

# Inhaltsverzeichnis

<b>Hinweise zur Benutzung</b> . . . . .	LI
<b>Chronik des Taschenbuchs</b> . . . . .	LIII
<b>A Mathematik</b>	
<b>A1 Mathematik für Ingenieure</b> . . . . .	A 2
<b>A2 Ergänzungen zur Höheren Mathematik</b> . . . . .	A 3
<b>A3 Numerische Methoden</b> . . . . .	A 4
A3.1 Numerische – Analytische Lösung . . . . .	A 4
A3.2 Standardaufgabe der linearen Algebra . . . . .	A 4
A3.3 Interpolation, Integration . . . . .	A 5
A3.4 Rand- und Anfangswertprobleme . . . . .	A 6
A3.5 Optimierungsprobleme . . . . .	A 6
Literatur zu Teil A Mathematik . . . . .	A 8
<b>B Mechanik</b>	
<b>B1 Statik starrer Körper</b> . . . . .	B 2
B1.1 Allgemeines . . . . .	B 2
B1.2 Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften mit gemeinsamem Angriffspunkt B1.2.1 Ebene Kräftegruppe. – B1.2.2 Räumliche Kräftegruppe.	B 2
B1.3 Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften mit verschiedenen Angriffspunkten B1.3.1 Kräfte in der Ebene. – B1.3.2 Kräfte im Raum.	B 4
B1.4 Gleichgewicht und Gleichgewichtsbedingungen . . . . . B1.4.1 Kräftesystem im Raum. – B1.4.2 Kräftesystem in der Ebene. – B1.4.3 Prinzip der virtuellen Arbeiten. – B1.4.4 Arten des Gleichgewichts. – B1.4.5 Standsicherheit.	B 5
B1.5 Lagerungsarten, Freimachungsprinzip . . . . .	B 7
B1.6 Auflagerreaktionen an Körpern . . . . . B1.6.1 Auflagerreaktionen an Körpern. – B1.6.2 Körper im Raum.	B 7
B1.7 Systeme starrer Körper . . . . .	B 8
B1.8 Fachwerke . . . . . B1.8.1 Fachwerke. – B1.8.2 Räumliche Fachwerke.	B 9
B1.9 Seile und Ketten . . . . . B1.9.1 Seile und Ketten. – B1.9.2 Seil unter konstanter Streckenlast. – B1.9.3 Seil mit Einzellast.	B 10
B1.10 Schwerpunkt (Massenmittelpunkt) . . . . .	B 12
B1.11 Haftung und Reibung . . . . . B1.11.1 Anwendungen zur Haftung und Gleitreibung. – B1.11.2 Rollwiderstand. – B1.11.3 Widerstand an Seilrollen.	B 12
Literatur . . . . .	B 16
<b>B2 Kinematik</b> . . . . .	B 17
B2.1 Bewegung eines Punkts . . . . . B2.1.1 Bewegung eines Punkts. – B2.1.2 Ebene Bewegung. – B2.1.3 Räumliche Bewegung.	B 17
B2.2 Bewegung starrer Körper . . . . . B2.2.1 Bewegung starrer Körper. – B2.2.2 Rotation (Drehbewegung, Drehung). – B2.2.3 Allgemeine Bewegung des starren Körpers.	B 21

<b>B3</b>	<b>Kinetik</b> . . . . .	B 26
B3.1	Energetische Grundbegriffe – Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad . . . . .	B 26
	B3.1.1 Spezielle Arbeiten.	
B3.2	Kinetik des Massenpunkts und des translatorisch bewegten Körpers . . . . .	B 27
	B3.2.1 Kinetik des Massenpunkts und des translatorisch bewegten Körpers. – B3.2.2 Arbeits- und Energiesatz. – B3.2.3 Impulssatz. – B3.2.4 Prinzip von d'Alembert und geführte Bewegungen. – B3.2.5 Impulsmomenten- (Flächen-) und Drehimpulssatz.	
B3.3	Kinetik des Massenpunktsystems . . . . .	B 28
	B3.3.1 Kinetik des Massenpunktsystems. – B3.3.2 Arbeits- und Energiesatz. – B3.3.3 Impulssatz. – B3.3.4 Prinzip von d'Alembert und geführte Bewegungen. – B3.3.5 Impulsmomenten- und Drehimpulssatz. – B3.3.6 Lagrange'sche Gleichungen. – B3.3.7 Prinzip von Hamilton. – B3.3.8 Systeme mit veränderlicher Masse.	
B3.4	Kinetik starrer Körper . . . . .	B 31
	B3.4.1 Kinetik starrer Körper. – B3.4.2 Allgemeines über Massenträgheitsmomente. – B3.4.3 Allgemeine ebene Bewegung starrer Körper. – B3.4.4 Allgemeine räumliche Bewegung.	
B3.5	Kinetik der Relativbewegung . . . . .	B 36
B3.6	Stoß . . . . .	B 37
	B3.6.1 Stoß. – B3.6.2 Schiefer zentraler Stoß. – B3.6.3 Exzentrischer Stoß. – B3.6.4 Drehstoß.	
Literatur	. . . . .	B 38
<b>B4</b>	<b>Schwingungslehre</b> . . . . .	B 39
B4.1	Systeme mit einem Freiheitsgrad . . . . .	B 39
	B4.1.1 Systeme mit einem Freiheitsgrad. – B4.1.2 Freie gedämpfte Schwingungen. – B4.1.3 Ungedämpfte erzwungene Schwingungen. – B4.1.4 Gedämpfte erzwungene Schwingungen. – B4.1.5 Kritische Drehzahl und Biegeschwingung der einfach besetzten Welle.	
B4.2	Systeme mit mehreren Freiheitsgraden (Koppelschwingungen) . . . . .	B 42
	B4.2.1 Systeme mit mehreren Freiheitsgraden (Koppelschwingungen). – B4.2.2 Erzwungene Schwingungen mit zwei und mehr Freiheitsgraden. – B4.2.3 Eigenfrequenzen ungedämpfter Systeme. – B4.2.4 Schwingungen der Kontinua.	
B4.3	Nichtlineare Schwingungen . . . . .	B 46
	B4.3.1 Nichtlineare Schwingungen. – B4.3.2 Schwingungen mit periodischen Koeffizienten (rheoliner Schwingungen).	
Literatur	. . . . .	B 47
<b>B5</b>	<b>Hydrostatik (Statik der Flüssigkeiten)</b> . . . . .	B 48
<b>B6</b>	<b>Hydro- und Aerodynamik (Strömungslehre, Dynamik der Fluide)</b> . . . . .	B 50
B6.1	Eindimensionale Strömungen idealer Flüssigkeiten . . . . .	B 50
	B6.1.1 Anwendungen der Bernoulli'schen Gleichung für den stationären Fall. – B6.1.2 Anwendung der Bernoulli'schen Gleichung für den instationären Fall.	
B6.2	Eindimensionale Strömungen zäher Newton'scher Flüssigkeiten (Rohrhydraulik) B 52	
	B6.2.1 Stationäre laminare Strömung in Rohren mit Kreisquerschnitt. – B6.2.2 Stationäre turbulente Strömung in Rohren mit Kreisquerschnitt. – B6.2.3 Strömung in Leitungen mit nicht vollkreisförmigen Querschnitten. – B6.2.4 Strömungsverluste durch spezielle Rohrleitungselemente und Einbauten. – B6.2.5 Stationärer Ausfluss aus Behältern. – B6.2.6 Stationäre Strömung durch offene Gerinne. – B6.2.7 Instationäre Strömung zäher Newton'scher Flüssigkeiten. – B6.2.8 Freier Strahl.	
B6.3	Eindimensionale Strömung Nicht-Newton'scher Flüssigkeiten . . . . .	B 57
	B6.3.1 Berechnung von Rohrströmungen.	
B6.4	Kraftwirkungen strömender inkompressibler Flüssigkeiten . . . . .	B 58
	B6.4.1 Kraftwirkungen strömender inkompressibler Flüssigkeiten. – B6.4.2 Anwendungen.	
B6.5	Mehrdimensionale Strömung idealer Flüssigkeiten . . . . .	B 59
	B6.5.1 Mehrdimensionale Strömung idealer Flüssigkeiten. – B6.5.2 Potentialströmungen.	
B6.6	Mehrdimensionale Strömung zäher Flüssigkeiten . . . . .	B 62
	B6.6.1 Mehrdimensionale Strömung zäher Flüssigkeiten. – B6.6.2 Einige Lösungen für kleine Reynolds'sche Zahlen (laminare Strömung). – B6.6.3 Grenzschichttheorie. – B6.6.4 Strömungswiderstand von Körpern. – B6.6.5 Tragflügel und Schaufeln. – B6.6.6 Schaufeln und Profile im Gitterverband.	
Literatur	. . . . .	B 67

<b>B7</b>	<b>Ähnlichkeitsmechanik</b> . . . . .	B 68
B7.1	Allgemeines . . . . .	B 68
B7.2	Ähnlichkeitsgesetze (Modellgesetze) . . . . .	B 68
	B7.2.1 Ähnlichkeitsgesetze (Modellgesetze). – B7.2.2 Dynamische Ähnlichkeit. – B7.2.3 Thermische Ähnlichkeit. – B7.2.4 Analyse der Einheiten (Dimensionsanalyse) und $\Pi$ -Theorem.	
Literatur	. . . . .	B 70
Literatur zu Teil B Mechanik	. . . . .	B 71
 <b>C Festigkeitslehre</b>		
<b>C1</b>	<b>Allgemeine Grundlagen</b> . . . . .	C 2
C1.1	Spannungen und Verformungen . . . . .	C 2
	C1.1.1 Spannungen. – C1.1.2 Verformungen. – C1.1.3 Formänderungsarbeit.	
C1.2	Festigkeitsverhalten der Werkstoffe . . . . .	C 5
C1.3	Festigkeits-hypothesen und Vergleichsspannungen . . . . .	C 6
	C1.3.1 Festigkeitshypothesen und Vergleichsspannungen. – C1.3.2 Schubspannungshypothese. – C1.3.3 Gestaltänderungsenergiehypothese. – C1.3.4 Anstrengungsverhältnis nach Bach.	
Literatur	. . . . .	C 8
<b>C2</b>	<b>Beanspruchung stabförmiger Bauteile</b> . . . . .	C 9
C2.1	Zug- und Druckbeanspruchung . . . . .	C 9
	C2.1.1 Zug- und Druckbeanspruchung. – C2.1.2 Stäbe mit veränderlicher Längskraft. – C2.1.3 Stäbe mit veränderlichem Querschnitt. – C2.1.4 Stäbe mit Kerben. – C2.1.5 Stäbe unter Temperatureinfluss.	
C2.2	Abscherbeanspruchung . . . . .	C 9
C2.3	Flächenpressung und Lochleibung . . . . .	C 10
	C2.3.1 Flächenpressung und Lochleibung. – C2.3.2 Gewölbte Flächen.	
C2.4	Biegebeanspruchung . . . . .	C 10
	C2.4.1 Biegebeanspruchung. – C2.4.2 Schnittlasten am geraden Träger in der Ebene. – C2.4.3 Schnittlasten an gekrümmten ebenen Trägern. – C2.4.4 Schnittlasten an räumlichen Trägern. – C2.4.5 Biegespannungen in geraden Balken. – C2.4.6 Schubspannungen und Schubmittelpunkt am geraden Träger. – C2.4.7 Biegespannungen in stark gekrümmten Trägern. – C2.4.8 Durchbiegung von Trägern. – C2.4.9 Formänderungsarbeit bei Biegung und Energiemethoden zur Berechnung von Einzeldurchbiegungen.	
C2.5	Torsionsbeanspruchung . . . . .	C 27
	C2.5.1 Stäbe mit Kreisquerschnitt und konstantem Durchmesser. – C2.5.2 Stäbe mit Kreisquerschnitt und veränderlichem Durchmesser. – C2.5.3 Dünnwandige Hohlquerschnitte (Bredt'sche Formeln). – C2.5.4 Stäbe mit beliebigem Querschnitt.	
C2.6	Zusammengesetzte Beanspruchung . . . . .	C 30
	C2.6.1 Zusammengesetzte Beanspruchung. – C2.6.2 Biegung und Schub. – C2.6.3 Biegung und Torsion. – C2.6.4 Längskraft und Torsion. – C2.6.5 Schub und Torsion. – C2.6.6 Biegung mit Längskraft sowie Schub und Torsion.	
C2.7	Statisch unbestimmte Systeme . . . . .	C 31
Literatur	. . . . .	C 32
<b>C3</b>	<b>Elastizitätstheorie</b> . . . . .	C 33
C3.1	Allgemeines . . . . .	C 33
C3.2	Rotationssymmetrischer Spannungszustand . . . . .	C 33
C3.3	Ebener Spannungszustand . . . . .	C 34
Literatur	. . . . .	C 35
<b>C4</b>	<b>Beanspruchung bei Berührung zweier Körper (Hertz'sche Formeln)</b> . . . . .	C 36
C4.1	Kugel . . . . .	C 36
C4.2	Zylinder . . . . .	C 36
C4.3	Beliebig gewölbte Fläche . . . . .	C 36
Literatur	. . . . .	C 37

<b>C5</b>	<b>Flächentragwerke</b> . . . . .	C 38
<b>C5.1</b>	<b>Platten</b> . . . . .	C 38
	C5.1.1 Platten. – C5.1.2 Kreisplatten. – C5.1.3 Elliptische Platten. – C5.1.4 Gleichseitige Dreieckplatte. – C5.1.5 Temperaturspannungen in Platten.	
<b>C5.2</b>	<b>Scheiben</b> . . . . .	C 40
	C5.2.1 Scheiben. – C5.2.2 Ringförmige Scheibe. – C5.2.3 Unendlich ausgedehnte Scheibe mit Bohrung. – C5.2.4 Keilförmige Scheibe unter Einzelkräften.	
<b>C5.3</b>	<b>Schalen</b> . . . . .	C 41
	C5.3.1 Biegeschlaffe Rotationsschalen und Membrantheorie für Innendruck. – C5.3.2 Biegesteife Schalen.	
<b>Literatur</b>	. . . . .	C 42
<b>C6</b>	<b>Dynamische Beanspruchung umlaufender Bauteile durch Fliehkräfte</b> . . . . .	C 43
<b>C6.1</b>	<b>Umlaufender Stab</b> . . . . .	C 43
<b>C6.2</b>	<b>Umlaufender dünnwandiger Ring oder Hohlzylinder</b> . . . . .	C 43
<b>C6.3</b>	<b>Umlaufende Scheiben</b> . . . . .	C 43
	C6.3.1 Vollscheibe konstanter Dicke. – C6.3.2 Ringförmige Scheibe konstanter Dicke. – C6.3.3 Scheiben gleicher Festigkeit. – C6.3.4 Scheiben veränderlicher Dicke. – C6.3.5 Umlaufender dickwandiger Hohlzylinder.	
<b>Literatur</b>	. . . . .	C 44
<b>C7</b>	<b>Stabilitätsprobleme</b> . . . . .	C 45
<b>C7.1</b>	<b>Knickung</b> . . . . .	C 45
	C7.1.1 Knickung. – C7.1.2 Knicken im unelastischen (Tetmajer-)Bereich. – C7.1.3 Näherungsverfahren zur Knicklastberechnung. – C7.1.4 Stäbe bei Änderung des Querschnitts bzw. der Längskraft. – C7.1.5 Knicken von Ringen, Rahmen und Stabsystemen. – C7.1.6 Biegedrillknicken.	
<b>C7.2</b>	<b>Kugel</b> . . . . .	C 47
	C7.2.1 Kugel. – C7.2.2 Träger mit I-Querschnitt.	
<b>C7.3</b>	<b>Beulung</b> . . . . .	C 48
	C7.3.1 Beulung. – C7.3.2 Beulen von Schalen. – C7.3.3 Beulspannungen im unelastischen (plastischen) Bereich.	
<b>Literatur</b>	. . . . .	C 50
<b>C8</b>	<b>Finite Berechnungsverfahren</b> . . . . .	C 51
<b>C8.1</b>	<b>Finite Elemente Methode</b> . . . . .	C 51
<b>C8.2</b>	<b>Randelemente</b> . . . . .	C 54
<b>C8.3</b>	<b>Finite Differenzen Methode</b> . . . . .	C 55
<b>Literatur</b>	. . . . .	C 56
<b>C9</b>	<b>Plastizitätstheorie</b> . . . . .	C 57
<b>C9.1</b>	<b>Allgemeines</b> . . . . .	C 57
<b>C9.2</b>	<b>Anwendungen</b> . . . . .	C 57
	C9.2.1 Biegung des Rechteckbalkens. – C9.2.2 Räumlicher und ebener Spannungszustand.	
<b>Literatur</b>	. . . . .	C 59
<b>C10</b>	<b>Festigkeitsnachweis</b> . . . . .	C 60
<b>C10.1</b>	<b>Berechnungs- und Bewertungskonzepte</b> . . . . .	C 60
<b>C10.2</b>	<b>Nennspannungskonzepte</b> . . . . .	C 60
<b>C10.3</b>	<b>Kerbgrundkonzepte</b> . . . . .	C 61
<b>Literatur</b>	. . . . .	C 63
<b>C11</b>	<b>Anhang C: Diagramme und Tabellen</b> . . . . .	C 64
<b>Literatur zu Teil C Festigkeitslehre</b>	. . . . .	C 69
<b>D</b>	<b>Thermodynamik</b>	
<b>D1</b>	<b>Thermodynamik. Grundbegriffe</b> . . . . .	D 2
<b>D1.1</b>	<b>Systeme, Systemgrenzen, Umgebung</b> . . . . .	D 2
<b>D1.2</b>	<b>Beschreibung des Zustands eines Systems. Thermodynamische Prozesse</b> . . . . .	D 2

<b>D2</b>	<b>Temperaturen. Gleichgewichte</b>	D 3
D2.1	Thermisches Gleichgewicht	D 3
D2.2	Nullter Hauptsatz und empirische Temperatur	D 3
D2.3	Temperaturskalen	D 3
	D2.3.1 Temperaturskalen.	
Literatur		D 4
<b>D3</b>	<b>Erster Hauptsatz</b>	D 5
D3.1	Allgemeine Formulierung	D 5
D3.2	Die verschiedenen Energieformen	D 5
	D3.2.1 Die verschiedenen Energieformen. – D3.2.2 Innere Energie und Systemenergie. – D3.2.3 Wärme.	
D3.3	Anwendung auf geschlossene Systeme	D 6
D3.4	Anwendung auf offene Systeme	D 6
	D3.4.1 Stationäre Prozesse. – D3.4.2 Instationäre Prozesse.	
<b>D4</b>	<b>Zweiter Hauptsatz</b>	D 8
D4.1	Das Prinzip der Irreversibilität	D 8
D4.2	Allgemeine Formulierung	D 8
D4.3	Spezielle Formulierungen	D 9
	D4.3.1 Adiabate, geschlossene Systeme. – D4.3.2 Systeme mit Wärmezufuhr.	
<b>D5</b>	<b>Exergie und Anergie</b>	D 10
D5.1	Exergie eines geschlossenen Systems	D 10
D5.2	Exergie eines offenen Systems	D 10
D5.3	Exergie einer Wärme	D 10
D5.4	Anergie	D 11
D5.5	Exergieverluste	D 11
<b>D6</b>	<b>Stoffthermodynamik</b>	D 12
D6.1	Thermische Zustandsgrößen von Gasen und Dämpfen	D 12
	D6.1.1 Ideale Gase. – D6.1.2 Gaskonstante und das Gesetz von Avogadro. – D6.1.3 Reale Gase. – D6.1.4 Dämpfe.	
D6.2	Kalorische Zustandsgrößen von Gasen und Dämpfen	D 14
	D6.2.1 Kalorische Zustandsgrößen von Gasen und Dämpfen. – D6.2.2 Reale Gase und Dämpfe.	
D6.3	Inkompressible Fluide	D 16
D6.4	Feste Stoffe	D 16
	D6.4.1 Feste Stoffe. – D6.4.2 Schmelz- und Sublimationsdruckkurve. – D6.4.3 Kalorische Zustandsgrößen.	
Literatur		D 16
<b>D7</b>	<b>Zustandsänderungen von Gasen und Dämpfen</b>	D 17
D7.1	Zustandsänderungen ruhender Gase und Dämpfe	D 17
D7.2	Zustandsänderungen strömender Gase und Dämpfe	D 18
	D7.2.1 Zustandsänderungen strömender Gase und Dämpfe. – D7.2.2 Düsen- und Diffusorströmung.	
<b>D8</b>	<b>Thermodynamische Prozesse</b>	D 20
D8.1	Energiewandlung mittels Kreisprozessen	D 20
D8.2	Carnot-Prozess	D 20
D8.3	Wärmeanlagen	D 20
	D8.3.1 Ackeret-Keller-Prozess. – D8.3.2 Geschlossene Gasturbinenanlage. – D8.3.3 Dampfkraftanlage.	
D8.4	Verbrennungskraftanlagen	D 23
	D8.4.1 Verbrennungskraftanlagen. – D8.4.2 Ottomotor. – D8.4.3 Dieselmotor. – D8.4.4 Brennstoffzellen.	
D8.5	Kälteanlagen und Wärmepumpen	D 24
	D8.5.1 Kompressionskälteanlage. – D8.5.2 Kompressionswärmepumpe.	
D8.6	Kraft-Wärme-Kopplung	D 25
Literatur		D 26

