



# Erste Hilfe



## Auffinden einer Person

### Grundsätze

- Ruhe bewahren
- Unfallstelle sichern
- Eigene Sicherheit beachten



### Notruf 112

- Wo geschah es?
- Was geschah?
- Wie viele Verletzte?
- Welche Art von Verletzungen?
- Warten auf Rückfragen!



nicht vorhanden  
um Hilfe rufen



keine normale Atmung

**Notruf**  
  
**AED<sup>1)</sup> holen lassen**



vorhanden

normale Atmung



**Notruf**

**Bewusstsein und Atmung überwachen**

### Unfälle durch elektrischen Strom

- Auf Selbstschutz achten
- Strom sofort unterbrechen

#### Niederspannung: (bis 1000 Volt)

- Stecker ziehen, ausschalten
- Sicherung herausnehmen bzw. Sicherungsautomat betätigen

#### Hochspannung: (über 1000 Volt)

- Abstand halten
- Notruf „Elektronfall“
- Fachpersonal herbeirufen
- Rettung nur durch Fachpersonal!

#### Maßnahmen am Patienten:

- Ständige Kontrolle von Bewusstsein und Kreislauf (Atmung)
- Ärztliche Behandlung veranlassen

<sup>1)</sup> Sofern verfügbar, den Anweisungen des „Automatisierten Externen Defibrillators“ AED (Gerät zur Beseitigung von Herzmuskelstörungen) folgen.



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für Metallberufe

Roland Gomeringer  
Max Heinzler  
Roland Kilgus  
Volker Menges  
Stefan Oesterle

Thomas Rapp  
Claudius Scholer  
Andreas Stenzel  
Andreas Stephan  
Falko Wieneke

# Tabellenbuch Metall

47., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

**Europa-Nr.: 10609** mit Formelsammlung

**Europa-Nr.: 1060X** ohne Formelsammlung

**Europa-Nr.: 10706** XXL, mit Formelsammlung und CD

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

**Autoren:**

Roland Gomeringer  
Max Heinzler  
Roland Kilgus  
Volker Menges  
Stefan Oesterle  
Thomas Rapp  
Claudius Scholer  
Andreas Stenzel  
Andreas Stephan  
Falko Wieneke

Meistetten  
Wangen im Allgäu  
Neckartenzlingen  
Lichtenstein  
Amtzell  
Albstadt  
Pliezhausen  
Balingen  
Marktoberdorf  
Essen

**Lektorat:**

Roland Gomeringer, Meistetten

**Bildbearbeitung:**

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Magebend für die Anwendung der Normen und der anderen Regelwerke sind deren neueste Ausgaben. Sie können durch die Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin, bezogen werden.

Inhalte des Kapitels „Programmaufbau bei CNC-Maschinen nach PAL“ (Seiten 349 bis 368) richten sich nach Veröffentlichungen der PAL-Prüfungsaufgaben- und Lehrmittelentwicklungsstelle der IHK Region Stuttgart.

47. Auflage 2017, korrigierter Nachdruck 2018

Druck 6 5 4 3

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

ISBN 978-3-8085-1727-7 mit Formelsammlung  
ISBN 978-3-8085-1678-2 ohne Formelsammlung  
ISBN 978-3-8085-1684-3 XXL, mit Formelsammlung und CD

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: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt  
Umschlaggestaltung: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar  
Umschlagfoto: Sauter Feinmechanik GmbH, 72555 Metzingen  
Druck: M.P. Media-Print Informationstechnologie GmbH, 33100 Paderborn

## Vorwort

### Zielgruppen des Tabellenbuches

- Metallberufe aus Handwerk und Industrie
- Technische Produktdesigner
- Meister- und Techniker Ausbildung
- Praktiker in Handwerk und Industrie
- Studenten des Maschinenbaues

### Inhalt

Der Inhalt des Buches ist in sieben Hauptkapitel gegliedert, die in der rechten Spalte benannt sind. Er ist auf die Bildungspläne der Zielgruppen abgestimmt und der Entwicklung der Technik und der KMK-Lehrpläne angepasst.

Die **Tabellen** enthalten die wichtigsten Regeln, Bauarten, Sorten, Abmessungen und Richtwerte der jeweiligen Sachgebiete.

Bei den **Formeln** wird in der Legende auf die Nennung von Einheiten verzichtet. In den oft parallel zum Buch verwendeten „**Formeln für Metallberufe**“ sind dagegen die Einheiten angegeben, um vor allem Berufsanfängern beim Berechnen eine Hilfestellung zu geben. Dies gilt auch für die neue „**Formelsammlung Metall plus+**“, die in kompakter Form neben einfachen Grundlagen auch weitergehende Inhalte bietet.

Mit der CD „**Tabellenbuch Metall digital**“ und der Web-Applikation „**Tabellenbuch Metall online**“ liegt das Tabellenbuch in digitaler Form vor. Berechnungsmöglichkeiten sind integriert. Formeln und Einheiten können gewählt und umgestellt werden. Ergänzt wird das Medienangebot durch eine APP „**Formeln & Tabellen Metall**“ für Smartphones und Tablets. Damit können z.B. schnell und einfach Basiseinheiten umgerechnet, Härtewerte oder Toleranzen bestimmt werden. Markierungen im Buch weisen auf den sinnvollen Einsatz der APP hin. Der Zugang zu weiteren Web-Angeboten ist über „**Formeln & Tabellen Metall**“ oder [www.europa-lehrmittel.de/tm47](http://www.europa-lehrmittel.de/tm47) möglich.

Das **Sachwortverzeichnis** am Schluss des Buches enthält neben den deutschen auch die englischen Bezeichnungen.

Im **Normenverzeichnis** sind alle im Buch zitierten aktuellen Normen und Regelwerke aufgeführt.

### Änderungen in der 47. Auflage

In der vorliegenden Auflage sind die **Normen auf dem Stand Januar 2017**. Wegen neuer Normen und der technischen Entwicklung wurden folgende Inhalte aktualisiert, erweitert oder neu aufgenommen:

- Qualitätsmanagement und Umweltmanagement jeweils nach neuester Norm. Wegfall allgemeiner Begriffe aus dem Qualitätsmanagement.
- Einführung in die „Geometrische Produktspezifikation (GPS)“ für die Technische Kommunikation.
- Zusätzliche Werkzeuge und teilweise aktualisierte Richtwerte bei der spanenden Fertigung.
- Ergänzungen in der Kostenrechnung.
- Darstellung der Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung in Schaltplänen nach ISO 1219 bzw. DIN EN 81346.

**Autoren und Verlag sind auch weiterhin allen Nutzern des Tabellenbuches für Hinweise und Verbesserungsvorschläge an [lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de) dankbar.**

|                                |          |          |
|--------------------------------|----------|----------|
| <b>1 Technische Mathematik</b> | 9 ... 28 | <b>M</b> |
|--------------------------------|----------|----------|

|                            |           |          |
|----------------------------|-----------|----------|
| <b>2 Technische Physik</b> | 29 ... 56 | <b>P</b> |
|----------------------------|-----------|----------|

|                                   |            |          |
|-----------------------------------|------------|----------|
| <b>3 Technische Kommunikation</b> | 57 ... 118 | <b>K</b> |
|-----------------------------------|------------|----------|

|                           |             |          |
|---------------------------|-------------|----------|
| <b>4 Werkstofftechnik</b> | 119 ... 206 | <b>W</b> |
|---------------------------|-------------|----------|

|                            |             |          |
|----------------------------|-------------|----------|
| <b>5 Maschinenelemente</b> | 207 ... 276 | <b>M</b> |
|----------------------------|-------------|----------|

|                            |             |          |
|----------------------------|-------------|----------|
| <b>6 Fertigungstechnik</b> | 277 ... 418 | <b>F</b> |
|----------------------------|-------------|----------|

|                                  |             |          |
|----------------------------------|-------------|----------|
| <b>7 Automatisierungstechnik</b> | 419 ... 460 | <b>A</b> |
|----------------------------------|-------------|----------|

## Inhaltsverzeichnis

### 1 Technische Mathematik (M)

9

#### 1.1 Einheiten im Messwesen

|  |    |
|--|----|
| SI-Basisgrößen und Einheiten . . . . . | 10 |
| Abgeleitete Größen und Einheiten. . .  | 10 |
| Einheiten außerhalb des SI . . . . .   | 12 |

#### 1.2 Formeln

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Formelzeichen, mathem. Zeichen. . . . | 13 |
| Formeln, Gleichungen, Diagramme. . .  | 14 |
| Umstellen von Formeln . . . . .       | 15 |
| Größen und Einheiten . . . . .        | 16 |
| Rechnen mit Größen . . . . .          | 17 |
| Prozent- und Zinsrechnung . . . . .   | 17 |

#### 1.3 Winkel und Dreiecke

|  |    |
|--|----|
| Winkelarten, Satz des Pythagoras . . . | 18 |
| Funktionen im Dreieck. . . . .         | 19 |

#### 1.4 Längen

|                              |    |
|------------------------------|----|
| Teilung von Längen . . . . . | 20 |
| Gestreckte Längen . . . . .  | 21 |
| Rohlängen. . . . .           | 21 |

#### 1.5 Flächen

|   |    |
|---|----|
| Eckige Flächen . . . . .                  | 22 |
| Dreieck, Vielecke, Kreis . . . . .        | 23 |
| Kreisausschnitt, -abschnitt, -ring. . . . | 24 |
| Ellipse . . . . .                         | 24 |

#### 1.6 Volumen und Oberfläche

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Würfel, Zylinder, Pyramide . . . . . | 25 |
| Kegel, Kegestumpf, Kugel . . . . .   | 26 |
| Zusammengesetzte Körper . . . . .    | 27 |

#### 1.7 Masse

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| Allgemeine Berechnung . . . . . | 27 |
| Längenbezogene Masse . . . . .  | 27 |
| Flächenbezogene Masse . . . . . | 27 |

#### 1.8 Schwerpunkte

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| Linien Schwerpunkte . . . . . | 28 |
| Flächenschwerpunkte . . . . . | 28 |

### 2 Technische Physik (P)

29

#### 2.1 Bewegungen

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Konstante Bewegungen . . . . .       | 30 |
| Beschleunigte Bewegungen . . . . .   | 30 |
| Geschwindigkeiten an Maschinen . . . | 31 |

#### 2.2 Kräfte

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Zusammensetzen und Zerlegen. . . . . | 32 |
| Kräftearten. . . . .                 | 34 |
| Drehmoment. . . . .                  | 35 |

#### 2.3 Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Mechanische Arbeit . . . . .        | 35 |
| Einfache Maschinen. . . . .         | 36 |
| Energie . . . . .                   | 36 |
| Leistung und Wirkungsgrad . . . . . | 37 |

#### 2.4 Reibung

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Reibungskraft, Reibungszahlen . . . . | 38 |
| Rollreibungszahlen . . . . .          | 38 |

#### 2.5 Druck in Flüssigkeiten und Gasen

|  |    |
|--|----|
| Druck . . . . .                        | 39 |
| Auftrieb . . . . .                     | 39 |
| Hydraulische Kraftübersetzung. . . . . | 39 |
| Druckübersetzung . . . . .             | 40 |
| Durchflussgeschwindigkeit . . . . .    | 40 |
| Zustandsänderung bei Gasen. . . . .    | 40 |

