

Inhaltsverzeichnis

Interpretation der Lernfelder		9	2.1.5	Gewindedarstellung.....	82
LF 1	Analysieren von Funktionszusammenhängen in mechatronischen Systemen.....	9	2.1.6	Genormte Einzelheiten	83
LF 2	Herstellen mechanischer Teilsysteme	10	2.1.7	Gruppenzeichnungen	84
LF 3	Installieren elektrischer Betriebsmittel unter Beachtung sicherheitstechnischer Aspekte.....	12	2.2	Tabellen und Diagramme.....	85
LF 4	Untersuchen der Energie- und Informationsflüsse in elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Baugruppen.....	13	2.2.1	Tabellen.....	85
LF 5	Kommunizieren mithilfe von Datenverarbeitungsanlagen.....	14	2.2.2	Diagramme	85
LF 6	Planen und Organisieren von Arbeitsabläufen.....	14	2.3	Technische Kommunikation mithilfe von Plänen.....	86
LF 7	Realisieren mechatronischer Teilsysteme.....	15	2.4	Die Sprache als Kommunikationsmittel	87
LF 8	Design und Erstellung mechatronischer Systeme.....	16	2.4.1	Das Erstellen von Protokollen.....	87
LF 9	Untersuchen des Informationsflusses in komplexen mechatronischen Systemen	17	2.4.2	Referate und Vorträge	88
LF 10	Planen der Montage und Demontage.....	18	2.4.3	Referaterstellung	88
LF 11	Inbetriebnahme, Fehlersuche und Instandsetzung	19	2.4.4	Der Vortrag des Referates	88
LF 12	Vorbeugende Instandhaltung	20			
LF 13	Übergabe von mechatronischen Systemen an Kunden.....	20			
1 Grundlagen der Datenverarbeitung		21	3	Prüftechnik	89
1.1	Betriebssysteme.....	23	3.1	Längen- und Winkelprüfung	89
1.1.1	Aufgaben eines Betriebssystems	23	3.2	Mechanische Prüfmittel.....	90
1.1.2	Betriebssystem-Kategorien.....	24	3.2.1	Messschieber	90
1.1.3	Client-Server-Betriebssystem (von Windows)	27	3.2.2	Messschrauben	91
1.2	Office-Anwendungen.....	33	3.2.3	Messuhren	91
1.2.1	Textverarbeitung	37	3.2.4	Winkelmesser	92
1.2.2	Tabellenkalkulation	42	3.3	Pneumatische Messgeräte	93
1.2.3	Präsentationssoftware	47	3.4	Elektrische Messgeräte	93
1.2.4	Datenbanksysteme.....	53	3.5	Elektronische Messgeräte	94
1.3	Ergänzende Software.....	57	3.6	Prüfen mit Lehren.....	94
1.3.1	Bildbearbeitung	57	3.7	Prüfung von Oberflächen	95
1.3.2	Erzeugung von PDF-Dokumenten	59	3.7.1	Grundbegriffe der Oberflächenprüfung.....	95
1.3.3	Projektmanagement.....	60	3.7.2	Oberflächenprüfverfahren.....	95
1.4	Einführung in die Programmierung	63	3.7.3	Rauheitsmessgrößen.....	96
1.4.1	Programmiersprachen.....	63	3.7.4	Angabe von Oberflächengüten in Technischen Zeichnungen	97
1.4.2	Der Algorithmus	63	3.8	Toleranzen und Passungen.....	98
1.4.3	Allgemeiner Aufbau eines Programms	63	3.8.1	Maßtoleranzen.....	98
1.4.4	Datentypen und Variablen	64	3.8.2	Passungen.....	100
1.4.5	Datentypen.....	64	3.8.3	Passungssysteme.....	100
1.4.6	Ein- und Ausgabe bei Hochsprachen.....	65	3.8.4	Form- und Lagetoleranzen	102
1.4.7	Verknüpfung von Datentypen.....	65			
1.4.8	Programmentwicklung	65	4	Qualitätsmanagement	103
1.4.9	Darstellungsarten von Algorithmen.....	66	4.1	Der Qualitätsbegriff.....	103
1.4.10	Programmbeispiel:.....	67	4.2	Aufgaben des Qualitätsmanagements	104
1.5	Kommunikation in Netzen.....	68	4.2.1	Qualitätsplanung	104
1.5.1	Grundlagen	68	4.2.2	Qualitätslenkung	105
1.5.2	Kommunikationsprotokolle.....	70	4.2.3	Qualitätsprüfung	105
1.5.3	Bedrohung von Netzen und Computern	71	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
2 Technische Kommunikation	73		5	Werkstofftechnik	109
2.1	Die Technische Zeichnung als Kommunikationsmittel	73	5.1	Einteilung der Werkstoffe.....	109
2.1.1	Darstellungsarten	74	5.2	Eigenschaften von Werkstoffen.....	110
2.1.2	Einzelteil-Zeichnungen	76	5.2.1	Physikalische Eigenschaften	110
2.1.3	Schnittdarstellungen.....	80	5.2.2	Chemisch-technologische Eigenschaften....	111
2.1.4	Bemaßung von Einzelteilen	81	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	163	8	Grundlagen der Elektrotechnik	285
	(Fertigungstechnik)				
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 Drehfeldzahl 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 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 (Δ)	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
9	Elektrische Maschinen	334	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
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 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 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 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
10.5.2.2	Verknüpfung von Signalen	471	10.9.2	IO-Link-Schnittstelle	557

10.9.2.1	Porttypen in IP65/67	557			
10.9.3	IO-Link-Protokoll.....	557	14.2.1	Das mechanische Teilsystem.....	619
10.9.4	IODD und Engineering.....	558	14.2.2	Das hydraulische Teilsystem	619
10.9.5	Unterschiede IO-Link-Spezifikation V1.0 und V1.1	559	14.2.3	Das pneumatische Teilsystem	622
10.9.6	Einbindung des IO-Link-Masters in übergeordnete Feldbusse	559	14.2.4	Das elektrische Teilsystem	623
11	Regelungstechnik	560	15	Montage, Inbetriebnahme und Instand- haltung 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 ₁ -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 Automatisierungs- technik	570	15.5.1	Beispiel für Montageplan eines elektro- pneumatischen Ventilblockes auf DIN-Schiene	640
12.1	Kommunikationsmodell	574	15.5.2	Auszug aus dem Montageplan eines Handlinggerätes zur Realisierung von Handhabungslösungen an Spritzguss- maschinen.....	641
12.2	Topologien.....	576	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 elek- tropneumatischer 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	594	15.8	Instandhaltung von mechatronischen Systemen	658
12.7.6	Die AS-Interface-Spezifikation 3.0	596	15.8.1	Verlauf der Systemausfallrate	658
12.7.7	AS-i-Safety	596	15.8.2	Instandhaltungsstrategien	659
12.8	PROFIBUS	596	15.8.3	Die Wartung als vorbeugende Instandhaltungsmaßnahme.....	660
12.8.1	PROFIBUS-DP	597	15.8.4	Die Inspektion als Maßnahme zur Ausfall- verhütung.....	662
12.8.2	PROFIBUS-PA	599	15.8.5	Die Instandsetzung.....	663
12.9	Ethernet.....	603	15.8.6	Fehlersuche als Grundlage der Instand- setzung	663
12.9.1	PROFINET.....	607		Sachwortverzeichnis.....	667
12.10	Zusammenfassung	608		Bildquellenverzeichnis.....	679
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				