

# Inhaltsverzeichnis

<b>Interpretation der Lernfelder</b>	<b>9</b>	
LF 1	Analysieren von Funktionszusammenhängen in mechatronischen Systemen .....	9
LF 2	Herstellen mechanischer Teilsysteme .....	10
LF 3	Installieren elektrischer Betriebsmittel unter Beachtung sicherheitstechnischer Aspekte .....	12
LF 4	Untersuchen der Energie- und Informationsflüsse in elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Baugruppen .....	13
LF 5	Kommunizieren mithilfe von Datenverarbeitungsanlagen .....	14
LF 6	Planen und Organisieren von Arbeitsabläufen .....	14
LF 7	Realisieren mechatronischer Teilsysteme .....	15
LF 8	Design und Erstellung mechatronischer Systeme .....	16
LF 9	Untersuchen des Informationsflusses in komplexen mechatronischen Systemen .....	17
LF 10	Planen der Montage und Demontage .....	18
LF 11	Inbetriebnahme, Fehlersuche und Instandsetzung .....	19
LF 12	Vorbeugende Instandhaltung .....	20
LF 13	Übergabe von mechatronischen Systemen an Kunden .....	20
<b>1</b>	<b>Grundlagen der Datenverarbeitung</b>	<b>21</b>
1.1	Betriebssysteme .....	23
1.1.1	Aufgaben eines Betriebssystems .....	23
1.1.2	Betriebssystem-Kategorien .....	24
1.1.3	Client-Server-Betriebssystem (von Windows) .....	27
1.2	Office-Anwendungen .....	33
1.2.1	Textverarbeitung .....	37
1.2.2	Tabellenkalkulation .....	42
1.2.3	Präsentationssoftware .....	47
1.2.4	Datenbanksysteme .....	53
1.3	Ergänzende Software .....	57
1.3.1	Bildbearbeitung .....	57
1.3.2	Erzeugung von PDF-Dokumenten .....	59
1.3.3	Projektmanagement .....	60
1.4	Einführung in die Programmierung .....	63
1.4.1	Programmiersprachen .....	63
1.4.2	Der Algorithmus .....	63
1.4.3	Allgemeiner Aufbau eines Programms .....	63
1.4.4	Datentypen und Variablen .....	64
1.4.5	Datentypen .....	64
1.4.6	Ein- und Ausgabe bei Hochsprachen .....	65
1.4.7	Verknüpfung von Datentypen .....	65
1.4.8	Programmentwicklung .....	65
1.4.9	Darstellungsarten von Algorithmen .....	66
1.4.10	Programmbeispiel .....	67
1.5	Kommunikation in Netzen .....	68
1.5.1	Grundlagen .....	68
1.5.2	Kommunikationsprotokolle .....	70
1.5.3	Bedrohung von Netzen und Computern .....	71
<b>2</b>	<b>Technische Kommunikation</b>	<b>73</b>
2.1	Die Technische Zeichnung als Kommunikationsmittel .....	73
2.1.1	Darstellungsarten .....	74
2.1.2	Einzelteil-Zeichnungen .....	76
2.1.3	Schnittdarstellungen .....	80
2.1.4	Bemaßung von Einzelteilen .....	81
2.1.5	Gewindedarstellung .....	82
2.1.6	Genormte Einzelheiten .....	83
2.1.7	Gruppenzeichnungen .....	84
2.2	Tabellen und Diagramme .....	85
2.2.1	Tabellen .....	85
2.2.2	Diagramme .....	85
2.3	Technische Kommunikation mithilfe von Plänen .....	86
2.4	Die Sprache als Kommunikationsmittel .....	87
2.4.1	Das Erstellen von Protokollen .....	87
2.4.2	Referate und Vorträge .....	88
2.4.3	Referaterstellung .....	88
2.4.4	Der Vortrag des Referates .....	88
<b>3</b>	<b>Prüftechnik</b>	<b>89</b>
3.1	Längen- und Winkelprüfung .....	89
3.2	Mechanische Prüfmittel .....	90
3.2.1	Messschieber .....	90
3.2.2	Messschrauben .....	91
3.2.3	Messuhren .....	91
