



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für Kraftfahrzeugtechnik

# Tabellenbuch Kraftfahrzeugtechnik

Tabellen

Formeln

Übersichten

Normen

- **Mathematik** • **Betriebsführung** • **Grundkenntnisse** • **Werkstoffkunde**
- **Zeichnen** • **Fachkenntnisse Kraftfahrzeugtechnik** • **Elektrische Anlage**
- **Vorschriften**

17. Auflage

Lektorat: Rolf Gscheidle, Studiendirektor

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

**Europa-Nr.: 20566** ohne Formelsammlung  
**Europa-Nr.: 2056X** mit Formelsammlung

Autoren des Tabellenbuches Kraftfahrzeugtechnik:

|                   |  |                          |
|-------------------|--|--------------------------|
| Fischer, Richard  | Studiendirektor                            | Polling – München        |
| Gscheidle, Rolf   | Studiendirektor                            | Winnenden                |
| Gscheidle, Tobias | Studiendirektor                            | Sindelfingen – Stuttgart |
| Heider, Uwe       | Kfz-Elektriker-Meister,<br>Trainer Audi AG | Neckarsulm – Ellhofen    |
| Hohmann, Berthold | Studiendirektor                            | Eversberg                |
| van Huet, Achim   | Oberstudienrat                             | Oberhausen – Essen       |
| Keil, Wolfgang    | Oberstudiendirektor                        | München                  |
| Lohuis, Rainer    | Oberstudienrat                             | Hückelhoven – Aachen     |
| Mann, Jochen      | Studiendirektor                            | Schorndorf               |
| Schlögl, Bernd    | Studiendirektor                            | Rastatt – Gaggenau       |
| Steidle, Bernhard | Studiendirektor                            | Stuttgart – Neckarsulm   |
| Wimmer, Alois     | Oberstudienrat                             | Berghülen                |

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises:

Rolf Gscheidle, Studiendirektor, Winnenden

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Leinfelden-Echterdingen

17. Auflage 2017

Druck 6 5 4 3 2 1

Alle Drucke dieser Auflage sind im Unterricht nebeneinander einsetzbar, da sie bis auf die korrigierten Druckfehler und kleine Normänderungen unverändert sind.

ISBN 978-3-8089-2127-4 ohne Formelsammlung

ISBN 978-3-8085-2137-3 mit Formelsammlung

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

© 2017 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz und Layout: rkt, 42799 Leichlingen, [www.rktypo.com](http://www.rktypo.com)

Umschlag: braunwerbeagentur, 43477 Radevormwald

Umschlagfotos: Daimler AG, Stuttgart und © Anna Om – Fotolia.com

Druck: M.P. Media-Print Informationstechnologie GmbH, 33100 Paderborn

**Vorwort**

Die neu gestaltete und umfassend überarbeitete Auflage des Tabellenbuches Kraftfahrzeugtechnik dient als Nachschlagewerk von kraftfahrzeugtechnischen Problemstellungen in Service, Reparatur, Diagnose sowie Um- und Nachrüstung. Alle technisch aktuellen Themen wurden neu aufgenommen und die Bilder und Tabellen sind nach methodischen und didaktischen Gesichtspunkten gestaltet.

**Zielgruppen**

Auszubildende, Facharbeiter, Techniker, Meister und Studierende des Bereiches Kraftfahrzeugtechnik.

**Hinweise für den Benutzer**

**Inhaltsverzeichnis.** Zum schnellen Aufsuchen von Sachverhalten ein ausführliches Inhaltsverzeichnis vorangestellt.

**Sachwortverzeichnis.** Es ermöglicht ein rasches Auffinden von Inhalten und Begriffen.

**Griffleiste.** Um ein schnelles Auffinden der 8 Sachgebiete zu ermöglichen, ist jedem Abschnitt eine Griffmulde zugeordnet.

**Inhalt**

**Mathematik.** Das Kapitel ist gegliedert in allgemeine Grundlagen und fachspezifische Berechnungen am Kraftfahrzeug.

Bei den Formeln werden zwei Gleichungen unterschieden:  
 Größengleichungen nach DIN 1313 (**rot** umrahmt)  
 Zahlenwertgleichungen (**blau** umrahmt).

**Hinweis:** Bei Zahlenwertgleichungen müssen die Größen in den angegebenen Einheiten eingesetzt werden.

**Betriebsführung.** In diesem Kapitel werden Grundlagen, Auftragsabwicklung, Qualitätssicherung und Kostenrechnen behandelt.

**Grundkenntnisse.** In diesem Kapitel sind Grundkenntnisse der Physik, Chemie, Informationstechnik sowie des Steuerns und Regelns tabellarisch dargestellt. Ebenso sind metalltechnische Grundlagen, Fügetechniken, Normteile und die Grundlagen der Zerspantechnik übersichtlich zusammengestellt.

**Werkstoffkunde.** Aufbau, Herstellung und Arten von Kraftstoffen sowie weitere Betriebs- und Hilfsstoffe sind nach neuester Norm zusammengestellt. Aktuelle Kühlflüssigkeiten, Kältemittel und AdBlue wurden aufgenommen.

**Zeichnen.** Hier sind geometrische Grundkonstruktionen, grafische Darstellungen und alle notwendigen Normen, Grenzabmaße und Passungen zum Technischen Zeichnen aufgeführt.

**Fachkenntnisse.** Dieses Kapitel umfasst wichtige kraftfahrzeugtechnische Inhalte, dargestellt in tabellarischer Form. Vorangestellt sind Tabellen mit Fahrzeugdaten von Pkw, Krafträder, Nkw und Traktoren.

In den Unterkapiteln **Motor**, **Antriebsstrang**, **Fahrwerk** und **Fahrzeugbau** sind technische Neuerungen, wie z. B. Kühl-, Schmier- und Gemischbildungssysteme, Abgasnachbehandlung, Hybridantriebe, E-Maschine, IT-Netz, Freischalten von Elektrofahrzeugen, automatisierte Schaltgetriebe, Reifen, Ventile, Abschnittsreparatur, Lackieren sowie EBS-Druckluftbremsanlage, neu aufgenommen.

**Elektrische Anlage.** Hier sind alle wichtigen elektrischen Geräte und Systeme behandelt. Neu aufgenommen sind: Neue Bus- und Komfortsysteme, Hochvolt-Technik, Fehlersuchpläne, Fahrerassistenzsysteme.

**Vorschriften.** In diesem Kapitel sind wichtige kraftfahrzeugtechnische Vorschriften sowie Vorschriften zur Unfallverhütung nach den neuesten technischen und gesetzlichen Bestimmungen zusammengestellt, wie z. B. Gefährdungskennlinien, Vorschriften E-Mobilität, Nkw-Ladevorschriften, Ladungssicherung und Bremsenprüfung Nkw.

|                    |   |
|--------------------|---|
| Inhaltsverzeichnis | 5 |
|--------------------|---|

|            |          |
|------------|----------|
| Mathematik | 6 ... 96 |
|------------|----------|

M

|                    |    |
|--------------------|----|
| Inhaltsverzeichnis | 97 |
|--------------------|----|

|                 |            |
|-----------------|------------|
| Betriebsführung | 98 ... 118 |
|-----------------|------------|

B

|                    |     |
|--------------------|-----|
| Inhaltsverzeichnis | 119 |
|--------------------|-----|

|                 |             |
|-----------------|-------------|
| Grundkenntnisse | 120 ... 160 |
|-----------------|-------------|

G

|                    |     |
|--------------------|-----|
| Inhaltsverzeichnis | 161 |
|--------------------|-----|

|                |             |
|----------------|-------------|
| Werkstoffkunde | 162 ... 198 |
|----------------|-------------|

W

|                    |     |
|--------------------|-----|
| Inhaltsverzeichnis | 199 |
|--------------------|-----|

|          |             |
|----------|-------------|
| Zeichnen | 200 ... 216 |
|----------|-------------|

Z

|                    |     |
|--------------------|-----|
| Inhaltsverzeichnis | 217 |
|--------------------|-----|

|                |             |
|----------------|-------------|
| Fachkenntnisse | 218 ... 426 |
|----------------|-------------|

F

|                    |     |
|--------------------|-----|
| Inhaltsverzeichnis | 427 |
|--------------------|-----|

|                    |             |
|--------------------|-------------|
| Elektrische Anlage | 428 ... 514 |
|--------------------|-------------|

E

|                    |     |
|--------------------|-----|
| Inhaltsverzeichnis | 515 |
|--------------------|-----|

|              |             |
|--------------|-------------|
| Vorschriften | 516 ... 559 |
|--------------|-------------|

V

## Firmenverzeichnis

Die nachfolgend aufgeführten Firmen haben die Autoren durch fachliche Beratung, durch Informations- und Bildmaterial unterstützt. Es wird ihnen hierfür herzlich gedankt.

**Alcan Aluminiumwerke GmbH**  
Werk Nürnberg

**ARAL AG**, Bochum

**Audatex Deutschland**, Minden

**Audi AG**

Ingoldstadt, Neckarsulm

**Behr GmbH & Co**, Stuttgart

**Beissbarth GmbH**

Automobil Servicegeräte  
München

**Beru-BorgWarner**

**Federal-Mogul**

Ludwigsburg

**BMW**

**Bayrische Motoren-Werke AG**

München

**Continental Teves AG & Co, OHG**

Frankfurt

**ROBERT BOSCH GMBH**, Stuttgart

**Case-Steyr**

**Landmaschinentechnik GmbH**

St. Valentin Österreich

**Citroen Deutschland AG**, Köln

**Continental Aftermarket GmbH**,

Eschborn

**Daimler AG**, Stuttgart

**Dataliner Richtsysteme**

Ahlerstedt

**DEKRA AG**, Stuttgart

**Deutsche BP AG**, Hamburg

**Deutsche Gesetzliche**

**Unfallversicherung**

München

**Deutz Fahr Agrarsysteme GmbH**

Lauingen

**Dhollandia Deutschland GmbH**,

Glinde

**Ducati Motor Deutschland**

Köln

**DUNLOP GmbH**, Hanau/Main

**J. Eberspächer**, Esslingen

**ESSO AG**, Essen

**FAG Kugelfischer**

**Georg Schäfer AG**

Schweinfurt

**Fendt Agro**, Marktoberdorf

**Ferrari Deutschland GmbH**  
Wiesbaden

**Ford-Werke AG**, Köln

**Getrag, Getriebe- und**

**Zahnradfabrik GmbH**

Ludwigsburg

**Gewerbeaufsichtsamt**

München-Land

**GKN Löbro GmbH**

Offenbach/Main

**Glasurit GmbH**

Münster, Westfalen

**Graubremse GmbH**, Heidelberg

**Hella KG, Hueck & Co**, Lippstadt

**HONDA DEUTSCHLAND GMBH**

Offenbach/Main

**Huf Hülsbeck & Fürst**

**GmbH & Co KG**

Velbert

**Michael Immler GmbH**

Immenstadt

**IVECO-Magirus AG**, Ulm

**John Deere**, Bruchsal

**Josam Richttechnik GmbH**

Henstedt-Ulzburg

**Koch Achsmessanlagen**

Wennigsen

**MSI Motorservice**

**International GmbH**

**Kolbenschmidt**

Pierburg / Neckarsulm

**Knorr-Bremse GmbH**

München

**KTM Sportmotorcycles AG**,

Mattighofen/Österreich

**LuK GmbH**, Bühl / Baden

**MAHLE GmbH**, Stuttgart

**MAN Maschinenfabrik**

Augsburg-Nürnberg AG, München

**Mann und Hummel, Filterwerke**

Ludwigsburg

**Mazda Motors Deutschland GmbH**

Leverkusen

**MCC – Micro Compact Car GmbH**

Böblingen

**Messer-Griesheim GmbH**

Frankfurt/Main

**Metzeler Reifen GmbH**,

**Techn. Kundendienst**

München

**Michelin Reifenwerke**

**AG & Co KGaA**

Karlsruhe

**NGK**, Ratingen

**OMV AG**, Wien

**Adam Opel AG**, Rüsselsheim

**OZ Deutschland GmbH**

Biberach

**Piaggio Gilera Deutschland GmbH**

Dieburg

**Pirelli Deutschland GmbH**

Breuberg

**Dr .Ing. h.c. F. Porsche AG**

Stuttgart

**Renault Nissan Deutschland AG**

Brühl

**Ringfeder VBG Group**

**Truck Equipment**

Krefeld

**SCANIA Deutschland GmbH**

Koblenz

**Siemes Deutschland**, München

**SKF Kugellagerfabriken GmbH**

Schweinfurt

**Spicer Gelenkwellenbau GmbH**

Essen

**Subaru Deutschland GmbH**

Friedberg/Hessen

**Sun Electric Deutschland GmbH**

Mettmann

**Technolit GmbH**, Großlüder

**Temic Elektronik**, Nürnberg

**Toyota Deutschland GmbH**

Köln

**TÜV**, München

**Volkswagen AG**, Wolfsburg

**Wabco Westinghouse GmbH**

Hannover

**ZF Friedrichshafen AG**

Freidrichshafen

**ZF Getriebe GmbH**

Saarbrücken

**ZF Sachs AG**, Schweinfurt

**Grundlagen**

|   |    |          |
|---|----|----------|
| Einheiten im Messwesen, Größen, Formelzeichen, Einheiten            | 6  | <b>M</b> |
| Taschenrechner  | 10 |          |
| Winkelfunktionen  | 11 |          |
| Prozent-, Zins-, Verhältnis-, Mischungsrechnen                      | 12 |          |
| Längen, Gestreckte Längen, Biegeradius, Kanten, Bördeln von Blechen | 13 |          |
| Flächen, Volumen  | 16 |          |

