauweise | 185 |
| 4.2.2 | Anforderungen an schwere opake Massivbauteile | 186 |
| 4.2.3 | Anforderungen an leichte opake Außenbauteile, Rahmen- und Skelettbauarten sowie Fenster und Fenstertüren | 187 |
| 4.2.4 | Anforderungen im Bereich von Wärmebrücken | 189 |
| 4.2.5 | Anforderungen an die Luftdichtheit von Außenbauteilen | 191 |
| 4.3 | Mindestwärmeschutz - DIN EN ISO 13788 | 192 |
| 4.3.1 | Außenseitige klimatische Randbedingungen | 192 |
| 4.3.2 | Raumseitige klimatische Randbedingungen | 197 |
| 4.3.3 | Außenseitiger Wasserdampfpartialdruck | 199 |
| 4.3.4 | Zulässiger raumseitiger Sättigungsdampfdruck | 199 |
| 4.3.5 | Zulässige monatliche Innenoberflächentemperatur | 199 |
| 4.4 | Energiesparender Wärmeschutz | 200 |

| | | |
|------------|--|-----|
| 5 | Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz | 201 |
| 5.1 | Abgrenzung der Zielsetzungen | 201 |
| 5.2 | Einflussgrößen | 201 |
| 5.2.1 | Allgemeines | 201 |
| 5.2.2 | Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung..... | 202 |
| 5.2.3 | Wirksamkeit einer Sonnenschutzvorrichtung | 203 |
| 5.2.4 | Position des Sonnenschutzes | 204 |
| 5.2.5 | Art der Verglasung | 209 |
| 5.2.6 | Hinterlüftung des Sonnenschutzes | 209 |
| 5.2.7 | Nutzerverhalten | 210 |
| 5.2.8 | Flächenanteil der transparenten Außenbauteile | 210 |
| 5.2.9 | Orientierung der transparenten Außenbauteile..... | 212 |
| 5.2.10 | Neigungswinkel transparenter Außenbauteile | 213 |
| 5.2.11 | Art und Intensität der Raumlüftung | 214 |
| 5.2.12 | Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Bauteile..... | 215 |
| 5.2.13 | Raumgeometrie | 217 |
| 5.2.14 | Gebäudestandort..... | 217 |
| 5.3 | Temperaturamplitudenverhältnis und Phasenverschiebung | 217 |
| 5.4 | Sonneneintragskennwerte-Verfahren gemäß DIN 4108-2 | 221 |
| 5.4.1 | Nachweisprinzip | 221 |
| 5.4.2 | Sonneneintragskennwert S | 222 |
| 5.5 | Nachweis durch thermische Gebäudesimulation | 228 |
| 5.5.1 | Nachweisprinzip | 228 |
| 5.5.2 | Klimarandbedingungen | 230 |
| 6 | Vereinfachte Berechnung des Heizenergiebedarfs | 233 |
| 6.1 | Allgemeines | 233 |
| 6.2 | Begriffe | 233 |
| 6.3 | Wärmeverluste | 235 |
| 6.3.1 | Transmissionswärmeverlust..... | 235 |
| 6.3.2 | Lüftungswärmeverlust | 236 |
| 6.4 | Wärmegewinne | 236 |
| 6.4.1 | Interne Wärmegewinne | 236 |
| 6.4.2 | Solare Wärmegewinne | 237 |
| 6.5 | Jahres-Heizwärmebedarf | 238 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 6.6 | Jahres-Heizenergiebedarf | 239 |
| 7 | Bemessung von Gebäudegründungen zur Vermeidung von Frosthebungen | 241 |
| 7.1 | Einführung | 241 |
| 7.2 | Begriffe | 241 |
| 7.2.1 | Gründungstiefe | 241 |
| 7.2.2 | Frostindex | 241 |
| 7.2.3 | Frosteindringtiefe | 246 |
| 7.3 | Bodenplatten auf Erdreich bei beheizten Gebäuden | 246 |
| 7.3.1 | Fall 1 – ausschließlich vertikale Randdämmung | 247 |
| 7.3.2 | Fall 2 – zusätzlich horizontale Erdreichdämmung in den Ecken | 247 |