3.2.4	Winkelmesser .....	92
3.3	Pneumatische Messgeräte .....	93
3.4	Elektrische Messgeräte .....	93
3.5	Elektronische Messgeräte .....	94
3.6	Prüfen mit Lehren .....	94
3.7	Prüfung von Oberflächen .....	95
3.7.1	Grundbegriffe der Oberflächenprüfung .....	95
3.7.2	Oberflächenprüfverfahren .....	95
3.7.3	Rauheitsmessgrößen .....	96
3.7.4	Angabe von Oberflächengüten in Technischen Zeichnungen .....	97
3.8	Toleranzen und Passungen .....	98
3.8.1	Maßtoleranzen .....	98
3.8.2	Passungen .....	100
3.8.3	Passungssysteme .....	100
3.8.4	Form- und Lagetoleranzen .....	102
<b>4</b>	<b>Qualitätsmanagement</b>	<b>103</b>
4.1	Der Qualitätsbegriff .....	103
4.2	Aufgaben des Qualitätsmanagements .....	104
4.2.1	Qualitätsplanung .....	104
4.2.2	Qualitätslenkung .....	105
4.2.3	Qualitätsprüfung .....	105
4.2.4	Qualitätsverbesserung .....	105
4.3	Qualitätsmanagement nach DIN EN ISO 9000:2015 .....	106
4.4	Qualität ist nicht nur Chefsache .....	106
4.5	Statistisches Qualitätsmanagement .....	107
4.5.1	Zufällige und systematische Fehler .....	107
4.5.2	Gauß'sche Normalverteilung .....	107
4.5.3	Qualitätsregelkarten als Instrument der Qualitätskontrolle .....	108
<b>5</b>	<b>Werkstofftechnik</b>	<b>109</b>
5.1	Einteilung der Werkstoffe .....	109
5.2	Eigenschaften von Werkstoffen .....	110
5.2.1	Physikalische Eigenschaften .....	110
5.2.2	Chemisch-technologische Eigenschaften .....	111
5.2.3	Mechanisch-technologische Eigenschaften .....	111
5.2.4	Fertigungstechnische Eigenschaften .....	113
5.2.5	Ökologische Eigenschaften .....	113
5.3	Aufbau metallischer Stoffe .....	114
5.3.1	Innerer Aufbau der Metalle .....	114
5.3.2	Kristallgitterarten .....	114

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- schinen .....	181
5.4.3	Normung von Eisen- und Stahlwerkstoffen	116	7.5.6	Bohren.....	184
5.4.4	Wichtige Stähle und Eisenwerkstoffe (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 Verwendungsmöglichkeiten .....	127	7.6.7	Schweißen .....	226
5.9.2	Einteilung von Kunststoffen.....	128	7.6.8	Kleben.....	230
5.10	Verbundstoffe .....	130	7.6.9	Pressverbindungen .....	232
5.11	Hilfsstoffe .....	131	7.6.10	Klemm- und Quetschverbindungen .....	233
5.12	Werkstoffe und Umweltschutz.....	132	7.7	Fertigungsautomatisierung.....	235
<b>6</b>	<b>Mechanische Systeme</b>	<b>133</b>	7.7.1	Historische Entwicklung .....	235
6.1	Grundlagen des Systemgedankens .....	133	7.7.2	Bausteine der Fertigungsautomatisierung..	237
6.1.1	Die Systemgrenzen .....	134	7.8	CNC-Steuerungen .....	239
6.1.2	Die Ein- und Ausgangsgrößen.....	134	7.8.1	Historische Entwicklung .....	239
6.1.3	Haupt- und Teilfunktionen eines technischen Systems .....	134	7.8.2	Merkmale von CNC-Maschinen .....	241
6.2	Physikalische Grundlagen von mecha- nischen Systemen .....	136	7.8.3	Wegmesssysteme .....	242
6.2.1	Mechanische Arbeit .....	136	7.8.4	Positionsangabe und Koordinatensystem ..	243
6.2.2	Mechanische Leistung und Wirkungsgrad..	137	7.8.5	Werkzeugvermessung und Werkzeugkorrekturen.....	244