**Mechanik · Hydraulik · Pneumatik · Wärmetechnik · Antriebe**

|   |    |          |
|---|----|----------|
| Masse, Dichte, Kräfte                                   | 21 | <b>B</b> |
| Geschwindigkeit, Beschleunigung, Verzögerung, Überholen | 24 |          |
| Arbeit, Energie, Leistung, Wirkungsgrad                 | 29 |          |
| Drehmoment, Hebel, Flaschenzug, Reibung, Festigkeit     | 31 |          |
| Druck, Hydraulik, Pneumatik, Wärmetechnik               | 37 |          |
| Riementrieb, Zahnradtrieb                               | 44 | <b>G</b> |

**Berechnungen Motor**

|  |    |          |
|--|----|----------|
| Hubraum, Verdichtung, Kolbengeschwindigkeit, Gasdruck, Kolbenkraft, Kurbeltrieb  | 47 | <b>W</b> |
| Steuerwinkel, Steuerzeiten, Ventilöffnungszeit, Gasgeschwindigkeit               | 50 |          |
| Luftverhältnis, Liefergrad, Luftverbrauch, Kraftstoffverbrauch                   | 51 |          |
| Kraftstoffeinspritzmenge, Schmierölverbrauch, Mischungsverhältnis, Ölfördermenge | 53 |          |
| Zugeführte Wärmemenge, Motorkühlung, Gefrierschutzmischung                       | 54 |          |
| Motor-, Nutz- und Innenleistung, Wirkungsgrad, innere Arbeit, Hubraumleistung    | 55 |          |

**Berechnungen Antriebsstrang (Kraftübertragung)**

|  |    |          |
|--|----|----------|
| Kupplung, Wechselgetriebe  | 61 | <b>Z</b> |
| Achsgetriebe, Gesamtübersetzung  | 65 |          |
| Antriebskraft an den Antriebsrädern, Drehmoment, Leistung, Fahrgeschwindigkeit | 66 |          |
| Ausgleichsgetriebe, Kreuzgelenke, Gelenkwellen                                 | 68 |          |
| Fahrwiderstände, Antriebskraft, Antriebsleistung, Fahrschaubild                | 70 |          |

**Berechnungen Fahrwerk**

|   |    |          |
|---|----|----------|
| Achskräfte, Auflagerkräfte, Schwerpunktabstand, Federberechnung                 | 74 | <b>F</b> |
| Lenkung: Spur, Spurdifferenzwinkel, Lenkgetriebe, Gesamtübersetzung der Lenkung | 77 |          |
| Bremsen: Mechanische, hydraulische Übersetzung, Leitungsdruck, Spannkraft       | 79 |          |
| Gesamtübersetzung, Umfangskraft, Bremsmoment, Trägheitskraft, Bremskraft        | 81 |          |
| Bremsarbeit, -leistung, -prüfung, Abbremsung                                    | 83 |          |

**Berechnungen Elektrotechnik**

|   |    |          |
|---|----|----------|
| Ohmsches Gesetz, Widerstand                                   | 85 | <b>V</b> |
| Spannungsabfall, Stromdichte, Leitungsberechnung              | 86 |          |
| Schaltung von Widerständen                                    | 87 |          |
| Spannungsteiler, Messbrücke (Wheatstonesche Brücke)           | 88 |          |
| Kondensatoren, Elektrische Leistung und Arbeit, Wirkungsgrad  | 89 |          |
| Batterie  | 90 |          |
| Magnetisches Feld, Elektrisches Feld                          | 91 |          |
| Wechselstrom  | 92 |          |
| Schaltung von Wechselstromwiderständen                        | 93 |          |
| Stern- und Dreieckschaltung, Transformator, Antennen          | 94 |          |
| Elektronische Bauelemente, Winkel und Zeiten beim Zündvorgang | 95 |          |
| Pulsweitenmodulation, Datenübertragung                        | 96 |          |

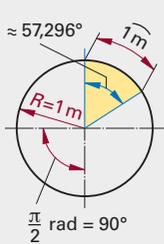
**SI-Basiseinheiten**

Die Einheiten im Messwesen sind im internationalen Einheitensystem (SI = System International d'Unités) festgelegt. Das SI-System baut auf 7 Basiseinheiten (Grundeinheiten) auf, von denen weitere Einheiten abgeleitet sind. Dezimale Vielfache und dezimale Teile von Einheiten können nach DIN 1301 bezeichnet werden, z. B. Kilometer mit km oder Millimeter mit mm.

Das SI-System fördert die internationale Vereinheitlichung im Messwesen; es wurde für die Bundesrepublik Deutschland durch das „Gesetz über Einheiten im Messwesen“ rechtsverbindlich.

| Basisgröße   | Länge | Masse     | Zeit    | Elektrische Stromstärke | Thermodynamische Temperatur | Stoffmenge | Lichtstärke |
|--------------|-------|-----------|---------|-------------------------|-----------------------------|------------|-------------|
| Basiseinheit | Meter | Kilogramm | Sekunde | Ampere                  | Kelvin                      | Mol        | Candela     |
| Kurzzeichen  | m     | kg        | s       | A                       | K                           | mol        | cd          |

**Größen**

| Größe   | Formelzeichen   | Einheit           |                | Umrechnung, Erklärung  |                |                     |                      |                 |                 |
|---|---|-------------------|----------------|--|----------------|---------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
|   |   | Name              | Zeichen        |  |                |                     |                      |                 |                 |
| <b>Länge</b>  | <i>l</i>  | <b>Meter</b>      | <b>m</b>       |  | m              | dm                  | cm                   | mm              |                 |
| Breite  | <i>b</i>  |                   |                | 1 km   | 1000           | 10 000              | 100 000              | 1 000 000       |                 |
| Höhe, Tiefe   | <i>h</i>  |                   |                | 1 m  | 1              | 10                  | 100                  | 1 000           |                 |
| Radius, Halbmesser  | <i>r</i>  |                   |                | 1 dm   | 0,1            | 1                   | 10                   | 100             |                 |
| Durchmesser   | <i>d</i>  |                   |                | 1 cm   | 0,01           | 0,1                 | 1                    | 10              |                 |
| Strecke   | <i>s</i>  |                   |                | 1 mm   | 0,001          | 0,01                | 0,1                  | 1               |                 |
| Dicke   | <i>δ, d</i>   |                   |                | 1 μm   | 0,000 001      | 0,000 01            | 0,000 1              | 0,001           |                 |
| <b>Fläche</b>   | <i>A, S</i>   |                   |                | Quadratmeter   | m <sup>2</sup> |                     | m <sup>2</sup>       | dm <sup>2</sup> | cm <sup>2</sup> |
| Querschnittsfläche  | <i>S, q</i>   | 1 m <sup>2</sup>  | 1              |  |                | 100                 | 10 000               | 1 000 000       |                 |
|   |   | 1 dm <sup>2</sup> | 0,01           |  |                | 1                   | 100                  | 10 000          |                 |
|   |   | 1 cm <sup>2</sup> | 0,000 1        |  |                | 0,01                | 1                    | 100             |                 |
|   |   | 1 km <sup>2</sup> | 1 000 000      |  |                |                     |                      |                 |                 |
|   |   |                   |                | <b>1 ha = 100 a = 10 000 m<sup>2</sup> = 0,01 km<sup>2</sup></b>   |                |                     |                      |                 |                 |
| <b>Volumen</b>  | <i>V</i>  | Kubikmeter        | m <sup>3</sup> |  | m <sup>3</sup> | dm <sup>3</sup> (l) | cm <sup>3</sup> (ml) | mm <sup>3</sup> |                 |
| Rauminhalt  |   |                   |                | 1 m <sup>3</sup>   | 1              | 1 000               | 1 000 000            |                 |                 |
|   |   |                   |                | 1 dm <sup>3</sup> (l)  | 0,001          | 1                   | 1 000                | 1 000 000       |                 |
|   |   |                   |                | 1 cm <sup>3</sup> (ml)   | 0,000 001      | 0,001               | 1                    | 1 000           |                 |
|   |   |                   |                | 1 mm <sup>3</sup>  |                | 0,000 001           | 0,001                | 1               |                 |
|   |   |                   |                | <b>1 l = 1 dm<sup>3</sup> = 1 000 cm<sup>3</sup></b>   |                |                     |                      |                 |                 |
| <b>Zeit</b>   | <i>t</i>  | <b>Sekunde</b>    | <b>s</b>       |  | d              | h                   | min                  | s               |                 |
| Zeitspanne  |   |                   |                | 1 s  |                | 0,000 278           | 0,01667              | 1               |                 |
| Dauer   |   |                   |                | 1 min  |                | 0,000 69            | 0,01667              | 1               | 60              |
|   |   |                   |                | 1 h  |                | 0,041 67            | 1                    | 60              | 3 600           |
|   |   |                   |                | 1 Tag  |                | 1                   | 24                   | 1 440           | 86 400          |
|   |   |                   |                | 1 Jahr   |                | ~365                | ~8 760               | ~525 600        | ~31 536 000     |
|   |   |                   |                | <b>Zeitspanne: 3 h = 3 Stunden<br/>Zeitpunkt: 3<sup>h</sup> = 3:00 Uhr</b>   |                |                     |                      |                 |                 |
| <b>Winkel</b><br>z.B. Phasenwinkel  | <i>α, β, γ</i><br>...<br><i>φ</i>   | <b>Radiant</b>    | <b>rad</b>     | 1 rad ist gleich dem Winkel, der als Zentriwinkel aus einem Kreis mit <i>R</i> = 1 m einen Kreisbogen von 1 m Länge ausschneidet |                |                     |                      |                 |                 |
|  | 1 rad = $\frac{1 \text{ m (Bogen)}}{1 \text{ m (Radius)}}$ 1 rad ≈ 57,3°                      |                   |                |  |                |                     |                      |                 |                 |
|   | 1 Vollwinkel = 2 · π rad  |                   |                |  |                |                     |                      |                 |                 |
|   | 1° = $\frac{\pi}{180}$ rad  |                   |                |  |                |                     |                      |                 |                 |
|   | 1' = $\left(\frac{1}{60}\right)^\circ = \frac{\pi}{10800}$ rad                                |                   |                |  |                |                     |                      |                 |                 |
|   | 1" = $\left(\frac{1}{60}\right)' = \left(\frac{1}{360}\right)^\circ = \frac{\pi}{648000}$ rad |                   |                |  |                |                     |                      |                 |                 |
| 1 gon = $\frac{\pi}{200}$ rad   |   |                   |                |  |                |                     |                      |                 |                 |

