



Bibliothek des technischen Wissens

Bach · Bierwerth · Herr · Wieneke

Formeln der Technik

Elektrotechnik
Maschinenbautechnik
Chemietechnik
Mathematik/Physik

4. Auflage

Mit etwa 4200 Stichwörtern,
870 Bildern und 160 Tabellen

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

Europa-Nr.: 53219

Bearbeiter:

| | | |
|------------------|-----------------------------|---|
| Ewald Bach | Oberstudienrat | Elektrizitätslehre, Elektrotechnik, Elektronik, IT- und Automatisierungstechnik |
| Walter Bierwerth | Dipl.-Ing., Studiendirektor | Allgemeine Grundlagen, Mathematik, Chemietechnik |
| Horst Herr † | Dipl.-Ing., Fachoberlehrer | Allgemeine Grundlagen, Geometrie, Technische Physik, Technische Mechanik |
| Falko Wieneke | Dipl.-Ing., Studiendirektor | Fertigungstechnik und CNC-Technik, Mathematik |

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises:

Walter Bierwerth

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises bis 2016:

Horst Herr †

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlages, Ostfildern

Umschlaggestaltung:

braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald,
und Michael M. Kappenstein, 60594 Frankfurt a.M.

4. Auflage 2017

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke dieser Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die korrigierten Druckfehler und kleine Normänderungen unverändert sind. Allerdings wurden einige Formelzeichen entsprechend der neuen DIN EN ISO 80 000 geändert

ISBN 978-3-8085-5323-7

Diesem Buch wurden die neuesten Ausgaben der DIN-Normen und der sonstigen Regelwerke zugrunde gelegt. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass nur die DIN-Normen selbst verbindlich sind. Diese können in den öffentlichen Normen-Infopoints, die über ganz Deutschland verteilt sind (z.B. in Universitätsbibliotheken) eingesehen oder durch die Beuth Verlag GmbH, Burggrafestraße 6, 10787 Berlin, bezogen werden.

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, 5667 Haan-Gruiten
Satz: Tutte Druckerei GmbH, 94121 Salzweg
Druck: M. P. Media-Print Informationstechnologie GmbH, 33100 Paderborn

Allgemeine Grundlagen

19 ... 38

A

Mathematik

39 ... 110

B

Technische Physik

111 ... 214

C

Technische Mechanik

215 ... 264

D

Chemietechnik

265 ... 326

E

Elektrizitätslehre/Elektrotechnik

327 ... 368

F

Elektronik/ Automatisierungstechnik/IT

369 ... 396

G

Fertigungstechnik und CNC-Technik

397 ... 462

H

Vorwort

Die Zusammenhänge zwischen den messbaren und berechenbaren Größen in der Technik und in den Naturwissenschaften werden beinahe immer in ihrer kürzesten Ausdrucksweise, durch **Formeln** repräsentiert. Ganz davon abgesehen, dass die Vielfalt und der Umfang dieser Zusammenhänge beinahe unermesslich sind, kommen täglich neue Erkenntnisse hinzu, die dann auch meist in die „Formelsprache“ umgesetzt werden. Somit liegt es auf der Hand, diese Formeln in Formelsammlungen zusammenzustellen, denn wegen der großen Anzahl der in der Berechnungsarbeit eines Technikers erforderlichen Informationen ist es unmöglich, jede Formel abrufbereit im Kopf zu haben.

Um die technisch-naturwissenschaftlichen Gesetze in die oben erwähnte Formelsprache umsetzen zu können, bedarf es – wenn das Verstehen bei allen Anwendern vorausgesetzt werden soll – anerkannter technischer Regeln, die eine verbindliche Aussage über die Formelzeichen machen. Diese Regeln liegen in Form von Normen vor. Die wichtigste Norm hierfür ist die

DIN EN ISO 80 000-1 ... 12

Außerdem gibt es aber noch eine Vielzahl von „Fachnormen“, so z.B. die DIN 1314-2 „Druck“, die DIN 1341 „Wärmeübertragung“, die DIN 1345 „Thermodynamik“, die DIN 8941 „Formelzeichen, Einheiten und Indizes für die Kältetechnik“ oder die DIN 25404 „Formelzeichen der Kerntechnik“. An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass es auch vorkommen kann, dass bestimmte Größen in den verschiedenen Normen unterschiedlich bezeichnet werden. Daraus ist zu schließen, dass die in den Normen festgelegten Formelzeichen nur einen empfehlenden Charakter haben und z.T. auch verschiedene Formelzeichen in der Norm gestattet sind.

● —————> **Hinweis 1**, Seite 18

Wegen der bereits angesprochenen Formelvielfalt muss sich jede Formelsammlung auf bestimmte Gebiete beschränken. Hier sind es

| | |
|---------------------------------|---|
| A Allgemeine Grundlagen, | E Chemietechnik, |
| B Mathematik, | F Elektrizitätslehre/Elektrotechnik, |
| C Technische Physik, | G Elektronik/Automatisierungstechnik/IT, |
| D Technische Mechanik, | H Fertigungstechnik und CNC-Technik. |

● —————> **Hinweis 2**, Seite 18

Zu dieser **4. Auflage** wurden neben kleineren Korrekturen vor allem Erweiterungen im Bereich des Drehens und Fräsens in der CNC-Technik vorgenommen.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass sicheres Arbeiten ohne ein fundiertes Verständnis der Sachzusammenhänge – auch mit der besten Formelsammlung – nicht möglich ist.

