

Inhaltsverzeichnis

Interpretation der Lernfelder	9	2.1.5	Gewindendarstellung.....	82
LF 1	Analysieren von Funktionszusammenhängen in mechatronischen Systemen.....	2.1.6	Genormte Einzelheiten.....	83
LF 2	Herstellen mechanischer Teilsysteme.....	2.1.7	Gruppenzeichnungen.....	84
LF 3	Installieren elektrischer Betriebsmittel unter Beachtung sicherheitstechnischer Aspekte.....	2.2	Tabellen und Diagramme.....	85
LF 4	Untersuchen der Energie- und Informationsflüsse in elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Baugruppen.....	2.2.1	Tabellen.....	85
LF 5	Kommunizieren mithilfe von Datenverarbeitungsanlagen.....	2.2.2	Diagramme.....	85
LF 6	Planen und Organisieren von Arbeitsabläufen.....	2.3	Technische Kommunikation mithilfe von Plänen.....	86
LF 7	Realisieren mechatronischer Teilsysteme.....	2.4	Die Sprache als Kommunikationsmittel.....	87
LF 8	Design und Erstellung mechatronischer Systeme.....	2.4.1	Das Erstellen von Protokollen.....	87
LF 9	Untersuchen des Informationsflusses in komplexen mechatronischen Systemen.....	2.4.2	Referate und Vorträge.....	88
LF 10	Planen der Montage und Demontage.....	2.4.3	Referaterstellung.....	88
LF 11	Inbetriebnahme, Fehlersuche und Instandsetzung.....	2.4.4	Der Vortrag des Referates.....	88
LF 12	Vorbeugende Instandhaltung.....			
LF 13	Übergabe von mechatronischen Systemen an Kunden.....			