<b>D9</b>	<b>Gemische</b> . . . . .	D 27
D9.1	Gemische idealer Gase . . . . .	D 27
D9.2	Gas-Dampf-Gemische . . . . .	D 27
	D9.2.1 Mollier-Diagramm der feuchten Luft. – D9.2.2 Zustandsänderungen feuchter Luft.	
<b>D10</b>	<b>Verbrennung</b> . . . . .	D 30
D10.1	Reaktionsgleichungen . . . . .	D 30
D10.2	Heizwert und Brennwert . . . . .	D 30
D10.3	Verbrennungstemperatur . . . . .	D 31
	Literatur . . . . .	D 31
<b>D11</b>	<b>Wärmeübertragung</b> . . . . .	D 32
D11.1	Stationäre Wärmeleitung . . . . .	D 32
D11.2	Wärmeübergang und Wärmedurchgang . . . . .	D 32
D11.3	Nichtstationäre Wärmeleitung . . . . .	D 33
	D11.3.1 Der halbunendliche Körper. – D11.3.2 Zwei halbunendliche Körper in thermischem Kontakt. – D11.3.3 Temperaturausgleich in einfachen Körpern.	
D11.4	Wärmeübergang durch Konvektion . . . . .	D 35
	D11.4.1 Wärmeübergang ohne Phasenumwandlung. – D11.4.2 Wärmeübergang beim Kondensieren und beim Sieden.	
D11.5	Wärmeübertragung durch Strahlung . . . . .	D 38
	D11.5.1 Wärmeübertragung durch Strahlung. – D11.5.2 Kirchhoffsches Gesetz. – D11.5.3 Wärmeaustausch durch Strahlung. – D11.5.4 Gasstrahlung.	
	Literatur . . . . .	D 39
<b>D12</b>	<b>Anhang D: Diagramme und Tabellen</b> . . . . .	D 40
	Literatur . . . . .	D 55
	Literatur zu Teil D Thermodynamik . . . . .	D 56
<b>E</b>	<b>Werkstofftechnik</b>	
<b>E1</b>	<b>Werkstoff- und Bauteileigenschaften</b> . . . . .	E 2
E1.1	Beanspruchungs- und Versagensarten . . . . .	E 2
	E1.1.1 Beanspruchungsfälle. – E1.1.2 Versagen durch mechanische Beanspruchung. – E1.1.3 Versagen durch komplexe Beanspruchungen.	
E1.2	Grundlegende Konzepte für den Festigkeitsnachweis . . . . .	E 5
	E1.2.1 Festigkeitshypothesen. – E1.2.2 Nenn-, Struktur- und Kerbspannungskonzept. – E1.2.3 Örtliches Konzept. – E1.2.4 Plastisches Grenzlastkonzept. – E1.2.5 Bruchmechanikkonzepte.	
E1.3	Werkstoffkennwerte für die Bauteildimensionierung . . . . .	E 8
	E1.3.1 Statische Festigkeit. – E1.3.2 Schwingfestigkeit. – E1.3.3 Bruchmechanische Werkstoffkennwerte bei statischer Beanspruchung. – E1.3.4 Bruchmechanische Werkstoffkennwerte bei zyklischer Beanspruchung.	
E1.4	Einflüsse auf die Werkstoffeigenschaften . . . . .	E 12
	E1.4.1 Werkstoffphysikalische Grundlagen der Festigkeit und Zähigkeit metallischer Werkstoffe. – E1.4.2 Metallurgische Einflüsse. – E1.4.3 Technologische Einflüsse. – E1.4.4 Oberflächeneinflüsse. – E1.4.5 Umgebungseinflüsse. – E1.4.6 Gestalteinfluss auf statische Festigkeitseigenschaften. – E1.4.7 Gestalteinfluss auf Schwingfestigkeitseigenschaften.	
E1.5	Festigkeitsnachweis von Bauteilen . . . . .	E 16
	E1.5.1 Festigkeitsnachweis bei statischer Beanspruchung. – E1.5.2 Festigkeitsnachweis bei Schwingbeanspruchung mit konstanter Amplitude. – E1.5.3 Festigkeitsnachweis bei Schwingbeanspruchung mit variabler Amplitude (Betriebsfestigkeitsnachweis). – E1.5.4 Bruchmechanischer Festigkeitsnachweis unter statischer Beanspruchung. – E1.5.5 Bruchmechanischer Festigkeitsnachweis unter zyklischer Beanspruchung. – E1.5.6 Festigkeitsnachweis unter Zeitstand und Kriechermüdigungsbeanspruchung.	
	Literatur . . . . .	E 21

<b>E2</b>	<b>Werkstoffprüfung</b> . . . . .	E 23
E2.1	Grundlagen . . . . .	E 23
	E2.1.1 Probenentnahme. – E2.1.2 Versuchsauswertung.	
E2.2	Prüfverfahren . . . . .	E 24
	E2.2.1 Zugversuch. – E2.2.2 Druckversuch. – E2.2.3 Biegeversuch. – E2.2.4 Härteprüfverfahren. –	
	E2.2.5 Kerbschlagbiegeversuch. – E2.2.6 Bruchmechanische Prüfungen. – E2.2.7 Chemische und	
	physikalische Analysemethoden. – E2.2.8 Materialographische Untersuchungen. –	
	E2.2.9 Technologische Prüfungen. – E2.2.10 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung. –	
	E2.2.11 Dauerversuche.	
Literatur	. . . . .	E 31
<b>E3</b>	<b>Eigenschaften und Verwendung der Werkstoffe</b> . . . . .	E 32
E3.1	Eisenwerkstoffe . . . . .	E 32
	E3.1.1 Das Zustandsschaubild Eisen-Kohlenstoff. – E3.1.2 Stahlerzeugung. –	
	E3.1.3 Wärmebehandlung. – E3.1.4 Stähle. – E3.1.5 Gusseisenwerkstoffe.	
E3.2	Nichteisenmetalle . . . . .	E 53
	E3.2.1 Kupfer und seine Legierungen. – E3.2.2 Aluminium und seine Legierungen. –	
	E3.2.3 Magnesiumlegierungen. – E3.2.4 Titanlegierungen. – E3.2.5 Nickel und seine Legierungen. –	
	E3.2.6 Zink und seine Legierungen. – E3.2.7 Blei. – E3.2.8 Zinn. – E3.2.9 Überzüge auf Metallen.	
E3.3	Nichtmetallische anorganische Werkstoffe – Keramische Werkstoffe . . . . .	E 61
E3.4	Werkstoffauswahl . . . . .	E 63
Literatur	. . . . .	E 64
<b>E4</b>	<b>Kunststoffe</b> . . . . .	E 65
E4.1	Einführung . . . . .	E 65
E4.2	Aufbau und Verhalten von Kunststoffen . . . . .	E 65
E4.3	Eigenschaften . . . . .	E 66
E4.4	Wichtige Thermoplaste . . . . .	E 66
E4.5	Fluorhaltige Kunststoffe . . . . .	E 68
E4.6	Duroplaste . . . . .	E 68
E4.7	Kunststoffschäume . . . . .	E 69
E4.8	Elastomere . . . . .	E 69
E4.9	Prüfung von Kunststoffen . . . . .	E 71
	E4.9.1 Kennwertermittlung an Probekörpern. – E4.9.2 Prüfung von Fertigteilen.	
E4.10	Verarbeiten von Kunststoffen . . . . .	E 74
	E4.10.1 Umformen von Kunststoffen. – E4.10.2 Umformen von Kunststoffen. – E4.10.3 Fügen von	
	Kunststoffen.	
E4.11	Gestalten und Fertigungsgenauigkeit von Kunststoff-Formteilen . . . . .	E 77
E4.12	Nachbehandlungen . . . . .	E 78
E4.13	Faser-Kunststoff-Verbunde . . . . .	E 79
	E4.13.1 Charakterisierung und Einsatzgebiete. – E4.13.2 Fasern, Matrix-Kunststoffe und Halbzeuge. –	
	E4.13.3 Spannungsanalyse von Laminaten. – E4.13.4 Laminattypen. – E4.13.5 Festigkeitsanalyse von	
	Laminaten. – E4.13.6 Fügetechniken. – E4.13.7 Fertigungsverfahren.	
Literatur	. . . . .	E 89
<b>E5</b>	<b>Tribologie</b> . . . . .	E 90
E5.1	Reibung . . . . .	E 90
E5.2	Verschleiß . . . . .	E 91
E5.3	Systemanalyse von Reibungs- und Verschleißvorgängen . . . . .	E 92
	E5.3.1 Funktion von Tribosystemen. – E5.3.2 Beanspruchungskollektiv. – E5.3.3 Struktur	
	tribologischer Systeme. – E5.3.4 Tribologische Kenngrößen. – E5.3.5 Checkliste zur Erfassung der	
	wichtigsten tribologisch relevanten Größen.	
E5.4	Schmierung . . . . .	E 94
E5.5	Schmierstoffe . . . . .	E 94
	E5.5.1 Schmieröle. – E5.5.2 Schmierfette. – E5.5.3 Festschmierstoffe.	

Literatur . . . . .	E 97
<b>E6 Korrosion und Korrosionsschutz . . . . .</b>	<b>E 99</b>
E6.1 Einleitung . . . . .	E 99
E6.2 Elektrochemische Korrosion . . . . .	E 100
E6.2.1 Gleichmäßige Flächenkorrosion. – E6.2.2 Galvanische und Kontaktkorrosion. –	
E6.2.3 Selektive und interkristalline Korrosion. – E6.2.4 Passivierung, Loch- und Spaltkorrosion. –	
E6.2.5 Risskorrosion. – E6.2.6 Erosions- und Kavitationskorrosion. – E6.2.7 Reibkorrosion. –	
E6.2.8 Mikrobiologisch beeinflusste Korrosion.	
E6.3 Chemische Korrosion und Hochtemperaturkorrosion . . . . .	E 117
E6.3.1 Hochtemperaturkorrosion ohne mechanische Beanspruchung. –	
E6.3.2 Hochtemperaturkorrosion mit mechanischer Beanspruchung.	
E6.4 Korrosionsprüfung . . . . .	E 121
Literatur . . . . .	E 122
<b>E7 Anhang E: Diagramme und Tabellen . . . . .</b>	<b>E 123</b>
Literatur . . . . .	E 155
<b>F Grundlagen der Produktentwicklung</b>	
<b>F1 Grundlagen technischer Systeme und des methodischen Vorgehens . . . . .</b>	<b>F 2</b>
F1.1 Technische Systeme . . . . .	F 2
F1.1.1 Energie-, Stoff- und Signalumsatz. – F1.1.2 Funktionszusammenhang. –	
F1.1.3 Wirkzusammenhang. – F1.1.4 Bauzusammenhang. – F1.1.5 Übergeordneter	
Systemzusammenhang.	
F1.2 Methodisches Vorgehen . . . . .	F 4
F1.2.1 Allgemeine Arbeitsmethodik. – F1.2.2 Abstrahieren zum Erkennen der Funktionen. –	
F1.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien. – F1.2.4 Beurteilen von Lösungen. – F1.2.5 Kostenermittlung.	
F1.3 Arbeitsphasen im Produktentwicklungsprozess . . . . .	F 10
F1.3.1 Klären der Aufgabenstellung. – F1.3.2 Konzipieren. – F1.3.3 Entwerfen. – F1.3.4 Ausarbeiten.	
– F1.3.5 Validierung und Verifikation.	
F1.4 Gestaltungsregeln . . . . .	F 15
F1.4.1 Grundregeln. – F1.4.2 Gestaltungsprinzipien. – F1.4.3 Gestaltungsrichtlinien.	
F1.5 Entwicklung varianter Produkte . . . . .	F 21
F1.5.1 Modulare Produktstrukturierung. – F1.5.2 Produktstrukturstrategien. – F1.5.3 Methoden der	
Produktstrukturierung.	
F1.6 Toleranzgerechtes Konstruieren . . . . .	F 25
F1.6.1 Grundlagen für ein Toleranzmanagement. – F1.6.2 Die Toleranzvergabe. – F1.6.3 Die	
Toleranzanalyse. – F1.6.4 Prozessfähigkeitsanalyse.	
F1.7 Normen und Zeichnungswesen . . . . .	F 29
F1.7.1 Normenwerk. – F1.7.2 Grundnormen. – F1.7.3 Zeichnungen und Stücklisten. –	
F1.7.4 Sachnummernsysteme.	
Literatur – Spezielle Literatur . . . . .	F 37
<b>F2 Anwendung für Maschinensysteme der Stoffverarbeitung . . . . .</b>	<b>F 40</b>
F2.1 Aufgabe und Einordnung . . . . .	F 40
F2.2 Struktur von Verarbeitungsmaschinen . . . . .	F 40
F2.2.1 Verarbeitungssystem. – F2.2.2 Antriebs- und Steuerungssystem. – F2.2.3 Stütz- und Hüllsystem.	
F2.3 Verarbeitungsanlagen . . . . .	F 50
Literatur . . . . .	F 50
<b>F3 Bio-Industrie-Design: Herausforderungen und Visionen . . . . .</b>	<b>F 51</b>
Literatur . . . . .	F 53
Literatur zu Teil F Grundlagen der Konstruktionstechnik . . . . .	F 54



## G Mechanische Konstruktionselemente

<b>G1</b>	<b>Bauteilverbindungen</b> . . . . .	<b>G 2</b>
G1.1	Schweißen . . . . .	G 2
	G1.1.1 Schweißen. – G1.1.2 Schweißbarkeit der Werkstoffe. – G1.1.3 Stoß- und Nahtarten. – G1.1.4 Darstellung der Schweißnähte. – G1.1.5 Festigkeit von Schweißverbindungen. – G1.1.6 Thermisches Abtragen.	
G1.2	Löten und alternative Fügeverfahren . . . . .	G 20
	G1.2.1 Lötvorgang. – G1.2.2 Weichlöten. – G1.2.3 Hartlöten und Schweißlöten (Fugenlöten). – G1.2.4 Hochtemperaturlöten. – G1.2.5 Lichtbogenlöten, Laserlöten. – G1.2.6 Umformtechnische Fügeverfahren.	
G1.3	Kleben . . . . .	G 24
	G1.3.1 Kleben. – G1.3.2 Klebstoffe. – G1.3.3 Tragfähigkeit.	
G1.4	Reibschlussverbindungen . . . . .	G 26
	G1.4.1 Reibschlussverbindungen. – G1.4.2 Pressverbände. – G1.4.3 Klemmverbindungen.	
G1.5	Formschlussverbindungen . . . . .	G 30
	G1.5.1 Formschlussverbindungen. – G1.5.2 Stiftverbindungen. – G1.5.3 Bolzenverbindungen. – G1.5.4 Keilverbindungen. – G1.5.5 Pass- und Scheibenfeder-Verbindungen. – G1.5.6 Zahn- und Keilwellenverbindungen. – G1.5.7 Polygonwellenverbindungen. – G1.5.8 Vorgespannte Welle-Nabe-Verbindungen. – G1.5.9 Axiale Sicherungselemente. – G1.5.10 Nietverbindungen.	
G1.6	Schraubenverbindungen . . . . .	G 36
	G1.6.1 Aufgaben. – G1.6.2 Kenngrößen der Schraubenbewegung. – G1.6.3 Gewindearten. – G1.6.4 Schrauben- und Mutterarten. – G1.6.5 Schrauben- und Mutternwerkstoffe. – G1.6.6 Kräfte und Verformungen beim Anziehen von Schraubenverbindungen. – G1.6.7 Überlagerung von Vorspannkraft und Betriebslast. – G1.6.8 Auslegung und Dauerfestigkeitsberechnung von Schraubenverbindungen. – G1.6.9 Sicherung von Schraubenverbindungen.	
	Literatur . . . . .	G 47
<b>G2</b>	<b>Federnde Verbindungen (Federn)</b> . . . . .	<b>G 51</b>
G2.1	Aufgaben, Eigenschaften, Kenngrößen . . . . .	G 51
	G2.1.1 Aufgaben. – G2.1.2 Federkennlinie, Federsteifigkeit, Federmachgiebigkeit. – G2.1.3 Arbeitsaufnahmefähigkeit, Nutzungsgrad, Dämpfungsvermögen, Dämpfungsfaktor.	
G2.2	Metallfedern . . . . .	G 52
	G2.2.1 Zug/Druck-beanspruchte Zug- oder Druckfedern. – G2.2.2 Einfache und geschichtete Blattfedern (gerade oder schwachgekrümmte, biegebeanspruchte Federn). – G2.2.3 Spiralfedern (ebene gewundene, biegebeanspruchte Federn) und Schenkelfedern (biegebeanspruchte Schraubenfedern). – G2.2.4 Tellerfedern (scheibenförmige, biegebeanspruchte Federn). – G2.2.5 Drehstabfedern (gerade, drehbeanspruchte Federn). – G2.2.6 Zylindrische Schraubendruckfedern und Schraubenzugfedern.	
G2.3	Gummifedern . . . . .	G 59
	G2.3.1 Der Werkstoff „Gummi“ und seine Eigenschaften. – G2.3.2 Gummifederelemente.	
G2.4	Federn aus Faser-Kunststoff-Verbunden . . . . .	G 60
G2.5	Gasfedern . . . . .	G 62
G2.6	Industrie-Stoßdämpfer . . . . .	G 62
	G2.6.1 Anwendungsgebiete. – G2.6.2 Funktionsweise des Industrie-Stoßdämpfers. – G2.6.3 Aufbau eines Industrie-Stoßdämpfers. – G2.6.4 Berechnung und Auswahl.	
	Literatur . . . . .	G 63
<b>G3</b>	<b>Kupplungen und Bremsen</b> . . . . .	<b>G 65</b>
G3.1	Überblick, Aufgaben . . . . .	G 65
G3.2	Drehstarre, nicht schaltbare Kupplungen . . . . .	G 65
	G3.2.1 Starre Kupplungen. – G3.2.2 Drehstarre Ausgleichskupplungen.	
G3.3	Elastische, nicht schaltbare Kupplungen . . . . .	G 67
	G3.3.1 Feder- und Dämpfungsverhalten. – G3.3.2 Auslegungsgesichtspunkte, Schwingungsverhalten. – G3.3.3 Bauarten. – G3.3.4 Auswahlgesichtspunkte.	
G3.4	Drehnachgiebige, nicht schaltbare Kupplungen . . . . .	G 71
G3.5	Fremdgeschaltete Kupplungen . . . . .	G 71
	G3.5.1 Formschlüssige Schaltkupplungen. – G3.5.2 Kraft-(Reib-)schlüssige Schaltkupplungen. – G3.5.3 Der Schaltvorgang bei reibschlüssigen Schaltkupplungen. – G3.5.4 Auslegung einer reibschlüssigen Schaltkupplung. – G3.5.5 Auswahl einer Kupplungsgröße. – G3.5.6 Allgemeine Auswahlkriterien. – G3.5.7 Bremsen.	