| Größen                      |               |                           |                    |   |                   |                    |                   |           |
|-----------------------------|---------------|---------------------------|--------------------|---|-------------------|--------------------|-------------------|-----------|
| Größe                       | Formelzeichen | Einheit                   |                    | Umrechnung, Erklärung   |                   |                    |                   |           |
|                             |               | Name                      | Zeichen            |   |                   |                    |                   |           |
| <b>Geschwindigkeit</b>      | $v$           | Meter/Sekunde             | m/s                |   | m/s               | m/min              | km/h              |           |
| Umfangsgeschwindigkeit      | $v$           | Kilometer/Stunde          | km/h               | 1 km/h  | 0,2778            | 16,667             | 1                 |           |
| Lichtgeschwindigkeit        | $c$           |                           |                    | 1 m/min   | 0,01667           | 1                  | 0,06              |           |
| Winkelgeschwindigkeit       | $\omega$      | Radian/ Sekunde           | rad/s              | 1 m/s   | 1                 | 60                 | 3,6               |           |
|                             |               |                           |                    | 1 cm/s  | 0,01              | 0,6                | 0,036             |           |
| <b>Frequenz</b>             | $f, \nu$      | Hertz                     | Hz                 | Anzahl periodischer Vorgänge pro Sekunde  |                   |                    |                   |           |
|                             |               | reziproke Sekunde         | 1/s                | 1 Hz = 1/s = s <sup>-1</sup>  |                   |                    |                   |           |
| Drehzahl                    | $n$           | reziproke Minute          | 1/min              | 1/s = 60/min  |                   |                    |                   |           |
| Kreisfrequenz               | $\omega$      | reziproke Sekunde         | 1/s                | $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  |                   |                    |                   |           |
| Periodendauer               | $T$           | Sekunde                   | s                  |   |                   |                    |                   |           |
| <b>Beschleunigung</b>       | $a$           | Meter/Sekunde hoch zwei   | m/s <sup>2</sup>   | Wirkungsrichtung: Beliebig  |                   |                    |                   |           |
| örtliche Fallbeschleunigung | $g$           |                           |                    | Wirkungsrichtung: Zum Erdmittelpunkt<br>$g = 9,80665 \text{ m/s}^2 \approx 9,81 \text{ m/s}^2$ wird meist als Normfallbeschleunigung angegeben. |                   |                    |                   |           |
| Winkelbeschleunigung        | $\alpha$      | Radian/ Sekunde hoch zwei | rad/s <sup>2</sup> |   |                   |                    |                   |           |
| <b>Masse</b>                | $m$           | <b>Kilogramm</b>          | <b>kg</b>          |   | g                 | kg                 | Mg (t)            |           |
| Gewicht als Wägeregebnis    |               | Gramm                     | g                  | 1 kg  | 1 000             | 1                  | 0,001             |           |
|                             |               | Tonne                     | t                  | 1 g   | 1                 | 0,001              | 0,000 001         |           |
|                             |               |                           |                    | 1 Mg (t)  | 1 000 000         | 1 000              | 1                 |           |
| längenbezogene Masse        | $m'$          | Kilogramm/Meter           | kg/m               | $m = l \cdot m'$<br>$m'$ wird z.B. zur Berechnung der Masse von Profilen, Stäben und Rohren benutzt.  |                   |                    |                   |           |
| flächenbezogene Masse       | $m''$         | Kilogramm/Quadratmeter    | kg/m <sup>2</sup>  | $m = A \cdot m''$<br>$m''$ wird z.B. zur Berechnung der Masse von Blechen und Platten verwendet.  |                   |                    |                   |           |
| <b>Dichte</b>               | $\rho$        | Kilogramm/ Kubikmeter     | kg/m <sup>3</sup>  |   | g/cm <sup>3</sup> | kg/dm <sup>3</sup> | kg/m <sup>3</sup> |           |
|                             |               |                           |                    | 1 kg/m <sup>3</sup>   | 0,001             | 0,001              | 1                 |           |
|                             |               | Kilogramm/ Kubikdezimeter | kg/dm <sup>3</sup> | 1 kg/dm <sup>3</sup>  | 1                 | 1                  | 1 000             |           |
|                             |               |                           |                    | 1 g/cm <sup>3</sup>   | 1                 | 1                  | 1 000             |           |
|                             |               | Gramm/ Kubikzentimeter    | g/cm <sup>3</sup>  | 1 kg/l  | 1                 | 1                  | 1 000             |           |
|                             |               |                           |                    | 1 g/l   | 0,001             | 0,001              | 1                 |           |
| <b>spezifisches Volumen</b> | $v$           | Kubikmeter/ Kilogramm     | m <sup>3</sup> /kg | <b>1 m<sup>3</sup>/kg = 1 000 dm<sup>3</sup>/kg = 1 dm<sup>3</sup>/g</b>  |                   |                    |                   |           |
| <b>Stoffmenge</b>           | $n$           | <b>Mol</b>                | <b>mol</b>         | Teilchenmenge = 6,022 · 10 <sup>23</sup> Teilchen   |                   |                    |                   |           |
| <b>Kraft</b>                | $F$           | Newton                    | N                  |   | mN                | N                  | daN               | kN        |
| Gewichtskraft               | $F_G, G$      |                           |                    | 1 mN  | 1                 | 0,001              | 0,000 1           | 0,000 001 |
|                             |               |                           |                    | 1 N   | 1 000             | 1                  | 0,1               | 0,001     |
|                             |               |                           |                    | 1 kN  | 1 000 000         | 1 000              | 100               | 1         |
|                             |               |                           |                    | 1 MN  | 10 <sup>9</sup>   | 1 000 000          | 100 000           | 1 000     |
|                             |               |                           |                    | <b>1 N = 1 kg · 1 m/s<sup>2</sup> = 1 kg m/s<sup>2</sup></b>  |                   |                    |                   |           |
| <b>Drehmoment</b>           | $M$           | Newtonmeter               | Nm                 |   | Ncm               | Nm                 | kNm               |           |
|                             |               |                           |                    | 1 Ncm   | 1                 | 0,01               | 0,000 01          |           |
|                             |               |                           |                    | 1 Nm  | 100               | 1                  | 0,001             |           |
|                             |               |                           |                    | 1 kNm   | 100 000           | 1 000              | 1                 |           |

M

B

G

W

Z

F

E

V

**Größen**

| Größe                          | Formelzeichen  | Einheit                  |                  | Umrechnung, Erklärung  |                   |                     |                   |                  |
|--------------------------------|----------------|--------------------------|------------------|--|-------------------|---------------------|-------------------|------------------|
|                                |                | Name                     | Zeichen          |  |                   |                     |                   |                  |
| <b>Temperatur</b>              | $T$<br>$t$     | <b>Kelvin</b><br>Celsius | <b>K</b><br>°C   | 0 Kelvin = 0 K = -273 °C<br>0 °Celsius = 0 °C = 273 K                        |                   |                     |                   |                  |
| <b>Arbeit</b>                  | $W$            | Joule                    | J                | kWh  | J                 | kJ                  | MJ                |                  |
| <b>Energie</b>                 | $E, W$         |                          |                  | 1 kWh  | 1                 | 3 600 000           | 3 600             | 3,6              |
| <b>Wärmemenge</b>              | $Q$            |                          |                  | 1 J  | 1                 | 0,001               | 0,000 001         |                  |
|                                |                |                          |                  | 1 kJ   | 0,000 277 8       | 1 000               | 1                 | 0,001            |
|                                |                |                          |                  | 1 MJ   | 0,277 8           | 1 000 000           | 1 000             | 1                |
|                                |                |                          |                  | <b>1 J = 1 Nm = 1 Ws = 1 kg m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup></b>                  |                   |                     |                   |                  |
| <b>Leistung</b>                | $P$            | Watt                     | W                | mW   | W                 | kW                  | MW                |                  |
|                                |                |                          |                  | 1 mW   | 1                 | 0,001               | 0,000 001         | 10 <sup>-9</sup> |
|                                |                |                          |                  | 1 W  | 1 000             | 1                   | 0,001             | 0,000 001        |
|                                |                |                          |                  | 1 kW   | 1 000 000         | 1 000               | 1                 | 0,001            |
|                                |                |                          |                  | 1 MW   | 10 <sup>9</sup>   | 1 000 000           | 1 000             | 1                |
|                                |                |                          |                  | <b>1 W = 1 J/s = 1 Nm/s</b>  |                   |                     |                   |                  |
| <b>Druck</b>                   | $p$            | Pascal                   | Pa               | Pa   | mbar, hPa         | bar                 | N/cm <sup>2</sup> |                  |
|                                |                |                          |                  | 1 Pa   | 1                 | 0,01                | 0,000 01          | 0,000 1          |
|                                |                |                          |                  | 1 mbar, hPa  | 100               | 1                   | 0,001             | 0,01             |
|                                |                |                          |                  | 1 bar  | 100 000           | 1 000               | 1                 | 10               |
|                                |                |                          |                  | 1 N/cm <sup>2</sup>  | 10 000            | 100                 | 0,1               | 1                |
|                                |                |                          |                  | <b>1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>; 1 bar = 10 N/cm<sup>2</sup>; 1 mbar = 1 hPa</b> |                   |                     |                   |                  |
| <b>Mechanische Spannung</b>    | $\sigma, \tau$ | Newton/Quadratmeter      | N/m <sup>2</sup> | N/m <sup>2</sup>   | N/cm <sup>2</sup> | daN/cm <sup>2</sup> | N/mm <sup>2</sup> |                  |
|                                |                |                          |                  | 1 N/m <sup>2</sup>   | 1                 | 0,000 1             | 0,000 01          | 0,000 001        |
|                                |                |                          |                  | 1 N/cm <sup>2</sup>  | 10 000            | 1                   | 0,1               | 0,01             |
|                                |                |                          |                  | 1 daN/cm <sup>2</sup>  | 100 000           | 10                  | 1                 | 0,1              |
|                                |                |                          |                  | 1 N/mm <sup>2</sup>  | 1 000 000         | 100                 | 10                | 1                |
|                                |                |                          |                  | <b>1 N/m<sup>2</sup> = 1 Pa</b>  |                   |                     |                   |                  |
| <b>Elektrische Stromstärke</b> | $I$            | Ampere                   | A                | mA   | A                 | kA                  |                   |                  |
|                                |                |                          |                  | 1 mA   | 1                 | 0,001               | 0,000 001         |                  |
|                                |                |                          |                  | 1 A  | 1 000             | 1                   | 0,001             |                  |
|                                |                |                          |                  | 1 kA   | 1 000 000         | 1 000               | 1                 |                  |
| <b>Elektrische Spannung</b>    | $U$            | Volt                     | V                | mV   | V                 | kV                  |                   |                  |
|                                |                |                          |                  | 1 mV   | 1                 | 0,001               | 0,000 001         |                  |
|                                |                |                          |                  | 1 V  | 1 000             | 1                   | 0,001             |                  |
|                                |                |                          |                  | 1 kV   | 1 000 000         | 1 000               | 1                 |                  |
| <b>Elektrischer Widerstand</b> | $R$            | Ohm                      | Ω                | mΩ   | Ω                 | kΩ                  | MΩ                |                  |
|                                |                |                          |                  | 1 mΩ   | 1                 | 0,001               | 0,000 001         | 10 <sup>-9</sup> |
|                                |                |                          |                  | 1 Ω  | 1 000             | 1                   | 0,001             | 0,000 001        |
|                                |                |                          |                  | 1 kΩ   | 1 000 000         | 1 000               | 1                 | 0,001            |
|                                |                |                          |                  | 1 MΩ   | 10 <sup>9</sup>   | 1 000 000           | 1 000             | 1                |