#### 2.6 Festigkeitslehre

|  |    |
|--|----|
| Belastungsfälle, Grenzspannungen . .   | 41 |
| Statische Festigkeit. . . . .          | 42 |
| Elastizitätsmodul . . . . .            | 42 |
| Zug, Druck, Flächenpressung . . . . .  | 43 |
| Abscherung, Torsion, Biegung . . . . . | 44 |
| Biegebelastung auf Bauteile . . . . .  | 45 |
| Widerstandsmomente . . . . .           | 46 |
| Knickung, Zus. Beanspruchung . . . . . | 47 |
| Dynamische Festigkeit . . . . .        | 48 |
| Gestaltfestigkeit . . . . .            | 49 |

#### 2.7 Wärmetechnik

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Temperaturen, Längenänderung . . . . | 51 |
| Schwindung . . . . .                 | 51 |
| Wärmemenge. . . . .                  | 51 |
| Heizwerte. . . . .                   | 52 |

#### 2.8 Elektrotechnik

|   |    |
|---|----|
| Größen und Einheiten . . . . .          | 53 |
| Ohmsches Gesetz. . . . .                | 53 |
| Leiterwiderstand. . . . .               | 53 |
| Stromdichte. . . . .                    | 54 |
| Schaltung von Widerständen . . . . .    | 54 |
| Stromarten . . . . .                    | 55 |
| Elektrische Arbeit und Leistung . . . . | 56 |
| Transformator. . . . .                  | 56 |

### 3 Technische Kommunikation (K)

57

#### 3.1 Diagramme

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Kartesisches Koordinatensystem. . . . | 58 |
| Polarkoordinatensystem . . . . .      | 59 |
| Flächendiagramme . . . . .            | 59 |

#### 3.2 Geom. Grundkonstruktionen

|   |    |
|---|----|
| Strecken, Lote, Winkel . . . . .        | 60 |
| Tangenten, Kreisbögen . . . . .         | 61 |
| Inkreis, Ellipse, Spirale. . . . .      | 62 |
| Zykloide, Evolvente, Hyperbel . . . . . | 63 |

|   |    |   |     |
|---|----|---|-----|
| <b>3.3 Zeichnungselemente</b>           |    | <b>3.7 Werkstückelemente</b>                |     |
| Schriftzeichen . . . . .                | 64 | Butzen, Werkstückkanten . . . . .           | 89  |
| Normzahlen, Radien, Maßstäbe . . . . .  | 65 | Gestaltabweichungen, -freistiche . . . . .  | 90  |
| Zeichenblätter . . . . .                | 66 | Gewinde, Schraubenverbindungen . . . . .    | 91  |
| Stücklisten, Positionsnummern . . . . . | 67 | Zentrierbohrungen, Rändel . . . . .         | 92  |
| Linienarten . . . . .                   | 68 | Freistiche . . . . .                        | 93  |
| <b>3.4 Darstellung</b>                  |    | <b>3.8 Schweißen und Löten</b>              |     |
| Projektionsmethoden . . . . .           | 70 | Sinnbilder . . . . .                        | 94  |
| Ansichten . . . . .                     | 72 | Bemaßungsbeispiele . . . . .                | 96  |
| Schnittdarstellung . . . . .            | 74 | <b>3.9 Oberflächen</b>                      |     |
| Schraffuren . . . . .                   | 76 | Härteangaben in Zeichnungen . . . . .       | 98  |
| <b>3.5 Maßeintragung</b>                |    | Gestaltabweichungen, Rauheit . . . . .      | 99  |
| Maßlinien, Maßzahlen . . . . .          | 77 | Oberflächenprüfung, -angaben . . . . .      | 100 |
| Bemaßungsregeln . . . . .               | 78 | Erreichbare Rauheit . . . . .               | 102 |
| Zeichnungselemente . . . . .            | 79 | Verzahnungsqualität . . . . .               | 103 |
| Toleranzangaben . . . . .               | 81 | <b>3.10 Toleranzen, Passungen</b>           |     |
| Maßarten . . . . .                      | 82 | Grundlagen . . . . .                        | 104 |
| Zeichnungsvereinfachung . . . . .       | 84 | ISO-Passungen . . . . .                     | 106 |
| <b>3.6 Maschinenelemente</b>            |    | Allgemeintoleranzen . . . . .               | 112 |
| Zahnräder . . . . .                     | 85 | Wälzlagerpassungen . . . . .                | 112 |
| Wälzlager . . . . .                     | 86 | Passungsempfehlungen, -auswahl . . . . .    | 113 |
| Dichtungen . . . . .                    | 87 | Geometrische Produktspezifikation . . . . . | 114 |
| Sicherungsringe, Federn . . . . .       | 88 | Geometrische Tolerierung . . . . .          | 116 |

## 4 Werkstofftechnik (W)

119

|   |     |   |     |
|---|-----|---|-----|
| <b>4.1 Stoffe</b>                           |     | <b>4.6 Gusseisen-Werkstoffe</b>           |     |
| Stoffwerte . . . . .                        | 120 | Bezeichnung, Werkstoffnummern . . . . .   | 167 |
| Periodisches System der Elemente . . . . .  | 122 | Gusseisenarten . . . . .                  | 168 |
| Chemikalien der Metalltechnik . . . . .     | 123 | <b>4.7 Gießereitechnik</b>                | 171 |
| <b>4.2 Bezeichnungssystem der Stähle</b>    |     | <b>4.8 Leichtmetalle</b>                  |     |
| Definition und Einteilung . . . . .         | 124 | Übersicht Al-Legierungen . . . . .        | 173 |
| Normung von Stahlprodukten . . . . .        | 125 | Aluminium-Knetlegierungen . . . . .       | 175 |
| Werkstoffnummern . . . . .                  | 126 | Aluminium-Gusslegierungen . . . . .       | 177 |
| Bezeichnungssystem . . . . .                | 127 | Aluminium-Profile . . . . .               | 178 |
| <b>4.3 Stahlsorten</b>                      |     | Magnesium- u. Titanlegierungen . . . . .  | 181 |
| Erzeugnisse aus Stahl, Übersicht . . . . .  | 131 | <b>4.9 Schwermetalle</b>                  |     |
| Stähle, Übersicht . . . . .                 | 132 | Bezeichnungssystem . . . . .              | 183 |
| Baustähle . . . . .                         | 134 | Kupfer-Legierungen . . . . .              | 184 |
| Einsatzstähle . . . . .                     | 137 | <b>4.10 Sonstige Werkstoffe</b>           | 186 |
| Vergütungsstähle . . . . .                  | 138 | <b>4.11 Kunststoffe</b>                   |     |
| Werkzeugstähle . . . . .                    | 140 | Übersicht . . . . .                       | 188 |
| Nichtrostende Stähle . . . . .              | 141 | Duroplaste . . . . .                      | 191 |
| Federstähle . . . . .                       | 143 | Thermoplaste . . . . .                    | 192 |
| Stähle für Blankstahlerzeugnisse . . . . .  | 144 | Elastomere, Schaumstoffe . . . . .        | 195 |
| <b>4.4 Stahl-Fertigerzeugnisse</b>          |     | Kunststoffverarbeitung . . . . .          | 196 |
| Bleche, Bänder, Rohre . . . . .             | 146 | Polyblends, Schichtpressstoffe . . . . .  | 197 |
| Profile . . . . .                           | 150 | Kunststoffprüfung . . . . .               | 198 |
| Längen- u. flächenbezogene Masse . . . . .  | 159 | <b>4.12 Werkstoffprüfung</b>              |     |
| <b>4.5 Wärmebehandlung</b>                  |     | Übersicht . . . . .                       | 199 |
| Kristallgitter, Legierungssysteme . . . . . | 160 | Zugversuch . . . . .                      | 201 |
| Eisen-Kohlenstoff-Diagramm . . . . .        | 161 | Kerbschlag-, Umlaufbiegeversuch . . . . . | 202 |
| Wärmebehandlung der Stähle . . . . .        | 162 | Härteprüfung . . . . .                    | 203 |
|   |     | <b>4.13 Korrosion, Korrosionsschutz</b>   | 206 |

**5 Maschinenelemente (M)****207**

|                                     |     |   |     |
|-------------------------------------|-----|---|-----|
| <b>5.1 Gewinde</b>                  |     | <b>5.5 Scheiben</b>                                 |     |
| Gewindearten, Übersicht . . . . .   | 208 | Bauarten, Übersicht . . . . .                       | 239 |
| Ausländische Gewinde-Normen . . . . | 209 | Flache Scheiben . . . . .                           | 240 |
| Metrisches ISO-Gewinde . . . . .    | 210 | Sonstige Scheiben . . . . .                         | 241 |
| Sonstige Gewinde . . . . .          | 211 | <b>5.6 Stifte und Bolzen</b>                        |     |
| Gewindetoleranzen . . . . .         | 213 | Bauarten, Übersicht . . . . .                       | 242 |
| <b>5.2 Schrauben</b>                |     | Zylinderstifte, Spannstifte . . . . .               | 243 |
| Schraubenarten, Übersicht . . . . . | 214 | Kerbstifte, Bolzen . . . . .                        | 244 |
| Bezeichnung . . . . .               | 215 | <b>5.7 Welle-Nabe-Verbindungen</b>                  |     |
| Festigkeit . . . . .                | 216 | Verbindung, Übersicht . . . . .                     | 245 |
| Sechskantschrauben . . . . .        | 217 | Keile . . . . .                                     | 246 |
| Zylinderschrauben . . . . .         | 220 | Passfedern, Scheibenfedern . . . . .                | 247 |
| Sonstige Schrauben . . . . .        | 221 | Werkzeugkegel . . . . .                             | 248 |
| Berechnung von Schrauben . . . . .  | 226 | <b>5.8 Sonstige Maschinenelemente</b>               |     |
| Schraubensicherungen, Übersicht . . | 228 | Federn . . . . .                                    | 249 |
| Schraubenantriebe . . . . .         | 229 | Gewindestifte, Druckstücke,<br>Kugelhöpfe . . . . . | 252 |
| <b>5.3 Senkungen</b>                |     | Griffe, Aufnahmen . . . . .                         | 253 |
| Senkungen für Senkschrauben . . . . | 230 | Schnellspann-Bohrvorrichtung . . . .                | 255 |
| Senkungen für Zylinderschrauben . . | 231 | <b>5.9 Antriebselemente</b>                         |     |
| <b>5.4 Muttern</b>                  |     | Riemen . . . . .                                    | 257 |
| Mutternarten, Übersicht . . . . .   | 232 | Stirnräder, Maße . . . . .                          | 260 |
| Bezeichnung . . . . .               | 233 | Kegel- u. Schneckenräder, Maße . .                  | 262 |
| Festigkeit . . . . .                | 234 | Übersetzungen . . . . .                             | 263 |
| Sechskantmutter . . . . .           | 235 | <b>5.10 Lager</b>                                   |     |
| Sonstige Muttern . . . . .          | 236 | Gleitlager . . . . .                                | 264 |
|                                     |     | Wälzlager . . . . .                                 | 266 |
|                                     |     | Schmieröle und Schmierfette . . . .                 | 275 |

