



5.4	Eisen- und Stahlwerkstoffe .....	115	7.5.3	Sägen.....	178
5.4.1	Einteilung nach der Verwendung.....	115	7.5.4	Feilen .....	180
5.4.2	Einteilung nach Güteklassen.....	116	7.5.5	Spanende Fertigung mit Werkzeugma-	
5.4.3	Normung von Eisen- und Stahlwerkstoffen	116		schinen .....	181
5.4.4	Wichtige Stähle und Eisenwerkstoffe		7.5.6	Bohren .....	184
	(Auswahl) .....	118	7.5.7	Senken.....	189
5.5	Nichteisenmetalle.....	121	7.5.8	Reiben.....	190
5.5.1	Kupfer und Kupferlegierungen .....	121	7.5.9	Gewindeschneiden .....	191
5.5.2	Aluminium und Aluminiumlegierungen .....	122	7.5.10	Drehen .....	195
5.6	Weitere wichtige Metalle.....	123	7.5.11	Fräsen .....	201
5.7	Sinterwerkstoffe .....	124	7.5.12	Schleifen.....	206
5.7.1	Herstellung von Sinterteilen .....	124	7.6	Fügen.....	209
5.7.2	Einsatzbereiche von Sintermetallen .....	124	7.6.1	Einteilung und Wirkweise.....	209
5.8	Korrosion.....	125	7.6.2	Schraubverbindung .....	210
5.8.1	Korrosionsursachen .....	125	7.6.3	Stift- und Bolzenverbindung .....	219
5.8.2	Erscheinungsformen der Korrosion.....	126	7.6.4	Keilverbindung .....	221
5.8.3	Korrosionsschutzmaßnahmen .....	126	7.6.5	Federverbindung.....	222
5.9	Kunststoffe.....	127	7.6.6	Löten.....	223
5.9.1	Eigenschaften von Kunststoffen und ihre		7.6.7	Schweißen .....	226
	Verwendungsmöglichkeiten .....	127	7.6.8	Kleben.....	230
5.9.2	Einteilung von Kunststoffen.....	128	7.6.9	Pressverbindungen .....	232
5.10	Verbundstoffe .....	130	7.6.10	Klemm- und Quetschverbindungen.....	233
5.11	Hilfsstoffe .....	131	7.7	Fertigungsautomatisierung.....	235
5.12	Werkstoffe und Umweltschutz.....	132	7.7.1	Historische Entwicklung.....	235
			7.7.2	Bausteine der Fertigungsautomatisierung..	237
<b>6</b>	<b>Mechanische Systeme</b>	<b>133</b>	7.8	CNC-Steuerungen .....	239
6.1	Grundlagen des Systemgedankens .....	133	7.8.1	Historische Entwicklung .....	239
6.1.1	Die Systemgrenzen .....	134	7.8.2	Merkmale von CNC-Maschinen.....	241
6.1.2	Die Ein- und Ausgangsgrößen.....	134	7.8.3	Wegmesssysteme .....	242
6.1.3	Haupt- und Teilfunktionen eines		7.8.4	Positionsangabe und Koordinatensystem ..	243
	technischen Systems .....	134	7.8.5	Werkzeugvermessung und	
6.2	Physikalische Grundlagen von mecha-			Werkzeugkorrekturen.....	244
	nischen Systemen.....	136	7.8.6	Steuerungsarten.....	245
6.2.1	Mechanische Arbeit .....	136	7.8.6.1	Punktsteuerung .....	245
6.2.2	Mechanische Leistung und Wirkungsgrad..	137	7.8.6.2	Bahnsteuerung .....	245
6.3	Funktionseinheiten von mechanischen		7.8.7	CNC-Programm .....	248
	Systemen .....	139	7.8.8	Programmieren von CNC-Fertigungs-	
6.3.1	Funktionseinheiten zum Antreiben .....	140		maschinen .....	259
6.3.2	Funktionseinheiten zur		7.8.9	Beispiele numerisch gesteuerter Ferti-	
	Energieübertragung .....	140		gungsmaschinen.....	261
6.3.2.1	Wellen.....	141	7.9	Handhabungstechnik und Robotertechnik..	266
6.3.2.2	Kupplungen .....	142	7.9.1	Handhabungseinrichtungen .....	267
6.3.2.3	Getriebe.....	144	7.9.1.1	Balancer.....	268
6.3.2.4	Kenngrößen von Getrieben .....	148	7.9.1.2	Manipulatoren .....	269
6.3.2.5	Linearantriebe.....	150	7.9.1.3	Teleoperatoren .....	269
