



Bibliothek des technischen Wissens

Dietmar Schmid
Eckehard Kalhöfer

Hans Kaufmann
Jürgen Baur

Alexander Pflug

Automatisierungstechnik

Grundlagen, Komponenten und Systeme

15., überarbeitete Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsseldorfer Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 51518

Die Autoren des Buches

<i>Dietmar Schmid</i>	Dr.-Ing., Professor	Essingen
<i>Hans Kaufmann</i>	Dipl.-Ing. (FH), Studiendirektor	Aalen
<i>Alexander Pflug</i>	Dipl.-Ing., Oberstudienrat	Schwäbisch Gmünd
<i>Eckehard Kalhöfer</i>	Dr.-Ing., Professor	Aalen
<i>Jürgen Baur</i>	Dipl.-Ing. (FH), Oberstudiendirektor	Aalen

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises:

Prof. Dr.-Ing. *Dietmar Schmid*, Essingen

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern
Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Dem Buch wurden die neuesten Ausgaben der Normen und Gesetze zugrunde gelegt. Verbindlich sind jedoch nur die Normblätter selbst und die amtlichen Gesetzestexte. Wie in Lehrbüchern üblich werden etwa bestehende Patente, Gebrauchsmuster oder Warenzeichen meist nicht erwähnt. Das Fehlen eines solchen Hinweises bedeutet daher nicht, dass die dargestellten Produkte frei davon sind. Daten und Darstellungen, die sich auf Herstellerangaben beziehen sind gewissenhaft recherchiert. Sie sind aber mit keiner Gewährleistung irgendwelcher Art verbunden und können sich durch weiteren Fortschritt auch verändert haben. Der Verlag und die Autoren übernehmen daher keine Verantwortung oder Haftung aus der Nutzung von Daten oder Darstellungen dieses Buches. Die Bilder sind von den Autoren entworfen oder entstammen aus deren Arbeitsumfeld. Soweit Bilder, insbesondere Fotos, einem Copyright Dritten unterliegen, sind diese mit dem ©-Symbol und dem Urhebername versehen bzw. im Quellenverzeichnis benannt.

15. Auflage 2025

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-5166-0

Bei Fragen zur Produktsicherheit wenden Sie sich bitte an produktsicherheit@europa-lehrmittel.de.

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2025 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz und Layout: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfoto: Fotos des Lektors

Druck: UAB BALTO print, 08217 Vilnius (LT)

Vorwort zur 15. Auflage

Die Automatisierungstechnik prägte den Weg zur Industrie 4.0 und löste den **digitalen Wandel** (digitale Transformation) **auf allen Wissensgebieten** aus. Dieser Wandel ist nicht mehr beschränkt auf technische Systeme, sondern wird alles umfassend erweitert durch die **künstliche Intelligenz** (KI). KI bietet Fähigkeiten, um geistige Aufgaben mit minimalem menschlichem Dazutun zu automatisieren. Beispiele finden wir in allen Bereichen geistiger Arbeiten, seien es Schulaufgaben wie Aufsätze zu schreiben oder medizinische Diagnosen zu erstellen. Die bisherige Automatisierungstechnik bleibt dabei nicht außen vor, sondern wird integraler Bestandteil. So ist der KI-Bereich, z. B. zur Bauteilprüfung oder zu medizinischen Behandlungsformen auch auf die Neuerungen in der Automatisierungstechnik angewiesen.

Die automatisierte Technik ist weiterhin der Motor unserer Gesellschaft. Die Komponenten dazu sind digital vernetzte mechanische, elektrische, elektronische und optische Elemente der Steuerungstechnik, der Regelungstechnik, der Antriebstechnik und der Sensortechnik. Programme und Softwarebausteine ermöglichen die Einbindung in die um KI erweiterte Informations- und Kommunikationstechnik. Mit diesem Buch werden die technisch-physikalischen Grundlagen hierzu vermittelt.

Die Hauptkapitel sind:

- **Grundlagen** der Automatisierungstechnik
- **Aktoren:** pneumatisch, hydraulisch, elektrisch, mechatronisch
- **Sensoren** für Wege, Winkel, Drücke, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Temperaturen und Sensorsysteme zur Sicherheit
- **Computergesteuerte Maschinen:** CNC-Werkzeugmaschinen, Messmaschinen/Messgeräte, Roboter, 3D-Scannen, 3D-Drucken
- **Montageautomatisierung**
- **Prozesse steuern:** statistische Prozessregelung, Prozessfähigkeit, Betriebsdatenerfassung
- **Informationstechnik:** Programmieren, Steuern, Regeln und Simulieren, Datenbanken, Bildverarbeitung, Virtuelle Umgebungen
- **Kommunikationstechnik:** Local Area Network (LAN, WLAN), Feldbus-Systeme, Schnittstellen

Das vorliegende Buch vermittelt den Lehrstoff, wie er im Bereich der Digitaltechnik, der Automatisierungstechnik und der Mechatronik in den Fachschulen für Technik gefordert und auch im Bereich der beruflichen Weiterbildung benötigt wird. Für Studierende der Hochschulen dient dieses Buch als eine leicht lesbare Einführung. Über 1200, meist mehrfarbige, Bilder und Tabellen erleichtern das Begreifen der komplexen Zusammenhänge.

Die **15. Auflage** wurde an vielen Stellen, z. B. bei den Sicherheitsfunktionen, den Sensorsystemen, den Übungen und Aufgaben in der Steuerungstechnik überarbeitet und um neue Inhalte erweitert. Besonders hervorzuheben ist das **Kapitel Regelungstechnik** (Seite 120 ff). Es wurde ganz neu gestaltet. Die Robotik wurde um den stark anwachsenden Bereich „Roboter in der Medizintechnik“ erweitert (Seite 367 ff).

In der **EUROPATHEK** (siehe vordere Umschlaginnenseite) stehen eine Reihe von digitalen **Zusatzmaterialien** zur Verfügung: Neben den Lösungen zu den Aufgaben gibt es eine Vielzahl von Softwaretools, Simulationen und animierbaren Objekten. Mit diesen gelingt es, Bewegungs- und Steuerungsvorgänge lebendig werden zu lassen. Teilprozesse oder vollständige Anlagen können virtuell dargestellt und beobachtet werden. Auch ist es zum Teil möglich, die virtuellen Vorgänge in realen Anlagen „laufen zu lassen“. Lehrende können diese Zusatzmaterialien vorteilhaft im Distanzunterricht nutzen und Lernende können damit in sehr kreativer Weise Wissen und Erfahrungen schöpfen. Die Zusatzmaterialien enthalten des Weiteren wichtige Gesetzestexte und ein Repetitorium mit Wiederholungsfragen zur abschnittsweisen Lernkontrolle.