**Vorsätze für Zehnerpotenzen (Auswahl)**

|                           |  |                             |   |
|---------------------------|--|-----------------------------|---|
| da (Deka) 10 <sup>1</sup> | 130 Meter = 13 · 10 <sup>1</sup> m = 13 dam              | d (Dezi) 10 <sup>-1</sup>   | 0,1 Meter = 1 · 10 <sup>-1</sup> m = 1 dm               |
| h (Hekto) 10 <sup>2</sup> | 300 Liter = 3 · 10 <sup>2</sup> l = 3 hl                 | c (Centi) 10 <sup>-2</sup>  | 0,25 Meter = 25 · 10 <sup>-2</sup> m = 25 cm            |
| k (Kilo) 10 <sup>3</sup>  | 1500 Gramm = 1,5 · 10 <sup>3</sup> g = 1,5 kg            | m (Milli) 10 <sup>-3</sup>  | 0,004 Meter = 4 · 10 <sup>-3</sup> m = 4 mm             |
| M (Mega) 10 <sup>6</sup>  | 1 200 000 Watt = 1,2 · 10 <sup>6</sup> W = 1,2 MW        | μ (Mikro) 10 <sup>-6</sup>  | 0,000 015 Meter = 15 · 10 <sup>-6</sup> m = 15 μm       |
| G (Giga) 10 <sup>9</sup>  | 20 500 000 000 Watt = 20,5 · 10 <sup>9</sup> W = 20,5 GW | n (Nano) 10 <sup>-9</sup>   | 0,000 000 105 Meter = 105 · 10 <sup>-9</sup> m = 105 nm |
| T (Tera) 10 <sup>12</sup> |  | p (Pico) 10 <sup>-12</sup>  |   |
| P (Peta) 10 <sup>15</sup> |  | f (Femto) 10 <sup>-15</sup> |   |
| E (Exa) 10 <sup>18</sup>  |  | a (Atto) 10 <sup>-18</sup>  |   |

**Griechisches Alphabet (Auswahl)**

|             |               |              |               |               |
|-------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| A α a Alpha | E ε e Epsilon | Λ λ l Lambda | P ρ r Rho     | Φ φ f(ph) Phi |
| B β b Beta  | H η e Eta     | M μ m Mü     | Σ σ s Sigma   | X χ ch Chi    |
| Γ γ g Gamma | Θ θ th Theta  | N ν n Nü     | T τ t Tau     | Ψ ψ ps Psi    |
| Δ δ d Delta | K κ k Kappa   | Π π p Pi     | Υ υ ü Ypsilon | Ω ω o Omega   |

M

B

G

W

Z

F

E

V

**Römische Ziffern**

|          |           |           |          |         |          |           |            |          |
|----------|-----------|-----------|----------|---------|----------|-----------|------------|----------|
| I = 1    | II = 2    | III = 3   | IV = 4   | V = 5   | VI = 6   | VII = 7   | VIII = 8   | IX = 9   |
| X = 10   | XX = 20   | XXX = 30  | XL = 40  | L = 50  | LX = 60  | LXX = 70  | LXXX = 80  | XC = 90  |
| C = 100  | CC = 200  | CCC = 300 | CD = 400 | D = 500 | DC = 600 | DCC = 700 | DCCC = 800 | CM = 900 |
| M = 1000 | MM = 2000 |           |          |         |          |           |            |          |

Beispiele: 98 = XCVIII    439 = CDXXXIX    1994 = MCMXCIV    2004 = MMIV

**Mathematische Zeichen (Auswahl)**

| Zeichen   | Erklärung                             | Zeichen         | Erklärung                                     | Zeichen           | Erklärung                                |
|-----------|---------------------------------------|-----------------|---|-------------------|--|
| ...       | bis, und so weiter bis                | -               | minus, weniger                                | $\Delta$          | Delta, Zeichen f. Differenz              |
| =         | gleich                                | $\sqrt{a}$      | Quadratwurzel aus a                           | $\equiv$          | kongruent                                |
| $\neq$    | nicht gleich, ungleich                | $\cdot \times$  | mal (der Punkt steht auf halber Zeilenhöhe)   | $\sim$            | ähnlich                                  |
| $\propto$ | proportional                          | $\div / -$      | durch, geteilt durch, dividiert durch         | $\sphericalangle$ | Winkel                                   |
| $\approx$ | annähernd, nahezu gleich, rund, etwa  | $\% / \text{‰}$ | Prozent, vom Hundert / Promille, vom Tausend  | $\overline{AB}$   | Strecke AB                               |
| $\cong$   | entspricht                            | $\%$            | Prozent, vom Hundert                          | $\overline{AB}$   | Bogen AB                                 |
| $<$       | kleiner als                           | $\text{‰}$      | Promille, vom Tausend                         | $\Sigma$          | Summe                                    |
| $>$       | größer als                            | $\{ \} [ ] ( )$ | runde, eckige, geschweifte Klammer auf und zu | e                 | Eulersche Zahl<br>$e = 2,718281828\dots$ |
| $\geq$    | größer oder gleich, mindestens gleich | $\parallel$     | parallel                                      | $\pi$             | Pi = 3,14159...                          |
| $\leq$    | kleiner oder gleich, höchstens gleich | $\nparallel$    | nicht parallel                                | $\infty$          | unendlich                                |
| +         | plus, mehr, und                       | $\perp$         | rechtwinklig zu, normal auf, senkrecht auf    | log               | Logarithmus (allgemein)                  |
|           |                                       |                 |   | lg                | Zehnerlogarithmus                        |
|           |                                       |                 |   | ln                | natürlicher Logarithmus                  |

**Anglo-amerikanische Einheiten**

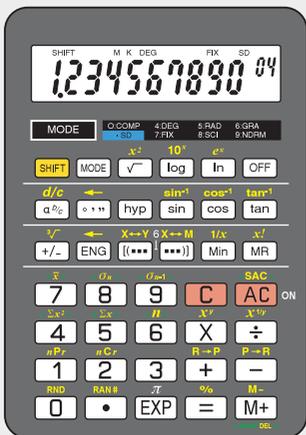
| Länge                                       |                   | mm              | m                   | Fläche                |                              | cm <sup>2</sup>   | m <sup>2</sup>       |
|---|-------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------|----------------------|
| inch (Zoll)                                 | 1 in              | 25,4            | 0,025               | square inch           | 1 in <sup>2</sup>            | 6,452             | -                    |
| foot  | 1 ft              | 304,8           | 0,305               | square foot           | 1 ft <sup>2</sup>            | 929               | 0,0931               |
| yard  | 1 yd              | 914,4           | 0,914               | square yard           | 1 yd <sup>2</sup>            | 8361              | 0,836                |
| statute mile                                | 1 mile            | -               | 1609,34             | acre                  | 1 acre                       | -                 | 4047                 |
| nautical mile                               | 1 n mile          | -               | 1852                | square mile           | 1 mile <sup>2</sup>          | -                 | 2,59 km <sup>2</sup> |
| 1 mile = 1760 yd; 1 yd = 3 ft; 1 ft = 12 in |                   |                 |                     |                       |                              |                   |                      |
| Volumen                                     |                   | cm <sup>3</sup> | dm <sup>3</sup> (l) | Masse                 |                              | g                 | kg                   |
| cubic inch                                  | 1 in <sup>3</sup> | 16,387          | 0,0164              | grain                 | 1 gr                         | 0,0648            | -                    |
| cubic foot                                  | 1 ft <sup>3</sup> | 28317           | 28,317              | dram                  | 1 dram                       | 1,772             | -                    |
| cubic yard                                  | 1 yd <sup>3</sup> | -               | 764,555             | ounce                 | 1 oz                         | 28,35             | 0,028                |
| US-gallon                                   | 1 gal             | 3785            | 3,785               | pound (libre)         | 1 lb                         | 453,59            | 0,454                |
| engl. gallon                                | 1 gal             | 4546            | 4,546               | hundredweight         | 1 cwt                        | 50 802            | 50,802               |
| barrel                                      | 1 barrel          | -               | 158,990             | amer. ton             | 1 tn                         | -                 | 1016                 |
| 1 tn = 20 hw; 1 cwt = 112 lb; 1 lb = 16 oz  |                   |                 |                     |                       |                              |                   |                      |
| Geschwindigkeit                             |                   | m/s             | km/h                | Druck                 |                              | N/cm <sup>2</sup> | bar                  |
| foot per second                             | 1 fps             | 0,3048          | 1,096               | pound per square inch | 1 psi = 1 lb/in <sup>2</sup> | 0,704             | 0,0704               |
| statute mile per hour                       | 1 mph             | 0,4470          | 1,609               |                       |                              |                   |                      |
| nautic mile per hour                        | 1 kn              | 0,5147          | 1,852               |                       |                              |                   |                      |

**Temperatur**

Temperatur in Grad Fahrenheit = 1,8 · Temperatur in Grad Celsius + 32  
 Temperatur in Grad Celsius =  $\frac{1}{1,8} \cdot$  (Temperatur in Grad Fahrenheit - 32)

**Umrechnung von früheren Einheiten und SI-Einheiten**

| Druck                                      | Energie, Arbeit               | Leistung                  |
|--|-------------------------------|---------------------------|
| 1 at = 1 kp/cm <sup>2</sup> = 981 mbar     | 1 kcal = 4186,8 J ≈ 4,2 kJ =  | 1 PS = 735 W = 0,735 kW = |
| 1 mm WS = 1 kp/m <sup>2</sup> = 0,098 mbar | = 1,16 · 10 <sup>-3</sup> kWh | = 735 Nm/s                |
| 1 mm Hg = 1 Torr = 1,333 mbar              | 1 kpm = 9,81 J = 9,81 Nm      | 1 kW = 1,36 PS            |



\*)  $1.234567890^{04} = 12345.67890$   
 Exponent  $0^4$ : Kommastelle vier Stellen nach rechts verschieben  
 $1.234567890^{-04} = 0.0001234567890$   
 Exponent  $-0^4$ : Kommastelle vier Stellen nach links verschieben

| Anzeigefeld (Display)  | Anmerkungen  |
|--|--|
| Zahlenwertangabe<br>Exponenten<br>Sonderfunktionen   | acht- oder zehnstellig<br>- 99 bis + 99<br>M = Speicher<br>E = Überlauffunktion<br>z.B. x/0 = unendlich  |
| Bedienfeld   | Abkürzungen  |
| Ein-, Ausschaltfunktion<br>Zifferntasten<br>Punktaste für das<br>Dezimalzeichen<br>Löschtasten<br>Speichertasten<br>Speicherlöschaste<br>Speicherrückruftaste<br>Rechentasten<br>Ausführungstaste<br>Funktionstasten | ON – OFF<br>0 – 9<br>.<br>C; CE; AC<br>MC; STO; M+; M-; Min<br>MC<br>MR; MRC; RCL<br>+; -; ×; ÷<br>=<br>%; +/-; x <sup>2</sup> ; 1/x; x <sup>n</sup> ; [(...)];<br>sin; cos; tan; x <sup>3</sup> ; √x;<br>∛x; π; ...<br>SHIFT/INV/2nd aktiviert die Zweitbelegung der Tasten oberhalb der Funktionstasten. |
| Umschalttaste  |  |

| Werteingabe/Rechnungsart | Aufgabe   | Tastenfolge  | Wertausgabe              | Anmerkungen  |
|--------------------------|---|--|--------------------------|--|
| Zifferneingabe           | 25,33   | 2 5 . 3 3  | 25.33                    | Mit der Punktaste wird das Dezimalzeichen gesetzt.   |
| Addition/Subtraktion     | $32,2 + 27,9 - 15,7 = ?$                                    | 32.2 + 27.9<br>= 15.7 =  | 44.4                     | Das Ergebnis wird durch Betätigen der „=“-Taste ausgegeben.  |
| Prozentrechnung          | 15% von 3000 = ?  | 3000 × 15<br>SHIFT %   | 450                      | Die Prozentaste bewirkt die Rechenoperation 1/100.   |
| Klammerrechnung          | $\frac{12 \times [2 - (1 - 6)]}{20 \cdot 5} = ?$            | 12 × [ 2 -<br>[ ( 1 - 6 ) ] ]<br>÷ 20 ÷ 5 =  | 0,84                     | Am Ende jeder Klammerrechnung die Klammertaste <b>)]</b> so oft drücken, wie Klammern geöffnet wurden.   |
| Quadrieren/Potenzieren   | $\frac{\pi \times 14^2}{4} = ?$<br>$3,7^2 = ?$<br>$2^5 = ?$ | π × 14 SHIFT x <sup>2</sup><br>÷ 4 =<br>3.7 SHIFT x <sup>2</sup><br>2 SHIFT x <sup>y</sup> 5 = | 153.93804<br>13.69<br>32 | Wegen der Genauigkeit Sonderfunktionstaste <b>π</b> verwenden.<br>Das Ergebnis wird ohne Betätigen der „=“-Taste ausgegeben.<br>Zur Ausführung der Rechenoperation muss die „=“-Taste betätigt werden.                       |
| Wurzelziehen             | $\sqrt{625} = ?$<br>$\sqrt[3]{125} = ?$                     | 625 √<br>125 SHIFT √[ 5  | 25<br>5                  | Zuerst Radikant x eingeben und dann Wurzelaste drücken.  |
| Kehrwert                 | $20^{-1} = ?$ bzw.<br>$\frac{1}{20} = ?$                    | 20 SHIFT 1/x   | 0.05                     | Die Funktion 1/x errechnet, wie oft die betreffende Zahl in 1 enthalten ist.   |
| Speicherrechnung         | $254 + 157 - 23 + 88 = ?$                                   | 254 Min<br>157 M+<br>23 SHIFT M+<br>28 M+<br>MR  | 476                      | M+ bewirkt Addition im Speicher.<br>M- bewirkt Subtraktion im Speicher.<br>MR Speicherwert wird ausgegeben.<br>Min Festwert wird in Speicher eingetragen.<br>Speicherwertlöschung: Eingabe von 0 in Min oder drücken von MC. |