**6 Fertigungstechnik (F)****277**

|  |     |   |     |
|--|-----|---|-----|
| <b>6.1 Messtechnik</b>                   |     | Werkzeug-Aufnahmen . . . . .            | 311 |
| Prüfmittel . . . . .                     | 278 | Kühlschmierung . . . . .                | 312 |
| Messergebnis . . . . .                   | 279 | Drehen . . . . .                        | 314 |
| <b>6.2 Qualitätsmanagement</b>           |     | Fräsen . . . . .                        | 326 |
| Normen, Begriffe . . . . .               | 280 | Bohren, Senken, Reiben . . . . .        | 337 |
| Qualitätsplanung, Qualitätsprüfung . .   | 282 | Schleifen . . . . .                     | 343 |
| Statistische Auswertung . . . . .        | 283 | Honen . . . . .                         | 348 |
| Qualitätsfähigkeit . . . . .             | 285 | CNC-Technik, Null- u. Bezugspunkte      | 349 |
| Statistische Prozesslenkung . . . . .    | 286 | Werkzeug-/Bahnkorrekturen . . . . .     | 350 |
| <b>6.3 Maschinenrichtlinie</b> . . . . . | 289 | CNC-Fertigung nach DIN . . . . .        | 351 |
| <b>6.4 Produktionsorganisation</b>       |     | CNC-Drehen nach PAL . . . . .           | 354 |
| Erzeugnisgliederung . . . . .            | 291 | CNC-Fräsen nach PAL . . . . .           | 360 |
| Arbeitsplanung . . . . .                 | 293 | <b>6.7 Abtragen</b>                     |     |
| Kalkulation . . . . .                    | 297 | Drahterodieren, Senkerodieren . . . .   | 369 |
| <b>6.5 Instandhaltung</b>                |     | Einflüsse auf das Verfahren . . . . .   | 370 |
| Wartung, Instandsetzung . . . . .        | 300 | <b>6.8 Trennen durch Schneiden</b>      |     |
| Instandhaltungskonzepte . . . . .        | 301 | Schneidkraft, Pressen . . . . .         | 371 |
| Dokumentationssystem . . . . .           | 303 | Schneidwerkzeug . . . . .               | 372 |
| <b>6.6 Spanende Fertigung</b>            |     | Werkzeug- und Werkstückmaße . . . .     | 374 |
| Zeitspannungsvolumen . . . . .           | 304 | Streifenausnutzung . . . . .            | 375 |
| Kräfte beim Spanen . . . . .             | 305 | <b>6.9 Umformen</b>                     |     |
| Drehzahl diagramm . . . . .              | 306 | Biegen: Werkzeug, Verfahren . . . . .   | 376 |
| Schneidstoffe . . . . .                  | 308 | Biegeradien, Zuschnitt . . . . .        | 378 |
| Wendeschneidplatten . . . . .            | 310 | Tiefziehen: Werkzeug, Verfahren . . . . | 380 |
|  |     | Zuschnittdurchmesser, Ziehspalt . . .   | 382 |

|                                       |     |                                       |
|---------------------------------------|-----|---------------------------------------|
| <b>6.10 Spritzgießen</b>              |     |                                       |
| Spritzgießwerkzeug .....              | 384 |                                       |
| Schwindung, Kühlung, Dosierung ..     | 387 |                                       |
| <b>6.11 Fügen</b>                     |     |                                       |
| Schweißverfahren, Übersicht .....     | 389 |                                       |
| Nahtvorbereitung .....                | 391 |                                       |
| Schutzgasschweißen .....              | 392 |                                       |
| Lichtbogenschweißen .....             | 394 |                                       |
| Strahlschneiden .....                 | 396 |                                       |
|                                       |     | Kennzeichnung von Gasflaschen ... 398 |
|                                       |     | Löten .....                           |
|                                       |     | 400                                   |
|                                       |     | Kleben .....                          |
|                                       |     | 403                                   |
| <b>6.12 Arbeits- und Umweltschutz</b> |     |                                       |
| Gefahren am Arbeitsplatz .....        | 405 |                                       |
| Gefahrstoffverordnung .....           | 406 |                                       |
| Warn-, Gebots-, Hinweiszeichen ...    | 414 |                                       |
| Kennzeichnung von Rohrleitungen .     | 417 |                                       |
| Schall und Lärm .....                 | 418 |                                       |

## 7 Automatisierungstechnik (A) 419

|   |     |   |     |
|---|-----|---|-----|
| <b>7.1 Pneumatik, Hydraulik</b>               |     | <b>7.4 SPS-Steuerungen</b>              |     |
| Schaltzeichen, Wegeventile .....              | 420 | SPS-Programmiersprachen .....           | 443 |
| Proportionalventile .....                     | 422 | Binäre Verknüpfungen .....              | 447 |
| Schaltpläne, Kennzeichnungssysteme .....      | 423 | Ablaufsteuerungen .....                 | 448 |
| Pneumatische Steuerung .....                  | 427 | <b>7.5 Regelungstechnik</b>             |     |
| Pneumatikzylinder .....                       | 428 | Grundbegriffe, Kennbuchstaben ...       | 450 |
| Hydraulik-, Pneumatikzylinder, -pumpen .....  | 429 | Bildzeichen .....                       | 451 |
| Rohre .....                                   | 431 | Regler .....                            | 452 |
| <b>7.2 Grafset</b>                            |     | <b>7.6 Handhabungs-, Robotertechnik</b> |     |
| Grundstruktur .....                           | 432 | Koordinatensysteme, Achsen .....        | 454 |
| Schritte, Transitionen .....                  | 433 | Aufbau von Robotern .....               | 455 |
| Aktionen .....                                | 434 | Greifer, Arbeitssicherheit .....        | 456 |
| Verzweigung .....                             | 436 | <b>7.7 Motoren und Antriebe</b>         |     |
| <b>7.3 Elektropneumatik, Elektrohydraulik</b> |     | Schutzmaßnahmen, Schutzarten ...        | 457 |
| Schaltzeichen .....                           | 438 | Elektromotoren, Anschlüsse,             |     |
| Stromlaufpläne, Kennzeichnung ...             | 439 | Berechnung .....                        | 460 |
| Sensoren .....                                | 441 |   |     |
| Elektropneumatische Steuerung ...             | 442 |   |     |

## Normenverzeichnis 461 ... 465

## Sachwortverzeichnis 466 ... 487

## Normen und andere Regelwerke

### Normung und Normbegriffe

Normung ist eine planmäßig durchgeführte Vereinheitlichung von materiellen und nichtmateriellen Gegenständen, wie z. B. Bauteilen, Berechnungsverfahren, Prozessabläufen und Dienstleistungen, zum Nutzen der Allgemeinheit.

| Normbegriff  | Beispiel                         | Erklärung  |
|--------------|----------------------------------|--|
| Norm         | DIN 509                          | Eine Norm ist das veröffentlichte Ergebnis der Normungsarbeit. Beispiel: DIN 509 mit Formen und Maßen von Freistichen bei Drehteilen und Bohrungen.  |
| Teil         | DIN 30910-2                      | Normen können aus mehreren in Zusammenhang stehenden Teilen bestehen. Die Teilnummern werden mit Bindestrich an die Norm-Nummer angehängt. DIN 30910-2 beschreibt z. B. Sinterwerkstoffe für Filter, während die Teile 3 und 4 Sinterwerkstoffe für Lager und Formteile beschreiben. |
| Beiblatt     | DIN 743<br>Bbl 1                 | Ein Beiblatt enthält Informationen zu einer Norm, jedoch keine zusätzlichen Festlegungen. Das Beiblatt DIN 743 Bbl 1 enthält z. B. Anwendungsbeispiele zu den in DIN 743 beschriebenen Tragfähigkeitsberechnungen von Wellen und Achsen.   |
| Entwurf      | E DIN EN<br>10027-2<br>(2013-09) | Normentwürfe werden zur Einsicht und Stellungnahme veröffentlicht. Die Neufassung DIN EN 10027-2 (2015-07) mit Werkstoffnummern für Stähle lag der Öffentlichkeit z. B. von September 2013 bis Februar 2014 für Einsprüche als Entwurf vor.  |
| Vornorm      | DIN V 45696-1<br>(2006-02)       | Eine Vornorm ist das Ergebnis einer Normungsarbeit, das wegen Vorbehalten nicht als Norm herausgegeben wird. DIN V 45696-1 enthält z. B. technische Maßnahmen bei der Gestaltung von Maschinen, die Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen übertragen.                             |
| Ausgabedatum | DIN 76-1<br>(2004-06)            | Zeitpunkt des Erscheinens, welcher im DIN-Anzeiger veröffentlicht wird und mit dem die Norm Gültigkeit bekommt. Die DIN 76-1, welche Freistiche für metrische ISO-Gewinde festlegt, ist z. B. seit Juni 2004 gültig.   |

### Normenarten und Regelwerke (Auswahl)

| Art                                | Kurzzeichen | Erklärung   | Zweck und Inhalte  |
|------------------------------------|-------------|---|--|
| Internationale Normen (ISO-Normen) | ISO         | International Organisation for Standardization, Genf (O und S werden in der Abkürzung vertauscht)       | Den internationalen Austausch von Gütern und Dienstleistungen sowie die Zusammenarbeit auf wissenschaftlichem, technischem und ökonomischem Gebiet erleichtern.  |
| Europäische Normen (EN-Normen)     | EN          | Europäische Normungsorganisation CEN (Communauté Européenne de Normalisation), Brüssel                  | Technische Harmonisierung und damit verbundener Abbau von Handelshemmnissen zur Förderung des Binnenmarktes und des Zusammenwachsens von Europa.   |
| Deutsche Normen (DIN-Normen)       | DIN         | Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin  | Die nationale Normungsarbeit dient der Rationalisierung, der Qualitätssicherung, der Sicherheit, dem Umweltschutz und der Verständigung in Wirtschaft, Technik, Wissenschaft, Verwaltung und Öffentlichkeit.   |
|                                    | DIN EN      | Deutsche Umsetzung einer europäischen Norm  |  |
|                                    | DIN ISO     | Deutsche Norm, deren Inhalt unverändert von einer ISO-Norm übernommen wurde.                            |  |
|                                    | DIN EN ISO  | Norm, die von ISO und CEN veröffentlicht wurde, und deren deutsche Fassung als DIN-Norm Gültigkeit hat. |  |
|                                    | DIN VDE     | Druckschrift des VDE, die den Status einer deutschen Norm hat.  |  |
| VDI-Richtlinien                    | VDI         | Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf   | Diese Richtlinien geben den aktuellen Stand der Technik zu bestimmten Themenbereichen wieder und enthalten z. B. konkrete Handlungsanleitungen zur Durchführung von Berechnungen oder zur Gestaltung von Prozessen im Maschinenbau bzw. in der Elektrotechnik. |
| VDE-Druckschriften                 | VDE         | Verband der Elektrotechnik Elektronischer Informationstechnik e. V., Frankfurt am Main                  |  |
| DGQ-Schriften                      | DGQ         | Deutsche Gesellschaft für Qualität e. V., Frankfurt am Main   |  |
| REFA-Blätter                       | REFA        | Verband für Arbeitsstudien REFA e. V., Darmstadt  | Empfehlungen für den Bereich der Fertigung und Arbeitsplanung.   |

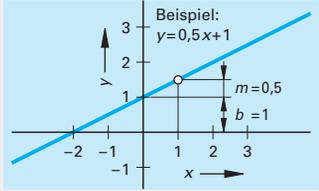


# 1 Technische Mathematik

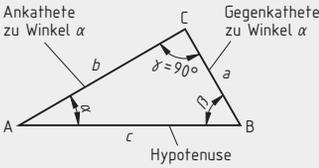


|  |    |
|--|----|
| <b>1.1 Einheiten im Messwesen</b>          |    |
| SI-Basisgrößen und Einheiten . . . . .     | 10 |
| Abgeleitete Größen und Einheiten . . . . . | 10 |
| Einheiten außerhalb des SI . . . . .       | 12 |