Wir – Autoren und Verlag – wären dem Benutzer dieser Formelsammlung dankbar, wenn er uns an lektorat@europa-lehrmittel.de etwaige Fehler nennen und seine Erfahrung beim Umgang mit diesem Buch mitteilen würde.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------------|--|-----------|
| A | ALLGEMEINE GRUNDLAGEN | 19 |
| A 1 | Griechisches Alphabet | 19 |
| A 2 | Römische Ziffern | 19 |
| A 3 | Basisgrößen und Basiseinheiten (SI-Einheiten) | 20 |
| A 4 | Vorsätze vor Einheiten | 20 |
| A 5 | Formelzeichen und Einheiten | 20 |
| A 5.1 | Raumgrößen und Zeitgrößen | |
| A 5.2 | Mechanische Größen | |
| A 5.3 | Größen der Thermodynamik, Wärmeübertragung und physikalischen Chemie | |
| A 5.4 | Elektrische und magnetische Größen | |
| A 5.5 | Größen elektromagnetischer Strahlungen | |
| A 5.6 | Größen der Atom- und Kernphysik | |
| A 5.7 | Größen der Akustik | |
| A 6 | Formelzeichen und Einheiten außerhalb des SI | 28 |
| A 7 | Einheiten außerhalb des SI mit beschränktem Anwendungsbereich | 28 |
| A 8 | Umrechnung von britischen und US-Einheiten in SI-Einheiten | 29 |
| A 9 | Mathematische Zeichen | 33 |
| A 10 | Zeichen der Logik und Mengenlehre | 36 |
| B | MATHEMATIK | 39 |
| B 1 | Mathematische Grundlagen | 39 |
| B 1.1 | Runden von Zahlen | |
| B 1.2 | Rechenarten | |
| B 1.3 | Grundrechenarten | |
| B 1.4 | Vorzeichenregeln | |
| B 1.5 | Null und Unendlich | |
| B 1.6 | Bruchrechnen | |
| B 1.7 | Proportionen | |
| B 1.8 | Potenzen | |
| B 1.9 | Wurzeln | |

B 2 Zahlenbereiche und Zahlensysteme 50

- B 2.1 Übersicht der Zahlenbereiche
- B 2.2 Übersicht der Zahlensysteme
- B 2.3 Dezimalsystem
- B 2.4 Dualsystem
- B 2.5 Hexadezimalsystem
- B 2.6 Römisches additives Zehnersystem
- B 2.7 Komplexe Zahlen

B 3 Folgen und Reihen 58

- B 3.1 Arithmetische Folgen und Reihen
- B 3.2 Geometrische Folgen und Reihen
- B 3.3 Harmonische Reihe
- B 3.4 Exponentialreihen

B 4 Gleichungen 61

- B 4.1 Lineare Gleichungen
- B 4.2 Quadratische Gleichungen
- B 4.3 Gleichungen 3. Grades
- B 4.4 Exponentialfunktionen und Exponentialgleichungen
- B 4.5 Logarithmusfunktion und Logarithmengesetze
- B 4.6 Determinanten

B 5 Funktionen 70

- B 5.1 Funktionen allgemein
- B 5.2 Lineare Funktionen (ganze rationale Funktionen 1. Grades)
- B 5.3 Potenzfunktionen (ganze rationale Funktionen n . Grades)
- B 5.4 Exponentialfunktionen
- B 5.5 Logarithmenfunktionen
- B 5.6 Lineare Interpolation
- B 5.7 Lineare Regression

B 6 Differenzialrechnung 76

- B 6.1 Ableitung einer Funktion
 - B 6.1.1 Begriffe zur Differenzialrechnung
 - B 6.1.2 Wichtige Ableitungsfunktionen
 - B 6.1.3 Regeln der Differenzialrechnung
- B 6.2 Kurvendiskussion
 - B 6.2.1 Monotonieverhalten eines Graphen
 - B 6.2.2 Extremstellen eines Graphen
 - B 6.2.3 Wendepunkte eines Graphen
 - B 6.2.4 Vorgehensweise bei der Kurvendiskussion

B 7 Integralrechnung 81

- B 7.1 Grundintegrale
- B 7.2 Bestimmtes Integral
- B 7.3 Integrationsmethoden
 - B 7.3.1 Aufspalten eines Integranden
 - B 7.3.2 Substitution
 - B 7.3.3 Partielle Integration
 - B 7.3.4 Uneigentliches Integral

| | | |
|-------------|---|------------|
| B 8 | Statistik / Wahrscheinlichkeitsrechnung / Kombinatorik | 86 |
| B 8.1 | Statistik | |
| B 8.1.1 | Stichprobenauswahl und Stichprobengröße | |
| B 8.1.2 | Klassenbildung | |
| B 8.1.3 | Arithmetischer Mittelwert | |
| B 8.1.4 | Median | |
| B 8.1.5 | Geometrischer Mittelwert | |
| B 8.1.6 | Varianz und Standardabweichung | |
| B 8.1.7 | Statistische Sicherheit und Vertrauensbereich | |
| B 8.2 | Wahrscheinlichkeitsrechnung | |
| B 8.3 | Kombinatorik | |
| B 9 | Zinsrechnung / Rentenrechnung | 93 |
| B 9.1 | Einfache Verzinsung bei einmaliger Einzahlung | |
| B 9.2 | Zinseszinsrechnung | |
| B 9.3 | Diskontrechnung und Einlagenrechnung | |
| B 9.4 | Rentenrechnung | |
| B 10 | Winkel und Dreieck | 97 |
| B 10.1 | Winkelarten | |
| B 10.2 | Winkel an geschnittenen Parallelen | |
| B 10.3 | Winkelsumme im Dreieck und Seiten im rechtwinkligen Dreieck | |
| B 11 | Grundkonstruktionen | 98 |
| B 12 | Flächeninhalte geradliniger Figuren | 100 |
| B 12.1 | Flächenberechnung | |
| B 12.2 | Lehrsatz des Pythagoras und Lehrsatz des Euklid | |
| B 12.3 | Höhensatz | |
| B 12.4 | Satz des Heron | |
| B 12.5 | Strahlensatz | |
| B 13 | Körperberechnung | 103 |
| B 13.1 | Größe des Volumens und der Oberfläche | |
| B 13.2 | <i>Guldin'sche</i> Regeln | |
| B 14 | Berechnung des rechtwinkligen Dreiecks | 107 |
| B 14.1 | Winkelmaße | |
| B 14.2 | Winkelfunktionen | |
| B 15 | Berechnung des schiefwinkligen Dreiecks | 109 |
| B 15.1 | Sinussatz und Kosinussatz | |