G3.6	<b>Selbsttätig schaltende Kupplungen</b> . . . . .	G 76
	G3.6.1 Drehmomentgeschaltete Kupplungen. – G3.6.2 Drehzahlgeschaltete Kupplungen. – G3.6.3 Richtungsgeschaltete Kupplungen (Freiläufe).	
Literatur	. . . . .	G 78
<b>G4</b>	<b>Wälzlager</b> . . . . .	G 80
G4.1	<b>Kennzeichen und Eigenschaften der Wälzlager</b> . . . . .	G 80
G4.2	<b>Bauarten der Wälzlager</b> . . . . .	G 80
	G4.2.1 Lager für rotierende Bewegungen. – G4.2.2 Linearwälzlager.	
G4.3	<b>Wälzlagerkäfige</b> . . . . .	G 84
G4.4	<b>Wälzlagerwerkstoffe</b> . . . . .	G 84
G4.5	<b>Bezeichnungen für Wälzlager</b> . . . . .	G 85
G4.6	<b>Konstruktive Ausführung von Lagerungen</b> . . . . .	G 85
	G4.6.1 Konstruktive Ausführung von Lagerungen. – G4.6.2 Schwimmende oder Stütz-Traglagerung und angestellte Lagerung. – G4.6.3 Lagersitze, axiale und radiale Festlegung der Lagerringe. – G4.6.4 Lagerluft.	
G4.7	<b>Wälzlagerschmierung</b> . . . . .	G 87
	G4.7.1 Allgemeines. – G4.7.2 Fettschmierung. – G4.7.3 Ölschmierung. – G4.7.4 Feststoffschmierung.	
G4.8	<b>Wälzlagerdichtungen</b> . . . . .	G 90
G4.9	<b>Belastbarkeit und Lebensdauer der Wälzlager</b> . . . . .	G 91
	G4.9.1 Belastbarkeit und Lebensdauer der Wälzlager. – G4.9.2 Statische bzw. dynamische Tragfähigkeit und Lebensdauerberechnung.	
G4.10	<b>Bewegungswiderstand und Referenzdrehzahlen der Wälzlager</b> . . . . .	G 94
Literatur	. . . . .	G 95
<b>G5</b>	<b>Gleitlagerungen</b> . . . . .	G 96
G5.1	<b>Grundlagen</b> . . . . .	G 96
	G5.1.1 Aufgabe, Einteilung und Anwendungen. – G5.1.2 Wirkungsweise. – G5.1.3 Reibungszustände.	
G5.2	<b>Berechnung fluiddynamischer Gleitlager</b> . . . . .	G 97
	G5.2.1 Stationär belastete Radialgleitlager. – G5.2.2 Radialgleitlager im instationären Betrieb. – G5.2.3 Stationär belastete Axialgleitlager. – G5.2.4 Mehrgleitflächenlager.	
G5.3	<b>Hydrostatische Anfahrhilfen</b> . . . . .	G 104
G5.4	<b>Berechnung hydrostatischer Gleitlager</b> . . . . .	G 105
	G5.4.1 Hydrostatische Radialgleitlager. – G5.4.2 Hydrostatische Axialgleitlager.	
G5.5	<b>Dichtungen</b> . . . . .	G 106
G5.6	<b>Wartungsfreie Gleitlager</b> . . . . .	G 106
G5.7	<b>Konstruktive Gestaltung</b> . . . . .	G 107
	G5.7.1 Konstruktion und Schmierspaltausbildung. – G5.7.2 Lagerschmierung. – G5.7.3 Lagerkühlung. – G5.7.4 Lagerwerkstoffe. – G5.7.5 Lagerbauformen.	
Literatur	. . . . .	G 109
<b>G6</b>	<b>Zugmittelgetriebe</b> . . . . .	G 111
G6.1	<b>Bauarten, Anwendungen</b> . . . . .	G 111
G6.2	<b>Flachriemengetriebe</b> . . . . .	G 111
	G6.2.1 Kräfte am Flachriemengetriebe. – G6.2.2 Beanspruchungen. – G6.2.3 Geometrische Beziehungen. – G6.2.4 Kinematik, Leistung, Wirkungsgrad. – G6.2.5 Riemenlauf und Vorspannung. – G6.2.6 Riemenwerkstoffe. – G6.2.7 Entwurfsberechnung.	
G6.3	<b>Keilriemen</b> . . . . .	G 116
	G6.3.1 Anwendungen und Eigenschaften. – G6.3.2 Typen und Bauarten von Keilriemen. – G6.3.3 Entwurfsberechnung.	
G6.4	<b>Synchronriemen (Zahnriemen)</b> . . . . .	G 117
	G6.4.1 Aufbau, Eigenschaften, Anwendung. – G6.4.2 Gestaltungshinweise. – G6.4.3 Entwurfsberechnung.	
G6.5	<b>Kettengetriebe</b> . . . . .	G 118
	G6.5.1 Bauarten, Eigenschaften, Anwendung. – G6.5.2 Gestaltungshinweise. – G6.5.3 Entwurfsberechnung.	
Literatur	. . . . .	G 119

<b>G7</b>	<b>Reibradgetriebe</b>	G 120
G7.1	Wirkungsweise, Definitionen	G 120
G7.2	Bauarten, Beispiele	G 120
	G7.2.1 Reibradgetriebe mit festem Übersetzungsverhältnis. – G7.2.2 Wälzgetriebe mit stufenlos einstellbarer Übersetzung.	
G7.3	Berechnungsgrundlagen	G 123
	G7.3.1 Bohrbewegung. – G7.3.2 Schlupf. – G7.3.3 Übertragbare Leistung und Wirkungsgrad. – G7.3.4 Gebräuchliche Werkstoffpaarungen.	
G7.4	Hinweise für Anwendung und Betrieb	G 126
	Literatur	G 126
<b>G8</b>	<b>Zahnradgetriebe</b>	G 127
G8.1	Stirnräder	G 127
	G8.1.1 Verzahnungsgesetz. – G8.1.2 Übersetzung, Zähnezahverhältnis, Momentenverhältnis. – G8.1.3 Konstruktion von Eingriffslinie und Gegenflanke. – G8.1.4 Flankenlinien und Formen der Verzahnung. – G8.1.5 Allgemeine Verzahnungsgrößen. – G8.1.6 Gleit- und Rollbewegung. – G8.1.7 Evolventenverzahnung. – G8.1.8 Sonstige Verzahnungen (außer Evolventen) und ungleichmäßig übersetzende Zahnräder.	
G8.2	Verzahnungsabweichungen und -toleranzen, Flankenspiel	G 133
G8.3	Schmierung und Kühlung	G 134
	G8.3.1 Schmierstoff und Schmierungsart.	
G8.4	Werkstoffe und Wärmebehandlung – Verzahnungsherstellung	G 136
	G8.4.1 Typische Beispiele aus verschiedenen Anwendungsgebieten. – G8.4.2 Werkstoffe und Wärmebehandlung – Gesichtspunkte für die Auswahl.	
G8.5	Tragfähigkeit von Gerad- und Schrägstirnrädern	G 136
	G8.5.1 Zahnschäden und Abhilfen. – G8.5.2 Pflichtenheft. – G8.5.3 Anhaltswerte für die Dimensionierung. – G8.5.4 Nachrechnung der Tragfähigkeit.	
G8.6	Kegelräder	G 144
	G8.6.1 Geradzahn-Kegelräder. – G8.6.2 Kegelräder mit Schräg- oder Bogenverzahnung. – G8.6.3 Zahnform. – G8.6.4 Kegelrad-Geometrie. – G8.6.5 Tragfähigkeit. – G8.6.6 Lagerkräfte. – G8.6.7 Hinweise zur Konstruktion von Kegelrädern. – G8.6.8 Sondergetriebe.	
G8.7	Stirnschraubräder	G 147
G8.8	Schneckengetriebe	G 147
	G8.8.1 Zylinderschnecken-Geometrie. – G8.8.2 Auslegung. – G8.8.3 Zahnkräfte, Lagerkräfte. – G8.8.4 Geschwindigkeiten, Beanspruchungskennwerte. – G8.8.5 Reibungszahl, Wirkungsgrad. – G8.8.6 Nachrechnung der Tragfähigkeit. – G8.8.7 Gestaltung, Werkstoffe, Lagerung, Genauigkeit, Schmierung, Montage.	
G8.9	Umlaufgetriebe	G 152
	G8.9.1 Kinematische Grundlagen, Bezeichnungen. – G8.9.2 Allgemeingültigkeit der Berechnungsgleichungen. – G8.9.3 Vorzeichenregeln. – G8.9.4 Drehmomente, Leistungen, Wirkungsgrade. – G8.9.5 Selbsthemmung und Teilhemmung. – G8.9.6 Konstruktive Hinweise. – G8.9.7 Auslegung einfacher Planetengetriebe. – G8.9.8 Zusammengesetzte Planetengetriebe.	
G8.10	Gestaltung der Zahnradgetriebe	G 161
	G8.10.1 Bauarten. – G8.10.2 Anschluss an Motor und Arbeitsmaschine. – G8.10.3 Gestalten und Bemaßen der Zahnräder. – G8.10.4 Gestalten der Gehäuse. – G8.10.5 Lagerung.	
	Literatur	G 164
<b>G9</b>	<b>Getriebetechnik</b>	G 167
G9.1	Getriebesystematik	G 167
	G9.1.1 Grundlagen. – G9.1.2 Arten ebener Getriebe.	
G9.2	Getriebeanalyse	G 171
	G9.2.1 Kinematische Analyse ebener Getriebe. – G9.2.2 Kinetostatische Analyse ebener Getriebe. – G9.2.3 Kinematische Analyse räumlicher Getriebe. – G9.2.4 Laufgüte der Getriebe.	
G9.3	Getriebesynthese	G 175
	G9.3.1 Viergelenkgetriebe. – G9.3.2 Kurvengetriebe.	
G9.4	Sondergetriebe	G 177
	Literatur	G 177
<b>G10</b>	<b>Anhang G: Diagramme und Tabellen</b>	G 179
	Literatur zu Teil G Mechanische Konstruktionselemente	G 196

**H Fluidische Antriebe**

<b>H1</b>	<b>Hydrostatik und Pneumatik in der Antriebstechnik</b> . . . . .	H 2
H1.1	Das hydrostatische Getriebe . . . . .	H 2
	H1.1.1 Elemente des Hydrostatischen Getriebes. – H1.1.2 Berechnung des Betriebsverhaltens des Hydrostatischen Getriebes. – H1.1.3 Energieübertragung durch Gase.	
<b>H2</b>	<b>Bauelemente hydrostatischer Getriebe</b> . . . . .	H 6
H2.1	Verdrängermaschinen mit rotierender Welle . . . . .	H 6
	H2.1.1 Zahnradpumpen und Zahnring-(Gerotor-)pumpen. – H2.1.2 Flügelzellenpumpen. – H2.1.3 Kolbenpumpen. – H2.1.4 Andere Pumpenbauarten. – H2.1.5 Hydromotoren in Umlaufverdrängerbauart. – H2.1.6 Hydromotoren in Hubverdränger-(Kolben-)bauart.	
H2.2	Verdrängermaschinen mit translatorischem (Ein- und) Ausgang . . . . .	H 12
H2.3	Hydroventile . . . . .	H 12
	H2.3.1 Wegeventile. – H2.3.2 Sperrventile. – H2.3.3 Druckventile. – H2.3.4 Stromventile. – H2.3.5 Proportionalventile. – H2.3.6 Servoventile. – H2.3.7 Ventile für spezielle Anwendungen.	
H2.4	Hydraulikflüssigkeiten . . . . .	H 15
H2.5	Hydraulikzubehör . . . . .	H 16
<b>H3</b>	<b>Aufbau und Funktion der Hydrostatischen Getriebe</b> . . . . .	H 17
H3.1	Hydrostatische Kreisläufe . . . . .	H 17
	H3.1.1 Offener Kreislauf. – H3.1.2 Geschlossener Kreislauf. – H3.1.3 Halboffener Kreislauf.	
H3.2	Funktion des Hydrostatischen Getriebes . . . . .	H 17
	H3.2.1 Funktion des Hydrostatischen Getriebes. – H3.2.2 Dynamisches Betriebsverhalten.	
H3.3	Steuerung der Getriebeübersetzung . . . . .	H 18
	H3.3.1 Steuerung der Getriebeübersetzung. – H3.3.2 Selbsttätig arbeitende Regler und Verstellungen an Verstellmaschinen.	
<b>H4</b>	<b>Auslegung und Ausführung von Hydrostatischen Getrieben</b> . . . . .	H 20
H4.1	Schaltungen . . . . .	H 20
H4.2	Projektierung, Dimensionierung und konstruktive Gestaltung . . . . .	H 21
	H4.2.1 Projektierung. – H4.2.2 Dimensionierung. – H4.2.3 Konstruktive Gestaltung. – H4.2.4 Werkzeuge.	
<b>H5</b>	<b>Pneumatische Antriebe</b> . . . . .	H 23
H5.1	Bauelemente . . . . .	H 23
H5.2	Schaltung . . . . .	H 23
<b>H6</b>	<b>Anhang H: Diagramme und Tabellen</b> . . . . .	H 24
	Literatur zu Teil H Fluidische Antriebe . . . . .	H 27

**I Biomedizinische Technik**

<b>I1</b>	<b>Einführung</b> . . . . .	I 2
<b>I2</b>	<b>Einteilung von Medizinprodukten</b> . . . . .	I 3
<b>I3</b>	<b>Ausgewählte Beispiele wichtiger medizintechnischer Geräte</b> . . . . .	I 4
I3.1	Bildgebung . . . . .	I 4
	I3.1.1 Definition und Aufgabe. – I3.1.2 Modalitäten. – I3.1.3 Trends und Aspekte.	
I3.2	Monitoring . . . . .	I 8
	I3.2.1 Patientenmonitoring. – I3.2.2 Maschinenmonitoring. – I3.2.3 Alarmgebung. – I3.2.4 Zentrale Überwachung. – I3.2.5 Gerätetechnik.	
I3.3	Beatmung, Inhalationsnarkose . . . . .	I 10
	I3.3.1 Beatmung. – I3.3.2 Inhalationsnarkose. – I3.3.3 Gasdosierung. – I3.3.4 Narkosemitteldosierung. – I3.3.5 Kreissystem. – I3.3.6 CO <sub>2</sub> -Absorber. – I3.3.7 Ventilator. – I3.3.8 Gas-, Druck- und Flussmessung.	
I3.4	Therapie von Herzrhythmusstörungen . . . . .	I 12
I3.5	Blutreinigung (Dialyse) . . . . .	I 14

I3.6	Pumpen für Infusionen und Herzunterstützung . . . . .	I 16
	I3.6.1 Herzunterstützungssysteme.	
I3.7	Minimal-invasive Technologien . . . . .	I 18
	I3.7.1 Endoskopische Techniken. – I3.7.2 Endoskope. – I3.7.3 Interventionelle Kardiologie.	
I3.8	Orthopädische Implantate . . . . .	I 21
I3.9	Gliedmaßenprothetik (Exoprothetik der Extremitäten) . . . . .	I 22
I3.10	Wärmetherapiegeräte für Früh- und Neugeborene . . . . .	I 25
<b>I4</b>	<b>Entwicklung und Zulassung von Medizinprodukten</b> . . . . .	<b>I 27</b>
<b>I5</b>	<b>Aufbereitung</b> . . . . .	<b>I 29</b>
<b>I6</b>	<b>Telemedizin</b> . . . . .	<b>I 30</b>
<b>I7</b>	<b>Physiologische Regelkreise</b> . . . . .	<b>I 31</b>
Literatur	. . . . .	I 33

## **K Thermischer Apparatebau und Industrieöfen**

<b>K1</b>	<b>Industrieöfen</b> . . . . .	<b>K 2</b>
K1.1	Grundlagen . . . . .	K 2
K1.2	Charakterisierung . . . . .	K 2
K1.3	Spezifischer Energieverbrauch . . . . .	K 3
K1.4	Wärmerückgewinnung durch Luftvorwärmung . . . . .	K 5
Literatur	. . . . .	K 6
<b>K2</b>	<b>Drehrohröfen</b> . . . . .	<b>K 7</b>
K2.1	Bauarten und Prozesse . . . . .	K 7
	K2.1.1 Wirkungsweise. – K2.1.2 Materialtransport. – K2.1.3 Beheizung. – K2.1.4 Drehrohrmantel. – K2.1.5 Lagerung und Antrieb. – K2.1.6 Ofenköpfe. – K2.1.7 Thermische Behandlungsprozesse.	
K2.2	Quertransport . . . . .	K 10
	K2.2.1 Arten der Querbewegung. – K2.2.2 Rolling Motion. – K2.2.3 Segregation.	
K2.3	Axialtransport . . . . .	K 12
	K2.3.1 Bettiefenprofil. – K2.3.2 Mittlere Verweilzeit.	
K2.4	Wärmeübergang . . . . .	K 12
	K2.4.1 Gesamtmechanismus. – K2.4.2 Direkter Wärmeübergang. – K2.4.3 Regenerativer Wärmeübergang. – K2.4.4 Axiale Temperaturverläufe.	
Literatur	. . . . .	K 14
<b>K3</b>	<b>Schacht-, Kupol- und Hochöfen</b> . . . . .	<b>K 16</b>
K3.1	Prozesse und Funktionsweisen . . . . .	K 16
K3.2	Strömung . . . . .	K 16
	K3.2.1 Druckverlust. – K3.2.2 Lückengrad.	
K3.3	Wärme- und Stoffübertragung . . . . .	K 18
K3.4	Axiale Temperatur- und Massenstromprofile . . . . .	K 18
Literatur	. . . . .	K 18
<b>K4</b>	<b>Öfen für geformtes Gut</b> . . . . .	<b>K 19</b>
K4.1	Betriebsweise . . . . .	K 19
K4.2	Durchlauföfen . . . . .	K 19
	K4.2.1 Stoßofen. – K4.2.2 Hubbalkenofen. – K4.2.3 Tunnelwagenofen. – K4.2.4 Rollenherdofen. – K4.2.5 Konstruktive Merkmale. – K4.2.6 Verfahrenstechnische Merkmale.	
K4.3	Beschreibung von Chargenöfen . . . . .	K 24
K4.4	Beheizung . . . . .	K 25
	K4.4.1 Direkte Beheizung. – K4.4.2 Indirekte Beheizung. – K4.4.3 Elektrobeheizung.	
K4.5	Wärmeübertragung . . . . .	K 29
	K4.5.1 Strahlung in Industrieöfen. – K4.5.2 Konvektion. – K4.5.3 Wärmeübergang ins Solid.	
Literatur	. . . . .	K 37

<b>K5</b>	<b>Feuerfestmaterialien</b>	K 38
Literatur		K 40
<b>K6</b>	<b>Wärmeübertrager</b>	K 41
K6.1	Konstante Wärmestromdichte	K 41
K6.2	Konstante Wandtemperatur	K 41
K6.3	Wärmeübertragung Fluid–Fluid	K 42
	K6.3.1 Temperaturverläufe. – K6.3.2 Gleiche Kapazitätsströme(Gegenstrom). – K6.3.3 Ungleiche Kapazitätsstromverhältnisse.	
K6.4	Auslegung von Wärmeübertragern	K 43
K6.5	Kondensatoren	K 44
	K6.5.1 Grundbegriffe der Kondensation. – K6.5.2 Oberflächenkondensatoren. – K6.5.3 Luftgekühlte Kondensatoren.	
Literatur		K 45
<b>K7</b>	<b>Konstruktionselemente von Apparaten und Rohrleitungen</b>	K 46
K7.1	Berechnungsgrundlagen	K 46
K7.2	Zylindrische Mäntel und Rohre unter innerem Überdruck	K 46
K7.3	Zylindrische Mäntel unter äußerem Überdruck	K 47
K7.4	Ebene Böden	K 48
	K7.4.1 Wanddicke verschraubter runder ebener Böden ohne Ausschnitt. – K7.4.2 Wanddicke ebener Böden mit Ausschnitten.	
K7.5	Gewölbte Böden	K 49
K7.6	Ausschnitte	K 50
	K7.6.1 Spannungsbeanspruchte Querschnitte. – K7.6.2 Druckbeanspruchte Querschnittsflächen $A_p$ .	
K7.7	Flanschverbindungen	K 51
	K7.7.1 Schrauben. – K7.7.2 Flansche.	
K7.8	Rohrleitungen	K 55
	K7.8.1 Rohrleitungen. – K7.8.2 Strömungsverluste. – K7.8.3 Rohrarten, Normen, Werkstoffe. – K7.8.4 Rohrverbindungen. – K7.8.5 Dehnungsausgleicher. – K7.8.6 Rohralterungen.	
K7.9	Absperr- und Regelorgane	K 59
	K7.9.1 Absperr- und Regelorgane. – K7.9.2 Ventile. – K7.9.3 Schieber. – K7.9.4 Hähne (Drehschieber). – K7.9.5 Klappen.	
K7.10	Dichtungen	K 63
	K7.10.1 Berührungsdichtungen an ruhenden Flächen. – K7.10.2 Berührungsdichtungen an gleitenden Flächen.	
Literatur		K 65
<b>K8</b>	<b>Intensivkühlung heißer Metalle mit Flüssigkeiten</b>	K 66
K8.1	Phänomenologie	K 66
K8.2	Tauchkühlung	K 68
K8.3	Spritzkühlung	K 69
	K8.3.1 Düsenteknik. – K8.3.2 Wärmeübergangsmechanismus. – K8.3.3 Filmverdampfung. – K8.3.4 Einfluss der Wassertemperatur.	
K8.4	Wasserqualität	K 71
Literatur		K 72
<b>K9</b>	<b>Anhang K: Diagramme und Tabellen</b>	K 73
Literatur zu Teil K Thermischer Apparatebau und Industrieöfen		K 76
<b>L</b>	<b>Energietechnik und -wirtschaft</b>	
<b>L1</b>	<b>Grundsätze der Energieversorgung</b>	L 2
L1.1	Planung und Investitionen	L 3
L1.2	Elektrizitätswirtschaft	L 4
L1.3	Gaswirtschaft	L 7