Wenn Sie mithelfen möchten, dieses Buch für die kommenden Auflagen zu verbessern, schreiben Sie uns unter lektorat@europa-lehrmittel.de. Ihre Hinweise und Verbesserungsvorschläge nehmen wir gern auf.

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen der Automatisierungstechnik	9	1.4.6	Grundverknüpfungen	74
1.1	Einführung	9	1.4.7	Speicher (Merker)	77
1.1.1	Automatisierung und Automaten	9	1.4.8	Flankenauswertung	79
1.1.2	Entwicklungsphasen industrieller Technik	10	1.4.9	Zähloperationen	81
1.2	Steuerungstechnik	16	1.4.10	Programmieren von Zeiten	83
1.2.1	Steuerungsarten	16	1.4.11	Digitale Grundoperationen (Wortverarbeitung)	86
1.2.2	Programmsteuerungen	19	1.4.12	Analogwertverarbeitung	89
1.2.3	Elektrische Kontaktsteuerungen	20	1.4.13	Funktionen (FC) und Funktionsbausteine (FB)	91
1.2.3.1	Tastschalter	20	1.4.14	Datenbausteine (DB)	93
1.2.3.2	Näherungsschalter	21	1.4.15	Ablaufsteuerung	94
1.2.3.3	Schütze und Relais	22	1.4.16	Betriebsarten	98
1.2.3.4	Stellschalter	24	1.4.17	Kleinsteuerung LOGO!	101
1.2.3.5	Leistungsschalter	25	1.4.18	Bedienen und Beobachten mit WINCC	105
1.2.3.6	Schaltzeichen elektrischer Betriebsmittel (Auswahl)	27	1.4.19	Prozess-Simulation	109
1.2.3.7	Kennzeichnung der Betriebsmittel	28	1.4.20	IEC 61131	112
1.2.3.8	Leitungen und Kabel	30	1.4.21	Zuverlässigkeit und Sicherheit	113
1.2.4	Elektrische Gefährdungen und Schutzmaßnahmen	31	1.5	Grundlagen der Analogsignalverarbeitung	114
1.2.4.1	Unfälle vermeiden	31	1.5.1	Operationsverstärker (OP)	114
1.2.4.2	Gefahren	32	1.5.2	Grundschalungen	115
1.2.4.3	Schutzartenkennzeichnung	32	1.5.3	Analog-Digital-Umsetzer und Digital-Analog-Umsetzer	118
1.2.4.4	Schutzklassen	33	1.6	Regelungstechnik	120
1.2.4.5	Fehlerstrom-Schutzschalter (FI-Schalter, RCD)	34	1.6.1	Einführung	120
1.2.4.6	Elektrostatische Entladungen (ESD)	36	1.6.1.1	Unstetige Regelung	120
1.2.4.7	Sicherheitsfunktionen	37	1.6.1.2	Stetige Regelung	121
1.2.5	Grundschalungen	39	1.6.2	Der Regelkreis	122
1.2.6	Elektronische Bauelemente	42	1.6.2.1	Die Regelstrecke	123
1.2.6.1	Halbleiterbauelemente	42	1.6.2.2	Zusammenstellung wichtigster Regelkreisglieder mit Beispielen	126
1.2.6.2	Integrierte Schaltkreise (IC) und Grundverknüpfungen	45	1.6.2.3	Regeleinrichtung	127
1.2.7	Schaltalgebra	46	1.6.3	Beispiele für Regelkreise	128
1.2.8	Kombinatorische Steuerungen	47	1.6.3.1	Regelung von P-T ₁ -Strecken	128
1.2.9	Sequentielle ¹ Steuerungen	50	1.6.3.2	Regelung von I-Strecken	130
1.2.10	GRAFSET	51	1.6.4	Aufbau und Funktion von Standardreglern	133
1.2.11	Sequentielle Steuerungen mit Flip-Flop (Kippglieder)	57	1.6.4.1	Analoge Regler mit Operationsverstärkern	133
1.2.12	Zustandsfolgediagramm (Graph)	59	1.6.4.2	Digitale Regler (Software-Regler)	135
1.3	Digitale Speicher	62	1.6.4.3	Kompaktregler	137
1.3.1	Mechanische Speicher	62	1.6.5	Wahl der Reglerparameter	138
1.3.2	Optische Datenspeicher	63	1.6.5.1	Prüfen des Wirkungssinns	138
1.3.3	Elektronische Speicher	64	1.6.5.2	Die Regelkreisstabilität	138
1.3.4	Magnetische Speicher	66	1.6.5.3	Einstellen der Reglerparameter	138
1.4	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	67	1.6.5.4	Selbstoptimierende Regler	139
1.4.1	Aufbau und Funktionsweise	67	1.6.6	Betrachtungen im Frequenzbereich	140
1.4.2	Systemaufbau	69	1.7	Schaltpläne	143
1.4.3	Programmierung	70	1.7.1	Strukturierung	143
1.4.4	Programmabarbeitung, Organisationsbausteine	72	1.7.2	Referenzkennzeichen	145
1.4.5	Adressierung und Datentypen	73	1.7.3	Schaltplan erstellen mit FluidSIM®	147
			1.7.4	Steuern und Regeln mit FluidSIM®	148