| 7.3.3 | Fall 3 – zusätzlich horizontale Erdreichdämmung um das Gebäude | 248 |
| 7.4 | Numerische Berechnungen | 250 |
| 7.4.1 | Allgemeines | 250 |
| 7.4.2 | Randbedingungen | 250 |
| 7.4.3 | Bemessungskriterium | 252 |
| 8 | Lüftung und Luftdichtheit | 253 |
| 8.1 | Luftbedarf | 253 |
| 8.1.1 | Raumluftqualität | 253 |
| 8.1.2 | Zielsetzungen einer ausreichenden und kontrollierten Lüftung | 255 |
| 8.2 | Luftdichtheit | 257 |
| 8.2.1 | Einführung | 257 |
| 8.2.2 | Anforderungen und Planungsempfehlungen gemäß DIN 4108-7 | 258 |
| 8.2.3 | Überprüfung der Luftdichtheit (Blower-Door Test) | 263 |
| 8.3 | Lüftungssysteme | 267 |
| 8.3.1 | Freie Lüftung | 267 |
| 8.3.2 | Ventilatorgestützte Lüftung | 271 |
| 8.4 | Luftführung bei ventilatorgestützter Lüftung | 276 |
| 8.4.1 | Arten der Luftführung | 276 |
| 8.4.2 | Lüftungstechnische Zonierung von Nutzungseinheiten | 277 |
| 8.4.3 | Vortemperierung der Zuluft über Erdwärmetauscher | 279 |
| 8.5 | Wärmetauscher in Lüftungsanlagen | 281 |
| 8.5.1 | Verfahren zur Wärmerückgewinnung | 281 |
| 8.5.2 | Kreuzwärmetauscher | 282 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 8.5.3 | Gegenstrom-Wärmetauscher | 282 |
| 8.5.4 | Kreisverbund-Wärmetauscher | 283 |
| 8.5.5 | Wärmerohre („heat-pipes“)..... | 284 |
| 8.5.6 | Rotations-Wärmetauscher..... | 284 |
| 8.5.7 | Kapillar-Ventilatoren | 285 |
| 8.6 | Lüftungskonzepte für Wohngebäude | 286 |
| 8.6.1 | Allgemeines | 286 |
| 8.6.2 | Lüftungsstufen gemäß DIN 1946-6 | 286 |
| 8.6.3 | Systeme der Wohnungslüftung gemäß DIN 1946-6 | 287 |
| 8.6.4 | Notwendigkeit Lüftungstechnischer Maßnahmen | 288 |
| 8.6.5 | Anrechenbarer Luftvolumenstrom durch Infiltration | 288 |
| 8.6.6 | Notwendige Außenluftvolumenströme | 289 |
| 8.6.7 | Darstellung der Anforderungssystematik | 290 |
| 9 | Thermische Behaglichkeit | 292 |
| 9.1 | Einführung | 292 |
| 9.2 | Wertepaar: Raumlufttemperatur vs. Oberflächentemperaturen | 294 |
| 9.2.1 | Raumlufttemperatur vs. Oberflächentemperatur insgesamt | 294 |
| 9.2.2 | Raumlufttemperatur vs. Fußbodentemperatur | 296 |
| 9.2.3 | Raumlufttemperatur vs. Deckentemperatur | 297 |
| 9.2.4 | Innenoberflächentemperatur verschiedener Bauteile | 298 |
| 9.2.5 | Raumlufttemperaturen bei unterschiedlichen Nutzungen | 300 |
| 9.3 | Raumlufttemperatur vs. Luftfeuchte | 300 |
| 9.4 | Raumlufttemperatur vs. Luftgeschwindigkeit | 302 |
| 9.5 | Analytische Bestimmung der thermischen Behaglichkeit nach DIN EN ISO 7730 | 302 |
| 9.5.1 | Anforderungen..... | 302 |
| 9.5.2 | Bestimmung des vorausgesagten mittleren Votums (PMV) | 304 |
| 9.5.3 | Bestimmung des vorausgesagten Prozentsatzes an Unzufriedenen (PPD) | 308 |
| 9.5.4 | Bestimmung der Beeinträchtigung durch Zugluft (DR) | 308 |
| 10 | Literaturverzeichnis | 313 |
| 10.1 | Verordnungen und Veröffentlichungen | 313 |
| 10.2 | Normen und Richtlinien | 315 |

