



Bibliothek des technischen Wissens

Bach · Bierwerth · Herr · Wieneke

Formeln der Technik

Elektrotechnik

Maschinenbautechnik

Chemietechnik

Mathematik/Physik

5. 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 Verlag Europa-Lehrmittel, Ostfildern

5. Auflage 2023

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern und kleinen Normänderungen identisch sind. Allerdings wurden einige Formelzeichen entsprechend der neuen DIN EN ISO 80 000 geändert.

ISBN 978-3-8085-5324-4

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, Burggrafenstraße 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.

Alle Bilder im Buch ohne Bildquellenangabe wurden vom Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern, bearbeitet und erstellt.

© 2023 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Punkt für Punkt GmbH · Mediendesign, 40549 Düsseldorf
Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
Druck: mediaprint solutions 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 „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 **5. Auflage** wurden neben kleineren Korrekturen vor allem Normen aktualisiert.

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

Wenn Sie mithelfen möchten, dieses Buch für die kommenden Auflagen zu verbessern, schreiben Sie uns unter lektorat@europa-lehrmittel.de. Ihre Hinweise und Verbesserungsvorschläge nehmen wir gern auf.

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 Regeln</i>	
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'schem</i> Schnittverfahren	
D 6.5	Rechnerische Stabkraftermittlung mittels <i>Ritter'schem</i> Schnittverfahren	
D 7	Reibung	231
D 7.1	Die Reibungskräfte	
D 7.2	Reibung auf der geneigten (schiefen) Ebene	
D 7.3	Reibung an Geradföhrungen	
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'sche</i> 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 Freitrag	
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	Knickspannung bei elastischer Knickung (<i>Euler-Knickung</i>)	
D 13.3	Unelastische Knickung (<i>Tetmajer-Knickung</i>)	
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	<i>Faraday'sches Gesetz</i>	
F 2	Gesetzmäßigkeiten im elektrischen Stromkreis	328
F 2.1	<i>Ohm'sches Gesetz und Ohm'scher Widerstand</i>	
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 (Flatschleifen)
 - 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 Längsschruppsyklus (G81)
 - H 13.3.2 Planschruppsyklus (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 Zyklusaufruf 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 1301-1:2010-02)			
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'Unités (Internationales Einheitensystem)

A 4 Vorsätze vor Einheiten

(nach DIN 1301-1:2010-02)

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 1304-1:1994-03 und DIN 1301-1:2010-02)

Name/Bedeutung	Formelzeichen	SI-Einheit Zeichen	Name	Bemerkung/wichtige Beziehungen
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: $g_n = 9,806\,65 \text{ m/s}^2$