L1.4	Fernwärmewirtschaft	L 8
	Literatur	L 9
<b>L2</b>	<b>Primärenergien</b>	L 10
L2.1	Definitionen	L 10
L2.2	Feste Brennstoffe	L 10
	L2.2.1 Natürliche feste Brennstoffe. – L2.2.2 Künstliche feste Brennstoffe. – L2.2.3 Abfallbrennstoffe. – L2.2.4 Eigenschaften. – L2.2.5 Mineralische Bestandteile.	
L2.3	Flüssige Brennstoffe	L 12
	L2.3.1 Zusammensetzung. – L2.3.2 Natürliche flüssige Brennstoffe. – L2.3.3 Künstliche flüssige Brennstoffe. – L2.3.4 Abfallbrennstoffe. – L2.3.5 Eigenschaften.	
L2.4	Gasförmige Brennstoffe oder Brenngase	L 14
	L2.4.1 Natürliche Brenngase. – L2.4.2 Künstliche Brenngase. – L2.4.3 Abfallbrenngase. – L2.4.4 Eigenschaften.	
L2.5	Kernbrennstoffe	L 15
	L2.5.1 Brutprozess. – L2.5.2 Brennstoffkreislauf. – L2.5.3 Endlagerung radioaktiver Abfälle.	
L2.6	Regenerative Energien	L 18
	L2.6.1 Wasserenergie. – L2.6.2 Windenergie. – L2.6.3 Solarenergie. – L2.6.4 Geothermische Energie. – L2.6.5 Biogas. – L2.6.6 Biomasse.	
	Literatur	L 23
<b>L3</b>	<b>Wandlung von Primärenergie in Nutzenergie</b>	L 24
L3.1	Fossile Brennstoffe	L 24
	L3.1.1 Wärmekraftwerke. – L3.1.2 Kombi-Kraftwerke. – L3.1.3 Brennstoffzelle.	
L3.2	Kraft-Wärme-Kopplung	L 30
	L3.2.1 KWK-Anlagen mit Verbrennungsmotoren. – L3.2.2 KWK-Anlagen mit Gasturbinen. – L3.2.3 KWK-Anlagen mit Dampfturbinen. – L3.2.4 Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen. – L3.2.5 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz.	
L3.3	Strom-/Wärmeerzeugung mit regenerativen Energien	L 32
	L3.3.1 Wasserkraftanlagen (s. L2.6 section). – L3.3.2 Windkraftanlagen. – L3.3.3 Anlagen zur Nutzung der Sonnenenergie. – L3.3.4 Wärmepumpen.	
L3.4	Kernkraftwerke	L 40
	L3.4.1 Bauteile des Reaktors und Reaktorgebäude. – L3.4.2 Sicherheitstechnik von Kernreaktoren. – L3.4.3 Leistungsregelung bei Kernreaktoren. – L3.4.4 Bauarten von Kernreaktoren.	
L3.5	Umweltschutztechnologien	L 44
	L3.5.1 Rauchgasentstaubung. – L3.5.2 Rauchgasentschwefelung. – L3.5.3 Rauchgasentstickung. – L3.5.4 Kohlendioxidabscheidung. – L3.5.5 Entsorgung der Kraftwerksnebenprodukte.	
	Literatur	L 47
<b>L4</b>	<b>Verteilen und Speicherung von Nutzenergie</b>	L 49
L4.1	Energietransport	L 49
	L4.1.1 Mineralöltransporte. – L4.1.2 Erdgastransporte. – L4.1.3 Elektrische Verbundnetze. – L4.1.4 Fernwärmetransporte.	
L4.2	Energiespeicherung	L 51
	L4.2.1 Pumpspeicherwerke. – L4.2.2 Druckluftspeicherwerke. – L4.2.3 Dampfspeicherung. – L4.2.4 Elektrische Speicher.	
	Literatur	L 54
<b>L5</b>	<b>Feuerungen</b>	L 56
L5.1	Technische Feuerungen	L 56
	L5.1.1 Feuerung in einem Dampferzeuger. – L5.1.2 Einteilung von Feuerungen für gasförmige, flüssige und feste Brennstoffe.	
L5.2	Verbrennung	L 56
	L5.2.1 Verbrennungsvorgang. – L5.2.2 Kennzahlen. – L5.2.3 Emissionsgrenzwerte.	
L5.3	Feuerungen für gasförmige Brennstoffe	L 58
	L5.3.1 Verbrennung und Brenner-einteilung. – L5.3.2 Brennerbauarten.	
L5.4	Feuerungen für flüssige Brennstoffe	L 59
	L5.4.1 Besondere Eigenschaften. – L5.4.2 Brenner. – L5.4.3 Gesamtanlage.	
L5.5	Feuerungen für feste Brennstoffe	L 61
	L5.5.1 Kohlenstaubfeuerung. – L5.5.2 Wirbelschichtfeuerung. – L5.5.3 Rostfeuerungen.	

L5.6	Allgemeines Feuerzuzubehör . . . . .	L 71
	L5.6.1 Gebläse. – L5.6.2 Schornstein.	
Literatur	. . . . .	L 72
<b>L6</b>	<b>Dampferzeuger</b> . . . . .	L 73
L6.1	Angaben zum System . . . . .	L 73
	L6.1.1 Entwicklungsstufen. – L6.1.2 Dampferzeugersysteme. – L6.1.3 Drücke. – L6.1.4 Temperaturen. – L6.1.5 Dampfleistungen. – L6.1.6 Sicherheit.	
L6.2	Ausgeführte Dampferzeuger . . . . .	L 74
	L6.2.1 Großwasserraumkessel. – L6.2.2 Naturumlaufkessel für fossile Brennstoffe. – L6.2.3 Zwanglaufkessel für fossile Brennstoffe.	
L6.3	Bauelemente von Dampferzeugern . . . . .	L 77
	L6.3.1 Verdampfer. – L6.3.2 Überhitzer und Zwischenüberhitzer. – L6.3.3 Speisewasservorwärmer (Eco). – L6.3.4 Luftvorwärmer (Luvo). – L6.3.5 Speisewasseraufbereitung.	
L6.4	Wärmetechnische Berechnung . . . . .	L 80
	L6.4.1 Energiebilanz und Wirkungsgrad. – L6.4.2 Ermittlung der Heizfläche. – L6.4.3 Strömungswiderstände. – L6.4.4 Festigkeitsberechnung.	
Literatur	. . . . .	L 81
<b>L7</b>	<b>Anhang L: Diagramme und Tabellen</b> . . . . .	L 82
<b>M</b>	<b>Kälte-, Klima- und Heizungstechnik</b>	
<b>M1</b>	<b>Kältetechnik</b> . . . . .	M 2
M1.1	Einsatzgebiete . . . . .	M 2
M1.2	Kältetechnische Verfahren . . . . .	M 2
	M1.2.1 Kaltdampf-Kompressionskälteanlage. – M1.2.2 Absorptionskälteanlage. – M1.2.3 Verdunstungskühlverfahren.	
M1.3	Kältetechnische Betriebsstoffe . . . . .	M 5
	M1.3.1 Kältemittel. – M1.3.2 Kältemaschinen-Öle. – M1.3.3 Kühlsole.	
M1.4	Systeme und Bauteile der kältetechnischen Anlagen . . . . .	M 9
	M1.4.1 Kältemittelverdichter. – M1.4.2 Verdampfer. – M1.4.3 Verflüssiger. – M1.4.4 Sonstige Bauteile.	
M1.5	Direktverdampfer-Anlagen . . . . .	M 13
	M1.5.1 Verflüssigersätze, Splittergeräte für Klimaanlage.	
M1.6	Kaltwassersätze . . . . .	M 14
	M1.6.1 Kompressions-Kaltwassersätze. – M1.6.2 Absorptions-Kaltwassersatz.	
M1.7	Rückkühlwerke . . . . .	M 16
	M1.7.1 Kühlwassertemperaturen im Jahresverlauf. – M1.7.2 Wasserbehandlung.	
M1.8	Freie Kühlung . . . . .	M 17
	M1.8.1 Freie Kühlung. – M1.8.2 Freie Kühlung durch Solekreislauf. – M1.8.3 Freie Kühlung durch Kältemittel-Pumpen-System. – M1.8.4 Freie Kühlung durch Rückkühlwerk.	
M1.9	Speichersysteme . . . . .	M 18
	M1.9.1 Eisspeichersysteme. – M1.9.2 Kältespeicherung in eutektischer Lösung. – M1.9.3 Kältespeicherung in Binäreis.	
M1.10	Wärmepumpenanlagen . . . . .	M 20
	M1.10.1 Wärmequellen. – M1.10.2 Kleinwärmepumpen. – M1.10.3 Wärmepumpen größerer Leistung. – M1.10.4 Absorptionswärmepumpen. – M1.10.5 Wärmepumpensysteme Heizbetrieb. – M1.10.6 Systeme für gleichzeitigen Kühl- und Heizbetrieb. – M1.10.7 Wärmepumpen in Heizsystemen.	
Literatur	. . . . .	M 25
<b>M2</b>	<b>Klimatechnik</b> . . . . .	M 28
M2.1	Anforderungen an das Raumklima . . . . .	M 28
	M2.1.1 Raumluftfeuchte. – M2.1.2 Raumluftgeschwindigkeit. – M2.1.3 Schadstoffgehalt. – M2.1.4 Weitere Einflussgrößen.	
M2.2	Auslegung von Klimaanlage . . . . .	M 32
	M2.2.1 Meteorologische Grundlagen. – M2.2.2 Heizlast. – M2.2.3 Kühllast. – M2.2.4 Luft-Volumenstrom.	
M2.3	Luftführung und Luftdurchlässe . . . . .	M 35
	M2.3.1 Luftführung. – M2.3.2 Luftdurchlässe.	



M2.4	<b>Komponenten von Lüftungs- und Klimaanlage</b> . . . . .	M 40
	M2.4.1 Ventilatoren. – M2.4.2 Lufterhitzer, -kühler. – M2.4.3 Luftbefeuchter. – M2.4.4 Wärmerückgewinnung. – M2.4.5 Luftfilter. – M2.4.6 Schalldämpfer. – M2.4.7 Luftkanalsystem. – M2.4.8 Mess- und Regelungstechnik.	
M2.5	<b>Lüftungsanlage</b> . . . . .	M 59
	M2.5.1 Einrichtungen zur freien Lüftung. – M2.5.2 Mechanische Lüftungsanlagen.	
M2.6	<b>Zentrale Raumluftechnische Anlagen</b> . . . . .	M 60
	M2.6.1 Zentrale Raumluftechnische Anlagen. – M2.6.2 Nur-Luft-Anlagen. – M2.6.3 Luft-Wasser-Anlagen.	
M2.7	<b>Dezentrale Klimaanlage</b> . . . . .	M 65
M2.8	<b>Berücksichtigung von Klimaanlage nach Energieeinsparverordnung</b> . . . . .	M 67
	<b>Literatur</b> . . . . .	M 69
<b>M3</b>	<b>Systeme und Bauteile der Heizungstechnik</b> . . . . .	M 72
M3.1	<b>Einzelheizung</b> . . . . .	M 72
M3.2	<b>Zentralheizung</b> . . . . .	M 72
	M3.2.1 Systeme. – M3.2.2 Raum-Heizkörper, -Heizflächen. – M3.2.3 Rohrnetz. – M3.2.4 Armaturen. – M3.2.5 Umwälzpumpen. – M3.2.6 Wärmeerzeugung. – M3.2.7 Heizzentrale. – M3.2.8 Wärmeverbrauchsermittlung.	
	<b>Literatur</b> . . . . .	M 80
<b>M4</b>	<b>Anhang M: Diagramme und Tabellen</b> . . . . .	M 83
 <b>N Grundlagen der Verfahrenstechnik</b>		
<b>N1</b>	<b>Einführung</b> . . . . .	N 2
	<b>Literatur</b> . . . . .	N 3
<b>N2</b>	<b>Mechanische Verfahrenstechnik</b> . . . . .	N 4
N2.1	<b>Einführung</b> . . . . .	N 4
N2.2	<b>Zerkleinern</b> . . . . .	N 4
	N2.2.1 Bruchphysik. – N2.2.2 Zerkleinerungsmaschinen.	
N2.3	<b>Agglomerieren/Granulieren</b> . . . . .	N 5
	N2.3.1 Bindemechanismen, Agglomeratfestigkeit. – N2.3.2 Agglomerationstechnik.	
N2.4	<b>Trennen</b> . . . . .	N 7
	N2.4.1 Abscheiden von Partikeln aus Gasen. – N2.4.2 Abscheiden von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten. – N2.4.3 Klassieren in Gasen.	
N2.5	<b>Mischen von Feststoffen</b> . . . . .	N 9
N2.6	<b>Lagern</b> . . . . .	N 9
	N2.6.1 Fließverhalten von Schüttgütern. – N2.6.2 Dimensionierung von Silos.	
	<b>Literatur</b> . . . . .	N 10
<b>N3</b>	<b>Thermische Verfahrenstechnik</b> . . . . .	N 11
N3.1	<b>Absorbieren, Rektifizieren, Flüssig-flüssig-Extrahieren</b> . . . . .	N 11
	N3.1.1 Durchsatz. – N3.1.2 Stofftrennung.	
N3.2	<b>Verdampfen und Kristallisieren</b> . . . . .	N 14
N3.3	<b>Adsorbieren, Trocknen, Fest-flüssig-Extrahieren</b> . . . . .	N 16
N3.4	<b>Membrantrennverfahren</b> . . . . .	N 18
	<b>Literatur</b> . . . . .	N 19
<b>N4</b>	<b>Chemische Verfahrenstechnik</b> . . . . .	N 20
N4.1	<b>Einleitung</b> . . . . .	N 20
N4.2	<b>Stöchiometrie</b> . . . . .	N 20
N4.3	<b>Chemische Thermodynamik</b> . . . . .	N 21
N4.4	<b>Kinetik chemischer Reaktionen</b> . . . . .	N 22
N4.5	<b>Ideale isotherme Reaktoren</b> . . . . .	N 23

N4.6	Reale Reaktoren . . . . .	N 25
	Literatur . . . . .	N 27
<b>N5</b>	<b>Mehrphasenströmungen</b> . . . . .	N 28
N5.1	Einphasenströmung . . . . .	N 28
N5.2	Widerstand fester und fluider Partikel . . . . .	N 28
N5.3	Feststoff/Fluidströmung . . . . .	N 29
	N5.3.1 Pneumatische Förderung. – N5.3.2 Hydraulische Förderung. – N5.3.3 Wirbelschicht.	
N5.4	Gas-/Flüssigkeitsströmung . . . . .	N 34
	N5.4.1 Strömungsform. – N5.4.2 Druckverlust. – N5.4.3 Filmströmung.	
	Literatur . . . . .	N 35
<b>N6</b>	<b>Bioverfahrenstechnik</b> . . . . .	N 36
N6.1	Mikroorganismen mit technischer Bedeutung . . . . .	N 36
	N6.1.1 Bakterien. – N6.1.2 Pilze. – N6.1.3 Hefen. – N6.1.4 Algen. – N6.1.5 Viren. – N6.1.6 Pflanzliche und tierische Zellen.	
N6.2	Kultivierungsbedingungen . . . . .	N 38
	N6.2.1 Wachstumsbedingungen. – N6.2.2 Phänomenologie des Wachstums. – N6.2.3 Ablauf technischer Kultivierungen. – N6.2.4 Prozessbeispiel – Produktion monoklonaler Antikörper.	
N6.3	Sterilisation . . . . .	N 43
	N6.3.1 Hitzesterilisation. – N6.3.2 Sterilfiltration.	
N6.4	Bioreaktoren . . . . .	N 45
	N6.4.1 Oberflächenkultivierung. – N6.4.2 Submerskultivierung. – N6.4.3 Mess- und Regelungstechnik. – N6.4.4 Schaumzerstörung. – N6.4.5 Steriler Betrieb.	
N6.5	Kinetik enzymatischer Reaktionen . . . . .	N 48
	N6.5.1 Katalytische Wirkung der Enzyme. – N6.5.2 Michaelis-Menten-Kinetik. – N6.5.3 Transformationen der Michaelis-Menten-Gleichung. – N6.5.4 Einfluss von Temperatur, pH- Wert, Inhibitoren und Aktivatoren.	
N6.6	Kinetik des mikrobiellen Wachstums . . . . .	N 50
	N6.6.1 Substratlimitiertes Wachstum. – N6.6.2 Wachstumshemmung. – N6.6.3 Wachstum mit Transportlimitierung. – N6.6.4 Wachstum in kontinuierlicher Kultivierung. – N6.6.5 <i>Fed Batch</i> - Kultivierung. – N6.6.6 Zellerhaltung. – N6.6.7 Filamentöses Wachstum. – N6.6.8 Rheologie von Kultivierungsbrühen. – N6.6.9 Produktbildungskinetik.	
	Literatur . . . . .	N 57
<b>O</b>	<b>Maschinendynamik</b>	
<b>O1</b>	<b>Schwingungen</b> . . . . .	O 2
O1.1	Problematik der Maschinenschwingungen . . . . .	O 2
O1.2	Grundbegriffe der Schwingungsanalyse . . . . .	O 2
	O1.2.1 Mechanisches Ersatzsystem. – O1.2.2 Bewegungsgleichungen, Systemmatrizen. – O1.2.3 Modale Parameter – Eigenfrequenzen, modale Dämpfungen, Eigenvektoren. – O1.2.4 Modale Analyse. – O1.2.5 Frequenzgangfunktionen mechanischer Systeme, Amplituden- und Phasengang.	
O1.3	Grundaufgaben der Maschinendynamik . . . . .	O 5
	O1.3.1 Direktes Problem. – O1.3.2 Eingangsproblem. – O1.3.3 Identifikationsproblem. – O1.3.4 Entwurfsproblem. – O1.3.5 Verbesserung des Schwingungszustands einer Maschine.	
O1.4	Darstellung von Schwingungen im Zeit- und Frequenzbereich . . . . .	O 7
	O1.4.1 Darstellung von Schwingungen im Zeitbereich. – O1.4.2 Darstellung von Schwingungen im Frequenzbereich.	
O1.5	Entstehung von Maschinenschwingungen, Erregerkräfte $F(t)$ . . . . .	O 9
	O1.5.1 Entstehung von Maschinenschwingungen, Erregerkräfte $F(t)$ . – O1.5.2 Selbsterregte Schwingungen. – O1.5.3 Parametererregte Schwingungen. – O1.5.4 Erzwungene Schwingungen.	
O1.6	Mechanische Ersatzsysteme, Bewegungsgleichungen . . . . .	O 12
	O1.6.1 Strukturfestlegung. – O1.6.2 Parameterermittlung.	
O1.7	Anwendungsbeispiele für Maschinenschwingungen . . . . .	O 13
	O1.7.1 Drehschwinger mit zwei Drehmassen. – O1.7.2 Torsionsschwingungen einer Turbogruppe. – O1.7.3 Maschinenwelle mit einem Laufrad (Ventilator). – O1.7.4 Tragstruktur (Balken) mit aufgesetzter Maschine.	
	Literatur . . . . .	O 21