1 Berechnungshilfen

1.1 Einheiten-Umrechnungstabellen

1.1.1 Länge

| | μm | mm | cm | dm | m | km | in | ft | yd |
|---------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|----------------------|----------------------|
| μm | 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

| | μm^2 | mm^2 | cm^2 | dm^2 | m^2 | km^2 | sq in | sq ft | sq yd |
|-----------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| μm^2 | 1 | 10^{-6} | 10^{-8} | 10^{-10} | 10^{-12} | 10^{-18} | | | |
| mm^2 | 10^6 | 1 | 10^{-2} | 10^{-4} | 10^{-6} | 10^{-12} | $1,55 \cdot 10^{-3}$ | $1,076 \cdot 10^{-5}$ | $1,196 \cdot 10^{-6}$ |
| cm^2 | 10^8 | 10^2 | 1 | 10^{-2} | 10^{-4} | 10^{-10} | | | |
| dm^2 | 10^{10} | 10^4 | 10^2 | 1 | 10^{-2} | 10^{-8} | | | |
| m^2 | 10^{12} | 10^6 | 10^4 | 10^2 | 1 | 10^{-6} | 1550 | 10,76 | 1,196 |
| 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

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

| | μm^3 | mm^3 | cm^3 | $\text{dm}^3 = 1 \ell$ | m^3 | km^3 | cu in | cu ft | cu yd |
|---------------|-----------------|-------------------|---------------|------------------------|----------------------|---------------|-------|-----------------------|-----------------------|
| m^3 | 10^{15} | 10^9 | 10^6 | 10^3 | 1 | 10^{-9} | 61023 | 35,32 | 1,307 |
| 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 |

¹⁾ $1 \text{ dm}^3 \triangleq 1 \text{ Liter} = 1 \ell$

(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 |

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

(dyn \triangleq dyne)

1.1.7 Spannung

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

1.1.8 Druck

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

1.1.9 Arbeit

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

(Btu \triangleq british thermal unit)

1.1.10 Leistung

| | mW | W ($\triangleq 1 \text{ N m/s}$) | 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 ¹⁾ | 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 ² ·°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 ² ·°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 ² ·K) | cal/(s·cm ² ·°C) | kcal/(h·m ² ·°C) | Btu/(h·ft ² ·°F) |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| W/(m ² ·K) | 1 | $2,38846 \cdot 10^{-5}$ | 0,85985 | 0,17611 |
| cal/(s·cm ² ·°C) | $4,1868 \cdot 10^4$ | 1 | $3,6 \cdot 10^4$ | $7,37338 \cdot 10^3$ |
| kcal/(h·m ² ·°C) | 1,163 | $2,77778 \cdot 10^{-5}$ | 1 | 0,20482 |
| Btu/(h·ft ² ·°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 |

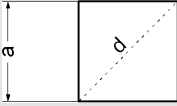
1.2 Griechisches Alphabet

| Sprechweise | Groß | Klein |
|-------------|-----------|------------|
| Alpha | A | α |
| Beta | B | β |
| Gamma | Γ | γ |
| Delta | Δ | δ |
| Epsilon | E | ϵ |
| Zeta | Z | ζ |
| Eta | H | η |
| Theta | Θ | θ |
| Iota | I | ι |
| Kappa | K | κ |
| Lambda | Λ | λ |
| My | M | μ |
| Ny | N | ν |
| Xi | Ξ | ξ |
| Omikron | O | o |
| Pi | Π | π |
| Rho | P | ρ |
| Sigma | Σ | σ |
| Tau | T | τ |
| Ypsilon | Y | υ |
| Phi | Φ | ϕ |
| Chi | X | χ |
| Psi | Ψ | ψ |
| Omega | Ω | ω |