M



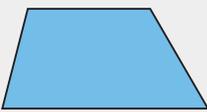
|  |    |
|--|----|
| <b>1.2 Formeln</b>                             |    |
| Formelzeichen, mathematische Zeichen . . . . . | 13 |
| Formeln, Gleichungen, Diagramme . . . . .      | 14 |
| Umstellen von Formeln . . . . .                | 15 |
| Größen und Einheiten . . . . .                 | 16 |
| Rechnen mit Größen . . . . .                   | 17 |
| Prozent- und Zinsrechnung . . . . .            | 17 |



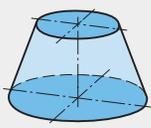
|   |    |
|---|----|
| <b>1.3 Winkel und Dreiecke</b>                  |    |
| Winkelarten, Satz des Pythagoras . . . . .      | 18 |
| Strahlensatz . . . . .                          | 18 |
| Funktionen im Dreieck . . . . .                 | 19 |
| Funktionen im rechtwinkligen Dreieck . . . . .  | 19 |
| Funktionen im schiefwinkligen Dreieck . . . . . | 19 |



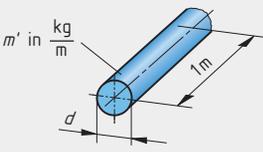
|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>1.4 Längen</b>            |    |
| Teilung von Längen . . . . . | 20 |
| Bogenlänge . . . . .         | 20 |
| Gestreckte Längen . . . . .  | 21 |
| Federdrahtlänge . . . . .    | 21 |
| Rohlänge . . . . .           | 21 |



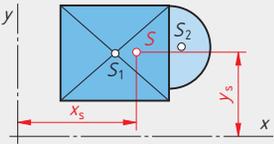
|  |    |
|--|----|
| <b>1.5 Flächen</b>                                   |    |
| Eckige Flächen . . . . .                             | 22 |
| Dreieck, Vielecke, Kreis . . . . .                   | 23 |
| Kreisausschnitt, Kreisabschnitt, Kreisring . . . . . | 24 |
| Ellipse . . . . .                                    | 24 |



|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| <b>1.6 Volumen und Oberfläche</b>    |    |
| Würfel, Zylinder, Pyramide . . . . . | 25 |
| Kegel, Kegelstumpf, Kugel . . . . .  | 26 |
| Zusammengesetzte Körper . . . . .    | 27 |



|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| <b>1.7 Masse</b>                |    |
| Allgemeine Berechnung . . . . . | 27 |
| Längenbezogene Masse . . . . .  | 27 |
| Flächenbezogene Masse . . . . . | 27 |



|                               |    |
|-------------------------------|----|
| <b>1.8 Schwerpunkte</b>       |    |
| Linien Schwerpunkte . . . . . | 28 |
| Flächenschwerpunkte . . . . . | 28 |

## Einheiten im Messwesen

### SI<sup>1)</sup>-Basisgrößen und Basiseinheiten

vgl. DIN 1301-1 (2010-10), -2 (1978-02), -3 (1979-10)

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

<sup>1)</sup> Die Einheiten im Messwesen sind im Internationalen Einheitensystem (SI = *S*ystème *I*nternational d'Unités) festgelegt. Es baut auf den sieben Basiseinheiten (SI-Einheiten) auf, von denen weitere Einheiten abgeleitet sind.

### Basisgrößen, abgeleitete Größen und ihre Einheiten

| Größe                                 | Formelzeichen                 | Einheit Name  | Zeichen                       | Beziehung  | Bemerkung Anwendungsbeispiele  |
|---------------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--|--|
| <b>Länge, Fläche, Volumen, Winkel</b> |                               |   |                               |  |  |
| Länge                                 | $l$                           | <b>Meter</b>  | m                             | 1 m = 10 dm = 100 cm<br>= 1000 mm<br>1 mm = 1000 $\mu$ m<br>1 km = 1000 m  | 1 inch = 1 Zoll = 25,4 mm<br><br>In der Luft- und Seefahrt gilt:<br>1 internationale Seemeile = 1852 m   |
| Fläche                                | $A, S$                        | Quadratmeter<br><br>Ar<br>Hektar                    | m <sup>2</sup><br><br>a<br>ha | 1 m <sup>2</sup> = 10 000 cm <sup>2</sup><br>= 1 000 000 mm <sup>2</sup><br>1 a = 100 m <sup>2</sup><br>1 ha = 100 a = 10 000 m <sup>2</sup><br>100 ha = 1 km <sup>2</sup> | Zeichen S nur für Querschnittsflächen<br><br>Ar und Hektar nur für Flächen von Grundstücken  |
| Volumen                               | $V$                           | Kubikmeter<br><br>Liter                             | m <sup>3</sup><br><br>l, L    | 1 m <sup>3</sup> = 1000 dm <sup>3</sup><br>= 1 000 000 cm <sup>3</sup><br>1 l = 1 L = 1 dm <sup>3</sup> = 10 dl =<br>0,001 m <sup>3</sup><br>1 ml = 1 cm <sup>3</sup>      | Meist für Flüssigkeiten und Gase   |
| ebener Winkel (Winkel)                | $\alpha, \beta, \gamma \dots$ | Radian<br><br>Grad<br><br>Minute<br>Sekunde         | rad<br><br>°<br><br>'<br>"    | 1 rad = 1 m/m = 57,2957...°<br>= 180°/ $\pi$<br><br>1° = $\frac{\pi}{180}$ rad = 60'<br><br>1' = 1°/60 = 60"<br>1" = 1'/60 = 1°/3600                                       | 1 rad ist der Winkel, der aus einem um den Scheitelpunkt geschlagenen Kreis mit 1 m Radius einen Bogen von 1 m Länge schneidet.<br>Bei technischen Berechnungen statt $\alpha = 33^\circ 17' 27,6''$ besser $\alpha = 33,291^\circ$ verwenden. |
| Raumwinkel                            | $\Omega$                      | Steradian   | sr                            | 1 sr = 1 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>  | Der Raumwinkel von 1 sr umschließt auf der Oberfläche einer Kugel mit r = 1 m die Fläche eines Kugelabschnitts mit A <sub>0</sub> = 1 m <sup>2</sup> .   |
| <b>Mechanik</b>                       |                               |   |                               |  |  |
| Masse                                 | $m$                           | <b>Kilogramm</b><br>Gramm<br><br>Megagramm<br>Tonne | kg<br>g<br><br>Mg<br>t        | 1 kg = 1000 g<br>1 g = 1000 mg<br><br>1 t = 1000 kg = 1 Mg<br>0,2 g = 1 Kt   | In der Alltagssprache bezeichnet man die Masse eines Körpers auch als Gewicht.<br><br>Massenangabe für Edelsteine in Karat (Kt).   |
| längenbezogene Masse                  | $m'$                          | Kilogramm pro Meter                                 | kg/m                          | 1 kg/m = 1 g/mm  | Zur Berechnung der Masse von Stäben, Profilen, Rohren.   |
| flächenbezogene Masse                 | $m''$                         | Kilogramm pro Meter hoch zwei                       | kg/m <sup>2</sup>             | 1 kg/m <sup>2</sup> = 0,1 g/cm <sup>2</sup>  | Zur Berechnung der Masse von Blechen.  |
| Dichte                                | $\rho$                        | Kilogramm pro Meter hoch drei                       | kg/m <sup>3</sup>             | 1000 kg/m <sup>3</sup> = 1 t/m <sup>3</sup><br>= 1 kg/dm <sup>3</sup><br>= 1 g/cm <sup>3</sup><br>= 1 g/ml<br>= 1 mg/mm <sup>3</sup>                                       | Dichte = Masse eines Stoffes pro Volumeneinheit<br><br>Für homogene Körper ist die Dichte eine vom Ort unabhängige Größe.  |

# Einheiten im Messwesen

| Größen und Einheiten (Fortsetzung)          |                          |   |                               |   |  |
|---|--------------------------|---|-------------------------------|---|--|
| Größe                                       | Formelzeichen            | Einheit Name  | Zeichen                       | Beziehung   | Bemerkung Anwendungsbeispiele  |
| <b>Mechanik</b>                             |                          |   |                               |   |  |
| Trägheitsmoment, Massenmoment 2. Grades     | $J$                      | Kilogramm mal Meter hoch zwei                                 | $\text{kg} \cdot \text{m}^2$  | Für homogenen Vollzylinder mit Masse $m$ und Radius $r$ gilt:<br>$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$  | Das Trägheitsmoment gibt den Widerstand eines starren, homogenen Körpers gegen die Änderung seiner Rotationsbewegung um eine Drehachse an.   |
| Kraft<br>Gewichtskraft                      | $F$<br>$F_G, G$          | Newton  | N                             | $1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 1 \frac{\text{J}}{\text{m}}$<br>$1 \text{ MN} = 10^3 \text{ kN} = 1\,000\,000 \text{ N}$   | Die Kraft 1 N bewirkt bei der Masse 1 kg in 1 s eine Geschwindigkeitsänderung von 1 m/s.   |
| Drehmoment<br>Biegemoment<br>Torsionsmoment | $M$<br>$M_b$<br>$M_T, T$ | Newton mal Meter  | $\text{N} \cdot \text{m}$     | $1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$  | $1 \text{ N} \cdot \text{m}$ ist das Moment, das eine Kraft von 1 N bei einem Hebelarm von 1 m bewirkt.  |
| Impuls                                      | $p$                      | Kilogramm mal Meter pro Sekunde                               | $\text{kg} \cdot \text{m/s}$  | $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 1 \text{ N} \cdot \text{s}$  | Der Impuls ist das Produkt aus Masse mal Geschwindigkeit. Er hat die Richtung der Geschwindigkeit.   |
| Druck<br>mechanische Spannung               | $p$<br>$\sigma, \tau$    | Pascal<br>Newton pro Millimeter hoch zwei                     | Pa<br>$\text{N/mm}^2$         | $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 0,01 \text{ mbar}$<br>$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ N/cm}^2 = 10^5 \text{ Pa}$<br>$1 \text{ mbar} = 1 \text{ hPa}$<br>$1 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ bar} = 1 \text{ MN/m}^2 = 1 \text{ MPa}$<br>$1 \text{ daN/cm}^2 = 0,1 \text{ N/mm}^2$ | Unter Druck versteht man die Kraft je Flächeneinheit. Für Überdruck wird das Formelzeichen $p_u$ verwendet (DIN 1314).<br>$1 \text{ bar} = 14,5 \text{ psi}$ (pounds per square inch = Pfund pro Quadratinch)                                    |
| Flächenmoment 2. Grades                     | $I$                      | Meter hoch vier<br>Zentimeter hoch vier                       | $\text{m}^4$<br>$\text{cm}^4$ | $1 \text{ m}^4 = 100\,000\,000 \text{ cm}^4$  | früher: Flächenträgheitsmoment   |
| Energie, Arbeit, Wärmemenge                 | $E, W$                   | Joule   | J                             | $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ W} \cdot \text{s} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$  | Joule für jede Energieart, $\text{kW} \cdot \text{h}$ bevorzugt für elektrische Energie.   |
| Leistung, Wärmestrom                        | $P$<br>$\Phi$            | Watt  | W                             | $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ N} \cdot \text{m/s} = 1 \text{ V} \cdot \text{A} = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg/s}^3$   | Leistung beschreibt die Arbeit, die in einer bestimmten Zeit verrichtet wurde.   |
| <b>Zeit</b>                                 |                          |   |                               |   |  |
| Zeit, Zeitspanne, Dauer                     | $t$                      | <b>Sekunde</b><br>Minute<br>Stunde<br>Tag<br>Jahr             | s<br>min<br>h<br>d<br>a       | $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$<br>$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$<br>$1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 86\,400 \text{ s}$   | 3 h bedeutet eine Zeitspanne (3 Std.), 3 <sup>h</sup> bedeutet einen Zeitpunkt (3 Uhr).<br>Werden Zeitpunkte in gemischter Form, z.B. 3 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> 10 <sup>s</sup> geschrieben, so kann das Zeichen min auf m verkürzt werden. |
| Frequenz                                    | $f, \nu$                 | Hertz   | Hz                            | $1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$   | $1 \text{ Hz} \approx 1$ Schwingung in 1 Sekunde.  |
| Drehzahl, Umdrehungsfrequenz                | $n$                      | 1 pro Sekunde<br>1 pro Minute                                 | 1/s<br>1/min                  | $1/\text{s} = 60/\text{min} = 60 \text{ min}^{-1}$<br>$1/\text{min} = 1 \text{ min}^{-1} = \frac{1}{60} \text{ s}^{-1}$   | Die Anzahl der Umdrehungen pro Zeiteinheit ergibt die Drehzahl, auch Drehfrequenz genannt.   |
| Geschwindigkeit                             | $v$                      | Meter pro Sekunde<br>Meter pro Minute<br>Kilometer pro Stunde | m/s<br>m/min<br>km/h          | $1 \text{ m/s} = 60 \text{ m/min} = 3,6 \text{ km/h}$<br>$1 \text{ m/min} = \frac{1 \text{ m}}{60 \text{ s}}$<br>$1 \text{ km/h} = \frac{1 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}$   | Geschwindigkeit bei der Seefahrt in Knoten (kn):<br>$1 \text{ kn} = 1,852 \text{ km/h}$<br>mile per hour = 1 mile/h = 1 mph<br>$1 \text{ mph} = 1,60934 \text{ km/h}$  |
| Winkelgeschwindigkeit                       | $\omega$                 | 1 pro Sekunde<br>Radiant pro Sekunde                          | 1/s<br>rad/s                  | $\omega = 2 \pi \cdot n$  | Bei einer Drehzahl von $n = 2/\text{s}$ beträgt die Winkelgeschwindigkeit $\omega = 4 \pi/\text{s}$ .  |
| Beschleunigung                              | $a, g$                   | Meter pro Sekunde hoch zwei                                   | $\text{m/s}^2$                | $1 \text{ m/s}^2 = \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}}$   | Formelzeichen $g$ nur für Fallbeschleunigung.<br>$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2$   |