M

B

G

W

Z

F

E

V

M

B

G

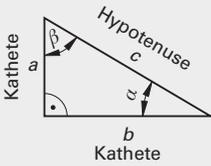
W

Z

F

E

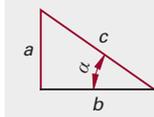
V



- Die den rechten Winkel bildenden Seiten  $a$  und  $b$  heißen Katheten.
- Die dem rechten Winkel gegenüberliegende Seite  $c$  heißt Hypotenuse.
- Die dem spitzen Winkel  $\alpha$  bzw.  $\beta$  anliegende Seite  $b$  bzw.  $a$  heißt Ankathete.
- Die dem spitzen Winkel  $\alpha$  bzw.  $\beta$  gegenüberliegende Seite  $a$  bzw.  $b$  heißt Gegenkathete.

Die Seitenverhältnisse im rechtwinkligen Dreieck werden Winkelfunktionen bzw. trigonometrische Funktionen genannt.

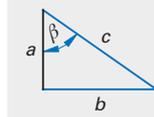
Sinus =  $\frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}}$



$$\sin \alpha = \frac{a}{c}$$

$$a = c \cdot \sin \alpha$$

$$c = \frac{a}{\sin \alpha}$$

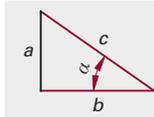


$$\sin \beta = \frac{b}{c}$$

$$b = c \cdot \sin \beta$$

$$c = \frac{b}{\sin \beta}$$

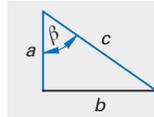
Cosinus =  $\frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}}$



$$\cos \alpha = \frac{b}{c}$$

$$b = c \cdot \cos \alpha$$

$$c = \frac{b}{\cos \alpha}$$

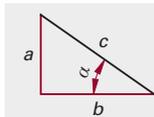


$$\cos \beta = \frac{a}{c}$$

$$a = c \cdot \cos \beta$$

$$c = \frac{a}{\cos \beta}$$

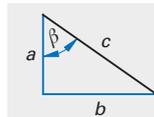
Tangens =  $\frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}$



$$\tan \alpha = \frac{a}{b}$$

$$a = b \cdot \tan \alpha$$

$$b = \frac{a}{\tan \alpha}$$

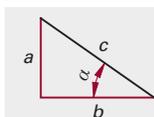


$$\tan \beta = \frac{b}{a}$$

$$b = a \cdot \tan \beta$$

$$a = \frac{b}{\tan \beta}$$

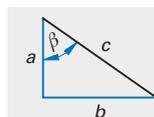
Cotangens =  $\frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}$



$$\cot \alpha = \frac{b}{a}$$

$$b = a \cdot \cot \alpha$$

$$a = \frac{b}{\cot \alpha}$$



$$\cot \beta = \frac{a}{b}$$

$$a = b \cdot \cot \beta$$

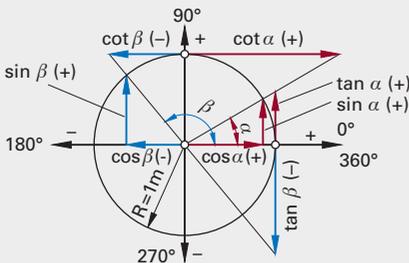
$$b = \frac{a}{\cot \beta}$$

**Berechnung von Winkelfunktionen mit dem Taschenrechner (Beispiel)**

Beispiel:  $a = 10 \text{ cm}$ ;  $c = 50 \text{ cm}$ ;  $\alpha = ?$  Lösung:  $\sin \alpha = a : c = 10 \text{ cm} : 50 \text{ cm} = 0,2$

$10 \div 50 = 0,2$  (SHIFT; 2ND; INV) SIN  $\Rightarrow 11,53696^\circ$  (SHIFT; 2ND; INV)  $^\circ, ' "$   $\Rightarrow 11^\circ 32' 13''$

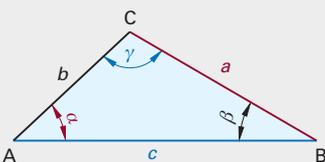
**Winkelfunktionen am Einheitskreis**



**Besondere Winkelfunktionswerte**

| Winkel $\alpha$    | 0°       | 30°                   | 45°                   | 60°                   | 90°      |
|--------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------|
| Sinus $\alpha$     | 0        | $\frac{1}{2}$         | $\frac{1}{2}\sqrt{2}$ | $\frac{1}{2}\sqrt{3}$ | 1        |
| Cosinus $\alpha$   | 1        | $\frac{1}{2}\sqrt{3}$ | $\frac{1}{2}\sqrt{2}$ | $\frac{1}{2}$         | 0        |
| Tangens $\alpha$   | 0        | $\frac{1}{3}\sqrt{3}$ | 1                     | $\sqrt{3}$            | $\infty$ |
| Cotangens $\alpha$ | $\infty$ | $\sqrt{3}$            | 1                     | $\frac{1}{3}\sqrt{3}$ | 0        |

**Winkelfunktionen im schiefwinkligen Dreieck**



$a, b, c$  Seitenlängen (mm)  
 $\alpha, \beta, \gamma$  Winkel, die jeweils den Seiten  $a, b, c$  gegenüber liegen (°)

**Sinussatz**

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

**Kosinussatz**

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

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

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

**Prozentrechnen**

**Beispiel 1:** Rohteil 3,36 kg; Fertigteil 2,8 kg; Verschnitt = ? %

**Lösung:** Spanabfall = 3,36 kg – 2,8 kg = 0,56 kg

$$p = \frac{100 \cdot P}{G} = \frac{100 \cdot 0,56}{2,8} \% = 20 \%$$

**Beispiel 2:** Verkaufspreis (Endwert) 3600,00 €; Gewinn 20 %; Einkaufspreis (Grundwert) = ? €

**Lösung:**  $G = \frac{100 \cdot E_{\max}}{100 + p} = \frac{100 \cdot 3600}{100 + 20} \text{ €} = 3000,00 \text{ €}$

$p$  Prozentsatz in %  
Er gibt an, wie viel Hundertstel vom Grundwert zu nehmen sind.

$G$  Grundwert  
Er ist der Wert auf den man sich beim Prozentrechnen bezieht.

$P$  Prozentwert  
Er ist der Teil des Grundwertes, der dem Prozentsatz entspricht. Er hat dieselbe Einheit wie der Grundwert.

$E_{\max}$  Endwert (vermehrter Wert) (Grundwert + Prozentwert)

$E_{\min}$  Endwert (verminderter Wert) (Grundwert – Prozentwert)

$$p = \frac{100 \cdot P}{G}$$

$$G = \frac{100 \cdot P}{p}$$

$$P = \frac{G \cdot p}{100}$$

$$G = \frac{100 \cdot E_{\max}}{100 + p}$$

$$G = \frac{100 \cdot E_{\min}}{100 - p}$$

**Zinsrechnen**

**Beispiel 1:** Ein Kapital von 2000,00 € wird für ein halbes Jahr zu 3 % verzinst. Wie hoch sind die Zinsen?

**Lösung:**  $z = \frac{k \cdot p \cdot t}{100} = \frac{2000 \cdot 3 \cdot 0,5}{100} \text{ €} = 30,00 \text{ €}$

**Beispiel 2:**  $p = 7,5 \%$ ;  $t = 90$  Tage;  $z = 281,25 \text{ €}$ ;  $k = ? \text{ €}$

**Lösung:**  $k = \frac{100 \cdot 360 \cdot z}{p \cdot t} = \frac{100 \cdot 360 \cdot 281,25}{7,5 \cdot 90} \text{ €} = 15000,00 \text{ €}$

$z$  Zinsen in €  
 $p$  Zinssatz in %  
 $k$  Kapital in €  
 $t$  Zeit in Jahren oder Zeit in Tagen

1 Zinsjahr  $\hat{=}$  360 Tage

1 Zinsmonat  $\hat{=}$  30 Tage

**Jahreszins**

$$z = \frac{k \cdot p \cdot t}{100}$$

$$k = \frac{100 \cdot z}{p \cdot t}$$

$$p = \frac{100 \cdot z}{k \cdot t}$$

$$t = \frac{100 \cdot z}{k \cdot p}$$

**Tageszins**

$$z = \frac{k \cdot p \cdot t}{100 \cdot 360}$$

**Verhältnisrechnen**

**Beispiele:**

Steigung, z. B. 1 : 50

Gefälle, z. B. 1 : 20

Übersetzungsverhältnis, z. B. 3,8 : 1 = 3,8

Verdichtung, z. B. 10,3 : 1 = 10,3

Der Quotient zweier Zahlen wird auch **Verhältnis** genannt.

**Verhältnisleichung** (Proportion):  
Haben zwei Verhältnisse den gleichen Wert, so können sie durch Gleichheitszeichen verbunden werden. Man erhält eine Verhältnisleichung mit 4 Gliedern.

$$a : b = \frac{a}{b}$$

$$a : b = c : d$$

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$$

**Mischungsrechnen**

**Beispiel:** 27,5 l Kühlflüssigkeit sollen im Verhältnis 4 : 7 (Gefrierschutzmittel zu Wasser) gemischt werden.

Gefrierschutzmittelmenge = ? l

Wassermenge = ? l

**Lösung:**  $m_1 = \frac{m \cdot x_1}{x} = \frac{27,5 \text{ l} \cdot 4}{11} = 10 \text{ l}$

$m_2 = m - m_1 = 27,5 \text{ l} - 10 \text{ l} = 17,5 \text{ l}$

oder  $m_2 = \frac{m \cdot x_2}{x} = \frac{27,5 \text{ l} \cdot 7}{11} = 17,5 \text{ l}$

$m$  Gesamtmenge  
 $m_1$  Teilmenge 1  
 $m_2$  Teilmenge 2  
 $x$  Summe der Anteile  
 $x_1$  Anteil der Teilmenge 1  
 $x_2$  Anteil der Teilmenge 2

$$m = m_1 + m_2 + \dots$$

$$x = x_1 + x_2 + \dots$$

$$\frac{m}{m_1} = \frac{x}{x_1}$$

$$m_1 = \frac{m \cdot x_1}{x}$$

$$x_1 = \frac{m_1 \cdot x}{m}$$

$$m = \frac{m_1 \cdot x}{x_1}$$

$$x = \frac{m \cdot x_1}{m_1}$$

M

B

G

W

Z

F

E

V

**Maßstäbe**

|                         |       |       |        |        |   |                     |   |
|-------------------------|-------|-------|--------|--------|---|---------------------|---|
| <b>Vergrößerung</b>     | 2 : 1 | 5 : 1 | 10 : 1 | 20 : 1 | $l_z$ Länge auf der Zeichnung;<br>Bildgröße (vergrößerte,<br>verkleinerte oder wirkliche<br>Länge)<br>$l_w$ wirkliche Länge<br>$M$ Maßstab (Verhältniszahl) | $l_z = l_w \cdot M$ |   |
| <b>Natürliche Größe</b> | 1 : 1 |       |        |        |   |                     | $l_w = \frac{l_z}{M}$ $M = \frac{l_z}{l_w}$ |
| <b>Verkleinerung</b>    | 1 : 2 | 1 : 5 | 1 : 10 | 1 : 20 |   |                     |   |