1 Grundlagen der Datenverarbeitung	21	3 Prüftechnik	89	
1.1	Betriebssysteme.....	3.1	Längen- und Winkelprüfung.....	89
1.1.1	Aufgaben eines Betriebssystems.....	3.2	Mechanische Prüfmittel.....	90
1.1.2	Betriebssystem-Kategorien.....	3.2.1	Messschieber.....	90
1.1.3	Client-Server-Betriebssystem (von Windows).....	3.2.2	Messschrauben.....	91
1.2	Office-Anwendungen.....	3.2.3	Messuhren.....	91
1.2.1	Textverarbeitung.....	3.2.4	Winkelmesser.....	92
1.2.2	Tabellenkalkulation.....	3.3	Pneumatische Messgeräte.....	93
1.2.3	Präsentationssoftware.....	3.4	Elektrische Messgeräte.....	93
1.2.4	Datenbanksysteme.....	3.5	Elektronische Messgeräte.....	94
1.3	Ergänzende Software.....	3.6	Prüfen mit Lehren.....	94
1.3.1	Bildbearbeitung.....	3.7	Prüfung von Oberflächen.....	95
1.3.2	Erzeugung von PDF-Dokumenten.....	3.7.1	Grundbegriffe der Oberflächenprüfung.....	95
1.3.3	Projektmanagement.....	3.7.2	Oberflächenprüfverfahren.....	95
1.4	Einführung in die Programmierung.....	3.7.3	Rauheitsmessgrößen.....	96
1.4.1	Programmiersprachen.....	3.7.4	Angabe von Oberflächengüten in Technischen Zeichnungen.....	97
1.4.2	Der Algorithmus.....	3.8	Toleranzen und Passungen.....	98
1.4.3	Allgemeiner Aufbau eines Programms.....	3.8.1	Maßtoleranzen.....	98
1.4.4	Datentypen und Variablen.....	3.8.2	Passungen.....	100
1.4.5	Datentypen.....	3.8.3	Passungssysteme.....	100
1.4.6	Ein- und Ausgabe bei Hochsprachen.....	3.8.4	Form- und Lagetoleranzen.....	102
1.4.7	Verknüpfung von Datentypen.....			
1.4.8	Programmentwicklung.....	4 Qualitätsmanagement	103	
1.4.9	Darstellungsarten von Algorithmen.....	4.1	Der Qualitätsbegriff.....	103
1.4.10	Programmbeispiel:.....	4.2	Aufgaben des Qualitätsmanagements.....	104
1.5	Kommunikation in Netzen.....	4.2.1	Qualitätsplanung.....	104
1.5.1	Grundlagen.....	4.2.2	Qualitätslenkung.....	105
1.5.2	Kommunikationsprotokolle.....	4.2.3	Qualitätsprüfung.....	105
1.5.3	Bedrohung von Netzen und Computern.....	4.2.4	Qualitätsverbesserung.....	105
2 Technische Kommunikation	73	4.3	Qualitätsmanagement nach DIN EN ISO 9000:2015.....	106
2.1	Die Technische Zeichnung als Kommunikationsmittel.....	4.4	Qualität ist nicht nur Chefsache.....	106
2.1.1	Darstellungsarten.....	4.5	Statistisches Qualitätsmanagement.....	107
2.1.2	Einzelteil-Zeichnungen.....	4.5.1	Zufällige und systematische Fehler.....	107
2.1.3	Schnitttdarstellungen.....	4.5.2	Gauß'sche Normalverteilung.....	107
2.1.4	Bemaßung von Einzelteilen.....	4.5.3	Qualitätsregelkarten als Instrument der Qualitätskontrolle.....	108
		5 Werkstofftechnik	109	
		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-	
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
6	Mechanische Systeme	133	7.7.2	Bausteine der Fertigungsautomatisierung	237
6.1	Grundlagen des Systemgedankens	133	7.8	CNC-Steuerungen.....	239
6.1.1	Die Systemgrenzen.....	134	7.8.1	Historische Entwicklung	239
6.1.2	Die Ein- und Ausgangsgrößen.....	134	7.8.2	Merkmale von CNC-Maschinen	241
6.1.3	Haupt- und Teilfunktionen eines		7.8.3	Wegmesssysteme.....	242
	technischen Systems	134	7.8.4	Positionsangabe und Koordinatensystem..	243
6.2	Physikalische Grundlagen von mecha-		7.8.5	Werkzeugvermessung und	
	nischen Systemen.....	136		Werkzeugkorrekturen.....	244
6.2.1	Mechanische Arbeit.....	136	7.8.6	Steuerungsarten	245
6.2.2	Mechanische Leistung und Wirkungsgrad	137	7.8.6.1	Punktsteuerung	245
6.3	Funktionseinheiten von mechanischen		7.8.6.2	Bahnsteuerung	245
	Systemen.....	139	7.8.7	CNC-Programm	248
6.3.1	Funktionseinheiten zum Antreiben	140	7.8.8	Programmieren von CNC-Fertigungs-	
6.3.2	Funktionseinheiten zur			maschinen	259
	Energieübertragung	140	7.8.9	Beispiele numerisch gesteuerter Ferti-	
6.3.2.1	Wellen	141		gungsmaschinen.....	261