1.3 Mathematische Grundlagen

1.3.1 Flächenberechnung

Quadrat

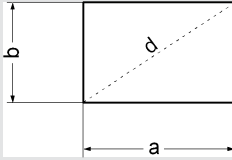


$$A = a^2$$

$$a = \sqrt{A}$$

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

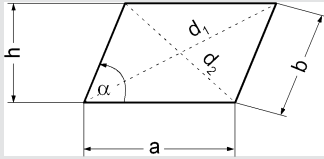
Rechteck



$$A = a \cdot b$$

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

Parallelogramm

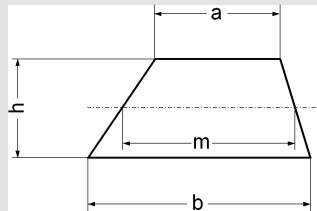


$$A = a \cdot h = a \cdot b \cdot \sin \alpha$$

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

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

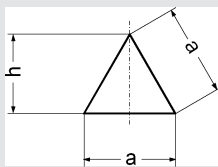
Trapez



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

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

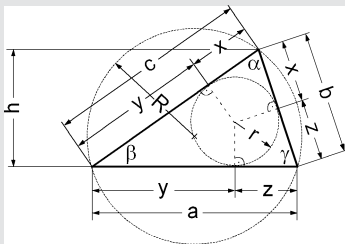
Gleichseitiges Dreieck



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

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

Allgemeines Dreieck



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

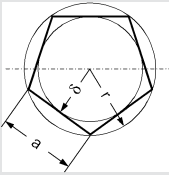
$$= \frac{1}{2} \cdot b \cdot c \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot a \cdot c \cdot \sin \beta = \frac{1}{2} \cdot a \cdot b \cdot \sin \gamma$$

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

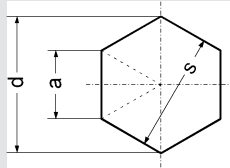


$$A = \frac{5}{8} \cdot r^2 \cdot \sqrt{10 + 2 \cdot \sqrt{5}}$$

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

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

Regelmäßiges Sechseck

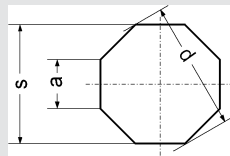


$$A = \frac{3}{2} \cdot a^2 \cdot \sqrt{3}$$

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

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

Regelmäßiges Achteck



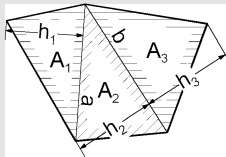
$$A = 2 \cdot a \cdot s = 2 \cdot s \cdot \sqrt{d^2 - s^2} \approx 0,83 \cdot s^2$$

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

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

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

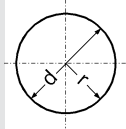
Vieleck



$$A = A_1 + A_2 + A_3$$

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

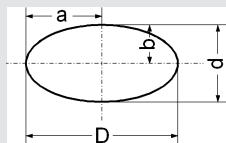
Kreis



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

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

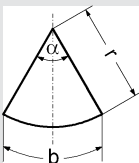
Ellipse



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

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

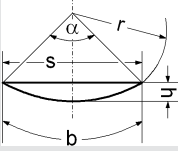
Kreisausschnitt



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

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

Kreisabschnitt



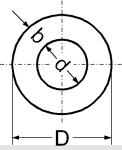
$$A = \frac{r^2}{2} \cdot \left(\pi \cdot \frac{\alpha^\circ}{180^\circ} - \sin \alpha \right) \approx \frac{h}{6 \cdot s} \cdot (3 \cdot h^2 + 4 \cdot s^2)$$

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

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

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

Kreisring

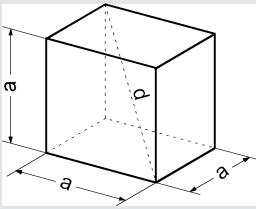


$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = \pi \cdot b \cdot (d + b)$$

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

1.3.2 Volumenberechnung

Würfel

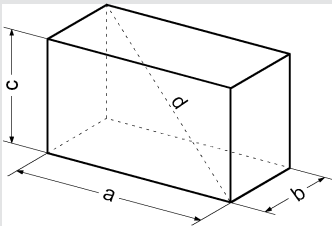


$$V = a^3$$

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

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

Quader

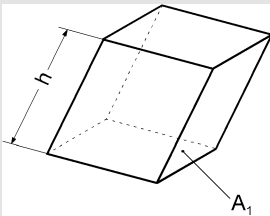


$$V = a \cdot b \cdot c$$

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

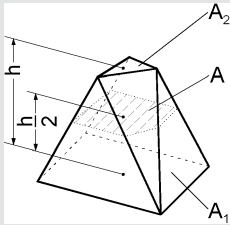
$$d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

Schiefer Quader



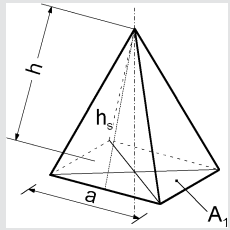
$$V = A_1 \cdot h$$

Prismatoid



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

Pyramide

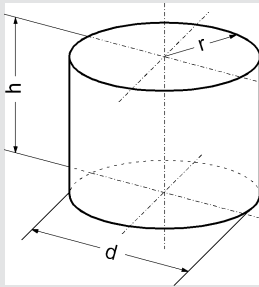


$$V = \frac{1}{3} \cdot A_1 \cdot h$$

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

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

Zylinder

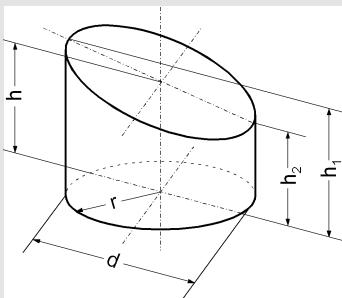


$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h$$

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

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

Schief abgeschnittener Zylinder

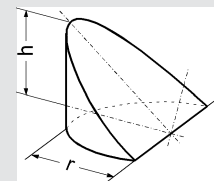


$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h$$

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

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

Zylinderhuf (Zylinderabschnitt)

