

Inhaltsverzeichnis

Interpretation der Lernfelder 9

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

1 Grundlagen der Datenverarbeitung 21

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

2 Technische Kommunikation 73

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

3 Prüftechnik 89

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

4 Qualitätsmanagement 103

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

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

Inhaltsverzeichnis

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	Kenngößen 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	9.2.4.3	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	Widerstandsbaulemente 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	Verketzung.....	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	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	Projektiertung	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
10.5.2.2	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
10.9.4	IO-Link-Engineering	558
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

11.1	Grundbegriffe	560
11.2	Regelkreiselemente	561
11.2.1	Proportionalglied ohne Verzögerung (P-Glied)	561
11.2.2	Proportionalglied mit Verzögerung 1. Ordnung (PT ₁ -Glied)	561
11.2.3	Proportionalglied mit Verzögerung 2. Ordnung (PT ₂ -Glied)	562
11.2.4	Integralglied (I-Glied)	563
11.2.5	Differenzierglied (D-Glied)	564
11.2.6	Totzeitglied (T _z -Glied)	565
11.3	Regelvorrichtungen und Regelglieder	565
11.3.1	Unstetige Regelglieder	565
11.3.2	Stetige Regelglieder	566
11.3.3	Digitale Regelglieder	568
11.4	Stabilität von Regelkreisen	569

12 Bussysteme in der Automatisierungstechnik 570

12.1	Kommunikationsmodell	574
12.2	Topologien	576
12.3	Übertragungsmedien	578
12.4	Übertragungsarten	580
12.5	Buszugriffsverfahren	581
12.5.1	Master/Slave-Verfahren	581
12.5.2	Das Token-Prinzip	582
12.5.3	Das CSMA-Verfahren	583
12.5.4	CSMA/CA	584
12.6	Datensicherheit	584
12.7	AS-Interface	585
12.7.1	AS-Interface-Funktionsprinzip	585
12.7.2	AS-Interface-Verkabelung	587
12.7.3	Inbetriebnahme einer AS-Interface-Anlage	589
12.7.4	Strukturen einer AS-Interface-Anlage	591
12.7.5	Die AS-Interface-Spezifikation 2.11	594
12.7.6	Die AS-Interface-Spezifikation 3.0	596
12.7.7	AS-i-Safety	596
12.8	PROFIBUS	596
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	618

Systems.....	619
Das mechanische Teilsystem.....	619
Das hydraulische Teilsystem	619
Das pneumatische Teilsystem.....	622
Das elektrische Teilsystem.....	623

15 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung mechatronischer Systeme 632

15.1	Die Montagetätigkeit Fügen	632
15.1.1	Formschlüssige Verbindungen	632
15.1.2	Kraftschlüssige Verbindungen	633
15.1.3	Stoffschlüssige Verbindungen	633
15.2	Montagetätigkeit Prüfen und Justieren	634
15.2.1	Prüftätigkeiten vor der Montage	634
15.2.2	Prüftätigkeiten während der Montage	634
15.2.3	Prüftätigkeiten nach der Montage	634
15.3	Montageplanung	635
15.3.1	Der Montageplan	636
15.3.2	Beispiel eines Montageplanes	636
15.4	Organisationsformen der Montage	637
15.5	Montagebeispiele	639
15.5.1	Beispiel für Montageplan eines elektro-pneumatischen Ventilblocks auf DIN-Schiene	640
15.5.2	Auszug aus dem Montageplan eines Handlinggerätes zur Realisierung von Handhabungslösungen an Spritzgussmaschinen	641
15.6	Arbeitssicherheit bei der Montage	644
15.6.1	Vorbeugende Sicherheitsmaßnahmen bei der Arbeit an Maschinen, Anlagen und mechatronischen Systemen	644
15.6.2	Maßnahmen bei einem Arbeitsunfall	645
15.6.3	Brandschutz und Maßnahmen im Brandfalle	646
15.6.4	Umgang mit Gefahrstoffen	647
15.6.5	Richtlinien für die Maschinensicherheit	647
15.7	Inbetriebnahme	648
15.7.1	Besonderheiten der Inbetriebnahme	648
15.7.2	Grundsätzliches zum Verfahren der Inbetriebnahme	651
15.7.3	Inbetriebnahme pneumatischer und elektropneumatischer Anlagen	653
15.7.4	Inbetriebnahme hydraulischer und elektrohydraulischer Anlagen	653
15.7.5	Inbetriebnahme elektrischer Maschinen	654
15.7.6	Inbetriebnahme von SPS	655
15.7.7	Fehler bei der Inbetriebnahme von mechatronischen Systemen	655
15.8	Instandhaltung von mechatronischen Systemen	658
15.8.1	Verlauf der Systemausfallrate	658
15.8.2	Instandhaltungsstrategien	659
15.8.3	Die Wartung als vorbeugende Instandhaltungsmaßnahme	660
15.8.4	Die Inspektion als Maßnahme zur Ausfallverhütung	662
15.8.5	Die Instandsetzung	663
15.8.6	Fehlersuche als Grundlage der Instandsetzung	663
	Sachwortverzeichnis	667
	Bildquellenverzeichnis	679