6.3	Funktionseinheiten von mechanischen Systemen .....	139	7.8.6	Steuerungsarten .....	245
6.3.1	Funktionseinheiten zum Antreiben .....	140	7.8.6.1	Punktsteuerung .....	245
6.3.2	Funktionseinheiten zur Energieübertragung .....	140	7.8.6.2	Bahnsteuerung .....	245
6.3.2.1	Wellen.....	141	7.8.7	CNC-Programm .....	248
6.3.2.2	Kupplungen .....	142	7.8.8	Programmieren von CNC-Fertigungs- maschinen.....	259
6.3.2.3	Getriebe.....	144	7.8.9	Beispiele numerisch gesteuerter Ferti- gungsmaschinen.....	261
6.3.2.4	Kenngrößen von Getrieben .....	148	7.9	Handhabungstechnik und Robotertechnik..	266
6.3.2.5	Linearantriebe.....	150	7.9.1	Handhabungseinrichtungen .....	267
6.3.3	Funktionseinheiten zum Arbeiten.....	151	7.9.1.1	Balancer.....	268
6.3.4	Funktionseinheiten zum Stützen und Tragen .....	151	7.9.1.2	Manipulatoren .....	269
6.3.4.1	Gehäuse und Gestelle.....	151	7.9.1.3	Teleoperatoren .....	269
6.3.4.2	Führungen .....	152	7.9.1.4	Modulare Systeme .....	269
6.3.4.3	Lager .....	155	7.9.1.5	Industrieroboter .....	270
<b>7</b>	<b>Herstellen mechanischer Systeme (Fertigungstechnik)</b>	<b>163</b>	7.9.2	Kinematik des Roboters .....	274
7.1	Grundlagen der Fertigungstechnik .....	163	7.9.2.1	Getriebefreiheitsgrad .....	275
7.2	Die Fertigungshauptgruppen .....	163	7.9.2.2	Bauarten und Arbeitsräume .....	276
7.3	Das Urformen .....	166	7.9.3	Roboter-Steuerung .....	279
7.3.1	Urformen durch Gießen .....	166	7.9.4	Programmierung von IR .....	283
7.3.2	Urformen durch Sintern .....	167	<b>8</b>	<b>Grundlagen der Elektrotechnik</b>	<b>285</b>
7.3.3	Additive Fertigungsverfahren (3-D-Druck)...	168	8.1	Das Bohr'sche Atommodell .....	286
7.4	Umformen .....	170	8.2	Ladungstrennung .....	287
7.4.1	Einteilung der Umformverfahren .....	170	8.2.1	Erzeugung elektrischer Spannung .....	288
7.4.2	Biegen .....	171	8.2.2	Spannungsarten .....	288
7.4.2.1	Technologische Grundlagen .....	171	8.3	Elektrischer Strom .....	289
7.4.2.2	Biegen von Rohren .....	172	8.4	Der elektrische Widerstand .....	291
7.4.2.3	Zuschnittlängen .....	174	8.5	Das Ohm'sche Gesetz .....	292
7.5	Trennen .....	175	8.6	Elektrische Arbeit und elektrische Leistung	293
7.5.1	Grundlagen der mechanischen Trenn- verfahren .....	175	8.7	Wirkungsgrad .....	294
7.5.2	Spanen .....	176	8.8	Elektrisches Feld .....	295
			8.9	Magnetisches Feld .....	297
			8.9.1	Magnetische Kreise .....	298
			8.9.2	Grundgrößen des magnetischen Feldes ....	298
			8.9.3	Magnetische Werkstoffe .....	300
			8.9.4	Magnetisierung ferromagnetischer 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 Drehfelddrehzahl bei Asynchronmotoren.....	355
8.10	Grundschaltungen 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 Anwendung .....	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 (Basis-schutz) .....	386