**Längenteilungen**

|  | <b>Teilung <math>p</math><br/>Lochabstand</b> | <b>Teilungszahl <math>n</math><br/>Lochzahl</b> | <b>Teilungslänge <math>l</math></b>          |
|--|---|---|--|
|  | $p = \frac{L}{n-1}$                           | $n = \frac{L}{p} + 1$                           | $L = p \cdot (n-1)$                          |
|  | $p = \frac{L}{n+1}$                           | $n = \frac{L}{p} - 1$                           | $L = p \cdot (n+1)$                          |
|  | $p = \frac{\pi \cdot d}{n}$                   | $n = \frac{\pi \cdot d}{p}$                     | $L = U = n \cdot p$<br>$L = U = \pi \cdot d$ |

**Kettenlänge**

|  |   |                                     |
|--|---|-------------------------------------|
|  | $L$ Kettenlänge<br>$p$ Teilung<br>$b$ Gliederbreite (Innenglied)<br>$X$ Gliederzahl | $L = p \cdot X$                     |
|  |   | $p = \frac{L}{X}$ $X = \frac{L}{p}$ |

**Gebogene Längen**

|                      |  |   |
|----------------------|--|---|
| Kreisumfang<br>      | $U$ Umfang<br>$d$ Durchmesser  | $U = \pi \cdot d$   |
|                      |  | $d = \frac{U}{\pi}$   |
| Kreisbogenlänge<br>  | $l_B$ Bogenlänge<br>$d$ Durchmesser<br>$\alpha$ Mittelpunktswinkel in °  | $l_B = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360^\circ}$  |
|                      |  | $\alpha = \frac{360^\circ \cdot l_B}{\pi \cdot d}$ $d = \frac{360^\circ \cdot l_B}{\pi \cdot \alpha}$                                       |
| Ellipsenumfang<br>   | $U$ Umfang<br>$D$ Durchmesser<br>$d$ Durchmesser<br>$R$ Radius<br>$r$ Radius   | $U \approx \pi \cdot \frac{D+d}{2}$   |
|                      |  | $D \approx \frac{2 \cdot U}{\pi} - d$ $d \approx \frac{2 \cdot U}{\pi} - D$<br>genauer:<br>$U \approx \pi \cdot \sqrt{2 \cdot (R^2 + r^2)}$ |
| Gestreckte Länge<br> | $l_m$ gestreckte Länge, Länge der neutralen Faser<br>$d_m$ mittlerer Durchmesser<br>$D$ Außendurchmesser<br>$d$ Innendurchmesser<br>$\alpha$ Mittelpunktswinkel in °<br>$s$ Werkstoffdicke<br>$U_m$ mittlerer Umfang | $l_m = \frac{\pi \cdot d_m \cdot \alpha}{360^\circ}$  |
|                      |  | $U_m = \pi \cdot d_m$<br>$d_m = \frac{D+d}{2}$<br>$d_m = D - s$<br>$d_m = d + s$  |

M

B

G

W

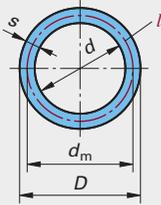
Z

F

E

V

**Gestreckte Längen**



- $D$  Außendurchmesser
- $d$  Innendurchmesser
- $d_m$  mittlerer Durchmesser (Durchmesser der neutralen Faser)
- $s$  Dicke
- $l$  gestreckte Länge (Länge der neutralen Faser)
- $\alpha$  Mittelpunktswinkel

**Gestreckte Länge beim Kreisring**

$$l = \pi \cdot d_m$$

**Beispiel (Kreisring):**  
 $D = 45 \text{ mm}$ ;  $s = 4 \text{ mm}$ ;  $l = ? \text{ mm}$

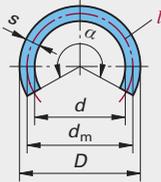
$$d_m = D - s = 45 \text{ mm} - 4 \text{ mm} = 41 \text{ mm}$$

$$l = \pi \cdot d_m = \pi \cdot 41 \text{ mm} = \mathbf{128,8 \text{ mm}}$$

**Mittlerer Durchmesser**

$$d_m = D - s$$

$$d_m = d + s$$



**Beispiel (Kreisringausschnitt)**  
 $D = 53 \text{ mm}$ ;  $s = 4 \text{ mm}$ ;  $d_m = ?$ ;  $\alpha = 250^\circ$ ;  $l = ? \text{ mm}$

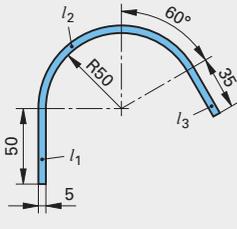
$$d_m = D - s = 53 \text{ mm} - 4 \text{ mm} = 49 \text{ mm}$$

$$l = \frac{\pi \cdot d_m \cdot \alpha}{360^\circ} = \frac{\pi \cdot 49 \text{ mm} \cdot 250^\circ}{360^\circ} = \mathbf{106,9 \text{ mm}}$$

**Gestreckte Länge beim Kreisringausschnitt**

$$l = \frac{\pi \cdot d_m \cdot \alpha}{360^\circ}$$

**Zusammengesetzte Längen (z.B. Biegen von Flachstählen)**



- $R$  Biegeradius (Innenradius)
- $d_m$  mittlerer Durchmesser
- $s$  Dicke
- $L$  zusammengesetzte Länge (gestreckte Länge)
- $l_1, l_2$  Teillängen
- $\alpha$  Mittelpunktswinkel

**Zusammengesetzte Längen**

$$L = l_1 + l_2 + \dots + l_n$$

**Beispiel (Zusammengesetzte Längen, Bild links):**  
 $R = 50 \text{ mm}$ ;  $l_1 = 50 \text{ mm}$ ;  $l_3 = 35 \text{ mm}$ ;  $s = 5 \text{ mm}$ ;  
 $\alpha = 60^\circ$ ;  $d_m = ?$ ;  $L = ? \text{ mm}$

$$d_m = 2 \cdot R + s = 2 \cdot 50 \text{ mm} + 5 \text{ mm} = \mathbf{105 \text{ mm}}$$

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

$$L = 50 \text{ mm} + \frac{\pi \cdot 105 \text{ mm} \cdot (90^\circ + 60^\circ)}{360^\circ} + 35 \text{ mm} = \mathbf{222,4 \text{ mm}}$$

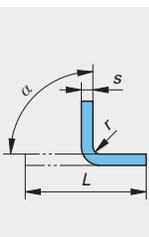
Meist ist bei Biegeteilen der Biegeradius  $r$  (Innenradius) gegeben, so dass gilt

$$d_m = 2 \cdot R + s$$

1. Einteilung in einzelne Längen
2. Berechnung der einzelnen Längen
3. Gesamtlänge ermitteln durch Addition der einzelnen Längen

**Kleinst zulässiger Biegeradius für Biegeteile aus Aluminium**

vgl. DIN 5520



| Werkstoff      | Werkstoffzustand                    | Dicke $s$ in mm                     |     |     |    |    |    |    |    |  |
|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|--|
|                |                                     | 0,8                                 | 1   | 1,5 | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |  |
|                |                                     | Mindest-Biegeradius $r^{(1)}$ in mm |     |     |    |    |    |    |    |  |
| AlMg3-01       | Weich gegläht                       | 0,6                                 | 1   | 2   | 3  | 4  | 6  | 8  | 10 |  |
| AlMg3-H14      | Kalt verfestigt                     | 1,6                                 | 2,5 | 4   | 6  | 10 | 14 | 18 | –  |  |
| AlMg4,5Mn-H112 | Weich gegläht, gerichtet            | 1                                   | 1,5 | 2,5 | 4  | 6  | 8  | 10 | 14 |  |
| AlMg4,5Mn-H111 | Kalt verfestigt und gegläht         | 1,6                                 | 2,5 | 4   | 6  | 10 | 16 | 20 | 25 |  |
| AlMgSi1-T6     | Lösungsgeglüht und warm ausgelagert | 4                                   | 5   | 8   | 12 | 16 | 23 | 28 | 38 |  |

<sup>1)</sup> für Biegeradius  $\alpha = 90^\circ$ , unabhängig von der Walzrichtung

**Kleinst zulässiger Biegeradius für das Kaltbiegen von Stahl**

vgl. DIN 6935

Mindestzugfestigkeit  $R_m$  in N/mm<sup>2</sup> über ... bis

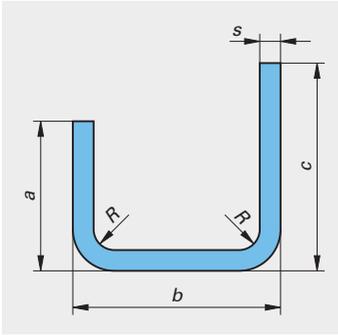
**Kleinst Biegeradius<sup>1)</sup> R für Blechdicken  $s$  in mm**

|           | 1   | 1,5 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6  | 7  | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
|-----------|-----|-----|-----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| bis 390   | 1   | 1,6 | 2,5 | 3 | 5 | 6 | 8  | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 | 28 | 36 | 40 |
| 390...490 | 1,2 | 2   | 3   | 4 | 5 | 8 | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 | 28 | 32 | 40 | 45 |
| 490...640 | 1,6 | 2,5 | 4   | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 | 32 | 36 | 45 | 50 |

<sup>1)</sup> Werte gelten für Biegewinkel  $\alpha < 120^\circ$ , und Biegen quer zur Walzrichtung. Beim Biegen längs zur Walzrichtung und Biege winkeln  $\alpha > 120^\circ$  ist der Wert der nächsthöheren Blechdicke zu wählen. Für  $s$  kann auch  $t$  verwendet werden.

**Kanten von Blechen**

vgl. DIN 6935



Beim scharfkantigen Biegen von Blechen (Kanten) geht man davon aus, dass sich die neutrale Faser in Richtung des Innenradius verschiebt. Man rechnet deshalb bei der Berechnung der Biegelänge mit der Verkürzung. Vereinfachend wird die Zuschnittlänge auch über die Addition der Innenmaße des Kanteils berechnet.