## Einheiten im Messwesen

### Größen und Einheiten (Fortsetzung)

| Größe                               | Formelzeichen    | Einheit           |                         | Beziehung  | Bemerkung<br>Anwendungsbeispiele  |
|-------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------------|--|---|
|                                     |                  | Name              | Zeichen                 |  |   |
| <b>Elektrizität und Magnetismus</b> |                  |                   |                         |  |   |
| <b>Elektrische Stromstärke</b>      | $I$              | <b>Ampere</b>     | A                       |  |   |
| Elektr. Spannung                    | $U$              | Volt              | V                       | $1 \text{ V} = 1 \text{ W}/1 \text{ A} = 1 \text{ J/C}$  | Bewegte elektrische Ladung nennt man Strom. Die Spannung ist gleich der Potentialdifferenz zweier Punkte im elektrischen Feld. Den Kehrwert des elektrischen Widerstands nennt man elektrischen Leitwert. |
| Elektr. Widerstand                  | $R$              | Ohm               | $\Omega$                | $1 \Omega = 1 \text{ V}/1 \text{ A}$   |   |
| Elektr. Leitwert                    | $G$              | Siemens           | S                       | $1 \text{ S} = 1 \text{ A}/1 \text{ V} = 1/\Omega$   |   |
| Spezifischer Widerstand             | $\rho$           | Ohm mal Meter     | $\Omega \cdot \text{m}$ | $10^{-6} \Omega \cdot \text{m} = 1 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  |   |
| Leitfähigkeit                       | $\gamma, \kappa$ | Siemens pro Meter | S/m                     |  | $\rho = \frac{1}{\kappa} \text{ in } \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$<br>$\kappa = \frac{1}{\rho} \text{ in } \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$  |
| Frequenz                            | $f$              | Hertz             | Hz                      | $1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$<br>$1000 \text{ Hz} = 1 \text{ kHz}$   | Frequenz öffentlicher Stromnetze:<br>EU 50 Hz, USA 60 Hz  |
| Elektr. Arbeit                      | $W$              | Joule             | J                       | $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$<br>$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3,6 \text{ MJ}$<br>$1 \text{ W} \cdot \text{h} = 3,6 \text{ kJ}$ | In der Atom- und Kernphysik wird die Einheit eV (Elektronenvolt) verwendet.   |
| Phasenverschiebungswinkel           | $\varphi$        | –                 | –                       | für Wechselstrom gilt:<br>$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}$   | Winkel zwischen Strom und Spannung bei induktiver oder kapazitiver Belastung.   |
| Elektr. Feldstärke                  | $E$              | Volt pro Meter    | V/m                     |  | $E = \frac{F}{Q}, C = \frac{Q}{U}, Q = I \cdot t$   |
| Elektr. Ladung                      | $Q$              | Coulomb           | C                       | $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}; 1 \text{ A} \cdot \text{h} = 3,6 \text{ kC}$   |   |
| Elektr. Kapazität                   | $C$              | Farad             | F                       | $1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$  |   |
| Induktivität                        | $L$              | Henry             | H                       | $1 \text{ H} = 1 \text{ V} \cdot \text{s/A}$   |   |
| Leistung<br>Wirkleistung            | $P$              | Watt              | W                       | $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ N} \cdot \text{m/s}$<br>$= 1 \text{ V} \cdot \text{A}$   | In der elektrischen Energietechnik:<br>Scheinleistung $S$ in $\text{V} \cdot \text{A}$  |

### Thermodynamik und Wärmeübertragung

| Größe  | Formelzeichen  | Einheit  |                          | Beziehung   | Bemerkung<br>Anwendungsbeispiele  |
|--|----------------|--|--------------------------|---|---|
|  |                | Name   | Zeichen                  |   |   |
| <b>Thermodynamische Temperatur</b><br>Celsius-Temperatur | $T, \Theta$    | <b>Kelvin</b>                                    | K                        | $0 \text{ K} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$  | Kelvin (K) und Grad Celsius ( $^\circ\text{C}$ ) werden für Temperaturen und Temperaturdifferenzen verwendet.<br>$t = T - T_0; T_0 = 273,15 \text{ K}$<br>Umrechnung in $^\circ\text{F}$ : Seite 51 |
|  | $t, \vartheta$ | Grad Celsius                                     | $^\circ\text{C}$         | $0 \text{ }^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$<br>$0 \text{ }^\circ\text{C} = 32 \text{ }^\circ\text{F}$<br>$0 \text{ }^\circ\text{F} = -17,77 \text{ }^\circ\text{C}$ |   |
| Wärmemenge   | $Q$            | Joule  | J                        | $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$<br>$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3600000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$                         |   |
| Spezifischer Heizwert                                    | $H_u$          | Joule pro Kilogramm<br>Joule pro Meter hoch drei | J/kg<br>J/m <sup>3</sup> | $1 \text{ MJ/kg} = 1000000 \text{ J/kg}$<br>$1 \text{ MJ/m}^3 = 1000000 \text{ J/m}^3$  | Freiwerdende Wärmeenergie je kg (bzw. je m <sup>3</sup> ) Brennstoff abzüglich der Verdampfungswärme des in den Abgasen enthaltenen Wasserdampfes.  |

### Einheiten außerhalb des Internationalen Einheitensystems SI

| Länge                    | Fläche  | Volumen                         | Masse   | Energie, Leistung  |
|--------------------------|---|---------------------------------|---|--------------------|
| 1 inch (in) = 25,4 mm    | 1 sq.in = 6,452 cm <sup>2</sup>                     | 1 cu.in = 16,39 cm <sup>3</sup> | 1 oz = 28,35 g                                    | 1 PSh = 0,735 kW   |
| 1 foot (ft) = 0,3048 m   | 1 sq.ft = 9,29 dm <sup>2</sup>                      | 1 cu.ft = 28,32 dm <sup>3</sup> | 1 lb = 453,6 g                                    | 1 PS = 0,7355 kW   |
| 1 yard (yd) = 0,9144 m   | 1 sq.yd = 0,8361 m <sup>2</sup>                     | 1 cu.yd = 764,6 dm <sup>3</sup> | 1 t = 1000 kg                                     | 1 kcal = 4186,8 Ws |
| 1 See-meile = 1,852 km   | 1 acre = 4046,856 m <sup>2</sup>                    | 1 gallon (US) = 3,785 l         | 1 short ton = 907,2 kg                            | 1 kcal = 1,166 Wh  |
| 1 Land-meile = 1,6093 km | <b>Druck, Spannung</b>                              |                                 | 1 Karat = 0,2 g                                   | 1 kpm/s = 9,807 W  |
|                          | 1 bar = 14,5 pound/in <sup>2</sup>                  | 1 gallon (UK) = 4,546 l         | 1 pound/in <sup>3</sup> = 27,68 g/cm <sup>3</sup> | 1 Btu = 1055 Ws    |
|                          | 1 N/mm <sup>2</sup> = 145,038 pound/in <sup>2</sup> | 1 barrel = 158,8 l              |   | 1 hp = 745,7 W     |