8.15.3.1	Die Leistungsdiode .....	328	9.4.4.2	Schutz gegen indirektes Berühren (Fehlerschutz) .....	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	Schutzztrennung .....	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	Selbstthalzung .....	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 Verknüpfungsschaltungen .....	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-Lichtschranke .....	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 Hintergrundausblendung .....	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	Zahlsysteme .....	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 Steuerungen .....	428	10.8.1.1	Kompakte SPS-Steuerungen .....	529
10.3.1	Bild- und Schaltzeichen der Bauteile von pneumatischen und hydraulischen Steuerungen .....	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	GRAFCET .....	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; löschen .....	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	Zylinderonderbauarten .....	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	Grundschaltungen .....	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	Flankenauswertung .....	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 Eingabeelemente .....	466	10.8.4.1	Prozessüberwachung mit SPS-Programmen .....	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	Grundschaltungen .....	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

## Inhaltsverzeichnis

10.9.2.1	Porttypen in IP65/67 .....	557	14.2.1	Systems.....	619
10.9.3	IO-Link-Protokoll.....	557	14.2.2	Das mechanische Teilsystem.....	619
10.9.4	IODD und Engineering.....	558	14.2.3	Das hydraulische Teilsystem .....	619
10.9.5	Unterschiede IO-Link-Spezifikation V1.0 und V1.1 .....	559	14.2.4	Das pneumatische Teilsystem.....	622
10.9.6	Einbindung des IO-Link-Masters in übergeordnete Feldbusse .....	559	14.2.4	Das elektrische Teilsystem.....	623
<b>11</b>	<b>Regelungstechnik</b>	<b>560</b>	<b>15</b>	<b>Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung mechatronischer Systeme</b>	<b>632</b>
11.1	Grundbegriffe .....	560	15.1	Die Montagetätigkeit Fügen .....	632
11.2	Regelkreiselemente.....	561	15.1.1	Formschlüssige Verbindungen.....	632
11.2.1	Proportionalglied ohne Verzögerung (P-Glied).....	561	15.1.2	Kraftschlüssige Verbindungen.....	633
11.2.2	Proportionalglied mit Verzögerung 1. Ordnung (PT <sub>1</sub> -Glied).....	561	15.1.3	Stoffschlüssige Verbindungen.....	633
11.2.3	Proportionalglied mit Verzögerung 2. Ordnung (PT <sub>2</sub> -Glied).....	562	15.2	Montagetätigkeit Prüfen und Justieren .....	634
11.2.4	Integralglied (I-Glied) .....	563	15.2.1	Prüftätigkeiten vor der Montage.....	634
11.2.5	Differenzierglied (D-Glied) .....	564	15.2.2	Prüftätigkeiten während der Montage .....	634
11.2.6	Totzeitglied (T <sub>1</sub> -Glied) .....	565	15.2.3	Prüftätigkeiten nach der Montage .....	634
11.3	Regeleinrichtungen und Regelglieder .....	565	15.3	Montageplanung .....	635
11.3.1	Unstetige Regelglieder .....	565	15.3.1	Der Montageplan .....	636
11.3.2	Stetige Regelglieder .....	566	15.3.2	Beispiel eines Montageplanes .....	636
11.3.3	Digitale Regelglieder.....	568	15.4	Organisationsformen der Montage .....	637
11.4	Stabilität von Regelkreisen.....	569	15.5	Montagebeispiele .....	639