2	Aktoren	149		
2.1	Pneumatische Aktoren	149	2.4.5	Thermische Aktoren
2.1.1	Einführung	149	2.4.5.1	Thermobimetall-Aktoren
2.1.2	Komponenten der Pneumatik	150	2.4.5.2	Dehnstoff-Aktoren
2.1.2.1	Wartungsgeräte	150	2.4.5.3	Memory-Metall-Aktoren
2.1.2.2	Aktoren	151	2.4.6	MRF-Aktoren
2.1.2.3	Ventile	154	2.5	CNC-Achsantriebssysteme
2.1.2.4	Signalgeber und Signalwandler	159	2.5.1	Struktur
2.1.3	Pneumatische Steuerungen	160	2.5.2	Art der Wegmessung
2.1.3.1	Schaltplanaufbau	160	2.5.3	Antriebsarten
2.1.3.2	Pneumatische Verknüpfungssteuerungen	162	2.5.4	Mechanische Übertragungsglieder
2.1.3.3	Elektrische Ansteuerung von Aktoren	164	2.5.5	Lageregelung
2.1.3.4	Vakuumtechnik	170	3	Sensoren
2.1.3.5	Sicherheitsfunktionen	171	3.1	Allgemeines
2.1.3.6	Energieeffizienz	172	3.2	Sensoren für Wege, Winkel und Abstände
2.2	Hydraulische Aktoren	173	3.2.1	Sensorsignale durch Widerstandsänderung
2.2.1	Allgemeines	173	3.2.2	Sensorsignale durch magnetische Kopplung
2.2.2	Physikalische Grundlagen	173	3.2.3	Sensorsignale mittels magnetischer und elektrischer Felder
2.2.2.1	Hydrostatik	173	3.2.4	Radarsensoren
2.2.2.2	Hydrodynamik	175	3.2.5	Optische Sensoren
2.2.3	Hydraulikflüssigkeiten	176	3.2.6	Sensorsignale durch Laufzeitmessung
2.2.4	Aufbau hydraulischer Steuerungen	178	3.2.7	Digitale Weg- und Winkelmessung
2.2.5	Hydraulikpumpen	179	3.2.7.1	Inkrementale Weg- und Winkelmessung
2.2.6	Hydraulikspeicher	181	3.2.7.2	Absolute Weg- und Winkelmessung
2.2.7	Antriebselemente	183	3.2.7.3	Zyklische analoge Weg- und Winkelmessung
2.2.8	Hydraulikventile	186	3.2.7.4	Berührungsloses Messen mit Autofokus-Systemen
2.2.8.1	Druckventile	186	3.3	Geschwindigkeitssensoren
2.2.8.2	Wegeventile	189	3.4	Sensoren für Dehnungen, Kräfte, Drehmomente und Drücke
2.2.8.3	Sperrventile	190	3.5	Beschleunigungssensoren
2.2.8.4	Stromventile	191	3.6	Temperatursensoren
2.2.9	Energieeffiziente hydraulische Steuerung zum Spannen von Teilen	193	3.7	Sensoren für Strömungen
2.2.10	Proportionaltechnik	194	3.8	Sensoren für elektrische Größen (Messumformer)
2.2.11	Servoventile	201	3.9	Sensoren zur Sicherheitstechnik
2.2.12	Mobilhydraulik	203	3.10	Mikromechanische Sensoren
2.3	Elektrische Aktoren	204	3.11	Störungen in Sensorleitungen
2.3.1	Einführung	204	4	Computergesteuerte Maschinen
2.3.2	Rechnerische Grundlagen	206	4.1	CNC-Werkzeugmaschinen
2.3.3	Erste Orientierung	209	4.1.1	Der Produktionsprozess
2.3.4	Gleichstromantriebe (DC-Antriebe)	210	4.1.2	NC-Achsen und deren Steuerung
2.3.5	Drehfeldantriebe	216	4.1.3	CNC-Programmierung
2.3.5.1	Drehstromasynchronmotoren	216	4.1.3.1	DIN-Programmierung
2.3.5.2	Drehstromsynchronmotoren	224	4.1.3.2	Werkstatororientiertes Produzieren (WOP)
2.3.5.3	Feldorientierte Regelung	227	4.1.4	Interpolation
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		
2.4.2	Tauchspulenantriebe	238		
2.4.3	Magnetostriktive Aktoren	238		
2.4.4	Kapazitive Mikroaktoren	239		

4.1.5	Leistungsfähigkeit	307	5.2.3	Bunkern	380
4.1.6	Offene CNC-Steuerung	309	5.2.4	Magazinieren	381
4.2	3D-Druckverfahren	310	5.2.5	Fördersysteme	382
4.2.1	Allgemeines	310	5.2.6	Montage im Kreisprozess	385
4.2.2	AM-Verfahren	311	5.3	Fügeverfahren	386
4.2.3	Die Informationskette und die Prozesskette	313	5.3.1	Übersicht	386
4.3	Messen und Prüfen	314	5.3.2	Zusammensetzen	386
4.3.1	Koordinatenmessgeräte	314	5.3.3	Anpressen und Einpressen	387
4.3.1.1	Aufbau und Wirkungsweise	315	5.3.4	Umformendes Fügen	392
4.3.1.2	Bauarten	316	5.3.5	Schweißen	394
4.3.1.3	Messsysteme der Linearachsen	316	5.3.5.1	Lichtbogenschweißen	395
4.3.1.4	Messkopfsysteme	317	5.3.5.2	Fügen durch Widerstandsschweißen	396
4.3.1.5	Zusatzausstattungen	319	5.3.5.3	Gasschmelzschweißen	397
4.3.1.6	Steuerungen und Antriebe	320	5.3.5.4	Pressschweißen	397
4.3.1.7	Messwertverarbeitung und Messwertauswertung	320	5.3.5.5	Löten	399
4.3.1.8	Tastelementkalibrierung	323	5.3.5.6	Kleben	402
4.3.1.9	Durchführung eines Messauftrags	323			
4.3.2	Laser-Tracking	328	6	Prozesse steuern	404
4.3.3	Optisches 3D-Scannen	329	6.1	Einführung	404
4.3.3.1	Räumlichen Wahrnehmung und Triangulation	329	6.2	Statistische Prozessregelung (SPC)	405
4.3.3.2	Scannen mit Punkten und mit Linien	330	6.2.1	Prüfdaten	405
4.3.3.3	Streifenlichtscanner	331	6.2.2	Normalverteilung	406
4.3.3.4	Photogrammetrie	336	6.2.3	Wahrscheinlichkeitsnetz	407
4.3.4	Röntgen-Computertomographie (CT)	338	6.2.4	Auswertung einer Stichprobe	407
4.3.4.1	Allgemeines	338	6.2.5	Qualitätsregelkarten	411
4.3.4.2	CT in der industriellen Messtechnik	338	6.3	Maschinenfähigkeit und Prozessfähigkeit	413
4.3.4.3	Auflösung	339	6.4	Betriebsdatenerfassung (BDE)	416
4.4	Robotertechnik	341	6.4.1	Chipkarten, Chipmünzen, RFIDs	417
4.4.1	Einführung	341	6.5	Manufacturing Execution Systems (MES)	420
4.4.2	Einteilung	342	6.5.1	Einführung	420
4.4.3	Kinematischer Aufbau	343	6.5.2	MES am Beispiel der Datenerfassung	421
4.4.3.1	Die RRR-Kinematik	346	6.5.3	MES am Beispiel des Informationsmanagements	421
4.4.3.2	Der Gewichtsausgleich	347			
4.4.4	Greifer	348	7	Informationstechnik	422
4.4.5	Roboterprogrammierung	349	7.1	Programmierung	422
4.4.6	Koordinatensysteme	351	7.1.1	Programmiersprachen	422
4.4.7	Die Bewegungserzeugung	355	7.1.2	Software Engineering	423
4.4.8	Koordinatentransformation	357	7.1.3	Qualität der Software	424
4.4.9	Interpolation und Betriebsarten	358	7.1.4	Sicherung gegen unberechtigte Nutzung	424
4.4.10	Schleppabstand und Bahngeschwindigkeit	360	7.1.5	Betriebssystem Windows	425
4.4.11	Sensorführung von Robotern	362	7.1.6	Objektorientierte Programmierung (OOP)	428
4.4.12	Kollaborierende Roboter – Cobot	365	7.1.7	Algorithmen	430
4.4.13	Roboter und Manipulatoren in der Medizintechnik	367	7.1.8	Strukturierte Programmierung	431
4.4.14	Schutzmaßnahmen	369	7.1.9	Rechnerinterne Datendarstellung	432
4.5	Sicherheit von Maschinen und Anlagen	371	7.1.10	Programmaufbau und Programmkomponenten	435
5	Montageautomatisierung	375	7.1.11	Strukturierte Anweisungen	437
5.1	Grundlagen	375	7.1.12	Strukturierung mit Funktionen	439
5.2	Materialfluss	378	7.1.13	Fallbeispiel: Steuerkurve	440
5.2.1	Lagern	378			
5.2.2	Puffern	379			

