

Inhaltsverzeichnis

Interpretation der Lernfelder	9	2.1.5	Gewindedarstellung	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	3	Prüftechnik	89
LF 13	Übergabe von mechatronischen Systemen an Kunden	3.1	Längen- und Winkelprüfung	89
1	Grundlagen der Datenverarbeitung	3.2	Mechanische Prüfmittel.....	90
1.1	Betriebssysteme	3.2.1	Messschieber.....	90
1.1.1	Aufgaben eines Betriebssystems	3.2.2	Messschrauben	91
1.1.2	Betriebssystem-Kategorien	3.2.3	Messuhren.....	91
1.1.3	Client-Server-Betriebssystem (von Windows).....	3.2.4	Winkelmesser	92
1.2	Office-Anwendungen.....	3.3	Pneumatische Messgeräte.....	93
1.2.1	Textverarbeitung	3.4	Elektrische Messgeräte.....	93
1.2.2	Tabellenkalkulation	3.5	Elektronische Messgeräte	94
1.2.3	Präsentationssoftware.....	3.6	Prüfen mit Lehren	94
1.2.4	Datenbanksysteme	3.7	Prüfung von Oberflächen	95
1.3	Ergänzende Software	3.7.1	Grundbegriffe der Oberflächenprüfung	95
1.3.1	Bildbearbeitung.....	3.7.2	Oberflächenprüfverfahren	95
1.3.2	Erzeugung von PDF-Dokumenten.....	3.7.3	Rauheitsmessgrößen	96
1.3.3	Projektmanagement.....	3.7.4	Angabe von Oberflächengüten in Technischen Zeichnungen	97
1.4	Einführung in die Programmierung.....	3.8	Toleranzen und Passungen	98
1.4.1	Programmiersprachen.....	3.8.1	Maßtoleranzen.....	98
1.4.2	Der Algorithmus.....	3.8.2	Passungen	100
1.4.3	Allgemeiner Aufbau eines Programms	3.8.3	Passungssysteme	100
1.4.4	Datentypen und Variablen.....	3.8.4	Form- und Lagetoleranzen	102
1.4.5	Datentypen.....	4	Qualitätsmanagement	103
1.4.6	Ein- und Ausgabe bei Hochsprachen	4.1	Der Qualitätsbegriff.....	103
1.4.7	Verknüpfung von Datentypen.....	4.2	Aufgaben des Qualitätsmanagements	104
1.4.8	Programmentwicklung	4.2.1	Qualitätsplanung.....	104
1.4.9	Darstellungsarten von Algorithmen.....	4.2.2	Qualitätslenkung	105
1.4.10	Programmbeispiel:	4.2.3	Qualitätsprüfung	105
1.5	Kommunikation in Netzen	4.2.4	Qualitätsverbesserung.....	105
1.5.1	Grundlagen	4.3	Qualitätsmanagement nach DIN EN ISO 9000:2015	106
1.5.2	Kommunikationsprotokolle.....	4.4	Qualität ist nicht nur Chefsache	106
1.5.3	Bedrohung von Netzen und Computern.....	4.5	Statistisches Qualitätsmanagement	107
2	Technische Kommunikation	4.5.1	Zufällige und systematische Fehler.....	107
2.1	Die Technische Zeichnung als Kommunikationsmittel	4.5.2	Gauß'sche Normalverteilung.....	107
2.1.1	Darstellungsarten	4.5.3	Qualitätsregelkarten als Instrument der Qualitätskontrolle.....	108
2.1.2	Einzelteil-Zeichnungen.....	5	Werkstofftechnik	109
2.1.3	Schnittdarstellungen.....	5.1	Einteilung der Werkstoffe	109
2.1.4	Bemaßung von Einzelteilen.....	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
			7.7.2	Bausteine der Fertigungsautomatisierung .	237
6	Mechanische Systeme	133	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	Kenngößen 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
7	Herstellen mechanischer Systeme		8	Grundlagen der Elektrotechnik	285
	(Fertigungstechnik)	163			
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	9.2.4.2	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-Sytem	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: Messgeräte	330	9.4.5.4	IT-System	389
8.16.2	Messung der elektrischen Spannung	331	9.4.5.5	Schleifenimpedanz Z_s	390
8.16.3	Messung des elektrischen Stromes	331	9.4.5.6	Schutz im TN-Netz	390
8.16.4	Spannungsfehlerschaltung	332	9.4.5.7	Schutz im TT-Netz	391
8.16.5	Stromfehlerschaltung	332	9.4.5.8	Schutz im IT-Netz	391
8.16.6	Messung zeitabhängiger elektrischer Größen	332	9.4.5.9	Doppelte oder verstärkte Isolierung	392
9	Elektrische Maschinen	334	9.4.5.10	Schutztrennung	393
9.1	Transformatoren	335	9.4.5.11	Schutz durch Schutzkleinspannung	393
9.1.1	Aufbau und Wirkungsweise	335	9.4.5.12	Fehlerstromschutzeinrichtungen	394
9.1.2	Übersetzungsverhältnis	336	9.4.6	Prüfung elektrischer Betriebsmittel	397
9.1.3	Verluste und Wirkungsgrad	337	9.4.6.1	Erstprüfung von ortsfesten elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln	397
9.1.4	Betriebsverhalten	338	9.4.6.2	Wiederkehrende Prüfungen von elektrischen Anlagen und ortsfesten Betriebsmitteln	399
9.1.5	Kennwerte	339	9.4.6.3	Prüfen der Schutzleiter und Potentialausgleichsleiter	399
9.1.6	Magnetische Kopplung und Streuung	340	9.4.6.4	Messung der Isolationswiderstände in elektrischen Anlagen	400
9.1.7	Bauformen von Transformatoren	341	9.4.6.5	Prüfung der Schutzmaßnahmen SELV	400
9.1.7.1	Kleintransformatoren	341	9.4.6.6	E-Check als Gütesiegel für die Elektroanlage	400
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	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
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 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 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	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; 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	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 (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