<b>O2</b>	<b>Kurbeltrieb, Massenkkräfte und -momente, Schwungradberechnung</b>	O 23
O2.1	Drehkraftdiagramm von Mehrzylindermaschinen	O 23
O2.2	Massenkkräfte und Momente	O 25
	O2.2.1 Analytische Verfahren. – O2.2.2 Ausgleich der Kräfte und Momente.	
Literatur		O 30
<b>O3</b>	<b>Maschinenakustik</b>	O 31
O3.1	Grundbegriffe	O 31
	O3.1.1 Schall, Frequenz, Hörbereich, Schalldruck, Schalldruckpegel, Lautstärke. – O3.1.2 Schnelle, Schnellepegel, Kennimpedanz. – O3.1.3 Schallintensität, Schallintensitätspegel. – O3.1.4 Schallleistung, Schallleistungspegel. – O3.1.5 Fourierspektrum, Spektrogramm, Geräuschanalyse. – O3.1.6 Frequenzbewertung, A-, C- und Z-Bewertung. – O3.1.7 Bezugswerte, Pegelarithmetik.	
O3.2	Geräuschenstehung	O 33
	O3.2.1 Direkte und indirekte Geräuschenstehung. – O3.2.2 Maschinenakustische Grundgleichung. – O3.2.3 Anregungskräfte. – O3.2.4 Körperschallfunktion. – O3.2.5 Luftschallabstrahlung.	
O3.3	Möglichkeiten zur Geräuschkinderung	O 36
	O3.3.1 Verminderung der Kraftanregung. – O3.3.2 Verminderung der Körperschallfunktion. – O3.3.3 Verminderung der Luftschallabstrahlung.	
O3.4	Aktive Maßnahmen zur Lärm- und Schwingungsminderung	O 38
O3.5	Numerische Verfahren zur Simulation von Luft- und Körperschall	O 41
O3.6	Strukturintensität und Körperschallfluss	O 41
Literatur		O 43
<b>P</b>	<b>Kolbenmaschinen</b>	
<b>P1</b>	<b>Allgemeine Grundlagen der Kolbenmaschinen</b>	P 2
P1.1	Definition und Einteilung der Kolbenmaschinen	P 2
P1.2	Vollkommene und reale Kolbenmaschine	P 2
	P1.2.1 Die vollkommene Maschine. – P1.2.2 Die reale Maschine.	
P1.3	Hubkolbenmaschinen	P 4
	P1.3.1 Hubkolbenmaschinen. – P1.3.2 Kinematik des Kurbeltriebs. – P1.3.3 Kräfte am Kurbeltrieb.	
P1.4	Elemente der Kolbenmaschine	P 9
	P1.4.1 Elemente der Kolbenmaschine. – P1.4.2 Abdichten des Arbeitsraumes. – P1.4.3 Zylinderanordnung und -zahl. – P1.4.4 Lagerung und Schmierung. – P1.4.5 Kühlung.	
Literatur		P 13
<b>P2</b>	<b>Verdrängerpumpen</b>	P 14
P2.1	Bauarten und Anwendungsgebiete	P 14
P2.2	Berechnungsgrundlagen	P 15
	P2.2.1 Berechnungsgrundlagen. – P2.2.2 Förderleistung, Antriebsleistung, Gesamtwirkungsgrad. – P2.2.3 Instationäre Strömung. – P2.2.4 Kavitation. – P2.2.5 Pulsationsdämpfung.	
P2.3	Verlustteilung	P 18
	P2.3.1 Verlustteilung. – P2.3.2 Definition von Wirkungsgraden. – P2.3.3 Volumetrische Verluste. – P2.3.4 Mechanisch-hydraulische Verluste. – P2.3.5 Nutzlieferegrad und Gesamtwirkungsgrad.	
P2.4	Auslegung und Hauptabmessungen	P 20
	P2.4.1 Auslegung und Hauptabmessungen. – P2.4.2 Rotierende Verdrängerpumpen.	
P2.5	Baugruppen und konstruktive Gestaltung	P 22
	P2.5.1 Baugruppen und konstruktive Gestaltung. – P2.5.2 Verstellung und Regelung. – P2.5.3 Verwendungsbedingte Ausführung.	
Literatur		P 26
<b>P3</b>	<b>Kompressoren, Verdichter</b>	P 27
P3.1	Bauarten und Anwendungsgebiete	P 27
P3.2	Grundlagen und Vergleichsprozesse	P 27
	P3.2.1 Grundlagen und Vergleichsprozesse. – P3.2.2 Verdichtung idealer und realer Gase. – P3.2.3 Vergleichsprozesse für einstufige Verdichtung. – P3.2.4 Definition von Wirkungsgraden. – P3.2.5 Mehrstufige Verdichtung. – P3.2.6 Verdichtung feuchter Gase.	

P3.3	Arbeitszyklus, Liefergrade und Druckverluste . . . . .	P 31
	P3.3.1 Arbeitszyklus. – P3.3.2 Liefergrade. – P3.3.3 Druckverluste.	
P3.4	Auslegung und Hauptabmessungen . . . . .	P 34
	P3.4.1 Hubkolbenverdichter. – P3.4.2 Schraubenverdichter. – P3.4.4 Flüssigkeitsringverdichter. – P3.4.5 Roots-Gebläse.	
P3.5	Ein- und Auslasssteuerung . . . . .	P 37
	P3.5.1 Aufbau selbsttätiger Ventile. – P3.5.2 Ventileinbau. – P3.5.3 Ventilauslegung.	
P3.6	Regelung und Betriebsverhalten . . . . .	P 40
	P3.6.1 Regelung. – P3.6.2 Betriebsverhalten.	
P3.7	Bauformen und Baugruppen . . . . .	P 43
	P3.7.1 Hubkolbenverdichter. – P3.7.2 Membranverdichter. – P3.7.3 Schraubenverdichter. – P3.7.4 Rotationsverdichter.	
Literatur	. . . . .	P 47
<b>P4</b>	<b>Verbrennungsmotoren</b> . . . . .	P 48
P4.1	Einteilung und Anwendung . . . . .	P 48
P4.2	Arbeitsverfahren und Arbeitsprozesse . . . . .	P 48
	P4.2.1 Arbeitsverfahren. – P4.2.2 Vergleichsprozesse. – P4.2.3 Wirklicher Arbeitsprozess.	
P4.3	Ladungswechsel . . . . .	P 54
	P4.3.1 Kenngrößen des Ladungswechsels. – P4.3.2 Steuerorgane für den Ladungswechsel. – P4.3.3 Ladungswechsel des Viertaktmotors. – P4.3.4 Ladungswechsel des Zweitaktmotors. – P4.3.5 Aufladung von Motoren.	
P4.4	Verbrennung im Motor . . . . .	P 62
	P4.4.1 Motoren-Kraftstoffe. – P4.4.2 Gemischbildung und Verbrennung im Ottomotor. – P4.4.3 Gemischbildung und Verbrennung im Dieselmotor. – P4.4.4 Hybride Verfahren für Gemischbildung und Verbrennung.	
P4.5	Verfahren zur Gemischbildung und Zündung bei Ottomotoren . . . . .	P 66
	P4.5.1 Anforderungen an Gemischbildung. – P4.5.2 Vergaser. – P4.5.3 Saugrohr-Benzin-Einspritzung. – P4.5.4 Direkte Benzin-Einspritzung. – P4.5.5 Zündausrüstung.	
P4.6	Einrichtungen zur Gemischbildung und Zündung bei Dieselmotoren . . . . .	P 70
	P4.6.1 Einspritzsysteme. – P4.6.2 Einspritzdüse. – P4.6.3 Start- und Zündhilfen.	
P4.7	Betriebsverhalten und Kenngrößen . . . . .	P 73
	P4.7.1 Leistung, Drehmoment und Verbrauch. – P4.7.2 Kenngrößen. – P4.7.3 Umweltverhalten. – P4.7.4 Verbrennungsmotor als Antriebsaggregat.	
P4.8	Konstruktion von Motoren . . . . .	P 83
	P4.8.1 Ähnlichkeitsbeziehungen und Beanspruchung. – P4.8.2 Motorbauarten. – P4.8.3 Motorbauteile. – P4.8.4 Ausgeführte Motorkonstruktionen.	
Literatur	. . . . .	P 93
<b>P5</b>	<b>Motoren für den maritimen Betrieb</b> . . . . .	P 95
P5.1	Grundsätzliches . . . . .	P 95
P5.2	Kraftstoffe . . . . .	P 97
	P5.2.1 Flüssige Kraftstoffe. – P5.2.2 Gasförmige Kraftstoffe.	
P5.3	Motor Auslegung und Design . . . . .	P 101
P5.4	Thermodynamik . . . . .	P 106
	P5.4.1 Grundauslegung. – P5.4.2 Brennverfahren. – P5.4.3 Emissionen. – P5.4.4 Motorapplikation und Betrieb.	
Literatur	. . . . .	P 113
<b>Q</b>	<b>Fahrzeugtechnik</b>	
<b>Q1</b>	<b>Kraftfahrzeugtechnik</b> . . . . .	Q 2
Q1.1	Definition von Kraftfahrzeugen . . . . .	Q 2
Q1.2	Bedeutung von Kraftfahrzeugen . . . . .	Q 3
Q1.3	Karosserie . . . . .	Q 3
Q1.4	Fahrwerk . . . . .	Q 6
	Q1.4.1 Räder. – Q1.4.2 Radführungen. – Q1.4.3 Federung und Dämpfung. – Q1.4.4 Lenkung.	

<b>Q1.5</b>	<b>Antrieb und Bremsen</b> . . . . .	<b>Q 11</b>
	Q1.5.1 Bremsen. – Q1.5.2 Fahrdynamikregelsysteme. – Q1.5.3 Energiewandlung. – Q1.5.4 Kupplung und Kennungswandler. – Q1.5.5 Achsgetriebe.	
<b>Q1.6</b>	<b>Ausstattungen</b> . . . . .	<b>Q 22</b>
	Q1.6.1 Verglasung, Scheibenwischer. – Q1.6.2 Sitzanlage, Bedienelemente, Anzeigen. – Q1.6.3 Heizung und Klimatisierung. – Q1.6.4 Systeme für den Insassenschutz. – Q1.6.5 Licht und Beleuchtung. – Q1.6.6 Fahrerassistenzsysteme. – Q1.6.7 Automatisiertes Fahren (Steffen Müller, TU Berlin).	
<b>Q1.7</b>	<b>Elektrische Infrastruktur</b> . . . . .	<b>Q 26</b>
<b>Q1.8</b>	<b>Eigenschaften des Gesamtfahrzeugs</b> . . . . .	<b>Q 28</b>
	Q1.8.1 Package, Ergonomie, Mensch-Maschine-Interface. – Q1.8.2 Fahrdynamik. – Q1.8.3 Aerodynamik. – Q1.8.4 Verbrauch und CO <sub>2</sub> -Emission. – Q1.8.5 Abgasverhalten. – Q1.8.6 Geräusch. – Q1.8.7 Fahrzeugsicherheit. – Q1.8.8 Betriebsfestigkeit.	
<b>Q1.9</b>	<b>Typgenehmigung</b> . . . . .	<b>Q 34</b>
<b>Q1.10</b>	<b>Entwicklungsprozesse und -methoden</b> . . . . .	<b>Q 35</b>
<b>Literatur</b>	. . . . .	<b>Q 36</b>
<b>Q2</b>	<b>Schienefahrzeuge</b> . . . . .	<b>Q 38</b>
<b>Q2.1</b>	<b>Grundsätzliche Randbedingungen</b> . . . . .	<b>Q 38</b>
	Q2.1.1 Fahrzeugbegrenzungsprofil. – Q2.1.2 Fahrgastwechselzeiten. – Q2.1.3 Lebenszykluskosten LCC.	
<b>Q2.2</b>	<b>Fahrwerke</b> . . . . .	<b>Q 40</b>
	Q2.2.1 Grundbegriffe der Spurführungstechnik. – Q2.2.2 Radbauarten. – Q2.2.3 Radsatz. – Q2.2.4 Rad-Schiene-Kontakt. – Q2.2.5 Fahrwerkskonstruktionen. – Q2.2.6 Neigtechnik.	
<b>Q2.3</b>	<b>Aufbau, Fahrzeugarten</b> . . . . .	<b>Q 48</b>
	Q2.3.1 Rohbau. – Q2.3.2 Klimaanlage. – Q2.3.3 Türen. – Q2.3.4 Fenster. – Q2.3.5 Führerräume. – Q2.3.6 Zug-Stoßeinrichtungen. – Q2.3.7 Fahrzeugarten.	
<b>Q2.4</b>	<b>Antriebe</b> . . . . .	<b>Q 56</b>
	Q2.4.1 Fahrwiderstand. – Q2.4.2 Konstruktionen.	
<b>Q2.5</b>	<b>Elektrische/Elektronische Ausrüstung/Diagnose</b> . . . . .	<b>Q 59</b>
	Q2.5.1 Leistungselektrik. – Q2.5.2 Diagnosetechnik.	
<b>Q2.6</b>	<b>Sicherheitstechnik</b> . . . . .	<b>Q 61</b>
	Q2.6.1 Aktive Sicherheitstechnik/Bremse, Bremsbauarten. – Q2.6.2 Passive Sicherheit.	
<b>Q2.7</b>	<b>Entwicklungsmethodik</b> . . . . .	<b>Q 66</b>
	Q2.7.1 Modelle. – Q2.7.2 Fahrkomfort. – Q2.7.3 Rad-Schiene-Kräfte.	
<b>Q2.8</b>	<b>Zuverlässigkeitsprüfung</b> . . . . .	<b>Q 70</b>
<b>Literatur</b>	. . . . .	<b>Q 70</b>
<b>Q3</b>	<b>Luftfahrzeuge</b> . . . . .	<b>Q 73</b>
<b>Q3.1</b>	<b>Allgemeines</b> . . . . .	<b>Q 73</b>
	Q3.1.1 Luftverkehr. – Q3.1.2 Anforderungen an den Luftverkehr und an Luftfahrzeuge. – Q3.1.3 Einordnung und Konstruktionsgruppen von Luftfahrzeugen. – Q3.1.4 Einordnung von Luftfahrzeugen nach Vorschriften.	
<b>Q3.2</b>	<b>Definitionen</b> . . . . .	<b>Q 77</b>
	Q3.2.1 Die internationale Standardatmosphäre (ISA). – Q3.2.2 Achsenkreuze. – Q3.2.3 Winkel. – Q3.2.4 Gewichte. – Q3.2.5 Fluggeschwindigkeiten. – Q3.2.6 Geometrische Beschreibung des Luftfahrzeuges. – Q3.2.7 Kräfte und Winkel im Flug. – Q3.2.8 Flugsteuerung. – Q3.2.9 Flugstabilitäten.	
<b>Q3.3</b>	<b>Grundlagen der Flugphysik</b> . . . . .	<b>Q 86</b>
	Q3.3.1 Grundlagen der Flugphysik. – Q3.3.2 Flugzeugpolare. – Q3.3.3 Flugleistungen.	
<b>Q3.4</b>	<b>Zelle, Struktur</b> . . . . .	<b>Q 97</b>
	Q3.4.1 Konstruktionsphilosophien und -prinzipien. – Q3.4.2 Lasten, Lastannahmen. – Q3.4.3 Leichtbau. – Q3.4.4 Werkstoffe und Bauweisen. – Q3.4.5 Rumpf. – Q3.4.6 Tragflügel. – Q3.4.7 Wartung und Instandhaltung.	
<b>Literatur</b>	. . . . .	<b>Q 106</b>

**R Strömungsmaschinen**

<b>R1 Grundlagen der Strömungsmaschinen</b>	R 3
<b>R1.1 Strömungstechnik</b>	R 3
R1.1.1 Einleitung und Definitionen. – R1.1.2 Wirkungsweise. – R1.1.3 Strömungsgesetze. – R1.1.4 Absolute und relative Strömung. – R1.1.5 Schaufelanordnung für Pumpen und Verdichter (Arbeitsmaschinen). – R1.1.6 Schaufelanordnung für Turbinen (Kraftmaschinen). – R1.1.7 Schaufelgitter, Stufe, Maschine, Anlage.	
<b>R1.2 Thermodynamik</b>	R 6
R1.2.1 Thermodynamische Gesetze. – R1.2.2 Zustandsänderung. – R1.2.3 Totaler Wirkungsgrad. – R1.2.4 Statischer Wirkungsgrad. – R1.2.5 Polytroper und isentroper Wirkungsgrad. – R1.2.6 Mechanische Verluste.	
<b>R1.3 Arbeitsfluid</b>	R 8
R1.3.1 Allgemeiner Zusammenhang zwischen thermischen und kalorischen Zustandsgrößen. – R1.3.2 Ideale Flüssigkeit. – R1.3.3 Ideales Gas. – R1.3.4 Reales Fluid. – R1.3.5 Kavitation bei Flüssigkeiten. – R1.3.6 Kondensation bei Dämpfen.	
<b>R1.4 Schaufelgitter</b>	R 11
R1.4.1 Anordnung der Schaufeln im Gitter. – R1.4.2 Leit- und Laufgitter. – R1.4.3 Einteilung nach Geschwindigkeits- und Druckänderung. – R1.4.4 Reale Strömung in Schaufelgittern. – R1.4.5 Gitterauslegung. – R1.4.6 Strömungsverluste.	
<b>R1.5 Stufen</b>	R 14
R1.5.1 Zusammensetzen von Gittern zu Stufen. – R1.5.2 Stufenkenngrößen. – R1.5.3 Axiale Repetierstufe eines vielstufigen Verdichters. – R1.5.4 Radiale Repetierstufe eines Verdichters. – R1.5.5 Kenngrößen-Bereiche für Verdichterstufen. – R1.5.6 Axiale Repetierstufe einer Turbine. – R1.5.7 Radiale Turbinenstufe. – R1.5.8 Kenngrößen-Bereiche für Turbinenstufen.	
<b>R1.6 Maschine</b>	R 19
R1.6.1 Beschauflung, Ein- und Austrittsgehäuse. – R1.6.2 Maschinenkenngrößen. – R1.6.3 Wahl der Bauweise.	
<b>R1.7 Betriebsverhalten und Regelmöglichkeiten</b>	R 21
R1.7.1 Zusammenwirken von Strömungsmaschine und Anlage. – R1.7.2 Regelung von Strömungsmaschinen. – R1.7.3 Kennfeld und Betriebsverhalten von Verdichtern.	
<b>R1.8 Beanspruchung und Festigkeit der wichtigsten Bauteile</b>	R 23
R1.8.1 Rotierende Scheibe, rotierender Zylinder. – R1.8.2 Durchbiegung, kritische Drehzahlen von Rotoren. – R1.8.3 Beanspruchung der Schaufeln durch Fliehkräfte. – R1.8.4 Beanspruchung der Schaufeln durch stationäre Strömungskräfte. – R1.8.5 Schaufelschwingungen. – R1.8.6 Gehäuse. – R1.8.7 Thermische Beanspruchung.	
<b>Literatur</b>	R 30
<b>R2 Wasserturbinen</b>	R 31
<b>R2.1 Allgemeines</b>	R 31
R2.1.1 Allgemeines. – R2.1.2 Wasserkraftwerke. – R2.1.3 Wirtschaftliches.	
<b>R2.2 Gleichdruckturbinen</b>	R 32
R2.2.1 Gleichdruckturbinen. – R2.2.2 Ossbergerturbinen.	
<b>R2.3 Überdruckturbinen</b>	R 33
R2.3.1 Überdruckturbinen. – R2.3.2 Kaplanurbinen. – R2.3.3 Dériazturbinen.	
<b>R2.4 Werkstoffe</b>	R 34
<b>R2.5 Kennliniendarstellungen</b>	R 34
<b>R2.6 Extreme Betriebsverhältnisse</b>	R 35
<b>R2.7 Laufwasser- und Speicherkraftwerke</b>	R 35
<b>Literatur</b>	R 37
<b>R3 Kreiselpumpen</b>	R 38
<b>R3.1 Allgemeines</b>	R 38
<b>R3.2 Bauarten</b>	R 38
R3.2.1 Bauarten. – R3.2.2 Gehäuse. – R3.2.3 Fluid. – R3.2.4 Werkstoff. – R3.2.5 Antrieb.	
<b>R3.3 Betriebsverhalten</b>	R 40
R3.3.1 Betriebsverhalten. – R3.3.2 Kennlinien. – R3.3.3 Anpassung der Kreiselpumpe an den Leistungsbedarf. – R3.3.4 Achsschubausgleich.	