C TECHNISCHE PHYSIK 111

C 1 Mechanik der festen Körper 111

- C 1.1 Die Teilgebiete der Mechanik
- C 1.2 Grundlegende mechanische Größen
- C 1.3 Bewegungskriterien
- C 1.4 Gleichförmige geradlinige Bewegung
- C 1.5 Ungleichförmige geradlinige Bewegung
- C 1.6 Zusammensetzen von Geschwindigkeiten
- C 1.7 Freie Bewegungsbahnen
- C 1.8 Beschleunigende Wirkung einer Kraft
- C 1.9 Verformende Wirkung einer Kraft
- C 1.10 Die Kraft als Vektor
- C 1.11 Das Kraftmoment und seine Wirkungen
- C 1.12 Kurzzeitig wirkende Kräfte
- C 1.13 Reibung
- C 1.14 Das Prinzip von *d'Alembert*
- C 1.15 Arbeit und Energie
- C 1.16 Mechanische Leistung
- C 1.17 Reibungsarbeit, Reibleistung und Wirkungsgrad
- C 1.18 Drehleistung
- C 1.19 Rotationskinematik
- C 1.20 Rotationsdynamik
- C 1.21 Kinetische Energie rotierender Massen
- C 1.22 Gravitation

C 2 Mechanik der Fluide 134

- C 2.1 Wirkungen der Molekularkräfte
- C 2.2 Hydrostatischer Druck
- C 2.3 Aerostatischer Druck
- C 2.4 Druckkraft
- C 2.5 Flüssigkeitsgewicht und hydrostatischer Druck
- C 2.6 Auftrieb in Flüssigkeiten und Gasen
- C 2.7 Ausbildung von Flüssigkeitsoberflächen
- C 2.8 Geschwindigkeitsänderungen inkompressibler Fluide
- C 2.9 Energieerhaltung inkompressibler Fluide
- C 2.10 Fluidreibung
- C 2.11 Kräfte am umströmten Körper
- C 2.12 Kräfte am durchströmten Körper
- C 2.13 Kontinuitätsgleichung des kompressiblen Massenstroms

C 3 Wärmelehre 149

- C.3.1 Temperatur und Temperaturmessung
- C.3.2 Wärme als Energieform
- C.3.3 Wärmeausdehnung fester und flüssiger Stoffe
- C.3.4 Wärmeausdehnung von Gasen und Dämpfen
- C.3.5 Allgemeine Zustandsgleichung der Gase
- C.3.6 Molare (stoffmengenbezogene) Zustände und Größen
- C.3.7 Mischung idealer Gase
- C.3.8 Diffusion
- C.3.9 Wärmekapazität fester und flüssiger Stoffe
- C.3.10 Kalorimetrie
- C.3.11 Wärmequellen
- C.3.12 Schmelzen und Erstarren
- C.3.13 Verdampfen und Kondensieren, Sublimieren
- C.3.14 Feuchte Luft
- C.3.15 Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit
- C.3.16 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik
- C.3.17 Thermodynamische Zustandsänderungen
- C.3.18 Kreisprozesse im p,V -Diagramm und im T,s -Diagramm
- C.3.19 Umwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie

- C 3.20 Umwandlung von elektrischer Energie in Wärmeenergie
- C 3.21 Wärmetransport

C 4 Schwingungen und Wellen 179

- C 4.1 Entstehung periodischer Bewegungen
- C 4.2 Harmonische Schwingungen und harmonische Bewegungen
- C 4.3 Pendel- und Drehschwingungen
- C 4.4 Dämpfung von Schwingungen
- C 4.5 Anregung von Schwingungen und kritische Drehzahl
- C 4.6 Überlagerung von Schwingungen
- C 4.7 Physikalische Grundbegriffe der Wellenausbreitung

C 5 Optik und Akustik 194

- C 5.1 Geometrische Optik
- C 5.2 Wellenoptik
- C 5.3 Fotometrie und Farbenlehre
- C 5.4 Schall und Schallfeld
- C 5.5 Schallempfindung, Schallbewertung und Schallausbreitung
- C 5.6 Ultraschall

D TECHNISCHE MECHANIK 215

D 1 Grundlagen der Statik 215

- D 1.1 Kraft und Kraftmoment
- D 1.2 Freiheitsgrade

D 2 Das zentrale Kräftesystem 217

- D 2.1 Kräfte auf derselben Wirkungslinie
- D 2.2 Resultierende zweier Kräfte, deren WL sich schneiden (zeichnerische Lösung)
- D 2.3 Zerlegung einer Kraft in zwei Kräfte
- D 2.4 Zusammensetzen von mehr als zwei in einem Punkt angreifenden Kräften
- D 2.5 Erste Gleichgewichtsbedingung der Statik
- D 2.6 Bestimmung unbekannter Kräfte im zentralen Kräftesystem

D 3 Das allgemeine Kräftesystem 220

- D 3.1 Zeichnerische Ermittlung von F_r im allgemeinen Kräftesystem
- D 3.2 Seileckverfahren (zwei und mehr als zwei Kräfte)

D 4 Drehung von Körpern 221

- D 4.1 Kräfte als Ursache einer Drehbewegung
- D 4.2 Rechnerische Ermittlung von F_r im allgemeinen Kräftesystem (Momentensatz)
- D 4.3 Auflagerkräfte beim Träger auf zwei Stützen (Stützträger)

