

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen der Automatisierungstechnik	9	
1.1	Einführung	9	
1.1.1	Automatisierung und Automaten	9	
1.1.2	Entwicklungsphasen industrieller Technik	10	
1.1.3	Industrie 4.0	13	
1.1.4	Cyber-Physische-Systeme (CPS)	14	
1.2	Steuerungstechnik	16	
1.2.1	Steuerungsarten	16	
1.2.2	Programmsteuerungen	19	
1.2.3	Elektrische Kontaktsteuerungen	20	
1.2.3.1	Tastschalter	20	
1.2.3.2	Näherungsschalter	21	
1.2.3.3	Schütze und Relais	22	
1.2.3.4	Stellschalter	24	
1.2.3.5	Schlossschalter	25	
1.2.3.6	Schaltzeichen elektrischer Betriebsmittel (Auswahl)	27	
1.2.3.7	Kennzeichnung der Betriebsmittel	28	
1.2.3.8	Leitungen und Kabel	30	
1.2.4	Elektrische Gefährdungen und Schutzmaßnahmen	31	
1.2.4.1	Unfälle vermeiden	31	
1.2.4.2	Gefahren	32	
1.2.4.3	Schutzartenkennzeichnung	32	
1.2.4.4	Schutzklassen	33	
1.2.4.5	Fehlerstrom-Schutzschalter (FI-Schalter, RCD ¹)	34	
1.2.4.6	Elektrostatische Entladungen (ESD ¹)	36	
1.2.4.7	Sicherheitsfunktionen	37	
1.2.5	Grundsaltungen	38	
1.2.6	Elektronische Bauelemente	41	
1.2.6.1	Halbleiterbauelemente	41	
1.2.6.2	Integrierte Schaltkreise (IC) und Grundverknüpfungen	44	
1.2.7	Schaltalgebra	45	
1.2.8	Kombinatorische Steuerungen	46	
1.2.9	Sequentielle ¹ Steuerungen	50	
1.2.10	GRAFCET	51	
1.2.11	Sequentielle Steuerungen mit Flip-Flop (Kippglieder)	57	
1.2.12	Zustandsfolgediagramm (Graph)	59	
1.3	Digitale Speicher	62	
1.3.1	Mechanische Speicher	62	
1.3.2	Optische Datenspeicher	63	
1.3.3	Elektronische Speicher	64	
1.3.4	Magnetische Speicher	66	
1.4	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	67	
1.4.1	Aufbau und Funktionsweise	67	
1.4.2	Systemaufbau	69	
1.4.3	Programmierung	70	
1.4.4	Programmabarbeitung, Organisationsbausteine	72	
1.4.5	Adressierung und Datentypen	73	
1.4.6	Grundverknüpfungen	74	
1.4.7	Speicher (Merker)	77	
1.4.8	Flankenauswertung	79	
1.4.9	Zähloperationen	81	
1.4.10	Programmieren von Zeiten	83	
1.4.11	Digitale Grundoperationen (Wortverarbeitung)	86	
1.4.12	Analogwertverarbeitung	89	
1.4.13	Funktionen (FC) und Funktionsbausteine (FB)	91	
1.4.14	Datenbausteine	93	
1.4.15	Ablaufsteuerung	94	
1.4.16	Betriebsarten	98	
1.4.17	Kleinsteuerung LOGO!	101	
1.4.18	Bedienen und Beobachten mit WINCC	105	
1.4.19	Prozess-Simulation	109	
1.4.20	IEC 61131	112	
1.4.21	Zuverlässigkeit und Sicherheit	113	
1.5	Grundlagen der Analogsignalverarbeitung	114	
1.5.1	Operationsverstärker (OP)	114	
1.5.2	Grundsaltungen	115	
1.5.3	Analog-Digital-Umsetzer und Digital-Analog-Umsetzer	118	
1.6	Regelungstechnik	120	
1.6.1	Begriffe	120	
1.6.2	Regelungsarten	121	
1.6.3	Regelkreisglieder	123	