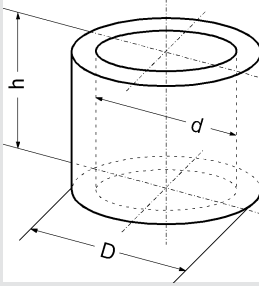


$$V = \frac{2}{3} \cdot r^2 \cdot h$$

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

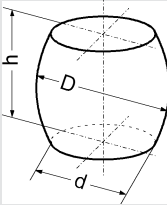
$$O = M + \frac{\pi}{2} \cdot r^2 + \frac{\pi}{2} \cdot r \cdot \sqrt{r^2 + h^2}$$

Hohlzylinder



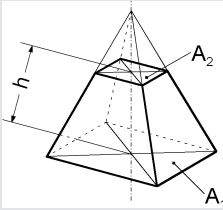
$$V = \frac{\pi}{4} \cdot h \cdot (D^2 - d^2)$$

Fass



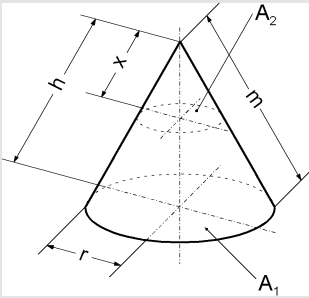
$$V \approx \frac{\pi}{12} \cdot h \cdot (2 \cdot D^2 + d^2)$$

Pyramidenstumpf (gilt auch bei „anderseckigen“ Grundflächen)



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

Kegel



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

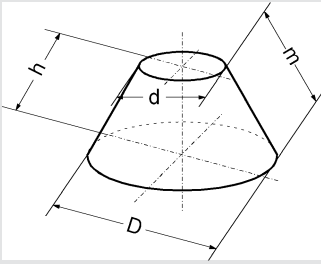
$$M = \pi \cdot r \cdot m$$

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

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

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

Kegelstumpf

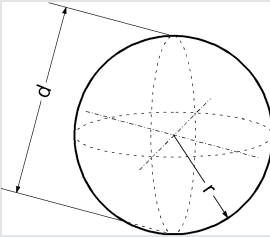


$$V = \frac{\pi}{12} \cdot h \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2)$$

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

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

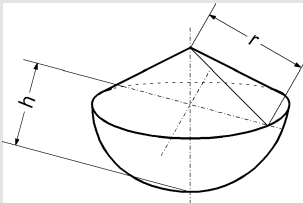
Kugel



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

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

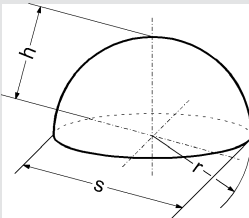
Kugelausschnitt



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

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

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

$$\log_e a = \ln a$$

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

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

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

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

$$\log_b 1 = 0$$

$$\log_b b = 1$$

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

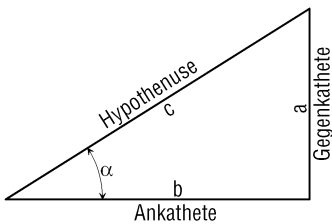
$$\log_b \left(\frac{c}{d} \right) = \log_b c - \log_b d$$

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

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

Quadratische Gleichung

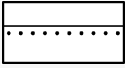
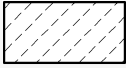

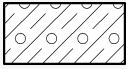
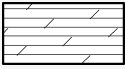
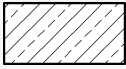
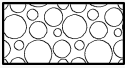
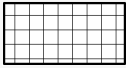
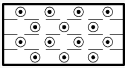
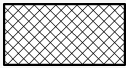
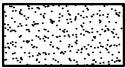
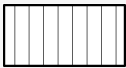
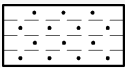
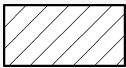
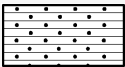
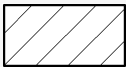