R3.4	Ausgeführte Pumpen . . . . .	R 47
	R3.4.1 Wasserwirtschaft. – R3.4.2 Kraftwerkstechnik. – R3.4.3 Verfahrenstechnik. – R3.4.4 Andere Einsatzgebiete.	
	Literatur . . . . .	R 49
<b>R4</b>	<b>Schiffspropeller</b> . . . . .	R 50
R4.1	Allgemeines . . . . .	R 50
R4.2	Schiffspropeller . . . . .	R 50
	Literatur . . . . .	R 51
<b>R5</b>	<b>Föttinger-Getriebe</b> . . . . .	R 52
R5.1	Prinzip und Bauformen . . . . .	R 52
R5.2	Auslegung . . . . .	R 53
R5.3	Föttinger-Kupplungen . . . . .	R 54
R5.4	Bremsen . . . . .	R 54
R5.5	Föttinger-Wandler . . . . .	R 55
	Literatur . . . . .	R 55
<b>R6</b>	<b>Dampfturbinen</b> . . . . .	R 56
R6.1	Benennungen . . . . .	R 56
R6.2	Bauarten . . . . .	R 56
	R6.2.1 Bauarten. – R6.2.2 Industrieturbinen. – R6.2.3 Kleinturbinen.	
R6.3	Konstruktionselemente . . . . .	R 63
	R6.3.1 Konstruktionselemente. – R6.3.2 Ventile und Klappen. – R6.3.3 Beschauflung. – R6.3.4 Wellendichtungen. – R6.3.5 Läufer-Dreheinrichtung. – R6.3.6 Lager.	
R6.4	Anfahren und Betrieb . . . . .	R 65
R6.5	Regelung, Sicherheits- und Schutzeinrichtungen . . . . .	R 66
R6.6	Berechnungsverfahren . . . . .	R 66
	R6.6.1 Allgemeines. – R6.6.2 Auslegung von Industrieturbinen.	
<b>R7</b>	<b>Turboverdichter</b> . . . . .	R 68
R7.1	Einteilung und Einsatzbereiche . . . . .	R 68
	R7.1.1 Allgemeines. – R7.1.2 Ventilatoren. – R7.1.3 Axialverdichter. – R7.1.4 Radialverdichter.	
R7.2	Radiale Laufradbauarten . . . . .	R 69
	R7.2.1 Allgemeine Anforderungen. – R7.2.2 Das geschlossene 2D-Laufrad. – R7.2.3 Das geschlossene 3D-Laufrad. – R7.2.4 Das offene 3D-Laufrad. – R7.2.5 Laufradverwendung. – R7.2.6 Laufradherstellung. – R7.2.7 Laufradfestigkeit und Strukturdynamik.	
R7.3	Radiale Verdichterbauarten . . . . .	R 72
	R7.3.1 Einwellenverdichter. – R7.3.2 Getriebeverdichter. – R7.3.3 Gekapselte, direkt angetriebene Verdichter.	
R7.4	Regelung und Maschinenschutz . . . . .	R 76
	R7.4.1 Verdichterkennfeld. – R7.4.2 Drehzahlregelung. – R7.4.3 Saugdrosselregelung. – R7.4.4 Eintrittsleitschaufl-Regelung. – R7.4.5 Bypass-Regelung. – R7.4.6 Maschinenüberwachung und -schutz.	
R7.5	Beispiel einer Radialverdichterauslegung . . . . .	R 78
	R7.5.1 Vereinfachtes Verfahren. – R7.5.2 Betriebsbedingungen (vorgegeben). – R7.5.3 Gasdaten. – R7.5.4 Volumenstrom, Laufraddurchmesser, Drehzahl. – R7.5.5 Endtemperatur, spezifische polytrophe Arbeit. – R7.5.6 Wirkungsgrad, Stufenzahl. – R7.5.7 Leistung.	
	Literatur . . . . .	R 81
<b>R8</b>	<b>Gasturbinen</b> . . . . .	R 82
R8.1	Einteilung und Verwendung . . . . .	R 82
R8.2	Thermodynamische Grundlagen . . . . .	R 82
	R8.2.1 Thermodynamische Grundlagen. – R8.2.2 Reale Gasturbinenprozesse.	
R8.3	Baugruppen . . . . .	R 85
	R8.3.1 Baugruppen. – R8.3.2 Turbine. – R8.3.3 Brennkammer.	
R8.4	Gasturbine im Kraftwerk . . . . .	R 87
	R8.4.1 Gasturbine im Kraftwerk. – R8.4.2 Gas- und Dampf-Anlagen. – R8.4.3 Luftspeicher-Kraftwerk.	

R8.5	Gasturbinen im Verkehr . . . . .	R 87
	R8.5.1 Gasturbinen im Verkehr. – R8.5.2 Schifffahrt. – R8.5.3 Straßenfahrzeuge. – R8.5.4 Abgasturbolader.	
R8.6	Brennstoffe . . . . .	R 93
R8.7	Beanspruchungen und Werkstoffe . . . . .	R 94
R8.8	Betriebsverhalten . . . . .	R 94
	R8.8.1 Betriebsverhalten. – R8.8.2 Teillastbetrieb.	
R8.9	Abgasemission . . . . .	R 95
Literatur	. . . . .	R 96
Literatur zu Teil R Strömungsmaschinen	. . . . .	R 97

## S Fertungsverfahren

<b>S1</b>	<b>Übersicht über die Fertigungsverfahren</b> . . . . .	S 2
S1.1	Definition und Kriterien . . . . .	S 2
S1.2	Systematik . . . . .	S 2
Literatur	. . . . .	S 3
<b>S2</b>	<b>Urformen</b> . . . . .	S 4
S2.1	Einordnung des Urformens in die Fertigungsverfahren . . . . .	S 4
S2.2	Begriffsbestimmung . . . . .	S 4
S2.3	Das Urformen im Prozess der Herstellung von Einzelteilen . . . . .	S 4
S2.4	Wirtschaftliche Bedeutung des Formgießens . . . . .	S 5
S2.5	Technologischer Prozess des Formgießens . . . . .	S 6
S2.6	Formverfahren und -ausrüstungen . . . . .	S 6
	S2.6.1 Urformwerkzeuge. – S2.6.2 Verfahren mit verlorenen Formen. – S2.6.3 Dauerformverfahren.	
Literatur	. . . . .	S 27
<b>S3</b>	<b>Umformen</b> . . . . .	S 29
S3.1	Systematik der Umformverfahren . . . . .	S 29
S3.2	Grundlagen der Umformtechnik . . . . .	S 29
	S3.2.1 Fließspannung. – S3.2.2 Formänderung. – S3.2.3 Fließkriterien. – S3.2.4 Fließgesetz. – S3.2.5 Fließkurve. – S3.2.6 Verfestigungsverhalten. – S3.2.7 Umformvermögen.	
S3.3	Verfahren der Druckumformung . . . . .	S 31
	S3.3.1 Kaltfließpressen. – S3.3.2 Warmschmieden. – S3.3.3 Strangpressen. – S3.3.4 Walzen.	
S3.4	Verfahren der Zug-Druckumformung . . . . .	S 36
	S3.4.1 Gleitziehen. – S3.4.2 Tiefziehen. – S3.4.3 Ziehen von unsymmetrischen Blechformteilen. – S3.4.4 Tiefziehen im Weiterzug. – S3.4.5 Stülpziehen. – S3.4.6 Abstreckgleitziehen.	
S3.5	Verfahren der Zugumformung . . . . .	S 40
	S3.5.1 Streckziehen.	
S3.6	Verfahren der Biegeumformung . . . . .	S 41
	S3.6.1 Biegeverfahren. – S3.6.2 Rückfederung. – S3.6.3 Biegen mit geradliniger Werkzeugbewegung. – S3.6.4 Biegen mit drehender Werkzeugbewegung.	
S3.7	Wirkmedienbasierte Umformverfahren . . . . .	S 44
	S3.7.1 Hydromechanisches Tiefziehen. – S3.7.2 Superplastisches Umformen. – S3.7.3 Innenhochdruck-Umformung (IHU).	
S3.8	Warmumformung (Presshärten) . . . . .	S 46
Literatur	. . . . .	S 46
<b>S4</b>	<b>Trennen</b> . . . . .	S 48
S4.1	Allgemeines . . . . .	S 48
S4.2	Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden . . . . .	S 48
	S4.2.1 Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden. – S4.2.2 Drehen. – S4.2.3 Bohren. – S4.2.4 Fräsen. – S4.2.5 Sonstige Verfahren: Hobeln und Stoßen, Räumen, Sägen. – S4.2.6 Schneidstoffe.	



S4.3	Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide . . . . .	S 62
	S4.3.1 Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide. – S4.3.2 Schleifen mit rotierendem Werkzeug. – S4.3.3 Honen. – S4.3.4 Sonstige Verfahren: Läppen, Innendurchmesser-Trennschleifen.	
S4.4	Abtragen . . . . .	S 67
	S4.4.1 Abtragen. – S4.4.2 Thermisches Abtragen mit Funken (Funkenerosives Abtragen). – S4.4.3 Lasertrennen. – S4.4.4 Elektrochemisches Abtragen. – S4.4.5 Chemisches Abtragen.	
S4.5	Scheren und Schneiden . . . . .	S 71
	S4.5.1 Scheren und Schneiden. – S4.5.2 Technologie des Scherschneidens. – S4.5.3 Kräfte beim Schneiden. – S4.5.4 Werkstuckeigenschaften. – S4.5.5 Materialausnutzungsgrad. – S4.5.6 Schneidwerkzeuge. – S4.5.7 Sonderschneidverfahren.	
Literatur	. . . . .	S 79
<b>S5</b>	<b>Sonderverfahren</b> . . . . .	S 81
S5.1	Gewindefertigung . . . . .	S 81
	S5.1.1 Einleitung. – S5.1.2 Gewindefertigung mit geometrisch bestimmter Schneide. – S5.1.3 Gewindefertigung mit geometrisch unbestimmter Schneide. – S5.1.4 Gewindefertigung mit abtragenden und umformenden Verfahren. – S5.1.5 Entwicklungstrends.	
S5.2	Verzahnen . . . . .	S 86
	S5.2.1 Verzahnen von Stirnrädern. – S5.2.2 Verzahnen von Schnecken. – S5.2.3 Verzahnen von Schneckenrädern. – S5.2.4 Verzahnen von Kegelrädern.	
S5.3	Fertigungsverfahren der Mikrotechnik . . . . .	S 99
	S5.3.1 Einführung. – S5.3.2 Maskengebundene Fertigungsverfahren. – S5.3.3 Direkte Strukturierungsmethoden.	
S5.4	Beschichten . . . . .	S 108
S5.5	Additive Fertigungsverfahren . . . . .	S 110
	S5.5.1 Einleitung. – S5.5.2 Folienbasierte Verfahren. – S5.5.3 Drahtbasierte Verfahren. – S5.5.4 Pulverbasierte Verfahren. – S5.5.5 Flussigkeitsbasierte Verfahren.	
Literatur	. . . . .	S 118
<b>S6</b>	<b>Montage und Demontage</b> . . . . .	S 121
S6.1	Begriffe . . . . .	S 121
S6.2	Aufgaben der Montage und Demontage . . . . .	S 123
	S6.2.1 Montage. – S6.2.2 Demontage.	
S6.3	Durchführung der Montage und Demontage . . . . .	S 123
	S6.3.1 Montageprozess. – S6.3.2 Demontageprozess. – S6.3.3 Montageplanung. – S6.3.4 Organisationsformen der Montage. – S6.3.5 Montagesysteme. – S6.3.6 Automatisierte Montage.	
Literatur	. . . . .	S 127
<b>S7</b>	<b>Fertigungs- und Fabrikbetrieb</b> . . . . .	S 128
S7.1	Einleitung . . . . .	S 128
S7.2	Das industrielle System der Produktion . . . . .	S 128
S7.3	Management des Systems Produktion . . . . .	S 130
	S7.3.1 Operative Ziele der Planung und des Fabrikbetriebes. – S7.3.2 Gestaltungsprinzipien der Produktion.	
S7.4	Planung und Steuerung der Produktion . . . . .	S 132
	S7.4.1 Planung der Produktion – Industrial Engineering. – S7.4.2 Traditionelle Arbeitsplanung. – S7.4.3 Arbeitsteuerung bzw. Auftragsmanagement.	
S7.5	Fertigung und Montage . . . . .	S 138
	S7.5.1 Teilefertigung. – S7.5.2 Einteilung von Fertigungssystemen. – S7.5.3 Montage. – S7.5.4 Automatisierung von Handhabung und Montage.	
S7.6	Digitale Produktion . . . . .	S 142
	S7.6.1 Architektur der Informationssysteme. – S7.6.2 CAX-Systeme. – S7.6.3 Auftragsmanagementsysteme. – S7.6.4 Leitstand und Manufacturing Execution Systeme (MES).	
S7.7	Qualitätsmanagement . . . . .	S 145
	S7.7.1 Aufgaben des Qualitätsmanagements. – S7.7.2 Qualitätsmanagementsysteme (QM-Systeme). – S7.7.3 Werkzeuge des Qualitätsmanagements. – S7.7.4 Methoden des Qualitätsmanagements. – S7.7.5 Prüfverfahren.	

S7.8	<b>Kostenmanagement und Wirtschaftlichkeitsrechnung</b> . . . . .	S 151
	S7.8.1 Betriebliches Rechnungswesen und Kostenrechnung. – S7.8.2 Kostenartenrechnung. – S7.8.3 Kostenstellenrechnung. – S7.8.4 Kostenträgerrechnung. – S7.8.5 Herstellkosten. – S7.8.6 Vollkostenrechnung und Teilkostenrechnung. – S7.8.7 Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung.	
S7.9	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> . . . . .	S 157
Literatur	. . . . .	S 157
<b>S8</b>	<b>Anhang S: Diagramme und Tabellen</b> . . . . .	S 160
<b>T</b>	<b>Fertigungsmittel</b>	
<b>T1</b>	<b>Elemente der Werkzeugmaschinen</b> . . . . .	T 2
T1.1	<b>Grundlagen</b> . . . . .	T 2
	T1.1.1 Funktionsgliederung. – T1.1.2 Mechanisches Verhalten.	
T1.2	<b>Antriebe</b> . . . . .	T 5
	T1.2.1 Motoren. – T1.2.2 Getriebe. – T1.2.3 Mechanische Vorschubübertragungselemente.	
T1.3	<b>Gestelle</b> . . . . .	T 22
	T1.3.1 Anforderungen und Bauformen. – T1.3.2 Werkstoffe für Gestellbauteile. – T1.3.3 Gestaltung der Gestellbauteile. – T1.3.4 Berechnung und Optimierung.	
T1.4	<b>Führungen</b> . . . . .	T 28
	T1.4.1 Linearführungen. – T1.4.2 Drehführungen.	
Literatur	. . . . .	T 35
<b>T2</b>	<b>Steuerungen</b> . . . . .	T 37
T2.1	<b>Steuerungstechnische Grundlagen</b> . . . . .	T 37
	T2.1.1 Zum Begriff Steuerung. – T2.1.2 Informationsdarstellung. – T2.1.3 Programmsteuerung und Funktionssteuerung. – T2.1.4 Signaleingabe und -ausgabe. – T2.1.5 Signalbildung. – T2.1.6 Signalverarbeitung. – T2.1.7 Steuerungsprogramme. – T2.1.8 Aufbauorganisation von Steuerungen. – T2.1.9 Aufbau von Steuerungssystemen. – T2.1.10 Dezentralisierung durch den Einsatz industrieller Kommunikationssysteme. – T2.1.11 Feldbusse. – T2.1.12 Offene Steuerungssysteme.	
T2.2	<b>Steuerungsmittel</b> . . . . .	T 43
	T2.2.1 Mechanische Speicher und Steuerungen. – T2.2.2 Fluidische Steuerungen. – T2.2.3 Elektrische Steuerungen.	
T2.3	<b>Speicherprogrammierbare Steuerungen</b> . . . . .	T 45
	T2.3.1 Speicherprogrammierbare Steuerungen. – T2.3.2 Arbeitsweise. – T2.3.3 Programmierung.	
T2.4	<b>Numerische Steuerungen</b> . . . . .	T 47
	T2.4.1 Zum Begriff. – T2.4.2 Bewegungssteuerungen. – T2.4.3 NC-Programmierung. – T2.4.4 Datenschnittstellen. – T2.4.5 Steuerdatenverarbeitung. – T2.4.6 Numerische Grundfunktionen. – T2.4.7 Lageeinstellung.	
Literatur	. . . . .	T 53
<b>T3</b>	<b>Maschinen zum Scheren und Schneiden</b> . . . . .	T 54
T3.1	<b>Kraft- und Arbeitsbedarf</b> . . . . .	T 54
T3.2	<b>Maschinen zum Scheren</b> . . . . .	T 54
T3.3	<b>Längs- und Querteilanlagen</b> . . . . .	T 55
T3.4	<b>Platinenschneidanlagen</b> . . . . .	T 55
T3.5	<b>Feinschneidpressen</b> . . . . .	T 57
T3.6	<b>Stanz- und Nibbelmaschinen</b> . . . . .	T 57
Literatur	. . . . .	T 57
<b>T4</b>	<b>Werkzeugmaschinen zum Umformen</b> . . . . .	T 58
T4.1	<b>Aufbau von Pressen</b> . . . . .	T 58
	T4.1.1 Pressengestell. – T4.1.2 Pressenstößel. – T4.1.3 Stößelantrieb. – T4.1.4 Funktionsweise von Tiefziehpressen. – T4.1.5 Zieheinrichtungen.	
T4.2	<b>Pressenkenngrößen</b> . . . . .	T 60
	T4.2.1 Leistungskenngrößen. – T4.2.2 Genauigkeitskenngrößen. – T4.2.3 Geometrische Pressenkenngrößen. – T4.2.4 Umweltkenngrößen. – T4.2.5 Richtlinien, Normen.	