7.1.14	Grafische Programmierung	446	7.7.2	Binärbildverarbeitung	506
7.1.15	Kommunikation mit unterschiedlichen Systemen	452	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_t -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 (Positionsregelung, 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	Sachwortverzeichnis	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			

Automaten und Roboter

Automaten für schwere Arbeit, für Spiele, für Expeditionen, für den Weltraum, zum Denken und zum Fühlen – die Visionen sind seit Menschheitsgedenken vielfältig. Waren es zunächst mechanische Automaten für Kultstätten (Seite 9), so bekamen in der Neuzeit die Geräte auch oft ein menschliches Antlitz, z. B. in Form von Spielautomaten.

Mit dem Schauspiel R.U.R. (Rossum's Universal Robots) schuf 1920 *Karel Capek* den Begriff des Roboters und der Roboterin. Die Roboter sind hier menschenähnliche Wesen, mit starrem Blick und geschaffen als billige Arbeitskräfte zum Einsatz in der Serienproduktion.

„Sie erinnern sich an alles, denken aber nichts Neues. Sie haben keine Seele und keine Gefühle“, so steht es in der Regieanweisung.

Industrieroboter (Seite 341) sind in diesem Sinne Realität geworden und verrichten, meist als einarmige Gebilde, schwere Arbeit. Sie sind in der Produktion als Mittel zur Automatisierung nicht mehr wegzudenken. Es sind Bewegungsmaschinen, die mit künstlicher Intelligenz (KI) und mit unterschiedlichster Sensorik ausgestattet sind. So können sie auch sehen, hören und fühlen. Sie sind auch kollaborativ, d. h., sie arbeiten mit Menschen zusammen.

Man setzt Roboter auch ein, wenn die Umwelt für den Menschen gefährlich oder feindlich ist, z. B. bei Expeditionen im Weltall und beim Aufspüren von Minen. Es gibt Roboter für viele Anwendungen, z. B. zum Ballspielen, zum Saubermachen, zum Fensterputzen oder zum Rasenmähen.

In der Kunst, in der Literatur, in Filmen und natürlich auch in Videospiele begegnen wir häufig einer Roboter-Fiktion, den *Androiden*, also künstlichen Menschen. Sie beflügeln unsere Fantasie.



© Konrad König

Roboter als Spielzeuge



© Honda Motor Europe GmbH

Roboter als Helfer in der Kantine



© BMW Group

Kollaborativer Roboter



Roboter im Film „Der 200-Jahre-Mann“

1 Grundlagen der Automatisierungstechnik

1.1 Einführung

1.1.1 Automatisierung und Automaten

Die Automatisierung ermöglicht eine weitgehend selbsttätige, nämlich *automatische Wirkung*, also ohne den ständig steuernden Eingriff des Menschen.

Die Automatisierungstechnik hat ihren Ursprung schon in vorchristlicher Zeit als sich z. B. mit dem Entzünden eines Altarfeuers die Tempeltüren automatisch öffneten (**Bild 1**).

Heron von Alexandrien entwickelte um 100 v. Chr. einen Automaten (Bild 1) zum selbsttätigen Öffnen und Schließen von Tempeltüren.

Er soll so funktioniert haben: Durch das Tempelfeuer erwärmt sich die Luft in einem geschlossenen Behälter. Über einen Druckbehälter wurde Wasser in ein zweites Gefäß gedrückt, das aufgrund der Schwerkraft sich senkte und dabei die Tempeltüren öffnete. Bei zurückgehender Temperatur strömte durch die wassergefüllte kommunizierende Röhre das Wasser zurück und die Türen haben sich wieder geschlossen.

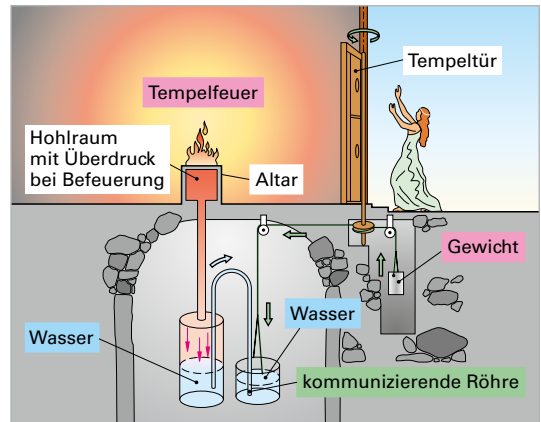


Bild 1: Automatisches Schließen und Öffnen von Tempeltüren, etwa 100 v. Chr.