1.6.3.1	Proportionalglied ohne Verzögerung (P-Glied)	123	
1.6.3.2	Proportionalglied mit Verzögerung 1. Ordnung (P-T ₁ -Glied)	124	
1.6.3.3	Proportionalglied mit Verzögerung 2. Ordnung (P-T ₂ -Glied) und Schwingungsglied	125	
1.6.3.4	Integralglied (I-Glied)	128	
1.6.3.5	Differenzierglied (D-Glied)	129	
1.6.3.6	Totzeitglied (T _t -Glied)	129	
1.6.3.7	Zusammenwirken mehrerer Regelkreisglieder	131	
1.6.4	Regler und Regelkreise	132	
1.6.4.1	Schaltende Regler	132	
1.6.4.2	Analoge Regler	133	
1.6.4.3	Digitale Regler (Software-Regler)	135	
1.6.4.4	Regelung von P-Strecken	138	
1.6.4.5	Regelung von I-Strecken	139	
1.6.4.6	Einstellen eines Reglers	141	
1.6.4.7	Selbstoptimierende Regler	142	
1.7	Schaltpläne	143	
1.7.1	Strukturierung	143	

1.7.2	Referenzkennzeichen	145	2.4.2	Tauchspulenantriebe	238
1.7.3	Schaltplanerstellen mit FluidSIM®	147	2.4.3	Magnetostriktive Aktoren	238
1.7.4	Steuern und Regeln mit FluidSIM®	148	2.4.4	Kapazitive Mikroaktoren	239
2	Aktoren	149	2.4.5	Thermische Aktoren	240
2.1	Pneumatische Aktoren.	149	2.4.5.1	Thermobimetall-Aktoren	240
2.1.1	Einführung	149	2.4.5.2	Dehnstoff-Aktoren	241
2.1.2	Komponenten der Pneumatik	150	2.4.5.3	Memory-Metall-Aktoren	241
2.1.2.1	Wartungsgeräte	150	2.4.6	MRF-Aktoren	242
2.1.2.2	Aktoren	151	2.5	CNC-Achsantriebssysteme	243
2.1.2.3	Ventile	154	2.5.1	Struktur	243
2.1.2.4	Signalgeber und Signalwandler	159	2.5.2	Art der Wegmessung	243
2.1.3	Pneumatische Steuerungen	160	2.5.3	Antriebsarten	245
2.1.3.1	Schaltplanaufbau	160	2.5.4	Mechanische Übertragungsglieder	246
2.1.3.2	Pneumatische Verknüpfungssteuerungen	162	2.5.5	Lageregelung	248
2.1.3.3	Elektrische Ansteuerung von Aktoren	164	3	Sensoren	250
2.1.3.4	Vakuumtechnik	170	3.1	Allgemeines	250
2.1.3.5	Sicherheitsfunktionen	171	3.2	Sensoren für Wege, Winkel und Abstände.	251
2.1.3.6	Energieeffizienz	172	3.2.1	Sensorsignale durch Widerstandsänderung	251
2.2	Hydraulische Aktoren.	173	3.2.2	Sensorsignale durch magnetische Kopplung	256
2.2.1	Allgemeines	173	3.2.3	Sensorsignale mittels magnetischer und elektrischer Felder	257
2.2.2	Physikalische Grundlagen	173	3.2.4	Sensoren zur Füllstandsmessung	258
2.2.2.1	Hydrostatik	173	3.2.5	Optische Sensoren	259
2.2.2.2	Hydrodynamik	175	3.2.6	Sensorsignale durch Laufzeitmessung	263
2.2.3	Hydraulikflüssigkeiten	176	3.2.7	Digitale Weg- und Winkelmessung	265
2.2.4	Aufbau hydraulischer Steuerungen	178	3.2.7.1	Inkrementale Weg- und Winkelmessung	265
2.2.5	Hydraulikpumpen	179	3.2.7.2	Absolute Weg- und Winkelmessung	269
2.2.6	Hydraulikspeicher	181	3.2.7.3	Zyklische analoge Weg- und Winkelmessung	271