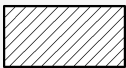
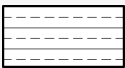
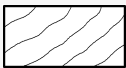

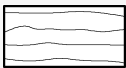
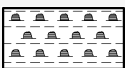
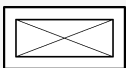

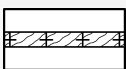

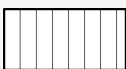


$$x^2 + p \cdot x + q = 0 \quad x_{1/2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$$



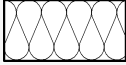
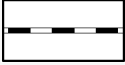



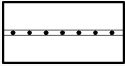
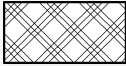
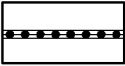

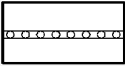

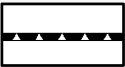

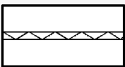
1.3.4 Trigonometrie

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

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

1.4 Bauschraffuren gemäß DIN 1356-1, DIN ISO 128-50 und Flachdachrichtlinie

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---|-----------------------|---|-----------------------------------|
| 1 | Darstellungsart | Material / Bauteil | Darstellungsart | Material / Bauteil |
| |  | aufgefülltes Erdreich |  | unbewehrter Beton |
| 2 |  | gewachsenes Erdreich |  | Leichtbeton |
| 3 |  | Fels |  | wasserundurchlässiger Beton |
| 4 |  | Kies |  | Beton-Fertigteil |
| 5 |  | Sand |  | Dichtstoff |
| 6 |  | |  | Mauerwerk (natürlicher Stein) |
| 7 |  | Sandstein |  | Mauerwerk (künstlicher Stein) |
| 8 |  | |  | Mauerwerk (geringe Festigkeit) |
| 9 |  | |  | Mauerwerk (höhere Festigkeit) |
| 10 |  | Ton |  | Holz (quer zur Faser) |
| 11 |  | Torf, Humus |  | Holz (längs zur Faser) |
| 12 |  | Mudde |  | Holz (Querschnitt) |
| 13 |  | Gipsplatten |  | Holz (Nut- und Federbretter) |
| 14 |  | Mörtel, Putz |  | Holzwerkstoff |
| 15 |  | bewehrter Beton |  | Stahl |

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---|-----------------------------|---|---|
| 1 | Darstellungsart | Material / Bauteil | Darstellungsart | Material / Bauteil |
| 16 |  | lichtdurchlässiges Material |  | teiflächige Verklebung |
| 17 |  | Dämmstoff |  | Sperrstoff / Abdichtung (gegen Feuchtigkeit) |
| 18 |  | Dämmstoff (Hartschaum) |  | Dampfdruck- ausgleichsschicht |
| 19 |  | Gummi, Elastomere |  | Kunststoffbahn/ Elastomerbahn |
| 20 |  | Duroplaste |  | Dampfbremse Kunststoffbahn |
| 21 |  | Thermoplaste |  | Schutzlage Kunststoffbahn |
| 22 |  | Voranstrich |  | Flüssigabdichtung |
| 23 |  | Kleber, Klebefilm |  | Trenn- bzw. Schutzlage |

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 10456 zusammengestellt.

1.5.1 Putze, Mörtel, Asphalt und Estriche

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|--|--------------------------------|------------------------|--------------|
| 1 | Stoff | ρ in kg/m ³ | λ in W/(mK) | μ [-] |
| 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 | 50 / 200 |
| 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 | |
| 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 | 15 / 35 |
| 32 | Magnesia-Estrich | 1400 | 0,47 | |
| 33 | | 2300 | 0,70 | |

1.5.2 Beton

| | 1 | | 2 | 3 | 4 |
|----|---|------|--------------------------------|------------------------|--------------|
| 1 | Stoff | | ρ in kg/m ³ | λ in W/(mK) | μ [-] |
| 2 | Beton | | 1800 | 1,15 | 60 / 100 |
| 3 | | | 2000 | 1,35 | |
| 4 | | | 2200 | 1,65 | 70 / 120 |
| 5 | | | 2400 | 2,00 | 80 / 130 |
| 6 | | | 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 λ 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 | 1600 | 0,81 | 3 / 10 | | |
| 33 | Leichtbeton mit haufwerkporigem Gefüge - mit nichtporigen Zuschlägen nach DIN 4226-1, z.B. Kies | 1800 | | 1,1 | |
| 34 | | 2000 | | 1,4 | 5 / 10 |