11.4	Stabilität von Regelkreisen.....	569	15.5.1	Beispiel für Montageplan eines elektro-pneumatischen Ventilblockes auf DIN-Schiene .....	640
<b>12</b>	<b>Bussysteme in der Automatisierungstechnik</b>	<b>570</b>	15.5.2	Auszug aus dem Montageplan eines Handlagergerätes zur Realisierung von Handhabungslösungen an Spritzgussmaschinen .....	641
12.1	Kommunikationsmodell .....	574	15.6	Arbeitssicherheit bei der Montage .....	644
12.2	Topologien .....	576	15.6.1	Vorbeugende Sicherheitsmaßnahmen bei der Arbeit an Maschinen, Anlagen und mechatronischen Systemen .....	644
12.3	Übertragungsmedien .....	578	15.6.2	Maßnahmen bei einem Arbeitsunfall .....	645
12.4	Übertragungsarten .....	580	15.6.3	Brandschutz und Maßnahmen im Brandfalle .....	646
12.5	Buszugriffsverfahren .....	581	15.6.4	Umgang mit Gefahrstoffen .....	647
12.5.1	Master/Slave-Verfahren .....	581	15.6.5	Richtlinien für die Maschinensicherheit .....	647
12.5.2	Das Token-Prinzip .....	582	15.7	Inbetriebnahme .....	648
12.5.3	Das CSMA-Verfahren .....	583	15.7.1	Besonderheiten der Inbetriebnahme .....	648
12.5.4	CSMA/CA .....	584	15.7.2	Grundsätzliches zum Verfahren der Inbetriebnahme .....	651
12.6	Datensicherheit .....	584	15.7.3	Inbetriebnahme pneumatischer und elektropneumatischer Anlagen .....	653
12.7	AS-Interface .....	585	15.7.4	Inbetriebnahme hydraulischer und elektrohydraulischer Anlagen .....	653
12.7.1	AS-Interface-Funktionsprinzip .....	585	15.7.5	Inbetriebnahme elektrischer Maschinen .....	654
12.7.2	AS-Interface-Verkabelung .....	587	15.7.6	Inbetriebnahme von SPS .....	655
12.7.3	Inbetriebnahme einer AS-Interface-Anlage .....	589	15.7.7	Fehler bei der Inbetriebnahme von mechatronischen Systemen .....	655
12.7.4	Strukturen einer AS-Interface-Anlage .....	591	15.8	Instandhaltung von mechatronischen Systemen .....	658
12.7.5	Die AS-Interface-Spezifikation 2.11 .....	594	15.8.1	Verlauf der Systemausfallrate .....	658
12.7.6	Die AS-Interface-Spezifikation 3.0 .....	596	15.8.2	Instandhaltungsstrategien .....	659
12.7.7	AS-i-Safety .....	596	15.8.3	Die Wartung als vorbeugende Instandhaltungsmaßnahme .....	660
12.8	PROFIBUS .....	596	15.8.4	Die Inspektion als Maßnahme zur Ausfallverhütung .....	662
12.8.1	PROFIBUS-DP .....	597	15.8.5	Die Instandsetzung .....	663
12.8.2	PROFIBUS-PA .....	599	15.8.6	Fehlersuche als Grundlage der Instandsetzung .....	663
12.9	Ethernet .....	603		Sachwortverzeichnis .....	667
12.9.1	PROFINET .....	607		Bildquellenverzeichnis .....	679
12.10	Zusammenfassung .....	608			
<b>13</b>	<b>INDUSTRIE 4.0</b>	<b>610</b>			
13.1	Das nutzen wir bisher .....	610			
13.2	Das ist neu bei Industrie 4.0 .....	610			
13.3	Die reale Fabrik und ihr virtuelles Abbild ....	611			
13.4	Einheitliche Standards für die digitale Produktion .....	613			
13.5	Aufbau einer Industrie 4.0-Komponente ....	613			
13.6	Die Verwaltungsschale .....	613			
13.7	Cyber-Physisches-System, CPS.....	615			
<b>14</b>	<b>Mechatronische Systeme</b>	<b>618</b>			
14.1	Teilsysteme des mechatronischen Systems	618			
14.2	Die Komponenten des mechatronischen				