D 5 Der Schwerpunkt 223

- D 5.1 Bestimmung von Schwerpunkten mittels Momentensatz
- D 5.2 Bestimmung von Schwerpunkten mittels Seileckkonstruktion
- D 5.3 Gleichgewicht und Kippen
- D 5.4 Die Regeln von *Guldin*

| | | |
|-------------|--|------------|
| D 6 | Fachwerke | 229 |
| D 6.1 | Das statisch bestimmte ebene Fachwerk | |
| D 6.2 | Zeichnerische Stabkraftermittlung mittels Krafteck | |
| D 6.3 | Zeichnerische Stabkraftermittlung mittels Cremonaplan | |
| D 6.4 | Zeichnerische Stabkraftermittlung mittels <i>Culmann</i> 'schem Schnittverfahren | |
| D 6.5 | Rechnerische Stabkraftermittlung mittels <i>Ritter</i> 'schem Schnittverfahren | |
| D 7 | Reibung | 231 |
| D 7.1 | Die Reibungskräfte | |
| D 7.2 | Reibung auf der geneigten (schiefen) Ebene | |
| D 7.3 | Reibung an Geradführungen | |
| D 7.4 | Reibung in Gleitlagern | |
| D 7.5 | Gewindereibung | |
| D 7.6 | Seilreibung | |
| D 7.7 | Reibungsbremsen und Reibungskupplungen | |
| D 7.8 | Rollreibung und Fahrwiderstand | |
| D 8 | Grundlagen der Festigkeitslehre | 238 |
| D 8.1 | Aufgaben der Festigkeitslehre | |
| D 8.2 | Spannung und Beanspruchung | |
| D 9 | Die einfachen statischen Beanspruchungen | 238 |
| D 9.1 | Beanspruchung auf Zug und Druck | |
| D 9.2 | Flächenpressung und Lochleibung | |
| D 9.3 | Beanspruchung auf Abscherung | |
| D 10 | Verformungen infolge von Beanspruchungen | 241 |
| D 10.1 | Das <i>Hooke</i> 'sche Gesetz für Zug und Druck | |
| D 10.2 | Querkontraktion | |
| D 10.3 | Belastungsgrenzen | |
| D 10.4 | Wärmespannung und Formänderungsarbeit | |
| D 10.5 | Verformung bei Scherung und Flächenpressung | |
| D 11 | Biegung | 245 |
| D 11.1 | Auf Biegung beanspruchte Bauteile | |
| D 11.2 | Die Biegespannung | |
| D 11.3 | Rechnerische Ermittlung von Trägheits- und Widerstandsmomenten | |
| D 11.4 | Schiefe Biegung | |
| D 11.5 | Biegemomenten- und Querkraftverlauf beim Freitragler | |
| D 11.6 | Biegemomenten- und Querkraftverlauf beim Stützträger | |
| D 11.7 | Träger gleicher Biegespannung | |
| D 11.8 | Verformung bei Biegebeanspruchung | |
| D 12 | Torsion | 253 |
| D 12.1 | Torsionsspannung | |
| D 12.2 | Verformung bei Torsion | |
| D 13 | Beanspruchung auf Knickung | 255 |
| D 13.1 | Knickfestigkeit | |
| D 13.2 | Knickschubspannung bei elastischer Knickung (<i>Euler</i> -Knickung) | |
| D 13.3 | Unelastische Knickung (<i>Tetmajer</i> -Knickung) | |
| D 13.4 | Knickstäbe im Stahlbau | |

D 14 Mehrere gleichzeitige Beanspruchungen 258

- D 14.1 Beanspruchung auf Biegung und Zug oder Druck
- D 14.2 Beanspruchung auf Zug und Schub, Druck und Schub, Biegung und Schub
- D 14.3 Beanspruchung auf Biegung und Torsion

D 15 Dynamische Beanspruchungen 259

- D 15.1 Dauerstandfestigkeit, Schwellfestigkeit, Wechselfestigkeit
- D 15.2 Dauerfestigkeit und Zeitfestigkeit
- D 15.3 Gestaltfestigkeit

E CHEMIETECHNIK 265**E 1 Allgemeine Chemie 265**

- E 1.1 Grundlagen
- E 1.2 Fehlerrechnung
- E 1.3 Stöchiometrie
- E 1.3.1 Stoffmenge und Äquivalente
- E 1.3.2 Quantitäten von Stoffportionen
- E 1.3.3 Gasgesetze
- E 1.3.4 Ausbeuteberechnung
- E 1.3.5 Aufstellen von Reaktionsgleichungen
- E 1.4 Mischphasen
- E 1.5 Analytik
- E 1.5.1 Maßanalyse (Volumetrie)
- E 1.5.2 Gewichtsanalyse (Gravimetrie)
- E 1.5.3 Trockengehaltsbestimmung
- E 1.5.4 Glührückstandsbestimmung
- E 1.5.5 Massenanteile in einer chemischen Verbindung

E 2 Physikalische Chemie 280

- E 2.1 Grundlagen
- E 2.1.1 Atom- und Molekülmasse
- E 2.1.2 Umsatz und Ausbeute
- E 2.1.3 Aktivität und Fugazität
- E 2.2 Gase
- E 2.2.1 Ideale Gase
- E 2.2.2 Reale Gase
- E 2.2.3 Kinetische Gastheorie für ideale Gase
- E 2.3 Chemisches Gleichgewicht
- E 2.4 Reaktionskinetik
- E 2.4.1 Reaktionsgeschwindigkeit
- E 2.4.2 Zeitabhängigkeit der Konzentration
- E 2.4.3 Temperaturabhängigkeit der Reaktionskonstanten
- E 2.5 Phasengleichgewichte
- E 2.6 Lösungen
- E 2.7 Elektrochemie
- E 2.7.1 Elektrolyse
- E 2.7.2 Elektrische Leitfähigkeit (Konduktivität) eines Elektrolyten
- E 2.7.3 Galvanische Elemente