## Formelzeichen, mathematische Zeichen

| Formelzeichen <span style="float: right;">vgl. DIN 1304-1 (1994-03)</span>              |  |                      |                             |                         |  |
|---|--|----------------------|-----------------------------|-------------------------|--|
| Formelzeichen   | Bedeutung                              | Formelzeichen        | Bedeutung                   | Formelzeichen           | Bedeutung                              |
| <b>Länge, Fläche, Volumen, Winkel</b>   |  |                      |                             |                         |  |
| $l$   | Länge                                  | $r, R$               | Radius                      | $\alpha, \beta, \gamma$ | ebener Winkel                          |
| $b$   | Breite                                 | $d, D$               | Durchmesser                 | $\Omega$                | Raumwinkel                             |
| $h$   | Höhe                                   | $A, S$               | Fläche, Querschnittsfläche  | $\lambda$               | Wellenlänge                            |
| $s$   | Weglänge                               | $V$                  | Volumen                     |                         |  |
| <b>Mechanik</b>   |  |                      |                             |                         |  |
| $m$   | Masse                                  | $F$                  | Kraft                       | $G$                     | Schubmodul                             |
| $m'$  | längenbezogene Masse                   | $F_G, G$             | Gewichtskraft               | $\mu, f$                | Reibungszahl                           |
| $m''$   | flächenbezogene Masse                  | $M$                  | Drehmoment                  | $W$                     | Widerstandsmonent                      |
| $\rho$  | Dichte                                 | $M_T, T$             | Torsionsmoment              | $I$                     | Flächenmoment 2. Grades                |
| $J$   | Trägheitsmoment                        | $M_b$                | Biegemoment                 | $W, E$                  | Arbeit, Energie                        |
| $p$   | Druck                                  | $\sigma$             | Normalspannung              | $W_p, E_p$              | potenzielle Energie                    |
| $p_{\text{abs}}$  | absoluter Druck                        | $\tau$               | Schubspannung               | $W_k, E_k$              | kinetische Energie                     |
| $p_{\text{amb}}$  | Atmosphärendruck                       | $\varepsilon$        | Dehnung                     | $P$                     | Leistung                               |
| $p_o$   | Überdruck                              | $E$                  | Elastizitätsmodul           | $\eta$                  | Wirkungsgrad                           |
| <b>Zeit</b>   |  |                      |                             |                         |  |
| $t$   | Zeit, Dauer                            | $f, \nu$             | Frequenz                    | $a$                     | Beschleunigung                         |
| $T$   | Periodendauer                          | $v, u$               | Geschwindigkeit             | $g$                     | örtliche Fallbeschleunigung            |
| $n$   | Umdrehungsfrequenz, Drehzahl           | $\omega$             | Winkelgeschwindigkeit       | $\alpha$                | Winkelbeschleunigung                   |
|   |  |                      |                             | $Q, \dot{V}, q_v$       | Volumenstrom                           |
| <b>Elektrizität</b>   |  |                      |                             |                         |  |
| $Q$   | Ladung, Elektrizitätsmenge             | $L$                  | Induktivität                | $X$                     | Blindwiderstand                        |
| $U$   | Spannung                               | $R$                  | Widerstand                  | $Z$                     | Scheinwiderstand                       |
| $C$   | Kapazität                              | $\rho$               | spezifischer Widerstand     | $\varphi$               | Phasenverschiebungswinkel              |
| $I$   | Stromstärke                            | $\gamma, \kappa$     | elektrische Leitfähigkeit   | $N$                     | Windungszahl                           |
| <b>Wärme</b>  |  |                      |                             |                         |  |
| $T, \theta$   | thermodynamische Temperatur            | $Q$                  | Wärme, Wärmemenge           | $\Phi, \dot{Q}$         | Wärmestrom                             |
| $\Delta T, \Delta t, \Delta \theta$   | Temperaturdifferenz                    | $\lambda$            | Wärmeleitfähigkeit          | $a$                     | Temperaturleitfähigkeit                |
| $t, \vartheta$  | Celsius-Temperatur                     | $\alpha$             | Wärmeübergangskoeffizient   | $c$                     | spezifische Wärmekapazität             |
| $\alpha_l, \alpha$  | Längenausdehnungskoeffizient           | $k$                  | Wärmedurchgangskoeffizient  | $H_u$                   | spezifischer Heizwert                  |
| <b>Licht, elektromagnetische Strahlung</b>  |  |                      |                             |                         |  |
| $E_v$   | Beleuchtungsstärke                     | $f$                  | Brennweite                  | $I_o$                   | Strahlstärke                           |
|   |  | $n$                  | Brechzahl                   | $Q_e, W$                | Strahlungsenergie                      |
| <b>Akustik</b>  |  |                      |                             |                         |  |
| $p$   | Schalldruck                            | $L_p$                | Schalldruckpegel            | $N$                     | Lautheit                               |
| $c$   | Schallgeschwindigkeit                  | $I$                  | Schallintensität            | $L_N$                   | Lautstärkepegel                        |
| <b>Mathematische Zeichen</b> <span style="float: right;">vgl. DIN 1302 (1999-12)</span> |  |                      |                             |                         |  |
| Math. Zeichen   | Sprechweise                            | Math. Zeichen        | Sprechweise                 | Math. Zeichen           | Sprechweise                            |
| $\approx$   | ungefähr gleich, rund, etwa entspricht | $\sim$               | proportional                | $\log$                  | Logarithmus (allgemein)                |
| $\dots$   | und so weiter                          | $a^x$                | a hoch x, x-te Potenz von a | $\lg$                   | dekadischer Logarithmus                |
| $\infty$  | unendlich                              | $\sqrt{\quad}$       | Quadratwurzel aus           | $\ln$                   | natürlicher Logarithmus                |
| $=$   | gleich                                 | $\sqrt[n]{\quad}$    | n-te Wurzel aus             | $e$                     | Eulersche Zahl ( $e = 2,718281\dots$ ) |
| $\neq$  | ungleich                               | $ x $                | Betrag von x                | $\sin$                  | Sinus                                  |
| $\stackrel{\text{def}}{=}$  | ist definitionsgemäß gleich            | $\perp$              | senkrecht zu                | $\cos$                  | Kosinus                                |
| $<$   | kleiner als                            | $\parallel$          | ist parallel zu             | $\tan$                  | Tangens                                |
|   |  | $\uparrow\uparrow$   | gleichsinnig parallel       | $\cot$                  | Kotangens                              |
| $\leq$  | kleiner oder gleich                    | $\uparrow\downarrow$ | gegensinnig parallel        | $(, [, \{$              | runde, eckige, geschweifte             |
| $>$   | größer als                             | $\sphericalangle$    | Winkel                      |                         | Klammer auf und zu                     |
| $\geq$  | größer oder gleich                     | $\triangle$          | Dreieck                     | $\pi$                   | pi (Kreiszahl = 3,14159 ...)           |
| $+$   | plus                                   | $\cong$              | kongruent zu                |                         |  |
| $-$   | minus                                  | $\Delta x$           | Delta x                     | $\overline{AB}$         | Strecke AB                             |
| $\cdot$   | mal, multipliziert mit                 |                      | (Differenz zweier Werte)    | $\widehat{AB}$          | Bogen AB                               |
| $-, /, :$   | durch, geteilt durch, zu, pro          | $\%$                 | Prozent, vom Hundert        | $a', a''$               | a Strich, a zwei Strich                |
| $\Sigma$  | Summe                                  | $\text{‰}$           | Promille, vom Tausend       | $a_1, a_2$              | a eins, a zwei                         |

## Formeln, Gleichungen, Diagramme

### Formeln

Die Berechnung physikalischer Größen erfolgt meist über Formeln. Sie bestehen aus:

- Formelzeichen, z. B.  $v_c$  für die Schnittgeschwindigkeit,  $d$  für den Durchmesser,  $n$  für die Drehzahl
- Operatoren (Rechenvorschriften), z. B.  $\cdot$  für Multiplikation,  $+$  für Addition,  $-$  für Subtraktion,  $-$  (Bruchstrich) für Division
- Konstanten, z. B.  $\pi$  ( $\pi$ ) = 3,14159 ...
- Zahlen, z. B. 10, 15 ...

Die Formelzeichen (Seite 13) sind Platzhalter für Größen. Bei der Lösung von Aufgaben werden die bekannten Größen mit ihren Einheiten in die Formel eingesetzt. Vor oder während der Berechnung werden die Einheiten so umgeformt, dass

- der Rechengang möglich wird oder
- das Ergebnis die geforderte Einheit erhält.

Die meisten Größen und ihre Einheiten sind genormt (Seite 10).

Das **Ergebnis** ist immer ein **Zahlenwert** mit einer **Einheit**, z. B. 4,5 m, 15 s

#### Beispiel:

Wie groß ist die Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  in m/min für  $d = 200$  mm und  $n = 630$  /min?

$$v_c = \pi \cdot d \cdot n = \pi \cdot 200 \text{ mm} \cdot 630 \frac{1}{\text{min}} = \pi \cdot 200 \text{ mm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \cdot 630 \frac{1}{\text{min}} = \mathbf{395,84 \frac{\text{m}}{\text{min}}}$$

#### Formel für die Schnittgeschwindigkeit

$$v_c = \pi \cdot d \cdot n$$

### Zahlenwertgleichungen

Zahlenwertgleichungen sind Formeln, in welche die üblichen Umrechnungen von Einheiten bereits eingearbeitet sind. Bei ihrer Anwendung ist zu beachten:

Die Zahlenwerte der einzelnen Größen dürfen nur in der vorgeschriebenen Einheit verwendet werden.

- Die Einheiten werden bei der Berechnung nicht mitgeführt.
- Die Einheit der gesuchten Größe ist vorgegeben.

#### Beispiel:

Wie groß ist das Drehmoment  $M$  eines Elektromotors mit der Antriebsleistung  $P = 15$  kW und der Drehzahl  $n = 750$  /min?

$$M = \frac{9550 \cdot P}{n} = \frac{9550 \cdot 15}{750} \text{ N} \cdot \text{m} = \mathbf{191 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

#### Zahlenwertgleichung für das Drehmoment

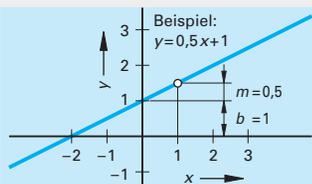
$$M = \frac{9550 \cdot P}{n}$$

vorgeschriebene Einheiten

| Bezeichnung    | Einheit |
|----------------|---------|
| $M$ Drehmoment | N · m   |
| $P$ Leistung   | kW      |
| $n$ Drehzahl   | 1/min   |

### Gleichungen und Diagramme

Bei Funktionsgleichungen ist  $y$  die Funktion von  $x$ , mit  $x$  als unabhängige und  $y$  als abhängige Variable. Die Zahlenpaare  $(x, y)$  einer Wertetabelle bilden ein Diagramm im  $x$ - $y$ -Koordinatensystem.



#### 1. Beispiel:

$$y = 0,5x + 1$$

|     |    |   |   |     |
|-----|----|---|---|-----|
| $x$ | -2 | 0 | 2 | 3   |
| $y$ | 0  | 1 | 2 | 2,5 |

#### 2. Beispiel:

##### Kostenfunktion und Erlösfunktion

$$K_G = 60 \text{ €/Stck} \cdot M + 200000 \text{ €}$$

$$E = 110 \text{ €/Stck} \cdot M$$

|       |        |        |        |
|-------|--------|--------|--------|
| $M$   | 0      | 4000   | 6000   |
| $K_G$ | 200000 | 440000 | 560000 |
| $E$   | 0      | 440000 | 660000 |

- $K_G$  Gesamtkosten  $\rightarrow$  abhängige Variable
- $M$  Menge  $\rightarrow$  unabhängige Variable
- $K_f$  Fixe Kosten  $\rightarrow$   $y$ -Koordinatenabschnitt
- $K_v$  Variable Kosten  $\rightarrow$  Steigung der Funktion
- $E$  Erlös  $\rightarrow$  abhängige Variable

#### Zuordnungsfunktion

$$y = f(x)$$

#### Lineare Funktion

$$y = m \cdot x + b$$

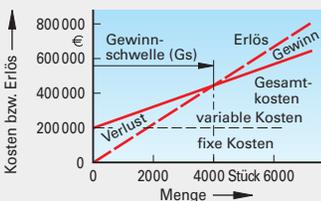
#### Beispiele:

##### Kostenfunktion

$$K_G = K_v \cdot M + K_f$$

##### Erlösfunktion

$$E = E/\text{Stück} \cdot M$$



## Umstellen von Formeln

### Umstellen von Formeln

Formeln und Zahlenwertgleichungen werden umgestellt, damit die gesuchte Größe allein auf der linken Seite der Gleichung steht. Dabei darf sich der Wert der linken und der rechten Formelseite nicht ändern. Für alle Schritte einer Formelumstellung gilt:

Veränderungen auf der linken Formelseite

= Veränderungen auf der rechten Formelseite

Formel

$$P = \frac{F \cdot s}{t}$$

linke Formel-  
seite = rechte  
Formel-  
seite

Zur Rekonstruktion der einzelnen Schritte ist es sinnvoll, jeden Schritt rechts neben der Formel zu kennzeichnen:

|  $\cdot t$  → beide Formelseiten werden mit  $t$  multipliziert.

|  $: F$  → beide Formelseiten werden durch  $F$  dividiert.