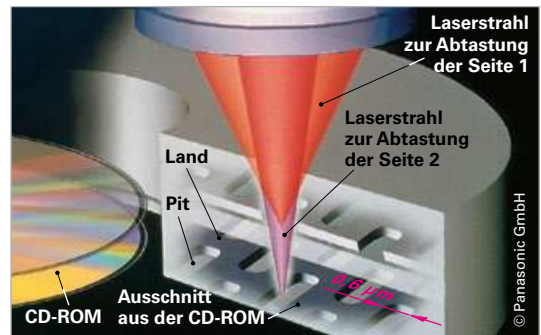


Bild 2: CD-ROM

Bis zum Anfang des letzten Jahrhunderts waren die Automaten mechanische Geräte. Beispiele sind Musikautomaten. Die Steuerungsinformation ist mechanisch auf Steuerwalzen oder Lochbändern gespeichert. Die moderne Form der Steuerwalzen oder der Lochbänder sind die CD-ROMs. Hier gibt es mikroskopisch feine Erhebungen (lands) und Vertiefungen (pits) in denen die Schaltinformation gespeichert ist (**Bild 2**).

Elektrische Antriebe und Elektronik ermöglicht eine Fertigungsautomatisierung mit weitgehend automatisch arbeitenden Maschinen. Die Arbeitsvorgänge sind programmiert und werden Schritt für Schritt ausgeführt. Mit hoher Perfektion wird dies in der Automobilindustrie gemacht (**Bild 3**).

Die Werkstücke, z. B. Motorblöcke oder Karosserieteile, kommen über ein Transportband in die Arbeitsstationen, werden identifiziert und entsprechend dem Kundenwunsch und der Typklasse bearbeitet oder montiert. Die Fertigung ist weitestgehend automatisiert. Der Durchlauf von der „Geburt“ eines Autos bis zu seiner Auslieferung dauert nur einige Stunden. Die eigentlichen Fertigungsprozesse, wie z. B. das Herstellen der Blechteile, das Fertigen des Motorblocks und der Getriebe erfolgt mit *automatisierten Maschinen* und *Robotern*. Auch die Montage wird zunehmend mit Robotern oder Spezialmaschinen gemacht.



Bild 3: Automatisierung mit Robotern

1.1.2 Entwicklungsphasen industrieller Technik

Erste industrielle Revolution

Die erste industrielle Revolution begann **um 1800** mit der Mechanisierung der Produktion mit Dampfkraft (**Bild 1**). Die Muskelkraft der Menschen und Tiere sowie in Teilen die Wasserkraft wurde durch Dampfmaschinen ersetzt. Zum Ende des 18. Jahrhunderts kamen als Antriebsaggregate Elektromotoren und Verbrennungsmotoren hinzu. Es entwickelten sich aus den bisherigen Manufakturen Fabriken. Man begann *serienidentische* Teile herzustellen.

Zweite industrielle Revolution

Mit der zweiten industriellen Revolution kam die Massenproduktion und zwar vor allem mithilfe elektrisch angetriebener Maschinen. So wurden mit Beginn des **20. Jahrhunderts** neben Waffen auch Kraftfahrzeuge und Haushaltsgeräte in größeren Mengen produziert (**Bild 2**).

Dritte industrielle Revolution

Die dritte industrielle Revolution begann **um 1970** mit der Verwendung von Transistoren und Dioden zur digitalen Datenverarbeitung in Maschinensteuerungen. Man begann Maschinen numerisch (digital) zu steuern. Es entstand die numerische Steuerung (Numerical Control, NC).

Die **NC-Maschine** (**Bild 3**) verdrängte Zug um Zug handgesteuerte und mechanisch automatisierte Maschinen. Der wirkliche Durchbruch kam mit der Entwicklung der integrierten Schaltkreise und Mikroprozessoren und deren Integration in Maschinensteuerungen und in Produkte, z. B. als Mikrorechner und als speicherprogrammierte Steuerungen (SPS).

Eingeführt sind seither die **CAX-Systeme**:

- **CAD-Systeme** (Design) für das Zeichnen und Konstruieren (**Bild 4**),
- **CAM-Systeme** (Manufacturing) für den Herstellungsprozess,
- **CAQ-Systeme** (Quality-Assurance) für die Qualitätsprüfung und
- **CIM** (Computerintegrierte Fertigung) für die Gesamtheit der Produktionskette.



Bild 1: Der Schmiedehammer, Gemälde von Friedrich von Keller (1887)



Bild 2: Der 10.000 Opel läuft vom Band (1931)

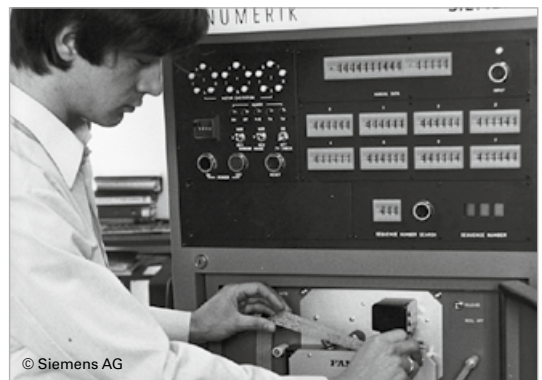


Bild 3: NC-Steuerung mit Lochstreifeneingabe (1970)



Bild 4: 2D-CAD-System (1998)

¹ engl. *smart* = geschickt

Vierte industrielle Revolution, Industrie 4.0

Die vierte industrielle Revolution ist seit etwa dem **Jahr 2000** geprägt durch die Allgegenwart des **Internets**.

Das Internet¹ wurde ab 1980 als Plattform zum Datenaustausch unter den Großrechnern der Universitäten und Forschungsinstitute eingeführt. Inzwischen ist das Internet bei jedermann angekommen, in alle Bereiche der Gesellschaft vorgedrungen und lebensbestimmend geworden. Es dient nicht mehr nur zur bloßen Übermittlung von Information, sondern wurde maßgeblicher Bestandteil zur Steuerung und Regelung von Vorgängen aller Art. Es gibt weltweit mehr als eine halbe Milliarde Webserver.