E 3 Technische Chemie 295

- E 3.1 Thermische Trennverfahren
- E 3.1.1 Destillation/Rektifikation
- E 3.1.2 Extraktion
- E 3.1.3 Absorption
- E 3.1.4 Trocknung
- E 3.1.5 Adsorption
- E 3.2 Mechanische Trennverfahren
- E 3.2.1 Sedimentation
- E 3.2.2 Filtration
- E 3.2.3 Windsichten
- E 3.2.4 Elektrofiltration
- E 3.2.5 Zentrifugieren
- E 3.3 Lagern von Stoffen
- E 3.3.1 Lagern von Feststoffen
- E 3.3.2 Lagern von Gasen
- E 3.3.3 Lagern von Flüssigkeiten
- E 3.4 Fördern von Stoffen
- E 3.4.1 Druckverlust in Rohrleitungssystemen
- E 3.4.2 Erforderliche Pumpenleistung
- E 3.4.3 Erforderliche Leistung eines Verdichters
- E 3.4.4 Durchsatz (Massenstrom) bei Feststoffförderern
- E 3.5 Zerkleinern
- E 3.5.1 Zerkleinerungsgesetze
- E 3.5.2 Korngrößenverteilung/Siebanalyse
- E 3.6 Stoffvereinigung
- E 3.6.1 Rühren
- E 3.6.2 Mischen von Gasen
- E 3.6.3 Mischen von Feststoffen
- E 3.7 Wärmeübertragung
- E 3.7.1 Direkter Wärmeaustausch
- E 3.7.2 Indirekter Wärmeaustausch (durch eine Trennwand hindurch)
- E 3.7.3 Ermittlung der Wärmedurchgangszahl
- E 3.7.4 Wärmeübergang durch Strahlung

F ELEKTRIZITÄTSLEHRE / ELEKTROTECHNIK 327

F 1 Elektrophysikalische Grundlagen 327

- F 1.1 Eigenschaften und Nachweis elektrischer Ladung
- F 1.2 Stromstärke und Spannung im Gleichstromkreis
- F 1.3 *Faraday'sches Gesetz*

F 2 Gesetzmäßigkeiten im elektrischen Stromkreis 328

- F 2.1 *Ohm'sches Gesetz* und *Ohm'scher Widerstand*
- F 2.2 Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes
- F 2.3 Elektrische Arbeit, elektrische Leistung, Wirkungsgrad

F 3 Gesetzmäßigkeiten bei Widerstandsschaltungen 330

- F 3.1 Parallelschaltung
- F 3.2 Reihenschaltung
- F 3.3 Gemischte Widerstandsschaltung
- F 3.4 Spannungsteiler
- F 3.5 Messbereichserweiterung elektrischer Messgeräte
- F 3.6 Widerstandsmessung mit Strom- und Spannungsfehlerschaltungen
- F 3.7 Klemmenspannung und Innenwiderstand von Spannungserzeugern
- F 3.8 Stern-Dreieck-Umwandlung

| | | |
|-------------|--|------------|
| F 4 | Das elektrische Feld | 336 |
| F 4.1 | Die elektrische Feldstärke | |
| F 4.2 | Das <i>Coulomb'sche</i> Gesetz | |
| F 4.3 | Kapazität, Kondensator | |
| F 4.4 | Schaltung von Kondensatoren | |
| F 4.5 | Energie im elektrischen Feld eines geladenen Kondensators | |
| F 4.6 | Anziehungskraft zwischen 2 Kondensatorplatten | |
| F 4.7 | Auf- und Entladen eines Kondensators | |
| F 5 | Das magnetische Feld | 342 |
| F 5.1 | Grundgrößen | |
| F 5.2 | Magnetische Flussdichte (magnetische Induktion) | |
| F 5.3 | Magnetischer Kreis | |
| F 5.4 | Spezielle Magnetfelder | |
| F 5.5 | Kräfte im Magnetfeld | |
| F 6 | Elektromagnetische Induktion | 345 |
| F 6.1 | Induktion durch Flussänderung | |
| F 6.2 | Induktion durch Bewegung eines Leiters im Magnetfeld | |
| F 6.3 | Selbstinduktion | |
| F 6.4 | Schalten von Spulen | |
| F 6.5 | Auf- und Abbau eines Magnetfeldes | |
| F 7 | Der Wechselstromkreis | 348 |
| F 7.1 | Grundgrößen des Wechselstromes | |
| F 7.2 | Wechselstromwiderstände | |
| F 7.2.1 | Wirkwiderstand im Wechselstromkreis | |
| F 7.2.2 | Die verlustfreie Spule im Wechselstromkreis | |
| F 7.2.3 | Der verlustfreie Kondensator im Wechselstromkreis | |
| F 7.2.4 | Reihenschaltung von Wirkwiderstand, kapazitivem Widerstand und induktivem Widerstand | |
| F 7.2.5 | Parallelschaltung von Wirkwiderstand, kapazitivem Widerstand und induktivem Widerstand | |
| F 7.3 | Resonanz (Parallel- und Reihenschwingkreis) | |
| F 7.4 | Kompensation der Blindleistung | |
| F 7.5 | Hoch- und Tiefpässe | |
| F 8 | Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom) | 359 |
| F 8.1 | Sternschaltung | |
| F 8.2 | Dreieckschaltung | |
| F 8.3 | Drehstromleistung | |
| F 9 | Leitungsberechnung | 361 |
| F 9.1 | Unverzweigte Leitungen | |
| F 9.1.1 | Leitungen für Gleichstrom | |
| F 9.1.2 | Leitungen für Wechselstrom | |
| F 9.1.3 | Leitungen für Drehstrom | |
| F 10 | Transformator | 362 |
| F 10.1 | Übersetzungsverhältnis | |
| F 10.2 | Transformator Hauptgleichung | |
| F 10.3 | Kurzschlussspannung, Dauerkurzschlussstrom und Stoßkurzschlussstrom | |
| F 10.4 | Nennscheinleistung | |
| F 10.5 | Spartransformator | |
| F 10.6 | Wirkungsgrad | |

F 11 Elektrische Maschinen 364

- F 11.1 Drehfeldmaschinen
- F 11.1.1 Asynchronmaschinen
- F 11.1.2 Synchronmaschinen
- F 11.1.3 Schrittmotor
- F 11.1.4 Zahnläufer
- F 11.2 Gleichstrommaschinen
- F 11.2.1 Gleichstrom-Generator
- F 11.2.2 Gleichstrom-Motor

G ELEKTRONIK / AUTOMATISIERUNGSTECHNIK / IT 369

G 1 Halbleiter 369

- G 1.1 Halbleiterdioden
- G 1.1.1 Kennlinie
- G 1.1.2 Diodenschaltung
- G 1.2 Bipolarer Transistor
- G 1.2.1 Gleichstromgrößen in Emitterschaltung
- G 1.2.2 Arbeitspunkteinstellung durch Basisvorwiderstand
- G 1.2.3 Arbeitspunkteinstellung durch Basisspannungsteiler