6.3.2.2	Kupplungen.....	142	7.9	Handhabungstechnik und Robotertechnik.	266
6.3.2.3	Getriebe.....	144	7.9.1	Handhabungseinrichtungen	267
6.3.2.4	Kenngrößen von Getrieben	148	7.9.1.1	Balancer	268
6.3.2.5	Linearantriebe.....	150	7.9.1.2	Manipulatoren	269
6.3.3	Funktionseinheiten zum Arbeiten.....	151	7.9.1.3	Teleoperatoren	269
6.3.4	Funktionseinheiten zum Stützen und		7.9.1.4	Modulare Systeme.....	269
	Tragen	151	7.9.1.5	Industrieroboter	270
6.3.4.1	Gehäuse und Gestelle.....	151	7.9.2	Kinematik des Roboters.....	274
6.3.4.2	Führungen	152	7.9.2.1	Getriebefreiheitsgrad	275
6.3.4.3	Lager.....	155	7.9.2.2	Bauarten und Arbeitsräume	276
7	Herstellen mechanischer Systeme	163	7.9.3	Roboter-Steuerung	279
	(Fertigungstechnik)		7.9.4	Programmierung von IR	283
7.1	Grundlagen der Fertigungstechnik	163	8	Grundlagen der Elektrotechnik	285
7.2	Die Fertigungshauptgruppen	163	8.1	Das Bohr'sche Atommodell	286
7.3	Das Urformen	166	8.2	Ladungstrennung.....	287
7.3.1	Urformen durch Gießen	166	8.2.1	Erzeugung elektrischer Spannung.....	288
7.3.2	Urformen durch Sintern	167	8.2.2	Spannungsarten.....	288
7.3.3	Additive Fertigungsverfahren (3-D-Druck)..	168	8.3	Elektrischer Strom	289
7.4	Umformen	170	8.4	Der elektrische Widerstand.....	291
7.4.1	Einteilung der Umformverfahren.....	170	8.5	Das Ohm'sche Gesetz	292
7.4.2	Biegen	171	8.6	Elektrische Arbeit und elektrische Leistung	293
7.4.2.1	Technologische Grundlagen.....	171	8.7	Wirkungsgrad	294
7.4.2.2	Biegen von Rohren	172	8.8	Elektrisches Feld	295
7.4.2.3	Zuschnittlängen	174	8.9	Magnetisches Feld.....	297
7.5	Trennen	175	8.9.1	Magnetische Kreise	298
7.5.1	Grundlagen der mechanischen Trenn-		8.9.2	Grundgrößen des magnetischen Feldes....	298
	verfahren	175	8.9.3	Magnetische Werkstoffe.....	300
7.5.2	Spanen	176	8.9.4	Magnetisierung ferromagnetischer	
				Werkstoffe	301

8.9.5	Kraftwirkung auf parallel verlaufende stromdurchflossene Leiter	302	9.2.4.2	Arten von Gleichstrommotoren	352
8.9.6	Elektromagnetische Induktion	302	9.2.4.3	Spannungsstellung bei vorhandenem Wechselspannungsnetz	354
8.10	Grundschaltungen elektrischer Widerstände	306	9.2.5	Veränderung der Drehfelddrehzahl bei Asynchronmotoren	355
8.10.1	Widerstandsbauelemente im Stromkreis ..	306	9.2.5.1	Prinzip des Frequenzumrichters	356
8.10.2	Widerstandskennzeichnung	306	9.2.5.2	Verhalten der Asynchronmaschine bei Frequenzsteuerung	358
8.10.3	Reihenschaltung von Widerständen	307	9.2.6	Servoantriebe	359
8.10.4	Maschensatz (zweites Kirchhoff'sches Gesetz)	308	9.2.7	Schrittmotoren	361
8.10.5	Parallelschaltung von Widerständen	308	9.2.8	EC-Motoren – Motoren mit elektronischer Kommutierung	363
8.10.6	Knotenpunktregel (erstes Kirchhoff'sches Gesetz)	309	9.2.9	Schutz elektrischer Antriebe	366
8.11	Grundlagen der Wechselstromtechnik	309	9.2.10	Einsatz eines variablen Antriebes in einer Applikation	369
8.11.1	Erzeugung von Wechselspannungen und Begriffsdefinitionen	309	9.3	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ..	372
8.11.2	Zeiger zur Darstellung von Wechselgrößen	311	9.3.1	EMV-Messungen	373
8.11.3	Frequenz und Periodendauer	311	9.3.2	EMV-Schutzmaßnahmen	374
8.11.4	Kreisfrequenz	311	9.3.3	Frequenzspektrum elektromagnetischer Felder	375
8.11.5	Wellenlänge	312	9.4	Schutzmaßnahmen	376
8.11.6	Effektivwert	312	9.4.1	Sicherheit in Niederspannungsanlagen	376
8.12	Der Kondensator im Stromkreis	313	9.4.1.1	Wirkungen des elektrischen Stroms auf den Organismus	376
8.13	Die Spule im Stromkreis	315	9.4.1.2	Fünf Sicherheitsregeln	376
8.14	Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)	317	9.4.1.3	Hilfsmaßnahmen bei Unfällen	378
8.14.1	Spannungserzeugung	317	9.4.1.4	Direktes und indirektes Berühren	378
8.14.2	Verkettung	317	9.4.1.5	Fachbegriffe	378