- L** Zuschnittlänge = gestreckte Länge
- a, b, c** Außenmaß der Schenkel
- s** Blechdicke in mm
- n** Anzahl der Biegestellen
- v** Ausgleichswert (aus Tabelle) in mm

**Zuschnittlänge**  
(mit Verkürzung)

$$L = a + b + c + \dots - v \cdot n$$

**Zuschnittlänge (Faustformel)**  
(Für Blechdicken  $s < 2$  mm)

$$L = a + b + c + \dots - 2 \cdot s \cdot n$$

**Beispiel**

**(Ermittlung der Zuschnittlänge mit Verkürzung):**

$a = 25$  mm,  $b = 30$  mm;  $c = 35$  mm;  $s = 1,5$  mm;  $n = 2$ ;  
 $R = 1,6$  mm;  $v = 2,9$  mm (aus Tabelle)

$$L = a + b + c - n \cdot v$$

$$L = (25 + 30 + 35) \text{ mm} - 2 \cdot 2,9 = 84,2 \text{ mm}$$

**Beispiel**

**(Ermittlung der Zuschnittlänge mit Faustformel):**

$a = 25$  mm,  $b = 30$  mm;  $c = 35$  mm;  $s = 1,5$  mm;  $n = 2$ ;  
 $R = 1,6$  mm

$$L = a + b + c - 2 \cdot s \cdot n$$

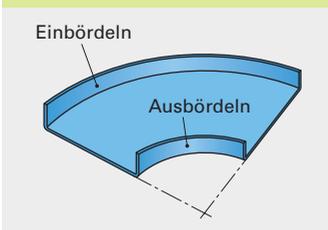
$$L = (25 + 30 + 35) \text{ mm} - 2 \cdot 1,5 \text{ mm} \cdot 2 = 84 \text{ mm}$$

**Ausgleichswerte v für Biegewinkel  $\alpha = 90^\circ$**

vgl. Beiblatt 2 zu DIN 6935 (1983-02)

| Biege-<br>radius R<br>in mm | Ausgleichswert v je Biegestelle in mm für Blechdicke s in mm |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|--|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                             | 0,4  | 0,6 | 0,8 | 1    | 1,5  | 2    | 2,5  | 3    | 3,5  | 4    | 4,5  | 5    | 6    | 8    | 10   |
| 1                           | 1,0  | 1,3 | 1,7 | 1,9  | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 1,6                         | 1,3  | 1,6 | 1,8 | 2,1  | 2,9  | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 2,5                         | 1,6  | 2,0 | 2,2 | 2,4  | 3,2  | 4,0  | 4,8  | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 4                           | -  | 2,5 | 2,8 | 3,0  | 3,7  | 4,5  | 5,2  | 6,0  | 6,9  | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 6                           | -  | -   | 3,4 | 3,8  | 4,5  | 5,2  | 5,9  | 6,7  | 7,5  | 8,3  | 9,0  | 9,9  | -    | -    | -    |
| 10                          | -  | -   | -   | 5,5  | 6,1  | 6,7  | 7,4  | 8,1  | 8,9  | 9,6  | 10,4 | 11,2 | 12,7 | -    | -    |
| 16                          | -  | -   | -   | 8,1  | 8,7  | 9,3  | 9,9  | 10,5 | 11,2 | 11,9 | 12,6 | 13,3 | 14,8 | 17,8 | 21,0 |
| 20                          | -  | -   | -   | 9,8  | 10,4 | 11,0 | 11,6 | 12,2 | 12,8 | 13,4 | 14,1 | 14,9 | 16,3 | 19,3 | 22,3 |
| 25                          | -  | -   | -   | 11,9 | 12,6 | 13,2 | 13,8 | 14,4 | 15,0 | 15,6 | 16,2 | 16,8 | 18,2 | 21,1 | 24,1 |
| 32                          | -  | -   | -   | 15,0 | 15,6 | 16,2 | 16,8 | 17,4 | 18,0 | 18,6 | 19,2 | 19,8 | 21,0 | 23,8 | 26,7 |
| 40                          | -  | -   | -   | 18,4 | 19,0 | 19,6 | 20,2 | 20,8 | 21,4 | 22,0 | 22,6 | 23,2 | 24,5 | 26,9 | 29,7 |
| 50                          | -  | -   | -   | 22,7 | 23,3 | 23,9 | 24,5 | 25,1 | 25,7 | 26,3 | 26,9 | 27,5 | 28,8 | 31,2 | 33,6 |

**Bördeln von Blechrändern (Verformungsgrad)**



**Bördeln ist das scharfkantige Biegen entlang einer Kurve. Bördelungen (Borde) haben folgende Aufgabe:**

- Randversteifung
- Vorbereitung von Blechteilen für das Fügen z.B. Schweißflansche, Falz-vorbereitung etc.

Man unterscheidet nach der Materialbeanspruchung

**Ausbördeln:** Werkstoff wird gestreckt

**Einbördeln:** Werkstoff wird gestaucht

Die Materialbeanspruchung beim Umformen (Verformungsgrad  $\epsilon$ ) muss kleiner als die Bruchdehnung A sein. Evtl. muss das Blech wärmebehandelt werden (Rekristallisationsglühen).

**Beispiel:**

Verformungsgrad ermitteln

$R = 120$  mm;  $b = 10$  mm;

aus Tabelle:  $A = 28\%$  (DC01);  $\epsilon = ?$  in %;

$$\epsilon = \frac{b \cdot 100 \%}{R} = \frac{10 \text{ mm} \cdot 100 \%}{120 \text{ mm}} = 8,3 \%$$

$\epsilon < A$ : Eine Umformung ist ohne Wärmebehandlung möglich.

$$\epsilon = \frac{b \cdot 100 \%}{R}$$

$\epsilon$  Verformungsgrad in %

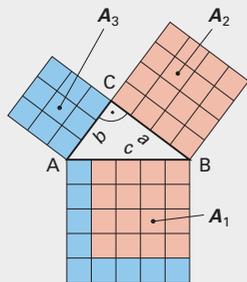
R Krümmungsradius des Bördels in mm

b Bördelbreite in mm

A Bruchdehnung in %

$$\epsilon < A$$

**Lehrsatz des Pythagoras**



Beim rechtwinkligen Dreieck ist die Fläche des Hypotenusenquadrates gleich der Summe der Flächen der beiden Kathetenquadrate.

$$A_1 = A_2 + A_3$$

$$c^2 = a^2 + b^2$$

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

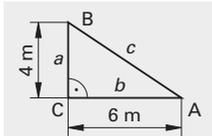
$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2}$$

*c* Hypotenuse – die dem rechten Winkel gegenüberliegende Seite  
*a, b* Katheten – die den rechten Winkel bildenden Seiten

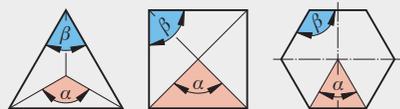
*A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>* Flächen

**Beispiel:** *a* = 4 m; *b* = 6 m; *c* = ? m



**Lösung:**  $c = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{(4 \text{ m})^2 + (6 \text{ m})^2} = \sqrt{16 \text{ m}^2 + 36 \text{ m}^2} = \sqrt{52 \text{ m}^2} = 7,21 \text{ m}$

**Regelmäßige Vielecke**



Für regelmäßige Vielecke gilt:

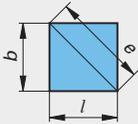
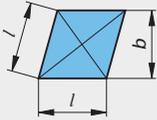
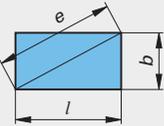
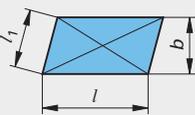
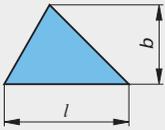
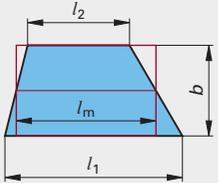
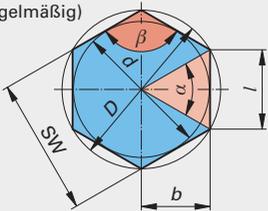
Innenwinkel  $\alpha = \frac{360^\circ}{n}$

Außenwinkel  $\beta = \frac{(n-2) \cdot 180^\circ}{n}$

$\beta = 180^\circ - \alpha$

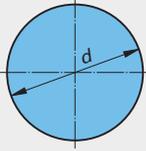
*n* Anzahl der Ecken

| Regelmäßiges Vieleck<br><i>n</i> Anzahl der Ecken | Umkreis- $\emptyset$ <i>D</i><br>Eckenmaß <i>e</i>        | Innenkreis- $\emptyset$ <i>d</i><br>Schlüsselweite <i>SW</i> | Seitenlänge <i>l</i><br>Umfang <i>U</i>                           | Gesamtfläche <i>A</i>  |
|---|---|--|---|--|
| <b>Dreieck</b><br><i>n</i> = 3<br>                | $D = 1,154 \cdot l$<br>$D = 2 \cdot d$                    | $d = 0,578 \cdot l$<br>$d = 0,5 \cdot D$                     | $l = 0,866 \cdot D$<br>$l = 1,730 \cdot d$<br><br>$U = l \cdot n$ | $A = 0,325 \cdot D^2$<br><br>$A = 1,299 \cdot d^2$<br>$A = 0,433 \cdot l^2$  |
| <b>Quadrat</b><br><i>n</i> = 4<br>                | $D = 1,414 \cdot l$<br>$D = 1,414 \cdot d$<br><br>$D = e$ | $d = l$<br>$d = 0,707 \cdot D$<br><br>$d = SW$               | $l = 0,707 \cdot D$<br>$l = d$<br><br>$U = l \cdot n$             | $A = 0,5 \cdot D^2$<br><br>$A = d^2$<br>$A = l^2$                            |
| <b>Sechseck</b><br><i>n</i> = 6<br>               | $D = 2 \cdot l$<br>$D = 1,155 \cdot d$<br><br>$D = e$     | $d = 1,732 \cdot l$<br>$d = 0,866 \cdot D$<br><br>$d = SW$   | $l = 0,5 \cdot D$<br>$l = 0,577 \cdot d$<br><br>$U = l \cdot n$   | $A = 0,649 \cdot D^2$<br><br>$A = 0,866 \cdot d^2$<br>$A = 2,598 \cdot l^2$  |
| <b>Achteck</b><br><i>n</i> = 8<br>                | $D = 2,614 \cdot l$<br>$D = 1,082 \cdot d$<br><br>$D = e$ | $d = 2,414 \cdot l$<br>$d = 0,924 \cdot D$<br><br>$d = SW$   | $l = 0,383 \cdot D$<br>$l = 0,414 \cdot d$<br><br>$U = l \cdot n$ | $A = 0,707 \cdot D^2$<br><br>$A = 0,829 \cdot d^2$<br>$A = 4,828 \cdot l^2$  |
| <b>Zwölfeck</b><br><i>n</i> = 12<br>              | $D = 3,864 \cdot l$<br>$D = 1,035 \cdot d$<br><br>$D = e$ | $d = 3,732 \cdot l$<br>$d = 0,966 \cdot D$<br><br>$d = SW$   | $l = 0,259 \cdot D$<br>$l = 0,268 \cdot d$<br><br>$U = l \cdot n$ | $A = 0,750 \cdot D^2$<br><br>$A = 0,804 \cdot d^2$<br>$A = 11,196 \cdot l^2$ |

|  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| <p><b>Quadrat</b><br/><math>b = l</math></p>    | $l = \sqrt{A}$ $b = l$ $e = \sqrt{2 \cdot l^2} = 1,414 \cdot l$ $l = \frac{e}{1,414} = 0,707 \cdot e \quad U = 4 \cdot l$   | $A = l^2$  | M |
| <p><b>Rhombus (Raute)</b></p>   | $l = \frac{A}{b}$ $b = \frac{A}{l}$ $U = 4 \cdot l$   | $A = l \cdot b$  | B |
| <p><b>Rechteck</b></p>    | $b = \frac{A}{l} \quad l = \frac{A}{b}$ $e = \sqrt{l^2 + b^2}$ $U = 2 \cdot l + 2 \cdot b$  | $A = l \cdot b$  | G |
| <p><b>Rhomboid (Parallelogramm)</b></p>   | $l = \frac{A}{b} \quad l = \frac{U - 2 \cdot l_1}{2}$ $b = \frac{A}{l} \quad l_1 = \frac{U - 2 \cdot l}{2}$ $U = 2 \cdot l + 2 \cdot l_1$   | $A = l \cdot b$  | W |
| <p><b>Dreieck</b></p>   | $l = \frac{2 \cdot A}{b}$ $b = \frac{2 \cdot A}{l}$ $U = \text{Summe aller Seiten}$   | $A = \frac{l \cdot b}{2}$  | W |
| <p><b>Trapez</b></p>   | $l_1 = \frac{2 \cdot A}{b} - l_2$ $b = \frac{2 \cdot A}{l_1 + l_2}$ $l_2 = \frac{2 \cdot A}{b} - l_1$ $l_m = \frac{l_1 + l_2}{2}$ $l_1 = 2 \cdot l_m - l_2$ $l_2 = 2 \cdot l_m - l_1$ $U = \text{Summe aller Seiten}$   | $A = \frac{l_1 + l_2}{2} \cdot b$ $A = l_m \cdot b$  | Z |
| <p><b>Vieleck (regelmäßig)</b></p>  <p> <math>\alpha</math> Innenwinkel<br/> <math>\beta</math> Außenwinkel<br/>                 SW Schlüsselweite<br/>                 D Inkreisdurchmesser<br/>                 d Umkreisdurchmesser             </p> | $\alpha = \frac{360^\circ}{n}$ $\beta = \frac{(n-2) \cdot 180^\circ}{n}$ $\beta = 180^\circ - \alpha$ $l = D \cdot \sin\left(\frac{180^\circ}{n}\right)$ $l = D \cdot \sin\frac{\alpha}{2}$ $d = \sqrt{D^2 - l^2}$ $b = \frac{SW}{2} = \frac{d}{2}$ $U = l \cdot n$ | $A = \frac{l \cdot b}{2} \cdot n$ $A = \frac{n \cdot l \cdot d}{4}$ <p>                 A Gesamtfläche<br/>                 d Inkreisdurchmesser<br/>                 n Anzahl der Ecken<br/>                 l Seitenlänge<br/>                 b Breite             </p> | F |
| <p>A Fläche</p>  | <p>l Länge</p>  | <p><math>l_m</math> mittlere Länge</p>   | F |
| <p>b Breite</p>  | <p>U Umfang</p>   | <p>e Eckmaß</p>  | E |
| <p><math>l_m</math> mittlere Länge</p>   | <p>b Breite</p>   | <p>U Umfang</p>  | V |
| <p>e Eckmaß</p>  | <p>U Umfang</p>   | <p>e Eckmaß</p>  | V |