G 2 Halbleiterschaltungen 371

- G 2.1 Transistor als Schalter
- G 2.2 Kippschaltungen
- G 2.2.1 Astabile Kippschaltung
- G 2.2.2 Monostabile Kippschaltung
- G 2.2.3 Schmitt-Trigger
- G 2.3 Gleichrichterschaltungen
- G 2.3.1 Einpuls-Mittelpunktschaltung
- G 2.3.2 Zweipuls-Mittelpunktschaltung
- G 2.3.3 Dreipuls-Mittelpunktschaltung
- G 2.3.4 Doppel-Dreipuls-Mittelpunktschaltung
- G 2.3.5 Zweipuls-Brückenschaltung
- G 2.3.6 Sechspuls-Brückenschaltung
- G 2.4 Glättung und Siebung
- G 2.4.1 Glättung einer gleichgerichteten Spannung
- G 2.4.2 Siebschaltungen
- G 2.5 Spannungsstabilisierung
- G 2.5.1 Spannungsstabilisierung mit Z-Diode
- G 2.5.2 Spannungsstabilisierung mit Reihentransistor

G 3 Messtechnik 377

- G 3.1 Messbereichserweiterung von elektrischen Messinstrumenten
- G 3.1.1 Spannungsmesser
- G 3.1.2 Strommesser
- G 3.2 PC als virtuelles Messgerät
- G 3.3 Messen mit dem Oszilloskop

G 4 Regelungstechnik 380

- G 4.1 P-Regler, Regelkreis mit P-Regler
- G 4.2 Regelung mit dem Computer
- G 4.3 Regler mit Operationsverstärker
- G 4.3.1 P-Regler
- G 4.3.2 I-Regler
- G 4.3.3 PI-Regler
- G 4.3.4 PID-Regler

G 5 Logische Verknüpfungen 384

- G 5.1 Grundfunktionen
- G 5.1.1 Symbole und ihre Bedeutung
- G 5.1.2 Buffer ohne besondere Verstärkung
- G 5.1.3 NICHT-Verknüpfung
- G 5.1.4 UND-Verknüpfung
- G 5.1.5 ODER-Verknüpfung
- G 5.2 Zusammengesetzte Funktionen
- G 5.2.1 UND-NICHT-Verknüpfung
- G 5.2.2 ODER-NICHT-Verknüpfung
- G 5.3 Spezielle zusammengesetzte Funktionen
- G 5.3.1 EXCLUSIV-ODER-Verknüpfung
- G 5.3.2 ÄQUIVALENZ-Verknüpfung
- G 5.3.3 INHIBITION-Verknüpfung
- G 5.3.4 IMPLIKATION-Verknüpfung
- G 5.4 de Morgan'sche Regeln (Inversionsgesetz)

G 6 Schaltalgebra 387

- G 6.1 Bedeutung der Zeichen
- G 6.2 UND-Verknüpfung
- G 6.3 ODER-Verknüpfung
- G 6.4 Gemischte Verknüpfungen

G 7 Datenübertragung 390

- G 7.1 Serielle Datenübertragung
- G 7.1.1 Bitrate, Zeichenrate
- G 7.1.2 Zeitmultiplexübertragung
- G 7.2 Datenübertragung über Leitungen
- G 7.2.1 Übertragungsfehler
- G 7.2.2 Pegel und Dämpfung
- G 7.2.3 Glasfaserleiter
- G 7.3 Datenübertragung in Netzen
- G 7.3.1 Übertragung mit Modem
- G 7.3.2 Ethernet-LAN
- G 7.4 ISDN-Netz
- G 7.4.1 Schnittstelle S_0
- G 7.4.2 Übertragung im AMI-Code
- G 7.4.3 Schnittstelle U_{KO}
- G 7.5 Antennen
- G 7.5.1 Anpassungsvorschrift
- G 7.5.2 Antennengewinn
- G 7.5.3 Dämpfungsfaktor, Übertragungsgewinn
- G 7.5.4 Empfangsspannung
- G 7.5.5 Pegel
- G 7.5.6 Dämpfungsfaktor, Verstärkungsmaß, Dämpfungsmaß
- G 7.5.7 Vor-Rück-Verhältnis
- G 7.5.8 Wellenlänge elektromagnetischer Wellen im leeren Raum

H FERTIGUNGSTECHNIK UND CNC-TECHNIK 397

H 1 Urformen durch Gießen 397

- H 1.1 Gussrohteilnennmaße und Modellnennmaße
- H 1.1.1 Festlegung der Gussrohteilnennmaße
- H 1.1.2 Festlegung der Modellnennmaße
- H 1.2 Gießkräfte