Mit Hilfe des Internets werden

- Bankgeschäfte abgewickelt,
- Steuererklärungen gemacht,
- telefoniert,
- Waren geordert und zum Kunden gelenkt,
- Produktionsprozesse angestoßen, gesteuert und überwacht.

Ein großflächiger und ein länger anhaltender Ausfall des Internets wäre eine große, lebensbedrohende Katastrophe.

Die Integration internetfähiger bzw. kommunikationsfähiger Elektronik in die Dinge des Alltags, z. B. in Mobiltelefone, in Kameras, in Fahrzeuge und in Maschinen und Anlagen ermöglicht eine allumfassende Information und das Ingangsetzen selbsttätig entfernt ablaufender Prozesse. Die Vernetzung von physikalisch-technischen Systemen mit virtuellen, nämlich programmierten Prozessen wird zum „Internet der Dinge und Dienste“ (Internet of Things, IoT) und kennzeichnet die vierte industrielle Revolution.

Der Digitale Zwilling

Der digitale Zwilling, engl. digital twin (**Bild 1**) ist ein digitales mathematisches Modell als Abbild eines realen Gebildes, z. B. eines Roboters aus der realen Welt mit dessen Eigenschaften. Das digitale Modell beschreibt nicht nur die äußere Gestalt oder die Einzelbauteile bezüglich Geometrie und Werkstoff, sondern auch das Betriebsverhalten, z. B. Beschleunigungen, Bremszeiten, Kräfte, also das Produkt in sehr realistischer und umfassender Weise (siehe auch S. 306). Durch Algorithmen z. B. zu Verschleiß, zu Alterung u. v. m. stellt der digitale Zwilling das reale Produkt während seiner Lebensphase dar. Der digitale Zwilling wird anhand von realen Sensordaten und Betriebszeiten laufend aktualisiert und die beschreibenden Algorithmen werden selbstlernend weiterentwickelt.

Gefahren bei Industrie 4.0

Steuerungsgeräte von Produktionsmaschinen (SPS) waren lange Zeit eine eigene Welt mit eigener, firmenspezifischer Software und Hardware. Inzwischen sind diese Geräte über IP-Standards vernetzt. Das hat Standardisierungsvorteile, hat alle Vorteile der Fernwartung und Fernsteuerung, aber es hat den entscheidenden Nachteil, üblichen Hacker-Angriffsmethoden ausgesetzt zu sein.

Gefahren gibt es durch Fehler oder Sabotage in den Netzwerken, z. B. durch Ausfall oder Fehlschaltungen von Verbindungen und von Servern für die Kommunikation, die Produktion, die Logistik, die Energieübertragung (**Bild 2**). Gefahren gibt es durch Spionagesysteme und Malware² (Schadprogramme), welche darauf ausgerichtet sind, Zerstörungen anzurichten und Unheil zu bringen.

¹ Internet von engl. *internetwork* = Zwischennetzwerk, miteinander verbundene Netze

² engl. *malware*, Kunstwort aus engl. *malicious* = bösartig und *software*

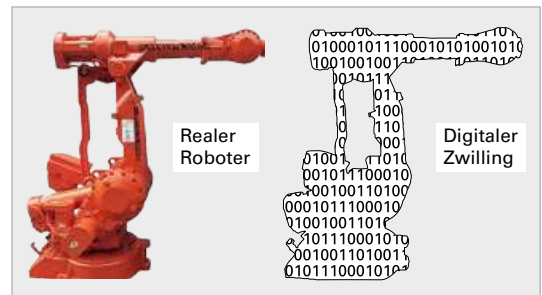


Bild 1: Digitaler Zwilling (Digital Twin)

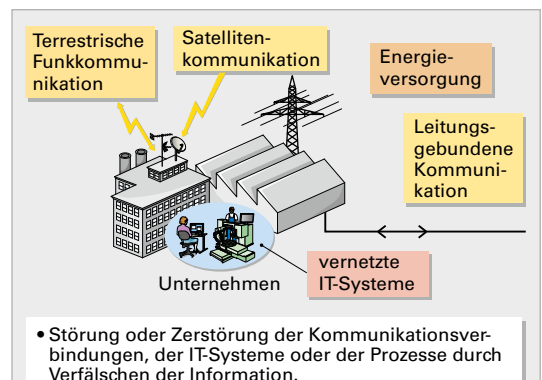


Bild 2: Störungen im IT-Bereich

Cyber-Physische-Systeme (CPS)

Eine zunehmende Bedeutung haben **Cyber-Physical-Systems¹ (CPS)**. Sie ermöglichen durch eine angehängte Kommunikationstechnik die Vernetzung von eingebetteten Systemen untereinander und mit dem Internet. Dabei wird die frühere hierarchische und lokal konzentrierte Struktur aufgelöst (**Bild 1**). CPS sind die technologische Grundlage für Industrie 4.0. Die besondere Eigenschaft ist, dass CPS als *smart*, d. h. geschickt und intelligent, empfunden wird. So leiten sich daraus Produktnamen ab, wie z. B. *Smartphone* oder *Smart-TV* für internetfähige Mobiltelefone bzw. Fernsehgeräte.

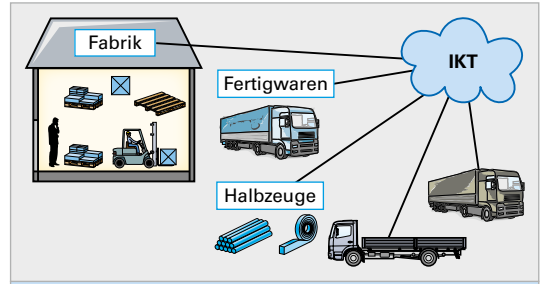


Bild 2: Smart Factory

Cyber-Physischen Systeme beschränken sich nicht nur auf Einzelprodukte, sondern gelten auch für Großsysteme wie z. B. die **Smart Factory**. Dies ist eine Fabrik, deren Produktions- und Geschäftsprozesse durch Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) vernetzt sind (**Bild 2**).