T4.3	Weggebundene Pressen . . . . .	T 61
	T4.3.1 Arbeitsprinzip. – T4.3.2 Bauarten. – T4.3.3 Servopressen. – T4.3.4 Anwendungen.	
T4.4	Kraftgebundene Pressen . . . . .	T 64
	T4.4.1 Wirkprinzip. – T4.4.2 Antrieb. – T4.4.3 Pressengestell. – T4.4.4 Anwendungen.	
T4.5	Arbeitsgebundene Pressen . . . . .	T 65
	T4.5.1 Hämmer. – T4.5.2 Spindelpressen.	
Literatur	. . . . .	T 67
<b>T5</b>	<b>Spanende Werkzeugmaschinen</b> . . . . .	<b>T 69</b>
T5.1	Drehmaschinen . . . . .	T 69
	T5.1.1 Einleitung. – T5.1.2 Universaldrehmaschinen. – T5.1.3 Frontdrehmaschinen. – T5.1.4 Drehautomaten. – T5.1.5 Vertikaldrehmaschinen. – T5.1.6 Drehbearbeitungszentren. – T5.1.7 Sonderdrehmaschinen. – T5.1.8 Entwicklungstrends.	
T5.2	Bohrmaschinen . . . . .	T 76
	T5.2.1 Einleitung. – T5.2.2 Tischbohrmaschinen. – T5.2.3 Säulenbohrmaschinen. – T5.2.4 Ständerbohrmaschinen. – T5.2.5 Schwenkbohrmaschinen. – T5.2.6 Bohrwerke. – T5.2.7 Tiefbohrmaschinen. – T5.2.8 Weitere Typen. – T5.2.9 Entwicklungstrends.	
T5.3	Fräsmaschinen . . . . .	T 79
	T5.3.1 Einleitung. – T5.3.2 Kopsolfräsmaschinen. – T5.3.3 Bettfräsmaschinen. – T5.3.4 Portalfräsmaschinen. – T5.3.5 Universal-Werkzeugfräsmaschinen. – T5.3.6 Waagrecht-Bohr- Fräsmaschine. – T5.3.7 Hochgeschwindigkeitsfräsmaschinen. – T5.3.8 Hochleistungsfräsmaschinen. – T5.3.9 Fräsmaschinen mit Parallelkinematik. – T5.3.10 Sonderfräsmaschinen. – T5.3.11 Entwicklungstrends.	
T5.4	Bearbeitungszentren . . . . .	T 85
	T5.4.1 Einleitung. – T5.4.2 Bauformen. – T5.4.3 Werkzeugsysteme. – T5.4.4 Werkstückwechselsysteme. – T5.4.5 Integration von Fertigungsverfahren zur Komplettbearbeitung. – T5.4.6 Entwicklungstrends.	
T5.5	Hobel- und Stoßmaschinen . . . . .	T 87
	T5.5.1 Einleitung. – T5.5.2 Hobelmaschinen. – T5.5.3 Stoßmaschinen. – T5.5.4 Nutenstoß- und Nutenziehmaschinen. – T5.5.5 Entwicklungstrends.	
T5.6	Räummaschinen . . . . .	T 89
	T5.6.1 Einleitung. – T5.6.2 Innen- und Außenräummaschinen. – T5.6.3 Senkrecht-, Waagrecht- und Hubtisch-Räummaschinen. – T5.6.4 Entwicklungstrends.	
T5.7	Säge- und Feilmaschinen . . . . .	T 90
	T5.7.1 Einleitung. – T5.7.2 Bügel-/Hubsäge- und Hubfeilmaschinen. – T5.7.3 Bandsäge- und Bandfeilmaschinen. – T5.7.4 Kreissägemaschinen. – T5.7.5 Entwicklungstrends.	
T5.8	Schleifmaschinen . . . . .	T 92
	T5.8.1 Einleitung. – T5.8.2 Planschleifmaschinen. – T5.8.3 Profilschleifmaschinen. – T5.8.4 Rundschleifmaschinen. – T5.8.5 Unrund- und Exzenterschleifmaschinen. – T5.8.6 Koordinatenschleifmaschinen. – T5.8.7 Verzahnungsschleifmaschinen. – T5.8.8 Schraubenschleif-/Gewindeschleifmaschinen. – T5.8.9 Kugelschleifmaschinen. – T5.8.10 Werkzeugschleifmaschinen. – T5.8.11 Schleifzentren. – T5.8.12 Sonderschleifmaschinen. – T5.8.13 Bandschleifmaschinen. – T5.8.14 Entwicklungstrends.	
T5.9	Honmaschinen . . . . .	T 96
	T5.9.1 Einleitung. – T5.9.2 Langhubhonmaschinen. – T5.9.3 Kurzhubhonmaschinen. – T5.9.4 Sonderhonmaschinen. – T5.9.5 Entwicklungstrends.	
T5.10	Läppmaschinen . . . . .	T 99
	T5.10.1 Einleitung. – T5.10.2 Einscheiben-Läppmaschinen. – T5.10.3 Zweiseiben-Läppmaschinen. – T5.10.4 Rundläppmaschinen. – T5.10.5 Entwicklungstrends.	
T5.11	Mehrmaschinensysteme . . . . .	T 101
	T5.11.1 Einleitung. – T5.11.2 Flexible Fertigungszellen. – T5.11.3 Flexible Fertigungssysteme. – T5.11.4 Transferstraßen. – T5.11.5 Entwicklungstrends.	
Literatur	. . . . .	T 103
<b>T6</b>	<b>Schweiß- und Lötmaschinen</b> . . . . .	<b>T 104</b>
T6.1	Lichtbogenschweißmaschinen . . . . .	T 104
	T6.1.1 Bauausführungen.	
T6.2	Widerstandsschweißmaschinen . . . . .	T 105
T6.3	Laserstrahl-Schweiß- und Lötmaschinen . . . . .	T 106

T6.4	Löteinrichtungen . . . . .	T 106
	T6.4.1 Löteinrichtungen. – T6.4.2 Ofenlötungen mit Weich- und Hartloten. – T6.4.3 Weichlöteinrichtungen in der Elektronik.	
Literatur	. . . . .	T 106
<b>T7</b>	<b>Industrieroboter</b> . . . . .	T 107
T7.1	Definition, Abgrenzung und Grundlagen . . . . .	T 107
T7.2	Mechatronischer Aufbau . . . . .	T 107
T7.3	Kinematik und Dynamik . . . . .	T 109
	T7.3.1 Kinematisches Modell. – T7.3.2 Dynamisches Modell.	
T7.4	Leistungskenngrößen und Kalibrierung . . . . .	T 110
	T7.4.1 Leistungskenngrößen. – T7.4.2 Kalibrierung.	
T7.5	Steuerung und Regelung . . . . .	T 111
	T7.5.1 Aufbau der Robotersteuerung. – T7.5.2 Regelungsverfahren. – T7.5.3 Betriebsarten.	
T7.6	Programmierung . . . . .	T 113
	T7.6.1 Online-Verfahren. – T7.6.2 Offline-Verfahren. – T7.6.3 Weitere Programmierverfahren.	
T7.7	Integration und Anwendungen industrieller Roboter . . . . .	T 114
Literatur	. . . . .	T 115
<b>T8</b>	<b>Werkzeugmaschinen für die Mikroproduktion</b> . . . . .	T 116
T8.1	Einleitung . . . . .	T 116
T8.2	Hochpräzisionsmaschinen . . . . .	T 116
	T8.2.1 Allgemeines. – T8.2.2 Anwendung. – T8.2.3 Ausrüstung. – T8.2.4 Entwicklungstrends.	
T8.3	Ultrapräzisionsmaschinen . . . . .	T 118
	T8.3.1 Allgemeines. – T8.3.2 Anwendung. – T8.3.3 Ausrüstung. – T8.3.4 Entwicklungstrends.	
T8.4	Mikrofunkenerosionsmaschinen . . . . .	T 119
	T8.4.1 Allgemeines. – T8.4.2 Anwendung. – T8.4.3 Ausrüstung. – T8.4.4 Entwicklungstrends.	
T8.5	Laserbearbeitungsmaschinen . . . . .	T 120
	T8.5.1 Allgemeines. – T8.5.2 Anwendung. – T8.5.3 Ausrüstung. – T8.5.4 Entwicklungstrends.	
Literatur	. . . . .	T 120
<b>U</b>	<b>Fördertechnik</b>	
<b>U1</b>	<b>Grundlagen</b> . . . . .	U 2
U1.1	Begriffsbestimmungen und Übersicht . . . . .	U 2
	U1.1.1 Einordnung der Fördertechnik. – U1.1.2 Fördergüter und Fördermaschinen. – U1.1.3 Kenngrößen des Fördervorgangs.	
U1.2	Antriebe der Fördermaschinen . . . . .	U 3
	U1.2.1 Hubwerke. – U1.2.2 Fahrwerke. – U1.2.3 Drehwerke. – U1.2.4 Einzieh- und Wipwerke. – U1.2.5 Kraftschlüssige Antriebe. – U1.2.6 Formschlüssige Antriebe. – U1.2.7 Antriebsmotoren und Steuerungen.	
U1.3	Tragwerke . . . . .	U 11
	U1.3.1 Tragwerksgestaltung. – U1.3.2 Grundlagen der Tragwerksberechnung. – U1.3.3 Lasten und Lastkombinationen. – U1.3.4 Zu führende Einzelnachweise.	
U1.4	Charakteristische Maschinenelemente der Fördertechnik . . . . .	U 16
	U1.4.1 Ketten und Kettentriebe. – U1.4.2 Seile und Seiltriebe. – U1.4.3 Faserseile. – U1.4.4 Mechanische Elemente der Antriebe. – U1.4.5 Lauftrad und Schiene (Schienefahrwerke). – U1.4.6 Raupenfahrwerke.	
Literatur	. . . . .	U 36
<b>U2</b>	<b>Hebezeuge und Krane</b> . . . . .	U 38
U2.1	Tragmittel und Lastaufnahmemittel . . . . .	U 38
	U2.1.1 Lasthaken. – U2.1.2 Lastaufnahmemittel für Stückgüter. – U2.1.3 Lastaufnahmemittel für Schüttgüter.	
U2.2	Hubwerksausführungen . . . . .	U 40
	U2.2.1 Serienhebezeuge. – U2.2.2 Einzelhebezeuge.	

<b>U2.3 Kranarten</b> . . . . .	<b>U 42</b>
U2.3.1 Brücken- und Portalkrane. – U2.3.2 Drehkrane. – U2.3.3 Fahrzeugkrane. – U2.3.4 Weitere Kranarten.	
<b>Literatur</b> . . . . .	<b>U 50</b>
<b>U3 Flurförderzeuge</b> . . . . .	<b>U 51</b>
<b>U3.1 Baugruppen und Komponenten</b> . . . . .	<b>U 51</b>
U3.1.1 Fahrwerk. – U3.1.2 Fahrtrieb. – U3.1.3 Hubgerüst. – U3.1.4 Lastaufnahmevorrichtung. – U3.1.5 Hubantrieb, Antrieb der Nebenfunktionen.	
<b>U3.2 Handbetriebene Flurförderzeuge</b> . . . . .	<b>U 52</b>
U3.2.1 Handwagen. – U3.2.2 Rollwagen. – U3.2.3 Handgabelhubwagen.	
<b>U3.3 Motorisch betriebene Flurförderzeuge</b> . . . . .	<b>U 53</b>
U3.3.1 Niederhubwagen. – U3.3.2 Gabelhochhubwagen. – U3.3.3 Spreizenstapler. – U3.3.4 Gegengewichtstapler. – U3.3.5 Schubstapler. – U3.3.6 Mehrwegestapler. – U3.3.7 Querstapler. – U3.3.8 Schmalgangstapler. – U3.3.9 Kommissionier-Flurförderzeuge. – U3.3.10 Wagen. – U3.3.11 Schlepper. – U3.3.12 Schleppzüge. – U3.3.13 Portalstapler. – U3.3.14 Fahrerlose Transportsysteme (FTS).	
<b>Literatur</b> . . . . .	<b>U 58</b>
<b>U4 Weitere Unstetigförderer</b> . . . . .	<b>U 59</b>
<b>U4.1 Elektrohängebahn</b> . . . . .	<b>U 59</b>
<b>Literatur</b> . . . . .	<b>U 59</b>
<b>U5 Aufzüge und Schachtförderanlagen</b> . . . . .	<b>U 60</b>
<b>U5.1 Übersicht</b> . . . . .	<b>U 60</b>
<b>U5.2 Aufzüge</b> . . . . .	<b>U 60</b>
U5.2.1 Hydraulikaufzüge. – U5.2.2 Seilaufzüge. – U5.2.3 Bemessung, Förderstrom, Steuerung. – U5.2.4 Steuerungen. – U5.2.5 Spezifische Sicherheitseinrichtungen.	
<b>U5.3 Schachtförderanlagen</b> . . . . .	<b>U 63</b>
<b>Literatur</b> . . . . .	<b>U 63</b>
<b>U6 Stetigförderer</b> . . . . .	<b>U 64</b>
<b>U6.1 Berechnungsgrundlagen</b> . . . . .	<b>U 64</b>
<b>U6.2 Stetigförderer mit Zugmittel</b> . . . . .	<b>U 64</b>
U6.2.1 Grundlagen der Berechnung. – U6.2.2 Gurtförderer. – U6.2.3 Becherwerke (Becherförderer). – U6.2.4 Kreisförderer. – U6.2.5 Gliederbandförderer. – U6.2.6 Kratzerförderer. – U6.2.7 Trogkettenförderer.	
<b>U6.3 Stetigförderer ohne Zugmittel</b> . . . . .	<b>U 82</b>
U6.3.1 Förderer mit Schnecken. – U6.3.2 Schwingförderer. – U6.3.3 Rollen- und Kugelbahnen.	
<b>U6.4 Sorter</b> . . . . .	<b>U 86</b>
U6.4.1 Sortiersystem – Sortieranlage – Sorter. – U6.4.2 Systematik der Verteilförderer. – U6.4.3 Quergurtsorter (Bild 54). – U6.4.4 Kippchalensorter (Bild 55). – U6.4.5 Schiebeschusorter (Bild 56).	
<b>U6.5 Weitere Stetigförderer</b> . . . . .	<b>U 88</b>
U6.5.1 Plattenbandförderer. – U6.5.2 Schubplattformförderer. – U6.5.3 Schuppenförderer. – U6.5.4 Umlauf-S-Förderer. – U6.5.5 Rutschen und Fallrohre.	
<b>U6.6 Strömungsförderer</b> . . . . .	<b>U 89</b>
U6.6.1 Pneumatische Förderer. – U6.6.2 Hydraulische Förderer. – U6.6.3 Berechnungsgrundlagen.	
<b>Literatur</b> . . . . .	<b>U 91</b>
<b>U7 Lager- und Systemtechnik</b> . . . . .	<b>U 93</b>
<b>U7.1 Stückgut-Systemtechnik</b> . . . . .	<b>U 93</b>
U7.1.1 Transporteinheiten (TE) und Transporthilfsmittel (THM). – U7.1.2 Funktion und Subsysteme. – U7.1.3 Theoretische Behandlung von Materialflusssystemen. – U7.1.4 Lagereinrichtung und Lagerbedienug. – U7.1.5 Belegungs- und Bedienstrategien. – U7.1.6 Lagerkennzahlen. – U7.1.7 Kommissionierung. – U7.1.8 Steuerung automatischer Lagersysteme. – U7.1.9 Betrieb von Lagersystemen.	
<b>U7.2 Schüttgut-Systemtechnik</b> . . . . .	<b>U 107</b>
U7.2.1 Übersicht. – U7.2.2 Schüttgutlager.	
<b>Literatur</b> . . . . .	<b>U 108</b>

<b>U8</b>	<b>Automatisierung in der Materialflusstechnik</b>	U 109
U8.1	Materialflussteuerungen	U 109
U8.2	Sensorik	U 109
U8.3	Aktuatoren	U 109
U8.4	Identifikationssysteme	U 109
	U8.4.1 Identifikation durch Personen und Geräte. – U8.4.2 Optische Datenerfassung und -übertragung. – U8.4.3 Elektronische Datenerfassung und -übertragung durch RFID. – U8.4.4 Magnetische Datenübertragung. – U8.4.5 Mechanische Datenübertragung. – U8.4.6 Weiterverarbeitung der gewonnenen Daten.	
Literatur		U 115
<b>U9</b>	<b>Baumaschinen</b>	U 116
U9.1	Einteilung und Begriffe	U 116
U9.2	Hochbaumaschinen	U 116
	U9.2.1 Hochbaumaschinen. – U9.2.2 Betonmischanlagen. – U9.2.3 Transportbetonmischer. – U9.2.4 Betonpumpen. – U9.2.5 Verteilermasten.	
U9.3	Erdbaumaschinen	U 119
	U9.3.1 Erdbaumaschinen. – U9.3.2 Schaufellader. – U9.3.3 Planiermaschinen. – U9.3.4 Transportfahrzeuge.	
Literatur		U 125
<b>V</b>	<b>Elektrotechnik</b>	
<b>V1</b>	<b>Grundlagen</b>	V 2
V1.1	Grundgesetze	V 2
	V1.1.1 Feldgrößen und -gleichungen. – V1.1.2 Elektrostatistisches Feld. – V1.1.3 Stationäres Strömungsfeld. – V1.1.4 Stationäres magnetisches Feld. – V1.1.5 Quasistationäres elektromagnetisches Feld.	
V1.2	Elektrische Stromkreise	V 4
	V1.2.1 Gleichstromkreise. – V1.2.2 Kirchhoff'sche Sätze. – V1.2.3 Kapazitäten. – V1.2.4 Induktionsgesetz. – V1.2.5 Induktivitäten. – V1.2.6 Magnetische Materialien. – V1.2.7 Kraftwirkungen im elektromagnetischen Feld.	
V1.3	Wechselstromtechnik	V 8
	V1.3.1 Wechselstromgrößen. – V1.3.2 Leistung. – V1.3.3 Drehstrom. – V1.3.4 Schwingkreise und Filter.	
V1.4	Netzwerke	V 13
	V1.4.1 Ausgleichsvorgänge. – V1.4.2 Netzwerkberechnung.	
V1.5	Werkstoffe und Bauelemente	V 15
	V1.5.1 Leiter, Halbleiter, Isolatoren. – V1.5.2 Besondere Eigenschaften bei Leitern. – V1.5.3 Stoffe im elektrischen Feld. – V1.5.4 Stoffe im Magnetfeld. – V1.5.5 Elektrolyte.	
Literatur		V 17
<b>V2</b>	<b>Transformatoren und Wandler</b>	V 18
V2.1	Einphasentransformatoren	V 18
	V2.1.1 Wirkungsweise und Ersatzschaltbilder. – V2.1.2 Spannungsinduktion. – V2.1.3 Leerlauf und Kurzschluss. – V2.1.4 Zeigerdiagramm.	
V2.2	Messwandler	V 19
	V2.2.1 Stromwandler. – V2.2.2 Spannungswandler.	
V2.3	Drehstromtransformatoren	V 20
V2.4	Spezielle Anwendungen von Transformatoren	V 21
	V2.4.1 Spezielle Anwendungen von Transformatoren. – V2.4.2 Mittelfrequenztransformatoren. – V2.4.3 Berührunglose Energieübertragung.	
Literatur		V 23
<b>V3</b>	<b>Elektrische Maschinen</b>	V 24
V3.1	Allgemeines	V 24
	V3.1.1 Maschinenarten. – V3.1.2 Bauformen und Achshöhen. – V3.1.3 Schutzarten. – V3.1.4 Elektromagnetische Ausnutzung. – V3.1.5 Verluste und Wirkungsgrad. – V3.1.6 Erwärmung und Kühlung. – V3.1.7 Betriebsarten. – V3.1.8 Schwingungen und Geräusche. – V3.1.9 Drehfelder in Drehstrommaschinen.	