### Umstellung von Summen

**Beispiel:** Formel  $L = l_1 + l_2$ , Umstellung nach  $l_2$

|                               |        |                          |                   |                    |
|-------------------------------|--------|--------------------------|-------------------|--------------------|
| 1 $L = l_1 + l_2$             | $-l_1$ | $l_1$ subtrahieren       | 3 $L - l_1 = l_2$ | Seiten vertauschen |
| 2 $L - l_1 = l_1 + l_2 - l_1$ |        | subtrahieren durchführen | 4 $l_2 = L - l_1$ | umgestellte Formel |

### Umstellung von Produkten

**Beispiel:** Formel  $A = l \cdot b$ , Umstellung nach  $l$

|                                       |       |                      |                     |                    |
|---------------------------------------|-------|----------------------|---------------------|--------------------|
| 1 $A = l \cdot b$                     | $: b$ | dividieren durch $b$ | 3 $\frac{A}{b} = l$ | Seiten vertauschen |
| 2 $\frac{A}{b} = \frac{l \cdot b}{b}$ |       | kürzen mit $b$       | 4 $l = \frac{A}{b}$ | umgestellte Formel |

### Umstellung von Brüchen

**Beispiel:** Formel  $n = \frac{l}{l_1 + s}$ , Umstellung nach  $s$

|   |                   |   |   |   |
|---|-------------------|---|---|---|
| 1 $n = \frac{l}{l_1 + s}$                                   | $\cdot (l_1 + s)$ | mit $(l_1 + s)$ multiplizieren                | 4 $n \cdot l_1 - n \cdot l_1 + n \cdot s = l - n \cdot l_1$ | $: n$ subtrahieren dividieren durch $n$ |
| 2 $n \cdot (l_1 + s) = \frac{l \cdot (l_1 + s)}{(l_1 + s)}$ |                   | rechte Formelseite kürzen<br>Klammer auflösen | 5 $\frac{s \cdot n}{n} = \frac{l - n \cdot l_1}{n}$         | kürzen mit $n$                          |
| 3 $n \cdot l_1 + n \cdot s = l$                             | $-n \cdot l_1$    | $-n \cdot l_1$ subtrahieren                   | 6 $s = \frac{l - n \cdot l_1}{n}$                           | umgestellte Formel                      |

### Umstellung von Wurzeln

**Beispiel:** Formel  $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ , Umstellung nach  $a$

|                                 |        |                              |                                   |                           |
|---------------------------------|--------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| 1 $c = \sqrt{a^2 + b^2}$        | $()^2$ | Formel quadrieren            | 4 $a^2 = c^2 - b^2$               | $\sqrt{\quad}$ radizieren |
| 2 $c^2 = a^2 + b^2$             | $-b^2$ | $b^2$ subtrahieren           | 5 $\sqrt{a^2} = \sqrt{c^2 - b^2}$ | Ausdruck vereinfachen     |
| 3 $c^2 - b^2 = a^2 + b^2 - b^2$ |        | subtrahieren, Seite tauschen | 6 $a = \sqrt{c^2 - b^2}$          | umgestellte Formel        |

# Größen und Einheiten

## Zahlenwerte und Einheiten

Physikalische Größe



Physikalische Größen, z. B. 125 mm, bestehen aus einem

- **Zahlenwert**, der durch Messung oder Berechnung ermittelt wird, und aus einer
- **Einheit**, z. B. m, kg

Die Einheiten sind nach DIN 1301-1 genormt (Seite 10).

Sehr große oder sehr kleine Zahlenwerte lassen sich durch Vorsatzzeichen als dezimale Vielfache oder Teile vereinfacht darstellen, z. B. 0,004 mm = 4  $\mu$ m.

## Dezimale Vielfache oder Teile von Einheiten

vgl. DIN 1301-2 (1978-02)

| Vorsatz- |       | Zehner-<br>potenz | Mathematische<br>Bezeichnung | Beispiele  |
|----------|-------|-------------------|------------------------------|--|
| Zeichen  | Name  |                   |                              |  |
| T        | Tera  | $10^{12}$         | Billion                      | 1200000000000 N = $12 \cdot 10^{12}$ N = 12 TN (Tera-Newton) |
| G        | Giga  | $10^9$            | Milliarde                    | 4500000000 W = $45 \cdot 10^9$ W = 45 GW (Giga-Watt)         |
| M        | Mega  | $10^6$            | Million                      | 8500000 V = $8,5 \cdot 10^6$ V = 8,5 MV (Mega-Volt)          |
| k        | Kilo  | $10^3$            | Tausend                      | 12600 W = $12,6 \cdot 10^3$ W = 12,6 kW (Kilo-Watt)          |
| h        | Hekto | $10^2$            | Hundert                      | 500 l = $5 \cdot 10^2$ l = 5 hl (Hekto-Liter)                |
| da       | Deka  | $10^1$            | Zehn                         | 32 m = $3,2 \cdot 10^1$ m = 3,2 dam (Deka-Meter)             |
| -        | -     | $10^0$            | Eins                         | 1,5 m = $1,5 \cdot 10^0$ m                                   |
| d        | Dezi  | $10^{-1}$         | Zehntel                      | 0,5 l = $5 \cdot 10^{-1}$ l = 5 dl (Dezi-Liter)              |
| c        | Zenti | $10^{-2}$         | Hundertstel                  | 0,25 m = $25 \cdot 10^{-2}$ m = 25 cm (Zenti-Meter)          |
| m        | Milli | $10^{-3}$         | Tausendstel                  | 0,375 A = $375 \cdot 10^{-3}$ A = 375 mA (Milli-Ampere)      |
| $\mu$    | Mikro | $10^{-6}$         | Millionstel                  | 0,000052 m = $52 \cdot 10^{-6}$ m = 52 $\mu$ m (Mikro-Meter) |
| n        | Nano  | $10^{-9}$         | Milliardstel                 | 0,000000075 m = $75 \cdot 10^{-9}$ m = 75 nm (Nano-Meter)    |
| p        | Piko  | $10^{-12}$        | Billionstel                  | 0,000000000006 F = $6 \cdot 10^{-12}$ F = 6 pF (Pico-Farad)  |

## Umrechnung von Einheiten

Berechnungen mit physikalischen Größen sind nur dann möglich, wenn sich ihre Einheiten jeweils auf eine Basis beziehen. Bei der Lösung von Aufgaben müssen Einheiten häufig auf Basiseinheiten umgerechnet werden, z. B. mm in m, h in s,  $\text{mm}^2$  in  $\text{m}^2$ . Dies geschieht durch Umrechnungsfaktoren, die den Wert 1 (kohärente Einheiten) darstellen.

## Umrechnungsfaktoren für Einheiten (Auszug)

| Größe   | Umrechnungsfaktoren, z. B.  | Größe  | Umrechnungsfaktoren, z. B.  |
|---------|---|--------|---|
| Längen  | $1 = \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} = \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}}$                      | Zeit   | $1 = \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$ |
| Flächen | $1 = \frac{100 \text{ mm}^2}{1 \text{ cm}^2} = \frac{100 \text{ cm}^2}{1 \text{ dm}^2} = \frac{1 \text{ cm}^2}{100 \text{ mm}^2} = \frac{1 \text{ dm}^2}{100 \text{ cm}^2}$     | Winkel | $1 = \frac{60'}{1^\circ} = \frac{60''}{1'} = \frac{3600''}{1^\circ} = \frac{1^\circ}{60 \text{ s}}$   |
| Volumen | $1 = \frac{1000 \text{ mm}^3}{1 \text{ cm}^3} = \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ dm}^3} = \frac{1 \text{ cm}^3}{1000 \text{ mm}^3} = \frac{1 \text{ dm}^3}{1000 \text{ cm}^3}$ | Zoll   | 1 inch = 25,4 mm; 1 mm = $\frac{1}{25,4}$ inch  |

### 1. Beispiel:

Das Volumen  $V = 3416 \text{ mm}^3$  ist in  $\text{cm}^3$  umzurechnen.

Das Volumen  $V$  wird mit dem Umrechnungsfaktor multipliziert, der im Zähler die Einheit  $\text{cm}^3$  und im Nenner die Einheit  $\text{mm}^3$  aufweist.

$$V = 3416 \text{ mm}^3 = \frac{1 \text{ cm}^3 \cdot 3416 \text{ mm}^3}{1000 \text{ mm}^3} = \frac{3416 \text{ cm}^3}{1000} = \mathbf{3,416 \text{ cm}^3}$$

### 2. Beispiel:

Die Winkelangabe  $\alpha = 42^\circ 16'$  ist in Grad ( $^\circ$ ) auszudrücken.

Der Teilwinkel  $16'$  muss in Grad ( $^\circ$ ) umgewandelt werden. Er wird mit dem Umrechnungsfaktor multipliziert, der im Zähler die Einheit Grad ( $^\circ$ ) und im Nenner die Einheit Minute ( $'$ ) hat.

$$\alpha = 42^\circ + 16' \cdot \frac{1^\circ}{60} = 42^\circ + \frac{16 \cdot 1^\circ}{60} = 42^\circ + 0,267^\circ = \mathbf{42,267^\circ}$$

# Rechnen mit Größen, Prozentrechnung, Zinsrechnung

## Rechnen mit Größen

Physikalische Größen werden mathematisch behandelt wie Produkte.

### • Addition und Subtraktion

Bei gleichen Einheiten werden die Zahlenwerte addiert und die Einheit im Ergebnis übernommen.

**Beispiel:**

$$L = l_1 + l_2 - l_3 \text{ mit } l_1 = 124 \text{ mm, } l_2 = 18 \text{ mm, } l_3 = 44 \text{ mm; } L = ?$$

$$L = 124 \text{ mm} + 18 \text{ mm} - 44 \text{ mm} = (124 + 18 - 44) \text{ mm} = \mathbf{98 \text{ mm}}$$

### • Multiplikation und Division

Die Zahlenwerte und die Einheiten entsprechen den Faktoren von Produkten.

**Beispiel:**

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2 \text{ mit } F_1 = 180 \text{ N, } l_1 = 75 \text{ mm, } l_2 = 105 \text{ mm; } F_2 = ?$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2} = \frac{180 \text{ N} \cdot 75 \text{ mm}}{105 \text{ mm}} = 128,57 \frac{\text{N} \cdot \text{mm}}{\text{mm}} = \mathbf{128,57 \text{ N}}$$

### • Multiplizieren und Dividieren von Potenzen

Potenzen mit gleicher Basis werden multipliziert bzw. dividiert, indem die Exponenten addiert bzw. subtrahiert werden.

**Beispiel:**

$$W = \frac{A \cdot a^e}{e} \text{ mit } A = 15 \text{ cm}^2, a = 7,5 \text{ cm, } e = 2,4 \text{ cm; } W = ?$$

$$W = \frac{15 \text{ cm}^2 \cdot (7,5 \text{ cm})^2}{2,4 \text{ cm}} = \frac{15 \cdot 56,25 \text{ cm}^{2+2}}{2,4 \text{ cm}} = 351,56 \text{ cm}^{4-1} = \mathbf{351,56 \text{ cm}^3}$$

## Prozentrechnung

Der **Prozentsatz** gibt den Teil des Grundwertes in Hundertstel an. Der **Grundwert** ist der Wert, von dem die Prozente zu rechnen sind.