Bild 3: Immersion in eine virtuelle 3D-Umgebung

Unter der Überschrift *Smart Production* werden unter anderem die unternehmensübergreifende Produktionslogistik und die Mensch-Maschine-Interaktion in industriellen Anwendungen durch *Immersion* (**Bild 3**) in den Blick genommen. Der Nutzer bewegt sich körperlich inmitten der *Virtuellen Realität* (Virtual Reality, VR). Bei einfacheren Systemen erhält man über eine VR-Brille im Blick auf das wirkliche Umfeld zusätzliche passgenaue Objektdarstellungen oder Textanweisungen. Man spricht von *Erweiterter Realität* (*Augmented³ Reality, AR*). AR verwendet man z. B. bei Inspektionen, Montagen (**Bild 4**) und Reparaturen.



Bild 4: Augmented Reality in der Montage

¹ cyber, altgriechische Vorsilbe für Steuerung... (des Seemanns) – Davon abgeleitet ist die Wissenschaft der Kybernetik = Regelungstechnik und Steuerungstechnik.

² engl. immersion = das Eintauchen

³ engl. to augment = erweitern

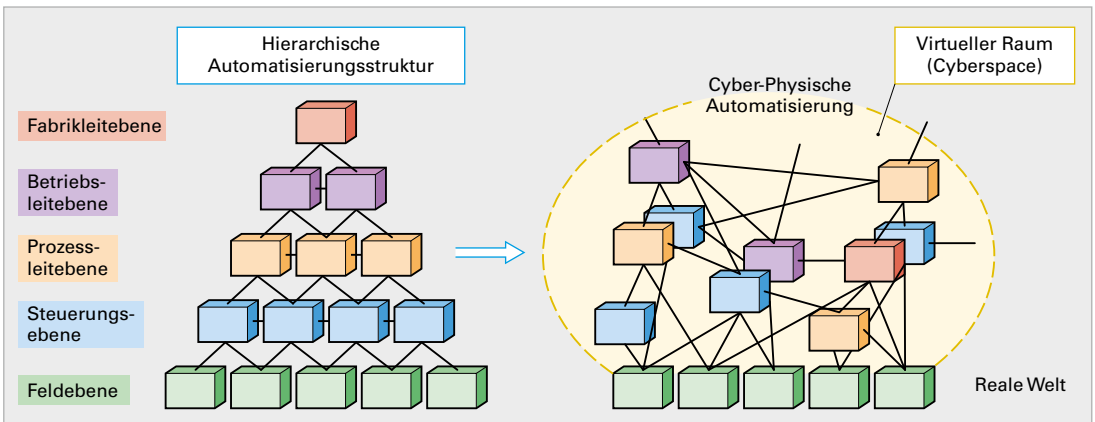


Bild 1: CPS in der Automatisierung

Fünfte industrielle Revolution, I 5.0

Industrie 5.0 (I 5.0) ergänzt die Entwicklungen der Industrie 4.0 um

- Nachhaltigkeit,
- Widerstandsfähigkeit (Resilienz) und
- Ausrichtung am Menschen.

Nachhaltigkeit (Sustainability) bedeutet eine Nutzung von Ressourcen unter Gewährleistung der natürlichen Erneuerungsfähigkeit von Energie, Luft, Wasser und Rohstoffen, so dass die aktuellen Bedürfnisse die Möglichkeiten zukünftiger Generationen nicht einschränken.

Widerstandsfähigkeit (Resilienz) bedeutet, von außen kommenden Schwierigkeiten, z.B. durch Veränderungen der Geldwährung oder der Gesetze standzuhalten und sich den neuen Bedingungen anpassen zu können. Resilienz zielt darauf ab, die Anpassungen schnell vorzunehmen und, wenn nötig, Strukturen und Prozesse grundlegend umzugestalten. So können Krisen weitestgehend überwunden werden.

Ausrichtung am Menschen (Human Centricity) bedeutet, dass das Wohlergehen des Menschen zum Mittelpunkt der Prozesse wird. Alle erforderlichen Güter, Infrastrukturen und Dienstleistungen sollen verfügbar sein, um die notwendigen Bedürfnisse des Menschen zu erfüllen.

Die EU fordert und fördert die Industrie 5.0 als eine Vision zur Erweiterung der **bisherigen Ziele Effizienz und Produktivität** um die Rolle und den Beitrag der Industrie zur **Stärkung der Gesellschaft**.

Um Motor des Wohlstands zu bleiben, muss die **Industrie den digitalen und grünen Wandel anführen**.

Er stellt das Wohlergehen des Arbeitnehmers in den Mittelpunkt des Produktionsprozesses und nutzt neue Technologien, um über Arbeitsplätze und Wachstum hinaus Wohlstand zu schaffen und gleichzeitig die Produktionsgrenzen des Planeten zu respektieren.

Industrie 5.0 geht auf den sich entwickelnden Qualifikations- und Ausbildungsbedarf der Beschäftigten ein und hilft die besten Talente anzuziehen.

Die Energieverbrauchstechniken kann die Industrie auch widerstandsfähiger gegen externe Schocks wie Strom-, Öl- oder Gasausfälle machen.

Wie kann das geschehen?



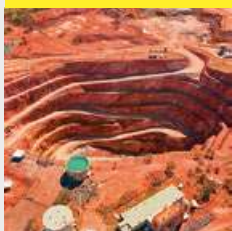
<p>I 5.0 orientiert sich am Menschen ... fördert Talent, Vielfalt und Fähigkeiten</p>	<p>HUMAN CENTRIC</p>  <p>© alamy A9WSXD</p>
<p>I 5.0 ist robust ... agil und belastbar mit flexibler und anpassungsfähiger Technik</p>	<p>RESILIENT</p>  <p>© alamy T051GT oder ähnlich</p>
<p>I 5.0 ist nachhaltig ... und respektiert die Ressourcen unseres Planeten</p>	<p>SUSTAINABLE</p>  <p>© alamy 2XDFY54</p>

Bild 1: Zielsetzungen der Industrie 5.0

Industrie 5.0 ist im Unterschied zu Industrie 4.0 nicht **effizienzgetrieben**, sondern **wertegetrieben**, mit dem Ziel, beim technologischen Wandel eine Synergie zwischen Mensch und Maschine zu erhalten.