6.3.3	Funktionseinheiten zum Arbeiten.....	151	7.9.1.4	Modulare Systeme.....	269
6.3.4	Funktionseinheiten zum Stützen und		7.9.1.5	Industrieroboter.....	270
	Tragen .....	151	7.9.2	Kinematik des Roboters.....	274
6.3.4.1	Gehäuse und Gestelle.....	151	7.9.2.1	Getriebefreiheitsgrad .....	275
6.3.4.2	Führungen.....	152	7.9.2.2	Bauarten und Arbeitsräume.....	276
6.3.4.3	Lager.....	155	7.9.3	Roboter-Steuerung .....	279
			7.9.4	Programmierung von IR.....	283
<b>7</b>	<b>Herstellen mechanischer Systeme</b>	<b>163</b>	<b>8</b>	<b>Grundlagen der Elektrotechnik</b>	<b>285</b>
	<b>(Fertigungstechnik)</b>				
7.1	Grundlagen der Fertigungstechnik .....	163	8.1	Das Bohr'sche Atommodell .....	286
7.2	Die Fertigungshauptgruppen.....	163	8.2	Ladungstrennung .....	287
7.3	Das Urformen .....	166	8.2.1	Erzeugung elektrischer Spannung .....	288
7.3.1	Urformen durch Gießen.....	166	8.2.2	Spannungsarten.....	288
7.3.2	Urformen durch Sintern .....	167	8.3	Elektrischer Strom.....	289
7.3.3	Additive Fertigungsverfahren (3-D-Druck)..	168	8.4	Der elektrische Widerstand .....	291
7.4	Umformen.....	170	8.5	Das Ohm'sche Gesetz .....	292
7.4.1	Einteilung der Umformverfahren .....	170	8.6	Elektrische Arbeit und elektrische Leistung	293
7.4.2	Biegen.....	171	8.7	Wirkungsgrad .....	294
7.4.2.1	Technologische Grundlagen .....	171	8.8	Elektrisches Feld.....	295
7.4.2.2	Biegen von Rohren .....	172	8.9	Magnetisches Feld .....	297
7.4.2.3	Zuschnittlängen .....	174	8.9.1	Magnetische Kreise.....	298
7.5	Trennen.....	175	8.9.2	Grundgrößen des magnetischen Feldes .....	298
7.5.1	Grundlagen der mechanischen Trenn-		8.9.3	Magnetische Werkstoffe.....	300
	verfahren .....	175	8.9.4	Magnetisierung ferromagnetischer	
7.5.2	Spanen .....	176		Werkstoffe .....	301

8.9.5	Kraftwirkung auf parallel verlaufende stromdurchflossene Leiter .....	302	9.2.4.3	Spannungsstellung bei vorhandenem Wechselspannungsnetz.....	354
8.9.6	Elektromagnetische Induktion .....	302	9.2.5	Veränderung der Drehfeldrehzahl bei Asynchronmotoren .....	355
8.10	Grundsaltungen elektrischer Widerstände.....	306	9.2.5.1	Prinzip des Frequenzumrichters .....	356
8.10.1	Widerstandsbauelemente im Stromkreis....	306	9.2.5.2	Verhalten der Asynchronmaschine bei Frequenzsteuerung .....	358
8.10.2	Widerstandskennzeichnung.....	306	9.2.6	Servoantriebe .....	359
8.10.3	Reihenschaltung von Widerständen .....	307	9.2.7	Schrittmotoren .....	361
8.10.4	Maschensatz (zweites Kirchhoff'sches Gesetz).....	308	9.2.8	EC-Motoren – Motoren mit elektronischer Kommutierung .....	363
8.10.5	Parallelschaltung von Widerständen .....	308	9.2.9	Schutz elektrischer Antriebe .....	366
8.10.6	Knotenpunktregel (erstes Kirchhoff'sches Gesetz).....	309	9.2.10	Einsatz eines variablen Antriebes in einer Applikation.....	369
8.11	Grundlagen der Wechselstromtechnik.....	309	9.3	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ..	372
8.11.1	Erzeugung von Wechselspannungen und Begriffsdefinitionen.....	309	9.3.1	EMV-Messungen .....	373
8.11.2	Zeiger zur Darstellung von Wechselgrößen	311	9.3.2	EMV-Schutzmaßnahmen .....	374
8.11.3	Frequenz und Periodendauer.....	311	9.3.3	Frequenzspektrum elektromagnetischer Felder.....	375