M

Kreis



$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{A}{0,785}}$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$U = \pi \cdot d$$

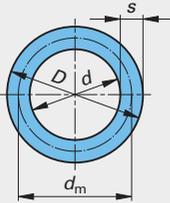
$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$A = 0,785 \cdot d^2$$

$$A = \pi \cdot r^2$$

B

Kreisring



$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

$$A_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

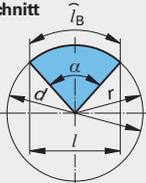
$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$$

$$A = \pi \cdot d_m \cdot s$$

$$A = A_2 - A_1$$

G

Kreisabschnitt (Sektor)



$$l = 2 \cdot r \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$l_B = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360^\circ}$$

$$U = l_B + 2 \cdot r$$

$l_B$  Bogenlänge

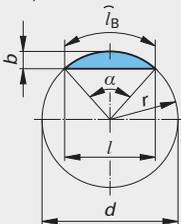
$\alpha$  Mittelpunktswinkel

$$A = \frac{l_B \cdot r}{2}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}$$

W

Kreisabschnitt (Segment)



$$l_B = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360^\circ}$$

$$b = r - \sqrt{r^2 - l^2/4}$$

$$b = \frac{l}{2} \cdot \tan \frac{\alpha}{4}$$

$$l = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot b \cdot r - b^2}$$

$$l = 2 \cdot r \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$r = \frac{b}{2} + \frac{l^2}{8 \cdot b}$$

$$r = \frac{2 \cdot A - b \cdot l}{l_B - l}$$

$l$  Länge (Sehne)

$b$  Breite (Bogenhöhe)

$$A = \frac{l_B \cdot r - l \cdot (r - b)}{2}$$

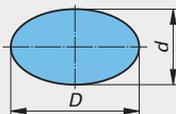
$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{\alpha}{360^\circ} - \frac{l \cdot (r - b)}{2}$$

$$A \approx \frac{2 \cdot l \cdot b}{3}$$

$$U = l + l_B$$

F

Ellipse



$D$  große Achse  
 $d$  kleine Achse

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

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

$$U \approx \pi \cdot \frac{D+d}{2}$$

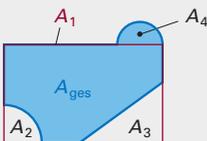
genauer:

$$U \approx \pi \cdot \sqrt{2 \cdot (R^2 + r^2)}$$

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

E

Zusammengesetzte Flächen



Zusammengesetzte Flächen werden zur Berechnung ihrer Gesamtfläche in Teilflächen zerlegt.

Durch Addition und Subtraktion der Teilflächen erhält man die Gesamtfläche.

$$A_{ges} = A_1 - A_2 - A_3 + A_4$$

Allgemein gilt:

$$A_{ges} = A_1 \pm A_2 \pm A_3 \pm \dots$$

V

$A$  Fläche  
 $U$  Umfang

$D, d$  Durchmesser  
 $R, r$  Radius

$l_B$  Bogenlänge  
 $l$  Länge (Sehne)

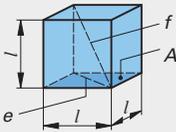
$b$  Breite (Bogenhöhe)  
 $b$  Breite

$\alpha$  Mittelpunktswinkel  
 $d_m$  mittlerer Durchmesser

**Gleichdicke Körper**

$V = A \cdot h$

**Würfel**



$l = \sqrt[3]{V}$

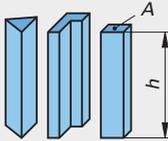
$e = 1,414 \cdot l$   
 $f = 1,732 \cdot l$   
 $l_{\text{ges}} = 12 \cdot l$

$V = l \cdot l \cdot l$

$A_M = 4 \cdot A = 4 \cdot l^2$   
 $A_O = 6 \cdot A = 6 \cdot l^2$

$V = l^3$

**Prisma**

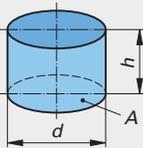


$A = \frac{V}{h}$

$h = \frac{V}{A}$

$V = A \cdot h$

**Zylinder**



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

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

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

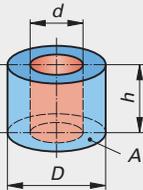
$A = \frac{V}{h}$

$h = \frac{V}{A}$

$V = A \cdot h$

$A_M = \pi \cdot d \cdot h$   
 $A_O = \pi \cdot d \cdot h + 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$

**Hohlzylinder**



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

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

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

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

$A_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$   
 $A_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$

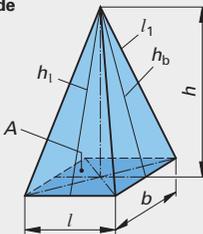
$V = (A_2 - A_1) \cdot h$   
 $V = V_2 - V_1$

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

**Spitze Körper**

$V = A \cdot b/3$

**Pyramide**



$h = \frac{3 \cdot V}{l \cdot b}$

$b = \frac{3 \cdot V}{l \cdot h}$

$l = \frac{3 \cdot V}{b \cdot h}$

$V = \frac{l \cdot b \cdot h}{3}$

$A = \frac{3 \cdot V}{h}$

$h = \frac{3 \cdot V}{A}$

$V = \frac{A \cdot h}{3}$

$h_1 = \sqrt{h^2 + b^2/4}$

$h_b = \sqrt{h^2 + l^2/4}$

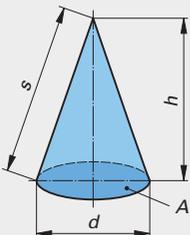
$l_1 = \sqrt{h_b^2 + b^2/4}$

$l_1 = \sqrt{h_1^2 + l^2/4}$

$A_M = h_1 \cdot l + h_b \cdot b$

$A_O = A_M + A$

**Kegel**



$d = \sqrt{\frac{12 \cdot V}{\pi \cdot h}}$

$h = \frac{12 \cdot V}{\pi \cdot d^2}$

$V = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h$

$A = \frac{3 \cdot V}{h}$

$h = \frac{3 \cdot V}{A}$

$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{12}$

$A_M = \pi \cdot r \cdot \sqrt{h^2 + r^2}$

$A_M = \frac{\pi \cdot d \cdot s}{2}$

$V = \frac{A \cdot h}{3}$

$A_M = \pi \cdot r \cdot s$   
 $A_O = A_M + A$

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

V Volumen

l Länge

h<sub>1</sub> Mantelhöhe über l

r Radius

e Eckenmaß

A Fläche

b Breite

h<sub>b</sub> Mantelhöhe über b

A<sub>M</sub> Mantelfläche

(Flächendiagonale)

h Höhe

D, d Durchmesser

s Mantelhöhe

A<sub>O</sub> Oberfläche

f Raumdiagonale

M

B

G

W

Z

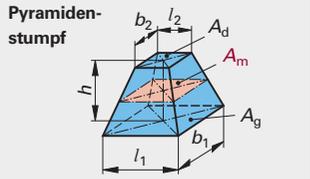
F

E

V

**Abgestumpfte Körper**

M

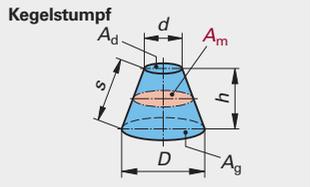


$$A_m = \frac{A_g + A_d}{2}$$

$$V = \frac{h \cdot (A_g + A_d + \sqrt{A_g \cdot A_d})}{3}$$

$$V \approx A_m \cdot h$$

B



$$A_m = \frac{A_g + A_d}{2}$$

$$A_M = \frac{\pi \cdot (D + d) \cdot s}{2}$$

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

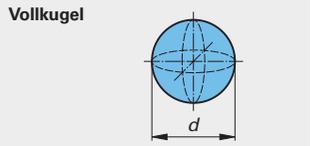
$$V = \frac{\pi \cdot h \cdot (D^2 + d^2 + D \cdot d)}{12}$$

$$V \approx A_m \cdot h$$

$$A_o = A_d + A_M + A_g$$

G

**Kugel**



$$d = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{V}{0,524}}$$

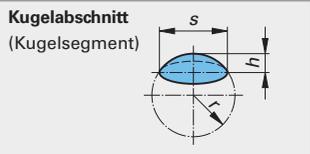
$$d \approx 1,24 \cdot \sqrt[3]{V}$$

$$A_o = \pi \cdot d^2 \quad d = \sqrt{\frac{A_o}{\pi}}$$

$$V = \frac{\pi \cdot d^3}{6}$$

$$V = 0,524 \cdot d^3$$

W



$$A_M = \pi \cdot d \cdot h$$

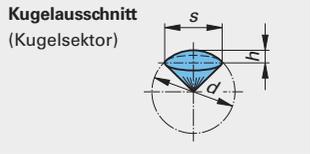
$$A_M = \frac{\pi \cdot (s^2 + 4 \cdot h^2)}{4}$$

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

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

$$V = \pi \cdot h \cdot \left(\frac{s^2}{8} + \frac{h^2}{6}\right)$$

Z



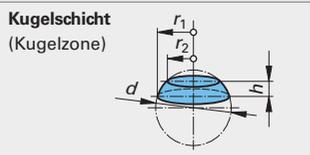
$$A_M = A_o$$

$$A_o = \frac{\pi \cdot d \cdot (4 \cdot h + s)}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{6 \cdot V}{\pi \cdot h}}; \quad h = \frac{6 \cdot V}{\pi \cdot d^2}$$

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{6}$$

F



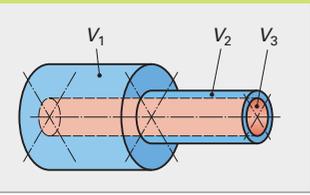
$$A_M = \pi \cdot d \cdot h$$

$$A_o = \pi \cdot (d \cdot h + r_1^2 + r_2^2)$$

$$V = \frac{\pi \cdot h \cdot (3 \cdot r_1^2 + 3 \cdot r_2^2 + h^2)}{6}$$

**Zusammengesetzte Körper**

E



Zusammengesetzte Körper werden zur Berechnung ihres Gesamtvolumens in Teilkörper zerlegt.

Durch Addition und Subtraktion der Teilkörper erhält man das Gesamtvolumen.

$$V_{ges} = V_1 + V_2 - V_3$$

Allgemein gilt:

$$V_{ges} = V_1 \pm V_2 \pm V_3 \pm \dots$$

V

- V Volumen
- A<sub>m</sub> Mittelfläche
- A<sub>g</sub> Grundfläche
- A<sub>o</sub> Oberfläche
- A<sub>d</sub> Deckfläche
- A<sub>M</sub> Mantelfläche
- A Fläche
- h Höhe
- l Länge
- b Breite
- r Halbmesser
- D, d Durchmesser
- d<sub>m</sub> mittlerer Durchmesser
- d Durchmesser
- s Mantelhöhe, Länge