Der **Prozentwert** ist der Betrag, den die Prozente des Grundwertes ergeben.

$P_s$  Prozentsatz, Prozent     $P_w$  Prozentwert     $G_w$  Grundwert

**Beispiel:**

Werkstückrohteilgewicht 250 kg (Grundwert); Abbrand 2% (Prozentsatz)  
Abbrand in kg = ? (Prozentwert)

$$P_w = \frac{G_w \cdot P_s}{100\%} = \frac{250 \text{ kg} \cdot 2\%}{100\%} = \mathbf{5 \text{ kg}}$$

## Zinsrechnung

$K_0$  Anfangskapital     $Z$  Zinsen     $t$  Laufzeit in Tagen,  
 $K_t$  Endkapital     $p$  Zinssatz pro Jahr    Verzinsungszeit

**1. Beispiel:**

$$K_0 = 2800,00 \text{ €; } p = 6 \frac{\%}{a}; t = \frac{1}{2} a; Z = ?$$

$$Z = \frac{2800,00 \text{ €} \cdot 6 \frac{\%}{a} \cdot 0,5 a}{100\%} = \mathbf{84,00 \text{ €}}$$

**2. Beispiel:**

$$K_0 = 4800,00 \text{ €; } p = 5,1 \frac{\%}{a}; t = 50 \text{ d; } Z = ?$$

$$Z = \frac{4800,00 \text{ €} \cdot 5,1 \frac{\%}{a} \cdot 50 \text{ d}}{100\% \cdot 360 \frac{\text{d}}{a}} = \mathbf{34,00 \text{ €}}$$

### Regeln beim Potenzieren

$a$  Basis  
 $m, n \dots$  Exponenten

### Multiplikation von Potenzen

$$a^2 \cdot a^3 = a^{2+3}$$

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

### Division von Potenzen

$$\frac{a^2}{a^3} = a^{2-3}$$

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

### Sonderformen

$$a^{-2} = \frac{1}{a^2}$$

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

$$a^1 = a$$

$$a^0 = 1$$

### Prozentwert

$$P_w = \frac{G_w \cdot P_s}{100\%}$$

### Zins

$$Z = \frac{K_0 \cdot p \cdot t}{100\% \cdot 360}$$

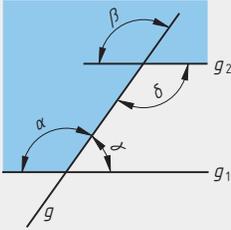
1 Zinsjahr (1 a) = 360 Tage (360 d)

360 d = 12 Monate

1 Zinsmonat = 30 Tage

# Winkelarten, Strahlensatz, Winkel im Dreieck, Satz des Pythagoras

## Winkelarten



- $g$  Gerade
- $g_1, g_2$  parallele Geraden
- $\alpha, \beta$  Stufenwinkel
- $\beta, \delta$  Scheitelwinkel
- $\alpha, \delta$  Wechselwinkel
- $\alpha, \gamma$  Nebenwinkel

Werden zwei Parallelen durch eine Gerade geschnitten, so bestehen unter den dabei gebildeten Winkeln geometrische Beziehungen.

### Stufenwinkel

$$\alpha = \beta$$

### Scheitelwinkel

$$\beta = \delta$$

### Wechselwinkel

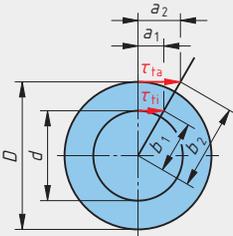
$$\alpha = \delta$$

### Nebenwinkel

$$\alpha + \gamma = 180^\circ$$

## Strahlensatz

- $\tau_{ta}$  Torsionsspannung außen
- $\tau_{ti}$  Torsionsspannung innen



Werden zwei Geraden durch zwei Parallelen geschnitten, so bilden die zugehörigen Strahlenabschnitte gleiche Verhältnisse.

### Beispiel:

$$D = 40 \text{ mm}, d = 30 \text{ mm}, \tau_{ta} = 135 \text{ N/mm}^2; \tau_{ti} = ?$$

$$\frac{\tau_{ti}}{\tau_{ta}} = \frac{d}{D} \Rightarrow \tau_{ti} = \frac{\tau_{ta} \cdot d}{D} = \frac{135 \text{ N/mm}^2 \cdot 30 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 101,25 \text{ N/mm}^2$$

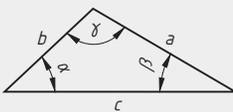
### Strahlensatz

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{b_1}{b_2} = \frac{d}{D}$$

$$\frac{a_1}{b_1} = \frac{a_2}{b_2}$$

$$\frac{b_1}{d} = \frac{b_2}{D}$$

## Winkelsumme im Dreieck



- $a, b, c$  Dreiecksseiten
- $\alpha, \beta, \gamma$  Winkel im Dreieck

### Beispiel:

$$\alpha = 21^\circ, \beta = 95^\circ, \gamma = ?$$

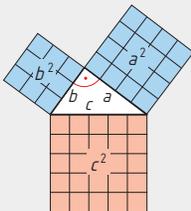
$$\gamma = 180^\circ - \alpha - \beta = 180^\circ - 21^\circ - 95^\circ = 64^\circ$$

### Winkelsumme im Dreieck

$$\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$$

In jedem Dreieck ist die Winkelsumme  $180^\circ$ .

## Lehrsatz des Pythagoras



Im **rechtwinkligen Dreieck** ist das Hypotenusenquadrat flächengleich der Summe der beiden Kathetenquadrate.

- $a$  Kathete
- $b$  Kathete
- $c$  Hypotenuse

### 1. Beispiel:

$$c = 35 \text{ mm}; a = 21 \text{ mm}; b = ?$$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} = \sqrt{(35 \text{ mm})^2 - (21 \text{ mm})^2} = 28 \text{ mm}$$

### 2. Beispiel:

CNC-Programm mit  $R = 50 \text{ mm}$  und  $I = 25 \text{ mm}$ .  
 $K = ?$   
 $c^2 = a^2 + b^2$   
 $R^2 = I^2 + K^2$   
 $K = \sqrt{R^2 - I^2} = \sqrt{50^2 \text{ mm}^2 - 25^2 \text{ mm}^2}$   
 $K = 43,3 \text{ mm}$

### Quadrat über der Hypotenuse

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

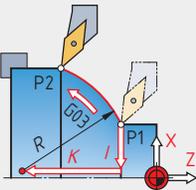
### Länge der Hypotenuse

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

### Länge der Katheten

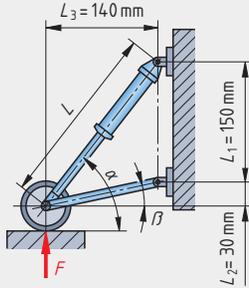
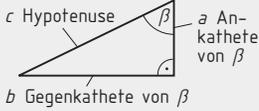
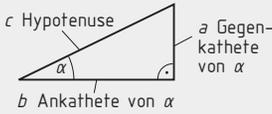
$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

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



# Funktionen im Dreieck

## Funktionen im rechtwinkligen Dreieck (Winkelfunktionen)



$c$  Hypotenuse (längste Seite)  
 $a, b$  Katheten  
 Bezogen auf den Winkel  $\alpha$  ist  
 –  $b$  die Ankathete und  
 –  $a$  die Gegenkathete  
 $\alpha, \beta, \gamma$  Winkel im Dreieck, mit  $\gamma = 90^\circ$   
 $\sin$  Schreibweise für Sinus  
 $\cos$  Schreibweise für Kosinus  
 $\tan$  Schreibweise für Tangens  
 $\sin \alpha$  Sinus des Winkels  $\alpha$

### 1. Beispiel

$L_1 = 150 \text{ mm}, L_2 = 30 \text{ mm}, L_3 = 140 \text{ mm};$   
 Winkel  $\alpha = ?$

$$\tan \alpha = \frac{L_1 + L_2}{L_3} = \frac{180 \text{ mm}}{140 \text{ mm}} = 1,286$$

**Winkel  $\alpha = 52^\circ$**

### 2. Beispiel

$L_1 = 150 \text{ mm}, L_2 = 30 \text{ mm}, \alpha = 52^\circ;$   
 Länge des Stoßdämpfers  $L = ?$

$$L = \frac{L_1 + L_2}{\sin \alpha} = \frac{180 \text{ mm}}{\sin 52^\circ} = 228,42 \text{ mm}$$

## Winkelfunktionen

$$\sin \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}}$$

$$\cos \alpha = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}}$$

$$\tan \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}$$

$$\cot \alpha = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}$$

Bezogen auf den Winkel  $\alpha$  ist:

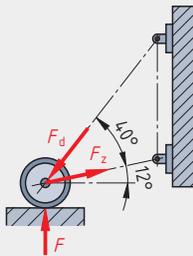
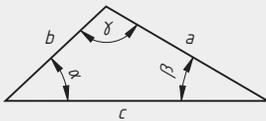
$$\sin \alpha = \frac{a}{c} \quad \cos \alpha = \frac{b}{c} \quad \tan \alpha = \frac{a}{b}$$

Bezogen auf den Winkel  $\beta$  ist:

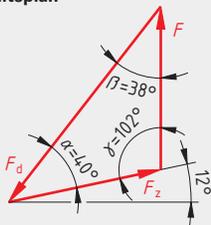
$$\sin \beta = \frac{b}{c} \quad \cos \beta = \frac{a}{c} \quad \tan \beta = \frac{b}{a}$$

Die Berechnung eines Winkels in Grad ( $^\circ$ ) oder als Bogenmaß (rad) erfolgt mit der Arcus-Funktion, z. B.  $\arcsin$ .

## Funktionen im schiefwinkligen Dreieck (Sinussatz, Kosinussatz)



Kräfteplan



Im Sinussatz entsprechen die Seitenverhältnisse dem Sinus der entsprechenden Gegenwinkel im Dreieck. Aus einer Seite und zwei Winkeln lassen sich die anderen Werte berechnen.

Seite  $a \rightarrow$  Gegenwinkel  $\alpha$   
 Seite  $b \rightarrow$  Gegenwinkel  $\beta$   
 Seite  $c \rightarrow$  Gegenwinkel  $\gamma$

### Beispiel

$F = 800 \text{ N}, \alpha = 40^\circ, \beta = 38^\circ; F_z = ?, F_d = ?$

Die Berechnung erfolgt jeweils aus dem Kräfteplan.

$$\frac{F}{\sin \alpha} = \frac{F_z}{\sin \beta} \Rightarrow F_z = \frac{F \cdot \sin \beta}{\sin \alpha}$$

$$F_z = \frac{800 \text{ N} \cdot \sin 38^\circ}{\sin 40^\circ} = 766,24 \text{ N}$$

$$\frac{F}{\sin \alpha} = \frac{F_d}{\sin \varphi} \Rightarrow F_d = \frac{F \cdot \sin \varphi}{\sin \alpha}$$

$$F_d = \frac{800 \text{ N} \cdot \sin 102^\circ}{\sin 40^\circ} = 1217,38 \text{ N}$$

Die Berechnung eines Winkels in Grad ( $^\circ$ ) oder als Bogenmaß (rad) erfolgt mit der Arcus-Funktion, z. B.  $\arccos$ .

## Sinussatz

$$a : b : c = \sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma$$

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

Vielfältige Umstellungen sind möglich:

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

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

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

## Kosinussatz

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

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

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

Umstellung, z. B.

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