| | | |
|------------|---|------------|
| H 2 | Massivumformung | 400 |
| H 2.1 | Festigkeitsgrößen zur Kaltumformung | |
| H 2.1.1 | Berechnung des Umformgrades | |
| H 2.1.2 | Ermittlung der Formänderungsfestigkeit | |
| H 2.2 | Umformen durch Stauchen | |
| H 2.2.1 | Festlegung der Rohteilnennmaße | |
| H 2.2.2 | Überprüfung der Rohteilhöhe | |
| H 2.2.3 | Auslegung der Presse zum Stauchen | |
| H 2.3 | Umformen durch Fließpressen | |
| H 2.3.1 | Auslegung der Presse zum Vorwärtsfließpressen | |
| H 2.3.2 | Auslegung der Presse zum Rückwärtsfließpressen | |
| H 2.4 | Streckziehen | |
| H 3 | Blechumformung | 406 |
| H 3.1 | Biegen | |
| H 3.2 | Tiefziehen | |
| H 3.3 | Abstreckziehen | |
| H 3.4 | Stülpziehen | |
| H 4 | Trennen durch Abtragen | 414 |
| H 4.1 | Funkenerosives Senken | |
| H 4.2 | Funkenerosives Schneiden | |
| H 5 | Trennen durch Schneiden | 416 |
| H 5.1 | Werkzeug zum Scherschneiden | |
| H 5.2 | Scherschneiden mit einem Folgeschneidwerkzeug | |
| H 5.2.1 | Streifeneinteilung | |
| H 5.2.2 | Lage des Einspannzapfens | |
| H 5.2.3 | Schneidkraft und Schneidarbeit | |
| H 6 | Trennen durch Bohren | 420 |
| H 6.1 | Schnittgrößen am Spiralbohrer beim Bohren ins Volle | |
| H 6.2 | Kräfte und Momente beim Bohren ins Volle | |
| H 6.3 | Schnitt- und Maschinenleistung beim Bohren ins Volle | |
| H 6.4 | Schnittgrößen beim Tiefbohren mit einem Spiralbohrer | |
| H 6.5 | Aufbohren und Senken | |
| H 6.6 | Hauptnutzungszeit beim Bohren, Senken und Reiben | |
| H 7 | Trennen durch Drehen | 425 |
| H 7.1 | Schnittgrößen beim Drehen | |
| H 7.2 | Kräfte und Momente beim Drehen | |
| H 7.3 | Schnitt- und Maschinenleistung beim Drehen | |
| H 7.4 | Gewindedrehen | |
| H 7.5 | Kegeldrehen durch Einstellen des Oberschlittens | |
| H 7.6 | Kegeldrehen durch Verstellen des Reitstocks | |
| H 7.7 | Hauptnutzungszeit beim Drehen | |
| H 7.7.1 | Hauptnutzungszeit beim Drehen mit stufenloser Drehzahleinstellung | |
| H 7.7.2 | Hauptnutzungszeit beim Drehen mit gestufter Drehzahleinstellung | |
| H 8 | Trennen durch Fräsen | 431 |
| H 8.1 | Umfangsfräsen | |
| H 8.1.1 | Schnittgrößen beim Umfangsfräsen | |
| H 8.1.2 | Hauptnutzungszeit beim Umfangs-Planfräsen | |
| H 8.1.3 | Hauptnutzungszeit beim Stirn-Umfangs-Planfräsen | |
| H 8.2 | Stirnfräsen | |
| H 8.2.1 | Schnittgrößen beim Stirnfräsen | |

- H 8.2.2 Hauptnutzungszeit beim Stirnfräsen
- H 8.3 Schnitt- und Maschinenleistung beim Fräsen
- H 8.4 Fräsen mit dem Teilkopf
 - H 8.4.1 Direktes Teilen
 - H 8.4.2 Indirektes Teilen
 - H 8.4.3 Differentialteilen (Ausgleichsteilen)
 - H 8.4.4 Schraubfräsen (Wendelnutfräsen)

H 9 Trennen durch Hobeln, Stoßen und Räumen 439

- H 9.1 Hobeln und Stoßen
- H 9.2 Räumen

H 10 Trennen durch Schleifen 440

- H 10.1 Längs-Rundschleifen
 - H 10.1.1 Schnittgrößen beim Rundschleifen
 - H 10.1.2 Hauptnutzungszeit beim Längs-Rundschleifen
 - H 10.1.3 Schnittkraft und Leistung beim Längs-Rundschleifen
- H 10.2 Längs-Planschleifen (Flachscheifen)
 - H 10.2.1 Schnittgrößen beim Umfangs-Plan- und Seiten-Planschleifen
 - H 10.2.2 Hauptnutzungszeit beim Umfangs-Planschleifen
 - H 10.2.3 Schnittkraft und Leistung beim Längs-Planschleifen

H 11 Trennen durch Honen 444

H 12 Fügen durch Schweißen 445

- H 12.1 Gasschmelzschweißen
- H 12.2 Lichtbogenschweißen

H 13 Drehen mit CNC-Maschinen 447

- H 13.1 Koordinatensysteme bei CNC-Drehmaschinen
 - H 13.1.1 Koordinatenachsen beim Drehen
 - H 13.1.2 Steuerungsarten beim Drehen
 - H 13.1.3 Bezugspunkte beim Drehen
- H 13.2 CNC-Drehen nach DIN
 - H 13.3 PAL-Zyklen für CNC-Drehmaschinen
 - H 13.3.1 Längsschruppzyklus (G81)
 - H 13.3.2 Planschruppzyklus (G82)
 - H 13.3.3 Freistichzyklus (G85)
 - H 13.3.4 Gewindezyklus (G31)
- H 13.4 Stützpunktberechnung für das CNC-Drehen

H 14 Fräsen mit CNC-Maschinen 452

- H 14.1 Koordinatensysteme bei CNC-Fräsmaschinen
 - H 14.1.1 Koordinatenachsen beim Fräsen
 - H 14.1.2 Steuerungsarten beim Fräsen
 - H 14.1.3 Bezugspunkte beim Fräsen
- H 14.2 CNC-Fräsen nach DIN
 - H 14.3 PAL-Zyklen bei CNC-Fräsmaschinen
 - H 14.3.1 Tieflochbohrzyklus mit Spanbruch (G82)
 - H 14.3.2 Gewindebohrzyklus (G84), Reibzyklus (G85) und Ausdrehzyklus (G86)
 - H 14.3.3 Rechtecktaschenfräszyklus (G72), Kreistaschenfräszyklus (G73) und Nutenfräszyklus (G74)
 - H 14.3.4 Zyklusaufufr für kartesische Koordinaten (G79)
- H 14.4 Stützpunktberechnung für das CNC-Fräsen

H 15 Werkstoffprüfung

457

- H 15.1 Härteprüfung
- H 15.1.1 Härteprüfung nach *Brinell*
- H 15.1.2 Härteprüfung nach *Vickers*
- H 15.1.3 Härteprüfung nach *Rockwell*
- H 15.2 Zugversuch
- H 15.3 Druckversuch
- H 15.4 Scherversuch
- H 15.5 Kerbschlagbiegeversuch nach *Charpy*
- H 15.6 Dauerschwingversuch
- H 15.7 Tiefungsversuch nach *Erichsen*

Sachwortverzeichnis

463

• Hinweis 1

Im Vorwort wurde bereits darauf hingewiesen, dass zwischen **grundlegenden Normen** und **speziellen Fachnormen** unterschieden wird. Da die Formelzeichen nur einen empfehlenden Charakter haben, kommt es vor, dass gleiche physikalische Größen in den verschiedenen Normen und Richtlinien mit unterschiedlichen Formelzeichen belegt sind.