10.9.2	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	15	Montage, Inbetriebnahme und Instand- haltung mechatronischer Systeme	632
10.9.6	Einbindung des IO-Link-Masters in übergeordnete Feldbusse	559	15.1	Die Montagetätigkeit Fügen.....	632
11	Regelungstechnik	560	15.1.1	Formschlüssige Verbindungen	632
11.1	Grundbegriffe	560	15.1.2	Kraftschlüssige Verbindungen	633
11.2	Regelkreiselemente	561	15.1.3	Stoffschlüssige Verbindungen	633
11.2.1	Proportionalglied ohne Verzögerung (P-Glied)	561	15.2	Montagetätigkeit Prüfen und Justieren	634
11.2.2	Proportionalglied mit Verzögerung 1. Ordnung (PT ₁ -Glied)	561	15.2.1	Prüftätigkeiten vor der Montage.....	634
11.2.3	Proportionalglied mit Verzögerung 2. Ordnung (PT ₂ -Glied)	562	15.2.2	Prüftätigkeiten während der Montage.....	634
11.2.4	Integralglied (I-Glied).....	563	15.2.3	Prüftätigkeiten nach der Montage.....	634
11.2.5	Differenzierglied (D-Glied).....	564	15.3	Montageplanung.....	635
11.2.6	Totzeitglied (T _r -Glied)	565	15.3.1	Der Montageplan	636
11.3	Regeleinrichtungen und Regelglieder	565	15.3.2	Beispiel eines Montageplanes.....	636
11.3.1	Unstetige Regelglieder	565	15.4	Organisationsformen der Montage.....	637
11.3.2	Stetige Regelglieder	566	15.5	Montagebeispiele	639
11.3.3	Digitale Regelglieder	568	15.5.1	Beispiel für Montageplan eines elektro- pneumatischen Ventilblockes auf DIN-Schiene	640
11.4	Stabilität von Regelkreisen	569	15.5.2	Auszug aus dem Montageplan eines Handlinggerätes zur Realisierung von Handhabungslösungen an Spritzguss- maschinen.....	641
12	Bussysteme in der Automatisierungstech- nik	570	15.6	Arbeitssicherheit bei der Montage.....	644
12.1	Kommunikationsmodell	575	15.6.1	Vorbeugende Sicherheitsmaßnahmen bei der Arbeit an Maschinen, Anlagen und mechatronischen Systemen	644
12.2	Topologien.....	575	15.6.2	Maßnahmen bei einem Arbeitsunfall	645
12.3	Übertragungsmedien.....	578	15.6.3	Brandschutz und Maßnahmen im Brandfalle	646
12.4	Übertragungsarten.....	580	15.6.4	Umgang mit Gefahrstoffen.....	647
12.5	Buszugriffsverfahren.....	581	15.6.5	Richtlinien für die Maschinensicherheit	647
12.5.1	Master/Slave-Verfahren.....	581	15.7	Inbetriebnahme	648
12.5.2	Das Token-Prinzip.....	582	15.7.1	Besonderheiten der Inbetriebnahme	648
12.5.3	Das CSMA-Verfahren	583	15.7.2	Grundsätzliches zum Verfahren der Inbetriebnahme	651
12.5.4	CSMA/CA.....	584	15.7.3	Inbetriebnahme pneumatischer und elek- tropneumatischer Anlagen	653
12.6	Datensicherheit	584	15.7.4	Inbetriebnahme hydraulischer und elektrohydraulischer Anlagen	653
12.7	AS-Interface	585	15.7.5	Inbetriebnahme elektrischer Maschinen....	654
12.7.1	AS-Interface-Funktionsprinzip	585	15.7.6	Inbetriebnahme von SPS.....	655
12.7.2	AS-Interface-Verkabelung.....	587	15.7.7	Fehler bei der Inbetriebnahme von mechatronischen Systemen	655
12.7.3	Inbetriebnahme einer AS-Interface-Anlage	589	15.8	Instandhaltung von mechatronischen Systemen.....	658
12.7.4	Strukturen einer AS-Interface-Anlage	591	15.8.1	Verlauf der Systemausfallrate	658
12.7.5	Die AS-Interface-Spezifikation 2.11	593	15.8.2	Instandhaltungsstrategien	659
12.7.6	Die AS-Interface-Spezifikation 3.0.....	595	15.8.3	Die Wartung als vorbeugende Instandhaltungsmaßnahme.....	660
12.7.7	Die AS-Interface Spezifikation 5.....	595	15.8.4	Die Inspektion als Maßnahme zur Ausfall- verhütung	662
12.7.8	AS-i-Safety	596	15.8.5	Die Instandsetzung	663
12.8	PROFIBUS	596	15.8.6	Fehlersuche als Grundlage der Instand- setzung.....	663
12.8.1	PROFIBUS-DP	597			
12.8.2	PROFIBUS-PA	599			
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