V3.2	Asynchronmaschinen . . . . .	V 29
	V3.2.1 Ausführungen. – V3.2.2 Ersatzschaltbild und Kreisdiagramm. – V3.2.3 Betriebskennlinien. – V3.2.4 Einfluss der Stromverdrängung. – V3.2.5 Einphasenmotoren.	
V3.3	Synchronmaschinen . . . . .	V 31
	V3.3.1 Ausführungen. – V3.3.2 Betriebsverhalten. – V3.3.3 Kurzschlussverhalten.	
V3.4	Gleichstrommaschinen . . . . .	V 35
	V3.4.1 Ausführungen. – V3.4.2 Stationäres Betriebsverhalten. – V3.4.3 Instationäres Betriebsverhalten.	
V3.5	Kleinmotoren . . . . .	V 37
	V3.5.1 Allgemeines. – V3.5.2 Asynchron-Kleinmotoren. – V3.5.3 Synchron-Kleinmotoren für Netzbetrieb. – V3.5.4 Schrittmotoren. – V3.5.5 Elektronisch kommutierte Motoren. – V3.5.6 Gleichstrom-Kleinmotoren. – V3.5.7 Universalmotoren.	
V3.6	Linearmotoren . . . . .	V 40
	V3.6.1 Gleichstromlinearmotoren. – V3.6.2 Asynchronlinearmotoren. – V3.6.3 Synchronlinearmotoren.	
V3.7	Torquemotoren . . . . .	V 41
V3.8	High-Speed-Motoren . . . . .	V 42
	Literatur . . . . .	V 42
<b>V4</b>	<b>Leistungselektronik</b> . . . . .	V 43
V4.1	Grundlagen und Bauelemente . . . . .	V 43
	V4.1.1 Allgemeines. – V4.1.2 Ausführungen von Halbleiterventilen. – V4.1.3 Leistungsmerkmale der Ventile. – V4.1.4 Einteilung der Stromrichter.	
V4.2	Wechselstrom- und Drehstromsteller . . . . .	V 45
V4.3	Netzgeführte Stromrichter . . . . .	V 46
	V4.3.1 Netzgeführte Gleich- und Wechselrichter. – V4.3.2 Steuerkennlinien. – V4.3.3 Umkehrstromrichter. – V4.3.4 Netzurückwirkungen. – V4.3.5 Direktumrichter.	
V4.4	Selbstgeführte Stromrichter . . . . .	V 48
	V4.4.1 Gleichstromsteller. – V4.4.2 Selbstgeführte Wechselrichter und Umrichter. – V4.4.3 Blindleistungskompensation.	
	Literatur . . . . .	V 53
<b>V5</b>	<b>Elektrische Antriebstechnik</b> . . . . .	V 54
V5.1	Allgemeines . . . . .	V 54
	V5.1.1 Aufgaben. – V5.1.2 Stationärer Betrieb. – V5.1.3 Anfahren. – V5.1.4 Drehzahlverstellung. – V5.1.5 Drehschwingungen. – V5.1.6 Elektrische Bremsung. – V5.1.7 Elektromagnetische Verträglichkeit.	
V5.2	Gleichstromantriebe . . . . .	V 57
	V5.2.1 Gleichstromantriebe mit netzgeführten Stromrichtern. – V5.2.2 Regelung in der Antriebstechnik. – V5.2.3 Drehzahlregelung.	
V5.3	Drehstromantriebe . . . . .	V 60
	V5.3.1 Antriebe mit Drehstromsteller. – V5.3.2 Stromrichteraskaden. – V5.3.3 Stromrichtermotor. – V5.3.4 Umrichterantriebe mit selbstgeführtem Wechselrichter. – V5.3.5 Regelung von Drehstromantrieben.	
V5.4	Elektroantriebe in speziellen Anwendungen . . . . .	V 65
	V5.4.1 Servoantriebe. – V5.4.2 Hybridantriebe in der Fahrzeugtechnik. – V5.4.3 Antriebe für Elektrofahrzeuge.	
V5.5	Magnetlager . . . . .	V 71
	V5.5.1 Aktive Magnetlager. – V5.5.2 Passive Magnetlager. – V5.5.3 Leistungssteller. – V5.5.4 Regelung von Magnetlagern.	
	Literatur . . . . .	V 78
<b>V6</b>	<b>Energieverteilung</b> . . . . .	V 79
V6.1	Allgemeines . . . . .	V 79
V6.2	Kabel und Leitungen . . . . .	V 80
	V6.2.1 Leitungsnachbildung. – V6.2.2 Kenngrößen der Leitungen.	
V6.3	Schaltgeräte . . . . .	V 81
	V6.3.1 Schaltanlagen. – V6.3.2 Hochspannungsschaltgeräte. – V6.3.3 Niederspannungsschaltgeräte.	
V6.4	Schutzeinrichtungen . . . . .	V 81
	V6.4.1 Kurzschlusschutz. – V6.4.2 Schutzschalter. – V6.4.3 Thermischer Überstromschutz. – V6.4.4 Kurzschlussströme. – V6.4.5 Selektiver Netzschutz. – V6.4.6 Berührungsschutz.	

V6.5	<b>Energiespeicherung</b> . . . . .	V 84
	V6.5.1 Energiespeicherung. – V6.5.2 Batterien. – V6.5.3 Andere Energiespeicher.	
V6.6	<b>Elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen</b> . . . . .	V 85
	V6.6.1 Solarenergie. – V6.6.2 Windenergie. – V6.6.3 Antriebsstränge in Windenergieanlagen.	
	<b>Literatur</b> . . . . .	V 92
<b>V7</b>	<b>Elektrowärme</b> . . . . .	V 93
V7.1	<b>Widerstandserwärmung</b> . . . . .	V 93
V7.2	<b>Lichtbogenerwärmung</b> . . . . .	V 94
	V7.2.1 Lichtbogenofen. – V7.2.2 Lichtbogenschweißen.	
V7.3	<b>Induktive Erwärmung</b> . . . . .	V 94
	V7.3.1 Stromverdrängung, Eindringtiefe. – V7.3.2 Aufwölbung und Bewegungen im Schmelzgut. – V7.3.3 Oberflächenerwärmung. – V7.3.4 Stromversorgung.	
V7.4	<b>Dielektrische Erwärmung</b> . . . . .	V 95
	<b>Literatur</b> . . . . .	V 96
<b>V8</b>	<b>Elektronische Komponenten</b> . . . . .	V 97
V8.1	<b>Passive Komponenten</b> . . . . .	V 97
	V8.1.1 Aufbau elektronischer Schaltungen. – V8.1.2 Widerstände. – V8.1.3 Kapazitäten. – V8.1.4 Induktivitäten.	
V8.2	<b>Dioden</b> . . . . .	V 98
	V8.2.1 Diodenkennlinien und Daten. – V8.2.2 Schottky-Dioden. – V8.2.3 Kapazitätsdioden. – V8.2.4 Z-Dioden. – V8.2.5 Leistungsdioden.	
V8.3	<b>Transistoren</b> . . . . .	V 99
	V8.3.1 Bipolartransistoren. – V8.3.2 Feldeffekttransistoren. – V8.3.3 IGB-Transistoren.	
V8.4	<b>Thyristoren</b> . . . . .	V 102
	V8.4.1 Thyristorkennlinien und Daten. – V8.4.2 Steuerung des Thyristors. – V8.4.3 Triacs, Diacs. – V8.4.4 Abschaltbare Thyristoren.	
V8.5	<b>Operationsverstärker</b> . . . . .	V 105
V8.6	<b>Optoelektronische Komponenten</b> . . . . .	V 105
	V8.6.1 Optoelektronische Empfänger. – V8.6.2 Optoelektronische Sender. – V8.6.3 Optokoppler.	
	<b>Literatur</b> . . . . .	V 107
<b>V9</b>	<b>Anhang V: Diagramme und Tabellen</b> . . . . .	V 108
	<b>Literatur zu Teil V Elektrotechnik</b> . . . . .	V 111
<b>W</b>	<b>Messtechnik und Sensorik</b>	
<b>W1</b>	<b>Grundlagen</b> . . . . .	W 2
W1.1	<b>Aufgabe der Messtechnik</b> . . . . .	W 2
W1.2	<b>Strukturen der Messtechnik</b> . . . . .	W 2
	W1.2.1 Messkette. – W1.2.2 Kenngrößen von Messgliedern. – W1.2.3 Messabweichung von Messgliedern. – W1.2.4 Dynamische Übertragungseigenschaften von Messgliedern.	
W1.3	<b>Planung von Messungen</b> . . . . .	W 4
W1.4	<b>Auswertung von Messungen</b> . . . . .	W 5
	W1.4.1 Typ A – Methode zur Ermittlung der Standardmessunsicherheit durch statistische Analyse von Messreihen. – W1.4.2 Typ B – Methode zur Ermittlung der Standardmessunsicherheit.	
W1.5	<b>Ergebnisdarstellung und Dokumentation</b> . . . . .	W 6
	<b>Literatur</b> . . . . .	W 7
<b>W2</b>	<b>Messgrößen und Messverfahren</b> . . . . .	W 8
W2.1	<b>Einheitensystem und Gliederung der Messgrößen der Technik</b> . . . . .	W 8
	W2.1.1 Internationales Einheitensystem. – W2.1.2 Gliederung der Messgrößen.	
W2.2	<b>Sensoren und Aktoren</b> . . . . .	W 8
	W2.2.1 Messgrößenumformung. – W2.2.2 Zerstörungsfreie Bauteil- und Maschinendiagnostik.	
W2.3	<b>Geometrische Messgrößen</b> . . . . .	W 8
	W2.3.1 Längenmesstechnik. – W2.3.2 Gewinde- und Zahnradmesstechnik. – W2.3.3 Oberflächenmesstechnik. – W2.3.4 Mustererkennung und Bildverarbeitung.	



W2.4	<b>Kinematische und schwingungstechnische Messgrößen</b> . . . . .	W 14
	W2.4.1 Wegmesstechnik. – W2.4.2 Geschwindigkeits- und Drehzahlmesstechnik. – W2.4.3 Beschleunigungsmesstechnik.	
W2.5	<b>Mechanische Beanspruchungen</b> . . . . .	W 16
	W2.5.1 Kraftmesstechnik. – W2.5.2 Dehnungsmesstechnik. – W2.5.3 Experimentelle Spannungsanalyse. – W2.5.4 Druckmesstechnik.	
W2.6	<b>Strömungstechnische Messgrößen</b> . . . . .	W 21
	W2.6.1 Flüssigkeitsstand. – W2.6.2 Volumen, Durchfluss, Strömungsgeschwindigkeit. – W2.6.3 Viskosimetrie.	
W2.7	<b>Thermische Messgrößen</b> . . . . .	W 23
	W2.7.1 Temperaturmesstechnik. – W2.7.2 Kalorimetrie.	
W2.8	<b>Optische Messgrößen</b> . . . . .	W 24
	W2.8.1 Licht- und Farbmessstechnik. – W2.8.2 Refraktometrie. – W2.8.3 Polarimetrie.	
W2.9	<b>Umweltmessgrößen</b> . . . . .	W 26
	W2.9.1 Strahlungsmesstechnik. – W2.9.2 Akustische Messtechnik. – W2.9.3 Feuchtemesstechnik.	
W2.10	<b>Stoffmessgrößen</b> . . . . .	W 28
	W2.10.1 Anorganisch-chemische Analytik. – W2.10.2 Organisch-chemische Analytik. – W2.10.3 Oberflächenanalytik.	
Literatur	. . . . .	W 29
<b>W3</b>	<b>Messsignalverarbeitung</b> . . . . .	W 31
W3.1	<b>Signalarten</b> . . . . .	W 31
W3.2	<b>Analoge elektrische Messtechnik</b> . . . . .	W 31
	W3.2.1 Strom-, Spannungs- und Widerstandsmesstechnik. – W3.2.2 Kompensatoren und Messbrücken. – W3.2.3 Messverstärker. – W3.2.4 Funktionsbausteine.	
W3.3	<b>Digitale elektrische Messtechnik</b> . . . . .	W 34
	W3.3.1 Digitale Messsignaldarstellung. – W3.3.2 Analog-Digital-Umsetzer.	
W3.4	<b>Rechnerunterstützte Messsignalverarbeitung</b> . . . . .	W 35
Literatur	. . . . .	W 37
<b>W4</b>	<b>Messwertausgabe</b> . . . . .	W 38
W4.1	<b>Messwertanzeige</b> . . . . .	W 38
	W4.1.1 Messwerke. – W4.1.2 Digitalvoltmeter, Digitalmultimeter. – W4.1.3 Oszilloskope.	
W4.2	<b>Messwertregistrierung</b> . . . . .	W 39
	W4.2.1 Schreiber. – W4.2.2 Drucker. – W4.2.3 Messwertspeicherung.	
Literatur	. . . . .	W 40
<b>W5</b>	<b>Anhang W: Diagramme und Tabellen</b> . . . . .	W 41
Literatur zu Teil W Messtechnik und Sensorik	. . . . .	W 44
<b>X</b>	<b>Regelungstechnik und Mechatronik</b>	
<b>X1</b>	<b>Grundlagen</b> . . . . .	X 2
X1.1	<b>Begriffe</b> . . . . .	X 2
X1.2	<b>Differentialgleichung und Übertragungsfunktion</b> . . . . .	X 4
Literatur	. . . . .	X 4
<b>X2</b>	<b>Modellierung</b> . . . . .	X 5
X2.1	<b>White-Box-Modellierung</b> . . . . .	X 5
X2.2	<b>Black-Box-Modellierung</b> . . . . .	X 7
	X2.2.1 Sprungantwort und Übergangsfunktion. – X2.2.2 Frequenzgang, Ortskurve und Bode-Diagramm.	
X2.3	<b>Zusammenhang Frequenzbereich – Zustandsraum</b> . . . . .	X 9
X2.4	<b>Statisches Systemverhalten</b> . . . . .	X 9
	X2.4.1 Lineare Kennlinie. – X2.4.2 Nichtlinearitäten.	
X2.5	<b>Dynamisches Verhalten linearer zeitinvarianter Übertragungsglieder</b> . . . . .	X 10
	X2.5.1 <i>P</i> -Glied. – X2.5.2 <i>I</i> -Glied. – X2.5.3 <i>D</i> -Glied. – X2.5.4 $T_1$ -Glied. – X2.5.5 $T_1$ -Glied. – X2.5.6 $T_2/n$ -Glied.	

<b>X2.6</b>	<b>Grundstrukturen des Wirkungsplans</b> . . . . .	<b>X 12</b>
	X2.6.1 Reihenstruktur. – X2.6.2 Parallelstruktur. – X2.6.3 Kreisstruktur.	
<b>X2.7</b>	<b>Regelstrecken</b> . . . . .	<b>X 13</b>
	X2.7.1 <i>P</i> -Strecke 0. Ordnung ( $P-T_0$ ). – X2.7.2 <i>P</i> -Strecke 1. Ordnung ( $P-T_1$ ). – X2.7.3 <i>P</i> -Strecke 2. und höherer Ordnung ( $P-T_n$ ). – X2.7.4 <i>P</i> -Strecke mit Totzeit ( $P-T_T$ ). – X2.7.5 Strecke mit Ausgleich <i>n</i> -ter Ordnung und Totzeit ( $P-T_n-T_T$ ). – X2.7.6 <i>I</i> -Strecke 0. Ordnung ( $I-T_0$ ). – X2.7.7 <i>I</i> -Strecke 1. Ordnung ( $I-T_1$ ). – X2.7.8 <i>I</i> -Strecke <i>n</i> -ter Ordnung und Totzeit ( $I-T_n-T_T$ ).	
	<b>Literatur</b> . . . . .	<b>X 15</b>
<b>X3</b>	<b>Regelung</b> . . . . .	<b>X 16</b>
<b>X3.1</b>	<b>Struktur und Größen des Regelkreises</b> . . . . .	<b>X 16</b>
	X3.1.1 Funktionsblöcke des Regelkreises. – X3.1.2 Größen des Regelkreises. – X3.1.3 Stell- und Störverhalten der Strecke.	
<b>X3.2</b>	<b>PID-Regler</b> . . . . .	<b>X 16</b>
	X3.2.1 <i>PID</i> -Regler. – X3.2.2 <i>I</i> -Anteil, <i>I</i> -Regler. – X3.2.3 <i>PI</i> -Regler. – X3.2.4 <i>PD</i> -Regler. – X3.2.5 <i>PID</i> -Regler.	
<b>X3.3</b>	<b>Linearer Regelkreis</b> . . . . .	<b>X 18</b>
	X3.3.1 Führungs-, Störungs- und Rauschverhalten des Regelkreises. – X3.3.2 Stabilität des Regelkreises. – X3.3.3 Regelgüte. – X3.3.4 Einstellregeln für Regelkreise. – X3.3.5 Signalkalierung.	
<b>X3.4</b>	<b>Spezielle Formen der Regelung</b> . . . . .	<b>X 23</b>
	X3.4.1 Regelung mit Störgrößenaufschaltung. – X3.4.2 Kaskadenregelung. – X3.4.3 Zweipunkt-Regelung. – X3.4.4 Fuzzy-Regelung.	
	<b>Literatur</b> . . . . .	<b>X 26</b>
<b>X4</b>	<b>Mechatronische und regelungstechnische Systeme</b> . . . . .	<b>X 27</b>
<b>X4.1</b>	<b>Einführung</b> . . . . .	<b>X 27</b>
<b>X4.2</b>	<b>Modellbildung und Entwurf</b> . . . . .	<b>X 27</b>
<b>X4.3</b>	<b>Komponenten</b> . . . . .	<b>X 27</b>
	X4.3.1 Sensoren. – X4.3.2 Aktoren. – X4.3.3 Prozessdatenverarbeitung und Bussysteme.	
<b>X4.4</b>	<b>Beispiele mechatronischer Systeme</b> . . . . .	<b>X 31</b>
	<b>Literatur</b> . . . . .	<b>X 32</b>
	<b>Literatur zu Teil X Regelungstechnik</b> . . . . .	<b>X 34</b>
<b>Y</b>	<b>Elektronische Datenverarbeitung</b>	
<b>Y1</b>	<b>Einführung</b> . . . . .	<b>Y 2</b>
<b>Y2</b>	<b>Informationstechnologie</b> . . . . .	<b>Y 3</b>
<b>Y2.1</b>	<b>Grundlagen und Begriffe</b> . . . . .	<b>Y 3</b>
	Y2.1.1 Zahlendarstellungen und arithmetische Operationen. – Y2.1.2 Datenstrukturen und Datentypen. – Y2.1.3 Algorithmen. – Y2.1.4 Numerische Berechnungsverfahren. – Y2.1.5 Programmiermethoden. – Y2.1.6 Programmiersprachen. – Y2.1.7 Objektorientierte Programmierung. – Y2.1.8 Softwareentwicklung.	
<b>Y2.2</b>	<b>Digitalrechnerntechnologie</b> . . . . .	<b>Y 9</b>
	Y2.2.1 Hardwarekomponenten. – Y2.2.2 Hardwarearchitekturen. – Y2.2.3 Rechnernetze. – Y2.2.4 Client-/Serverarchitekturen. – Y2.2.5 Betriebssysteme.	
<b>Y2.3</b>	<b>Internet und Integrationstechnologien</b> . . . . .	<b>Y 12</b>
<b>Y2.4</b>	<b>Sicherheit</b> . . . . .	<b>Y 13</b>
	Y2.4.1 Betriebssicherheit – Safety. – Y2.4.2 IT-Sicherheit – Security. – Y2.4.3 Kryptografie.	
	<b>Literatur</b> . . . . .	<b>Y 16</b>
<b>Y3</b>	<b>Virtuelle Produktentstehung</b> . . . . .	<b>Y 18</b>
<b>Y3.1</b>	<b>Produktentstehungsprozess</b> . . . . .	<b>Y 18</b>
<b>Y3.2</b>	<b>Basismethoden</b> . . . . .	<b>Y 18</b>
	Y3.2.1 Geometrische Modellierung. – Y3.2.2 Featuretechnologie. – Y3.2.3 Parametrik und Zwangsbedingungen. – Y3.2.4 Wissensbasierte Modellierung. – Y3.2.5 Modellierung der Produktstruktur. – Y3.2.6 Durchgängige Erstellung von Dokumenten.	

Y3.3	<b>CAX-Prozessketten</b> . . . . .	Y 25
	Y3.3.1 CAD-CAE-Prozessketten. – Y3.3.2 Prozesskette CAD-FEM. – Y3.3.3 Prozesskette CAD-CFD. – Y3.3.4 Prozesskette CAD-MKS. – Y3.3.5 Prozesskette CAD-DMU. – Y3.3.6 Prozesskette CAD- CAM. – Y3.3.7 Prozesskette CAD-TPD. – Y3.3.8 Prozesskette CAD-VR/AR. – Y3.3.9 Prozesskette CAD-AF.	
Y3.4	<b>Produktdatenmanagement</b> . . . . .	Y 27
	Y3.4.1 Methoden des Produktdatenmanagements. – Y3.4.2 Funktionen des Produktdatenmanagementsystems. – Y3.4.3 Architektur des Produktdatenmanagementsystems.	
Y3.5	<b>Kooperative Produktentwicklung</b> . . . . .	Y 32
Y3.6	<b>Schnittstellen</b> . . . . .	Y 32
	<b>Literatur</b> . . . . .	Y 33
<b>Y4</b>	<b>Elektronische Datenverarbeitung – Agentenbasiertes Steuern</b> . . . . .	Y 35
Y4.1	<b>Einleitung</b> . . . . .	Y 35
Y4.2	<b>Agentenbegriff</b> . . . . .	Y 35
Y4.3	<b>Entwurfsprozess für Agentensysteme</b> . . . . .	Y 35
Y4.4	<b>Anwendungsbeispiele</b> . . . . .	Y 37
	Y4.4.1 Agentenbasierte Produktionsplanung. – Y4.4.2 Agentenbasierte Feldsteuerung. – Y4.4.3 Agenten in der Intralogistik.	
	<b>Literatur</b> . . . . .	Y 39
<b>Y5</b>	<b>Anhang Y: Diagramme und Tabellen</b> . . . . .	Y 40
	<b>Literatur zu Teil Y Elektronische Datenverarbeitung</b> . . . . .	Y 43
<b>Z</b>	<b>Allgemeine Tabellen</b>	
<b>Z1</b>	<b>Allgemeine Tabellen</b> . . . . .	Z 2
	<b>Fachausdrücke</b> . . . . .	1
	<b>Autorenporträts</b> . . . . .	47
	<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	73