2.2.7	Antriebselemente	183	3.2.7.4	Berührungsloses Messen mit Autofokus-Systemen	272
2.2.8	Hydraulikventile	186	3.3	Geschwindigkeitssensoren	273
2.2.8.1	Druckventile	186	3.4	Sensoren für Dehnungen, Kräfte, Drehmomente und Drücke	274
2.2.8.2	Wegeventile	189	3.5	Beschleunigungssensoren	278
2.2.8.3	Sperrventile	190	3.6	Temperatursensoren	279
2.2.8.4	Stromventile	191	3.7	Sensoren für Strömungen.	281
2.2.9	Stetigventile	193	3.8	Sensoren für elektrische Größen (Messumformer).	282
2.2.10	Proportionaltechnik	194	3.9	Sensoren zur Sicherheitstechnik	283
2.2.11	Servoventile	201	3.10	Mikromechanische Sensoren	285
2.2.12	Mobilhydraulik	203	3.11	Störungen in Sensorleitungen	286
2.3	Elektrische Aktoren	204	4	Computergesteuerte Maschinen	288
2.3.1	Einführung	204	4.1	CNC-Werkzeugmaschinen.	288
2.3.2	Rechnerische Grundlagen	206	4.1.1	Der Produktionsprozess	288
2.3.3	Erste Orientierung	209	4.1.2	NC-Achsen und deren Steuerung	291
2.3.4	Gleichstromantriebe (DC-Antriebe)	210	4.1.3	CNC-Programmierung	293
2.3.5	Drehfeldantriebe	216	4.1.3.1	DIN-Programmierung	293
2.3.5.1	Drehstromasynchronmotoren	216			
2.3.5.2	Drehstromsynchronmotoren	224			
2.3.5.3	Feldorientierte Regelung	227			
2.3.6	Kühlung und Bauformen	229			
2.3.7	Antriebsprojektierung	230			
2.3.8	EMV-Maßnahmen	231			
2.3.9	Kleinmotoren	233			
2.3.9.1	DC-Kleinmotoren	233			
2.3.9.2	Schrittmotoren	234			
2.4	Mechatronische Aktoren	235			
2.4.1	Piezoaktoren	235			

4.1.3.2	Werkstatorientiertes Produzieren (WOP)	303	5.2.2	Puffern	379
4.1.4	Interpolation	305	5.2.3	Bunkern	380
4.1.5	Leistungsfähigkeit	307	5.2.4	Magazinieren	381
4.1.6	Offene CNC-Steuerung	309	5.2.5	Fördersysteme	382
4.2	3D-Druckverfahren	310	5.2.6	Montage im Kreisprozess	385
4.2.1	Allgemeines	310	5.3	Fügeverfahren	386
4.2.2	AM-Verfahren	311	5.3.1	Übersicht	386
4.2.3	Die Informationskette und die Prozesskette	313	5.3.2	Zusammensetzen	386
4.3	Messen und Prüfen	314	5.3.3	Anpressen und Einpressen	387
4.3.1	Koordinatenmessgeräte	314	5.3.4	Umformendes Fügen	392
4.3.1.1	Aufbau und Wirkungsweise	315	5.3.5	Schweißen	394
4.3.1.2	Bauarten	316	5.3.5.1	Lichtbogenschweißen	395
4.3.1.3	Messsysteme	316	5.3.5.2	Fügen durch Widerstandsschweißen	396
4.3.1.4	Messkopfsysteme	317	5.3.5.3	Gasschmelzschweißen	397
4.3.1.5	Zusatzausstattungen	319	5.3.5.4	Pressschweißen	397
4.3.1.6	Steuerungen und Antriebe	320	5.3.5.5	Löten	399
4.3.1.7	Messwertverarbeitung und Messwertauswertung	320	5.3.5.6	Kleben	402
4.3.1.8	Tastelementkalibrierung	323	6	Prozesse steuern	404
4.3.1.9	Durchführung eines Messauftrags	323	6.1	Einführung	404
4.3.2	Laser-Tracking	328	6.2	Statistische Prozessregelung (SPC) .	405