8.14.3	Verbraucherschaltungen im Drehstromnetz	319	9.4.2	Sicherheitsbestimmungen für Niederspannungsanlagen	379
8.14.3.1	Sternschaltung (Y)	319	9.4.2.1	Zulässige Berührungsspannung	379
8.14.3.2	Dreieckschaltung (Δ)	321	9.4.2.2	Schutzklassen	380
8.14.4	Leistungen im Drehstromnetz	322	9.4.2.3	IP Schutzarten	381
8.15	Grundlagen elektronischer Bauelemente ..	324	9.4.2.4	Arbeiten an elektrischen Anlagen	382
8.15.1	Die Diode	324	9.4.2.5	Personen der Elektrotechnik	382
8.15.1.1	Die Zener-Diode	325	9.4.2.6	Fehlerarten in elektrischen Anlagen	384
8.15.1.2	Die Leuchtdiode	325	9.4.2.7	Spannungen im Fehlerfall	384
8.15.2	Der Transistor	326	9.4.3	Prinzip der dreifachen Sicherheit	385
8.15.3	Bauelemente der Leistungselektronik	327	9.4.4	Schutz gegen elektrischen Schlag	386
8.15.3.1	Die Leistungsdiode	328	9.4.4.1	Schutz gegen direktes Berühren (Basischutz)	386
8.15.3.2	Der Diac	328	9.4.4.2	Schutz gegen indirektes Berühren (Fehlerschutz)	387
8.15.3.3	Der p-Gate-Thyristor	328	9.4.5	Netzsysteme	388
8.15.3.4	Der Triac	328	9.4.5.1	TN-C-S-System	388
8.15.3.5	Der Insulated Gate Bipolar Transistor ..	329	9.4.5.2	TN-S-System	388
8.16	Grundlagen der elektrischen Messtechnik ..	330	9.4.5.3	TT-System	389
8.16.1	Erfassung elektrischer Größen:		9.4.5.4	IT-System	389
	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
9	Elektrische Maschinen	334	9.4.5.11	Schutz durch Schutzkleinspannung	393
9.1	Transformatoren	335	9.4.5.12	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			
9.1.7.2	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			

9.4.7	Überspannungen und Störspannungen.....	401	10.5.2.2	Verknüpfung von Signalen.....	471
9.4.7.1	Elektrostatistische 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
10	Steuerungstechnik	404	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 Grenzaster (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	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	
10.2.14	Signalumsetzer.....	426		SPS	529
10.3	Zeichnerische Darstellung von Steue- rungen	428	10.8.1	Aufbau und Funktionsweise	529
10.3.1	Bild- und Schaltzeichen der Bauteile von pneumatischen und hydraulischen Steue- rungen	428	10.8.1.1	Kompakte SPS-Steuerungen.....	529
10.3.2	Schaltpläne.....	430	10.8.1.2	Modular aufgebaute SPS-Steuerungen	529
10.3.3	GRAFCET.....	432	10.8.1.3	Industrie-PC (Slot-SPS)	529
10.3.4	Zustandsdiagramme	436	10.8.1.4	Soft-SPS	530
10.4	Pneumatik.....	437	10.8.1.5	Verdrahtung der SPS	530
10.4.1	Physikalische Grundlagen	437	10.8.1.6	Die CPU (Central Processing Unit)	530
10.4.2	Verdichter	439	10.8.1.7	Programm in CPU laden; urlöschen	531
10.4.3	Druckluftaufbereitung und -verteilung	440	10.8.1.8	Zyklische Bearbeitung des Programmes.....	531
10.4.4	Arbeitsglieder	443	10.8.1.9	Eingänge; Eingabebaugruppe	532
10.4.4.1	Druckluftzylinder.....	443	10.8.1.10	Ausgänge; Ausgangsbaugruppe	532
10.4.4.2	Zylindersonderbauarten	444	10.8.1.11	Merker	533
10.4.4.3	Druckluftmotoren.....	447	10.8.2	Projektiertung	533
10.4.5	Pneumatische Ventile.....	449	10.8.2.1	Betriebssystem-Software	533
10.4.5.1	Wegeventile	449	10.8.2.2	Anwendersoftware	533
10.4.5.2	Sperr- und Stromventile	451	10.8.2.3	Programmstruktur	534
10.4.5.3	Pneumatische Druckventile	452	10.8.3	Grundfunktionen	537
10.4.6	Grundschaltungen	453	10.8.3.1	Schließerkontakt; Öffnerkontakt.....	537
10.4.6.1	Einfacher Vor- und Rücklauf bei Zylindern.	453	10.8.3.2	Binäre Verknüpfungen	537
10.4.6.2	Geschwindigkeitsbeeinflussung.....	455	10.8.3.3	UND-Funktion	538
10.4.6.3	Verknüpfung von Signalen	456	10.8.3.4	ODER-Funktion	538
10.4.6.4	Druckabhängige Steuerungen.....	459	10.8.3.5	Speicherfunktionen	539
10.4.6.5	Schaltverzögerung	460	10.8.3.6	Flankenbewertung	541
10.4.6.6	Signalüberschneidung	462	10.8.3.7	Zeitfunktionen	541
10.5	Elektropneumatik	466	10.8.3.8	Zählfunktionen	542