8.11.4	Kreisfrequenz.....	311	9.4	Schutzmaßnahmen .....	376
8.11.5	Wellenlänge .....	312	9.4.1	Sicherheit in Niederspannungsanlagen .....	376
8.11.6	Effektivwert .....	312	9.4.1.1	Wirkungen des elektrischen Stroms auf den Organismus.....	376
8.12	Der Kondensator im Stromkreis.....	313	9.4.1.2	Fünf Sicherheitsregeln.....	376
8.13	Die Spule im Stromkreis.....	315	9.4.1.3	Hilfsmaßnahmen bei Unfällen.....	378
8.14	Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom).....	317	9.4.1.4	Direktes und indirektes Berühren.....	378
8.14.1	Spannungserzeugung.....	317	9.4.1.5	Fachbegriffe .....	378
8.14.2	Verkettung .....	317	9.4.2	Sicherheitsbestimmungen für Niederspannungsanlagen.....	379
8.14.3	Verbraucherschaltungen im Drehstromnetz	319	9.4.2.1	Zulässige Berührungsspannung .....	379
8.14.3.1	Sternschaltung (Y).....	319	9.4.2.2	Schutzklassen .....	380
8.14.3.2	Dreieckschaltung ( $\Delta$ ) .....	321	9.4.2.3	IP Schutzarten .....	381
8.14.4	Leistungen im Drehstromnetz .....	322	9.4.2.4	Arbeiten an elektrischen Anlagen .....	382
8.15	Grundlagen elektronischer Bauelemente ...	324	9.4.2.5	Personen der Elektrotechnik .....	382
8.15.1	Die Diode.....	324	9.4.2.6	Fehlerarten in elektrischen Anlagen.....	384
8.15.1.1	Die Zener-Diode.....	325	9.4.2.7	Spannungen im Fehlerfall.....	384
8.15.1.2	Die Leuchtdiode.....	325	9.4.3	Prinzip der dreifachen Sicherheit .....	385
8.15.2	Der Transistor .....	326	9.4.4	Schutz gegen elektrischen Schlag.....	386
8.15.3	Bauelemente der Leistungselektronik.....	327	9.4.4.1	Schutz gegen direktes Berühren (Basischutz) .....	386
8.15.3.1	Die Leistungsdiode.....	328	9.4.4.2	Schutz gegen indirektes Berühren (Fehler-schutz) .....	387
8.15.3.2	Der Diac.....	328	9.4.5	Netzsysteme .....	388
8.15.3.3	Der p-Gate-Thyristor .....	328	9.4.5.1	TN-C-S-System.....	388
8.15.3.4	Der Triac.....	328	9.4.5.2	TN-S-System.....	388
8.15.3.5	Der Insulated Gate Bipolar Transistor.....	329	9.4.5.3	TT-System.....	389
8.16	Grundlagen der elektrischen Messtechnik ..	330	9.4.5.4	IT-System .....	389
8.16.1	Erfassung elektrischer Größen: Messgeräte	330	9.4.5.5	Schleifenimpedanz $Z_S$ .....	390
8.16.2	Messung der elektrischen Spannung .....	331	9.4.5.6	Schutz im TN-Netz.....	390
8.16.3	Messung des elektrischen Stromes .....	331	9.4.5.7	Schutz im TT-Netz.....	391
8.16.4	Spannungsfehlerschaltung .....	332	9.4.5.8	Schutz im IT-Netz .....	391
8.16.5	Stromfehlerschaltung .....	332	9.4.5.9	Doppelte oder verstärkte Isolierung.....	392
8.16.6	Messung zeitabhängiger elektrischer Größen .....	332	9.4.5.10	Schutztrennung .....	393
<b>9</b>	<b>Elektrische Maschinen</b>	<b>334</b>	9.4.5.11	Schutz durch Schutzkleinspannung .....	393
9.1	Transformatoren .....	335	9.4.5.21	Fehlerstromschutzeinrichtungen .....	394
9.1.1	Aufbau und Wirkungsweise.....	335	9.4.6	Prüfung elektrischer Betriebsmittel.....	397
9.1.2	Übersetzungsverhältnis.....	336	9.4.6.1	Erstprüfung von ortsfesten elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln .....	397
9.1.3	Verluste und Wirkungsgrad .....	337	9.4.6.2	Wiederkehrende Prüfungen von elektrischen Anlagen und ortsfesten Betriebsmitteln .....	399