4.3.3	Optisches 3D-Scannen	329	6.2.1	Prüfdaten	405
4.3.3.1	Räumlichen Wahrnehmung und Triangulation	329	6.2.2	Normalverteilung	406
4.3.3.2	Scannen mit Punkten und mit Linien	330	6.2.3	Wahrscheinlichkeitsnetz	407
4.3.3.3	Streifenlichtscanner	331	6.2.4	Auswertung einer Stichprobe	407
4.3.3.4	Photogrammetrie	336	6.2.5	Qualitätsregelkarten	411
4.3.4	Röntgen-Computertomographie (CT)	338	6.3	Maschinenfähigkeit und Prozessfähigkeit	413
4.3.4.1	Allgemeines	338	6.4	Betriebsdatenerfassung (BDE)	416
4.3.4.2	CT in der industriellen Messtechnik	338	6.4.1	Chipkarten, Chipmünzen, RFIDs	417
4.3.4.3	Auflösung	339	6.5	Manufacturing Execution Systems (MES)	420
4.4	Robotertechnik	341	6.5.1	Einführung	420
4.4.1	Einführung	341	6.5.2	MES am Beispiel der Datenerfassung	421
4.4.2	Einteilung	342	6.5.3	MES am Beispiel des Informationsmanagements	421
4.4.3	Kinematischer Aufbau	343	7	Informationstechnik	422
4.4.3.1	Die RRR-Kinematik	346	7.1	Programmierung	422
4.4.3.2	Der Gewichtsausgleich	347	7.1.1	Programmiersprachen	422
4.4.4	Greifer	348	7.1.2	Software Engineering	423
4.4.5	Roboterprogrammierung	349	7.1.3	Qualität der Software	424
4.4.6	Koordinatensysteme	351	7.1.4	Sicherung gegen unberechtigte Nutzung	424
4.4.7	Die Bewegungserzeugung	355	7.1.5	Betriebssystem Windows	425
4.4.8	Koordinatentransformation	357	7.1.6	Objektorientierte Programmierung (OOP)	428
4.4.9	Interpolation und Betriebsarten	358	7.1.7	Algorithmen	430
4.4.10	Schleppabstand und Bahngeschwindigkeit	360	7.1.8	Strukturierte Programmierung	431
4.4.11	Sensorführung von Robotern	362	7.1.9	Rechnerinterne Datendarstellung	432
4.4.12	Kollaborierende Roboter – Cobot	367	7.1.10	Programmaufbau und Programmkomponenten	435
4.4.13	Schutzmaßnahmen	369	7.1.11	Strukturierte Anweisungen	437
4.5	Sicherheit von Maschinen und Anlagen	371	7.1.12	Strukturierung mit Funktionen	439
5	Montageautomatisierung	375	7.1.13	Fallbeispiel: Steuerkurve	440
5.1	Grundlagen	375			
5.2	Materialfluss	378			
5.2.1	Lagern	378			

7.1.14	Einsatz von Smartphone, Tablet und iPad	446	7.7.2	Binärbildverarbeitung	506
7.1.15	Grafische Programmierung	447	7.7.3	Farbbildverarbeitung und Farbbildcodierung	507
7.2	Steuern mit Computer	453	7.8	Virtuelle Umgebung	509
7.2.1	Zusatzbaugruppen	453	7.8.1	Allgemeines	509
7.2.2	Elemente zu einem i 4.0 Projekt „Werkstück prägen“	454	7.8.2	Szenensteuerung	510
7.3	Regelung mit PC und SPS	463	7.8.3	Augmented Reality, Mixed Reality . .	511
7.3.1	Hardware und Software	463	8	Kommunikationstechnik	512
7.3.2	Grafische Ausgabe	464	8.1	Kommunikation über das Internet . .	512
7.3.3	Regelkreisglieder	465	8.2	Local Area Network (LAN)	513