10.5.1	Bauteile in elektropneumatischen Anlagen	466	10.8.3.9	Vergleichsfunktionen	543
10.5.1.1	Elektrische Eingabeelemente	466	10.8.4	Ablaufsteuerung	543
10.5.1.2	Sensoren.....	466	10.8.4.1	Prozessüberwachung mit SPS-Programmen (Befehl Fehlerrückmeldung).....	546
10.5.1.3	Relais und Schütz.....	467	10.8.4.2	Betriebsarten von Ablaufsteuerungen	549
10.5.1.4	Magnetventile.....	468	10.8.4.3	Grundformen von Ablaufsteuerungen	549
10.5.2	Grundschaltungen.....	470	10.8.5	Funktionale Sicherheit von Steuerungen	552
10.5.2.1	Vor- und Rücklauf bei Zylindern	470	10.9	IO-Link.....	556
			10.9.1	Komponenten eines IO-Link-Systems	556

10.9.2	IO-Link-Schnittstelle	557	14.2.1	Das mechanische Teilsystem.....	619
10.9.2.1	Porttypen in IP65/67	557	14.2.2	Das hydraulische Teilsystem	619
10.9.3	IO-Link-Protokoll	557	14.2.3	Das pneumatische Teilsystem.....	622
10.9.4	IODD und Engineering	558	14.2.4	Das elektrische Teilsystem	623
10.9.5	Unterschiede IO-Link-Spezifikation V1.0 und V1.1.....	559			
10.9.6	Einbindung des IO-Link-Masters in übergeordnete Feldbusse	559			
11	Regelungstechnik	560	15	Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung mechatronischer Systeme	632
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 ₁ -Glied)	561	15.1.3	Stoffschlüssige Verbindungen	633
11.2.3	Proportionalglied mit Verzögerung 2. Ordnung (PT ₂ -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 _z -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
12	Bussysteme in der Automatisierungstechnik	570	15.5.1	Beispiel für Montageplan eines elektropneumatischen Ventilblockes auf DIN-Schiene	640
12.1	Kommunikationsmodell	575	15.5.2	Auszug aus dem Montageplan eines Handlingerätes zur Realisierung von Handhabungslösungen an Spritzgussmaschinen	641
12.2	Topologien.....	575	15.6	Arbeitssicherheit bei der Montage.....	644
12.3	Übertragungsmedien.....	578	15.6.1	Vorbeugende Sicherheitsmaßnahmen bei der Arbeit an Maschinen, Anlagen und mechatronischen Systemen	644
12.4	Übertragungsarten	580	15.6.2	Maßnahmen bei einem Arbeitsunfall	645
12.5	Buszugriffsverfahren.....	581	15.6.3	Brandschutz und Maßnahmen im Brandfalle	646
12.5.1	Master/Slave-Verfahren.....	581	15.6.4	Umgang mit Gefahrstoffen	647
12.5.2	Das Token-Prinzip.....	582	15.6.5	Richtlinien für die Maschinensicherheit	647
12.5.3	Das CSMA-Verfahren	583	15.7	Inbetriebnahme	648
12.5.4	CSMA/CA.....	584	15.7.1	Besonderheiten der Inbetriebnahme	648
12.6	Datensicherheit	584	15.7.2	Grundsätzliches zum Verfahren der Inbetriebnahme	651
12.7	AS-Interface	585	15.7.3	Inbetriebnahme pneumatischer und elektropneumatischer Anlagen	653
12.7.1	AS-Interface-Funktionsprinzip	585	15.7.4	Inbetriebnahme hydraulischer und elektrohydraulischer Anlagen	653
12.7.2	AS-Interface-Verkabelung	587	15.7.5	Inbetriebnahme elektrischer Maschinen.....	654
12.7.3	Inbetriebnahme einer AS-Interface-Anlage	589	15.7.6	Inbetriebnahme von SPS.....	655
12.7.4	Strukturen einer AS-Interface-Anlage	591	15.7.7	Fehler bei der Inbetriebnahme von mechatronischen Systemen	655
12.7.5	Die AS-Interface-Spezifikation 2.11	593	15.8	Instandhaltung von mechatronischen Systemen.....	658
12.7.6	Die AS-Interface-Spezifikation 3.0.....	595	15.8.1	Verlauf der Systemausfallrate	658
12.7.7	Die AS-Interface Spezifikation 5.....	595	15.8.2	Instandhaltungsstrategien	659
12.7.8	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			
12.9.1	PROFINET	607			
12.10	Zusammenfassung	608			
13	INDUSTRIE 4.0	610			
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			
14	Mechatronische Systeme	618			
14.1	Teilsysteme des mechatronischen Systems	618			
14.2	Die Komponenten des mechatronischen Systems	619			
				Sachwortverzeichnis.....	667
				Bildquellenverzeichnis.....	679