Beispiele:

Wärmedurchgangszahl K bzw. U
 Länge / bzw. L
 Dicke, Schichtdicke δ bzw. d (häufig auch s)

• Hinweis 2

Diese Formelsammlung behandelt verschiedene Wissensgebiete aus technischen Grundlagen- und Anwendungsbereichen. Dadurch kommt es an verschiedenen Stellen zu geringfügigen **Überschneidungen**, was auch bereits aus Hinweis 1 hervorgeht. Diese Überschneidungen sind an den verschiedenen Stellen im Buch gekennzeichnet, so z. B.:

C 2.12 → E 3.4
 C 3.4, C 3.5, C 3.17 → E 2.1
 C 3.21 → E 3.7
 D 9.1 → H 15.2

A Allgemeine Grundlagen

A 1 Griechisches Alphabet

| Großbuchstabe | Kleinbuchstabe | Bedeutung | Name | Großbuchstabe | Kleinbuchstabe | Bedeutung | Name |
|---------------|----------------|-----------|---------|---------------|----------------|-----------|---------|
| <i>A</i> | <i>α</i> | a | Alpha | <i>N</i> | <i>ν</i> | n | Ny |
| <i>B</i> | <i>β</i> | b | Beta | <i>E</i> | <i>ξ</i> | x | Xi |
| <i>Γ</i> | <i>γ</i> | g | Gamma | <i>O</i> | <i>ο</i> | o | Omikron |
| <i>Δ</i> | <i>δ</i> | d | Delta | <i>Π</i> | <i>π</i> | p | Pi |
| <i>E</i> | <i>ε</i> | e | Epsilon | <i>P</i> | <i>ρ</i> | rh | Rho |
| <i>Z</i> | <i>ζ</i> | z | Zeta | <i>Σ</i> | <i>σ</i> | s | Sigma |
| <i>H</i> | <i>η</i> | e | Eta | <i>T</i> | <i>τ</i> | t | Tau |
| <i>Θ</i> | <i>θ</i> | th | Theta | <i>Υ</i> | <i>υ</i> | y | Ypsilon |
| <i>I</i> | <i>ι</i> | i | Jota | <i>Φ</i> | <i>φ</i> | ph | Phi |
| <i>K</i> | <i>κ</i> | k | Kappa | <i>X</i> | <i>χ</i> | ch | Chi |
| <i>Λ</i> | <i>λ</i> | l | Lambda | <i>Ψ</i> | <i>ψ</i> | ps | Psi |
| <i>M</i> | <i>μ</i> | m | My | <i>Ω</i> | <i>ω</i> | o | Omega |

A 2 Römische Ziffern

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

B 84 = LXXXIV 99 = XCIX 691 = DCXCI 2016 = MMXVI

Um Verwechslungen zu vermeiden, darf vor einem Zahlzeichen immer nur **ein** kleineres stehen (z.B. für die Zahl 48: XLVIII und nicht IIL).

A 3 Basisgrößen und Basiseinheiten (SI-Einheiten)

| Basisgrößen und Basiseinheiten (nach DIN 1301-1, 10.02) | | | |
|---|----------------------|----------------|---------|
| Basisgrößen | | Basiseinheiten | |
| Name | Häufigste(s) Zeichen | Name | Zeichen |
| Länge | l, s, d | Meter | m |
| Masse | m | Kilogramm | kg |
| Zeit | t | Sekunde | s |
| Elektrische Stromstärke | I | Ampere | A |
| Thermodynamische Temperatur | T | Kelvin | K |
| Stoffmenge | n | Mol | mol |
| Lichtstärke | I, I_v | Candela | cd |

¹⁾ SI ist die Abkürzung für Systeme International d'Unitès (Internationales Einheitensystem)

A 4 Vorsätze vor Einheiten

(nach DIN 1301-1, 10.02)

| Vorsatzzeichen | Vorsatz | Bedeutung | Vorsatzzeichen | Vorsatz | Bedeutung |
|----------------|---------|-----------|----------------|---------|------------|
| Y | Yotta | 10^{24} | d | Dezi | 10^{-1} |
| Z | Zetta | 10^{21} | c | Zenti | 10^{-2} |
| E | Exa | 10^{18} | m | Milli | 10^{-3} |
| P | Peta | 10^{15} | μ | Mikro | 10^{-6} |
| T | Tera | 10^{12} | n | Nano | 10^{-9} |
| G | Giga | 10^9 | p | Pico | 10^{-12} |
| M | Mega | 10^6 | f | Femto | 10^{-15} |
| k | Kilo | 10^3 | a | Atto | 10^{-18} |
| h | Hekto | 10^2 | z | Zepto | 10^{-21} |
| da | Deca | 10^1 | y | Yokto | 10^{-24} |

Der Vorsatz gibt den Faktor an, mit dem die Einheit zu multiplizieren ist.

A 5 Formelzeichen und Einheiten

(nach DIN 1304-1, 03.94 und DIN 1301-1, 10.02)

| Name/Bedeutung | Formelzeichen | SI-Einheit | | Bemerkung/wichtige Beziehungen |
|---|---------------|------------|------|--|
| | | Zeichen | Name | |
| A 5.1 Raumgrößen und Zeitgrößen | | | | |
| Abklingkoeffizient | δ | 1/s | | |
| Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle | c | m/s | | Im leeren Raum: c_0 |
| Beschleunigung | a | m/s^2 | | $a = v/t$ bzw. $a = \Delta v/\Delta t$; für örtliche Fallbeschleunigung: g Örtliche Normalfallbeschleunigung: $g_n = 9,806\ 65\ m/s^2$ |