7.3.3.1	Proportionalglied ohne Verzögerung (P-Glied)	465	8.2.1	Ethernet-LAN	514
7.3.3.2	Integralglied (I-Glied)	466	8.2.1.1	Einführung	514
7.3.3.3	Totzeitglied (T ₁ -Glied)	467	8.2.1.2	Peer-to-Peer-Netzwerk	517
7.3.3.4	Proportionalglied mit Verzögerung 1. Ordnung (P-T ₁ -Glied)	468	8.2.1.3	Client-Server-Netzwerk	517
7.3.3.5	Proportionalglied mit Verzögerung 2. Ordnung (P-T ₂ -Glied) und Schwingungsglied	469	8.2.1.4	Peer-to-Peer-Netzwerk mit zwei PCs	518
7.3.4	Regelkreise	470	8.2.1.5	Erweiterung zu einem Client-Server-Netzwerk	521
7.3.4.1	P-Regelung mit P-T ₁ -Strecke	470	8.2.2	Wireless LAN (WLAN)	523
7.3.4.2	P-Regelung und P-T ₁ -Strecke (SPS-Simulation)	471	8.3	Feldbus-Systeme	525
7.3.4.3	I-Regelung und P-T ₁ -Strecke	472	8.3.1	CAN-Bus	525
7.3.4.4	PI-Regelung einer P-T ₁ -Strecke mit Störgrößenaufschaltung (Beispiel) . .	473	8.3.2	Aktor-Sensor-Interface (AS-i)	527
7.3.4.5	Optimierung der Reglerparameter . .	474	8.3.3	PROFIBUS, PROFIBUS-DP	529
7.3.4.6	P-Regler mit P-T ₁ -I-Strecke (Lageregelung)	475	8.3.4	PROFINET	532
7.3.4.7	Lageregelung mit Totzeit	477	8.3.5	PROFIsafe	533
7.3.4.8	Geschwindigkeitsvorsteuerung	478	8.4	Schnittstellen	535
7.3.5	Fuzzy-Logic	479	8.4.1	Aufgaben und Art der Schnittstellen	535
7.3.5.1	Grundlagen der Fuzzy-Technologie .	479	8.4.2	USB-Schnittstelle	536
7.3.5.2	Fuzzy-Regelung einer Bandsägemaschine	480	8.4.3	Firewire (IEEE 1394)	536
7.4	Programmiersprache Java	482	8.4.4	Serielle Schnittstelle V.24	537
7.4.1	Einführung	482	8.4.5	Serielle Schnittstelle RS 485	539
7.4.2	Erstellen einer Applikation	483	8.4.6	IO-Link	540
7.4.3	HTML	483	9	Aufgaben und Übungen	541
7.4.4	Erstellen von Grafiken	485	9.1	Aufgaben und Übungen zur Pneumatik	541
7.4.5	Animationen	486	9.2	Aufgaben und Übungen zur Hydraulik	546
7.4.6	Multithreading	486	9.3	Aufgaben und Übungen zu GRAFCET	548
7.4.7	Java-Script	487	9.4	Aufgaben und Übungen zur SPS . .	549
7.5	Visual Basic für Excel	488	9.5	Aufgaben und Übungen zur Regelungstechnik	562
7.5.1	Aufbau eines VBA-Programms	488	9.6	Aufgaben und Übungen zum Programmieren	566
7.5.2	Aufruf von VBA	489	9.7	Aufgaben und Übungen zur Antriebstechnik	569
7.5.3	Erstellen von Funktionen	490	9.8	Aufgaben und Übungen zur CNC-Technik	570
7.5.4	Variable und Zugriff auf Zellen	491	Sachwortverzeichnis¹	572	
7.5.5	Projekt: SPC-Maschinenregelung . .	493	Quellenverzeichnis	576	
7.5.6	Erstellen eines Formulars als Unterprogramm	494			
7.6	Relationale Datenbanken	495			
7.6.1	Datenbankobjekte	496			
7.6.2	Entwerfen einer Datenbank	498			
7.7	Bildverarbeitung	501			
7.7.1	Grauwertbildverarbeitung	501			