9.1.4	Betriebsverhalten .....	338	9.4.6.3	Prüfen der Schutzleiter und Potentialausgleichsleiter .....	399
9.1.5	Kennwerte .....	339	9.4.6.4	Messung der Isolationswiderstände in elektrischen Anlagen .....	400
9.1.6	Magnetische Kopplung und Streuung.....	340	9.4.6.5	Prüfung der Schutzmaßnahmen SELV .....	400
9.1.7	Bauformen von Transformatoren .....	341	9.4.6.6	E-Check als Gütesiegel für die Elektroanlage.....	400
9.1.7.1	Kleintransformatoren.....	341	9.4.7	Überspannungen und Störspannungen.....	401
9.1.7.2	Spartransformator.....	342			
9.1.7.3	Drehstromtransformatoren.....	342			
9.2	Elektrische Antriebe .....	343			
9.2.1	Grundlagen elektrischer Maschinen .....	344			
9.2.2	Drehstromasynchronmotoren .....	346			
9.2.3	Einphasen-Wechselstrommotoren.....	349			
9.2.4	Gleichstrommotoren.....	350			
9.2.4.1	Wirkungsweise von Gleichstrommotoren....	351			
9.2.4.2	Arten von Gleichstrommotoren.....	352			

9.4.7.1	Elektrostatische Aufladung .....	401	10.5.2.3	Schaltverzögerung .....	473
9.4.7.2	SEMP .....	401	10.5.2.4	Selbsthaltung .....	475
9.4.7.3	LEMP .....	402	10.6	Hydraulische Steuerungen .....	476
9.4.7.4	Blitzschutz .....	402	10.6.1	Hydraulische Kreisläufe .....	477
9.4.7.5	Schutz gegen Überspannung .....	403	10.6.2	Hydraulikflüssigkeiten .....	478
<b>10</b>	<b>Steuerungstechnik</b> .....	<b>404</b>	10.6.3	Hydraulikpumpen und -motoren .....	484
10.1	Grundlagen .....	404	10.6.4	Hydraulikzylinder .....	489
10.1.1	Steuervorgänge .....	404	10.6.5	Hydraulikventile .....	495
10.1.2	Einteilung von Steuerungen .....	405	10.6.5.1	Wegeventile .....	495
10.1.3	Regelungsvorgänge .....	407	10.6.5.2	Druckventile .....	498
10.2	Digitaltechnik .....	408	10.6.5.3	Strom- und Sperrventile .....	500
10.2.1	Signalformen .....	408	10.6.5.4	Zubehör .....	502
10.2.2	Die logischen Grundverknüpfungen .....	408	10.7	Sensoren .....	504
10.2.3	Elektronische Schaltkreisfamilien .....	411	10.7.1	Bedeutung von Sensoren .....	504
10.2.4	Entwerfen logischer Verknüpfungsschal- tungen .....	412	10.7.2	Mechanische Grenztaster (Positionsschalter) .....	506
10.2.5	Vereinfachung von Funktionsgleichungen..	413	10.7.3	Induktive Sensoren (Näherungsschalter) ...	508
10.2.6	Minimierung mit KV-Diagramm .....	414	10.7.4	Korrekturfaktoren .....	508
10.2.7	Analyse logischer Schaltungen .....	416	10.7.5	Kapazitive Sensoren .....	511
10.2.8	Speicherfunktionen .....	417	10.7.6	Ultraschall-Sensoren .....	513
10.2.8.1	JK-Master-Slave-Flipflop (JK-MS-FF) .....	418	10.7.7	Optische Sensoren .....	516
10.2.8.2	JK-Master-Slave-Flipflop mit statischen Eingängen .....	419	10.7.7.1	Einweg-Lichtschanke .....	517
10.2.9	Zähler .....	419	10.7.7.2	Reflexionslichtschranke .....	517
10.2.9.1	Asynchrone Zähler .....	419	10.7.7.3	Reflexionslichttaster .....	518
10.2.9.2	Synchrone Zähler .....	420	10.7.7.4	Reflexionslichttaster mit Hintergrundaussblendung .....	519
10.2.9.3	Register .....	422	10.7.7.5	Sensoren mit Lichtwellenleiter (LWL) .....	520
10.2.9.4	Schieberegister (Prinzip) .....	422	10.7.7.6	Elektronik von optischen Sensoren .....	522
10.2.10	Spezielle Digitalbausteine .....	424	10.7.7.7	Auswahlkriterien .....	523
10.2.11	Zahlensysteme .....	424	10.7.8	Drehgeber als Sensoren zur Weg- und Winkelmessung .....	525
10.2.12	Codes .....	425	10.7.9	Spannungsversorgung und Lastanschluss.	527
10.2.13	Codewandler .....	426	10.8	Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS .....	529
10.2.14	Signalumsetzer .....	426	10.8.1	Aufbau und Funktionsweise .....	529
10.3	Zeichnerische Darstellung von Steue- rungen .....	428	10.8.1.1	Kompakte SPS-Steuerungen .....	529
10.3.1	Bild- und Schaltzeichen der Bauteile von pneumatischen und hydraulischen Steue- rungen .....	428	10.8.1.2	Modular aufgebaute SPS-Steuerungen .....	529
10.3.2	Schaltpläne .....	430	10.8.1.3	Industrie-PC (Slot-SPS) .....	529
10.3.3	GRAFSET .....	432	10.8.1.4	Soft-SPS .....	530
10.3.4	Zustandsdiagramme .....	436	10.8.1.5	Verdrahtung der SPS .....	530
10.4	Pneumatik .....	437	10.8.1.6	Die CPU (Central Processing Unit) .....	530
10.4.1	Physikalische Grundlagen .....	437	10.8.1.7	Programm in CPU laden; urlöschen .....	531
10.4.2	Verdichter .....	439	10.8.1.8	Zyklische Bearbeitung des Programmes .....	531
10.4.3	Druckluftaufbereitung und -verteilung .....	440	10.8.1.9	Eingänge; Eingabebaugruppe .....	532
10.4.4	Arbeitsglieder .....	443	10.8.1.10	Ausgänge; Ausgangsbaugruppe .....	532
10.4.4.1	Druckluftzylinder .....	443	10.8.1.11	Merker .....	533
10.4.4.2	Zylindersonderbauarten .....	444	10.8.2	Projektierung .....	533
10.4.4.3	Druckluftmotoren .....	447	10.8.2.1	Betriebssystem-Software .....	533
10.4.5	Pneumatische Ventile .....	449	10.8.2.2	Anwendersoftware .....	533
10.4.5.1	Wegeventile .....	449	10.8.2.3	Programmstruktur .....	534
10.4.5.2	Sperr- und Stromventile .....	451	10.8.3	Grundfunktionen .....	537
10.4.5.3	Pneumatische Druckventile .....	452	10.8.3.1	Schließerkontakt; Öffnerkontakt .....	537
10.4.6	Grundsaltungen .....	453	10.8.3.2	Binäre Verknüpfungen .....	537
10.4.6.1	Einfacher Vor- und Rücklauf bei Zylindern..	453	10.8.3.3	UND-Funktion .....	538
10.4.6.2	Geschwindigkeitsbeeinflussung .....	455	10.8.3.4	ODER-Funktion .....	538
10.4.6.3	Verknüpfung von Signalen .....	456	10.8.3.5	Speicherfunktionen .....	539
10.4.6.4	Druckabhängige Steuerungen .....	459	10.8.3.6	Flankenbewertung .....	541
10.4.6.5	Schaltverzögerung .....	460	10.8.3.7	Zeitfunktionen .....	541
10.4.6.6	Signalüberschneidung .....	462	10.8.3.8	Zählfunktionen .....	542
10.5	Elektropneumatik .....	466	10.8.3.9	Vergleichsfunktionen .....	543
10.5.1	Bauteile in elektropneumatischen Anlagen	466	10.8.4	Ablaufsteuerung .....	543
10.5.1.1	Elektrische Eingabebelemente .....	466	10.8.4.1	Prozessüberwachung mit SPS-Programmen (Befehl Fehlerrückmeldung) .....	546
10.5.1.2	Sensoren .....	466	10.8.4.2	Betriebsarten von Ablaufsteuerungen .....	549
10.5.1.3	Relais und Schütz .....	467	10.8.4.3	Grundformen von Ablaufsteuerungen .....	549
10.5.1.4	Magnetventile .....	468	10.8.5	Funktionale Sicherheit von Steuerungen ...	552
10.5.2	Grundsaltungen .....	470	10.9	IO-Link .....	556
10.5.2.1	Vor- und Rücklauf bei Zylindern .....	470	10.9.1	Komponenten eines IO-Link-Systems .....	556
10.5.2.2	Verknüpfung von Signalen .....	471	10.9.2	IO-Link-Schnittstelle .....	557