Durch die Konzentration auf die Befähigung der menschlichen Arbeitskräfte und die Optimierung der ganzheitlichen Leistung des Mensch-Maschine-Systems können synergetische Beziehungen zwischen technologischen und sozialen Systemen geschaffen werden, die zu positiven Auswirkungen wie

- **Mitarbeiterzufriedenheit,**
 - **Qualifikationen** und
 - **langfristiges Mitarbeiterwachstum**
- führen.

Dieser Ansatz zielt darauf ab, dass der technologische Fortschritt nicht nur die Leistung und das Wohlbefinden des Einzelnen verbessert, sondern auch zu einer gerechteren, nachhaltigeren und menschlicheren Gesellschaft beiträgt.

Künstliche Intelligenz (KI)

Künstliche Intelligenz (KI), engl. Artificial Intelligence (AI), **automatisiert menschliches Denken und erzeugt Sprach-, Text-, Musik, Bild- und Videoinformationen**. Dabei werden menschliche Fähigkeiten wie logisches Denken, Lernen und Entscheiden nachgebildet. Informationen aller Art werden aus vielen Quellen der Umwelt, z.B. aus allen Sektoren der Wissenschaft und der Politik, aber auch von Sensoren aufgenommen und für ein maschinelles Lernen herangezogen.

Man unterscheidet:

- die prädiktive KI und
- die generative KI.

Die **prädiktive KI** macht aus vorhandenen Daten eine Analyse und stellt diese textlich oder bildlich dar. Z.B. wird in der Produktionstechnik aus einer digitalen Mustersammlung typischer Lötfehler automatisiert entschieden, ob ein aktuelles Produkt ein Schlechtheil oder ein Gutteil ist. Ähnlich wird die prädiktive KI in der Medizintechnik eingesetzt, um z.B. anhand eines mikroskopischen Gewebemusters abzuklären, ob eine Krebserkrankung vorliegt.

Die prädiktive KI beschleunigt eine menschliche Analyse und verbessert die Vorhersagegenauigkeit.

Die generative KI ist kreativ, da sie in der Lage ist, wirklich Neues zu erzeugen, z.B. kann die generative KI aus wenigen Eingabewörtern ein Gedicht oder einen Schulaufsatz machen.

Die generative KI wirft Fragen zum Urheberrecht auf.

So kann auf eine KI-basierte „Erfindung“ keine Patenterteilung erfolgen, sofern die KI ein nicht selbstentwickeltes Programm ist.

Antworten einer KI können fehlerhaft sein und sind schwer überprüfbar (**Tabelle 1**).

Bei marktgängigen KI-Programmen sind nur die Eingabedaten, die sogenannten Prompts, in das KI-Programm urheberrechtsfähig, nicht aber die Ergebnisse, da diese von einer Maschine und nicht von einem (kreativen) Menschen stammen.

ChatGPT ist ein sehr bekanntes generatives KI, das in der Lage ist, neuartige Inhalte zu erzeugen. Es antwortet z.B. auf textliche oder sprachliche Fragen (**Tabelle 2**).

Generative KI-Modelle basieren meist auf **neuronalen Netzwerken**, z. B. einem Generator, der neue Inhalte produziert, und einem Diskriminator, der die Genauigkeit und Qualität der generierten Inhalte bewertet.

Die KI-Algorithmen regen das KI-System dabei zu immer besseren Ergebnissen an. Die KI verdichtet

die trainierten Daten, variiert diese und erzeugt neue Ergebnisdaten.

Künstliche Neuronale Netze

Künstliche neuronale Netze ähneln von der Verarbeitungsstruktur dem menschlichen Gehirn. Sie werden als **Teilprogramme in KI** genutzt, z. B. zur Bilderkennung und Bildinterpretation beim autonomen Fahren.

Neuronale Netze bestehen aus einer Eingabeschicht, aus einer oder mehreren verborgenen Schichten und einer Ausgabeschicht. Diese Schichten sind über Neuronen (Knoten) mehrfach verbunden (**Bild 1**).

Die Eingabeschicht nimmt die Eingabeinformation, z. B. ein Foto einer Straße auf und gibt es an die verborgenen Schichten weiter. Diese errechnen anhand gespeicherter Informationen mit Gewichtungen die Ausgabe, z. B. dass die Straße frei zum Befahren ist und Fußgänger sich nur auf Gehwegen bewegen.

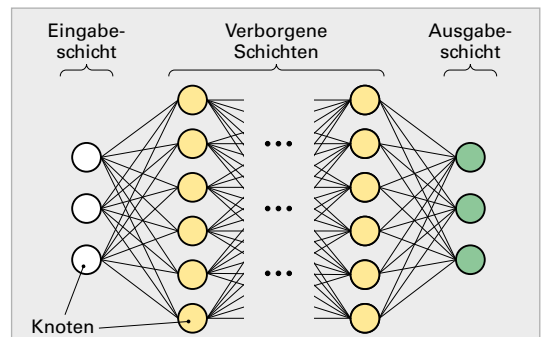


Bild 1: Aufbau eines neuronalen Netzes

Tabelle 1: Gefahrenbeispiele generativer KI

- Man erfährt oft nicht die Quellen der Antworten.
- Es können Plagiate entstehen, da die Rechte der Urheber ignoriert werden.
- Fälschungen in Fotos durch KI werden nicht entdeckt.
- Telefonanrufe können mit KI gefälscht sein.

Tabelle 2: Anwendungsbeispiele von ChatGPT

- Schreiben von E-Mail-Antworten,
- Sammlung von Stichworten für ein Aufsatzthema,
- Vorschläge zur Behandlung einer Krankheit,
- Nennung von aktuellen Vorschriften beim Bau eines Gartenhauses,
- Antworten auf Prüfungsfragen in der Soziologie,
- Komponieren von Musik in einem bestimmten Stil,
- Zeichnen eines Bildes nach einem Thema,
- Vorschläge zur Nachsorge bei einer Darm-OP,
- Einsatz von Deepfakes zur Nachahmung von Personen.

Automatisierungskomponenten

Die Fertigungsautomatisierung ermöglicht eine weitgehend selbsttätige, nämlich automatische **Fertigung**, also ohne den ständig steuernden Eingriff des Menschen.

Der **Automatisierungsgrad** ist um so größer je weniger der Mensch in den Fertigungsprozess eingreifen muss. Die *vollautomatisierte Werkzeugmaschine* führt sowohl alle Arbeitsschritte hinsichtlich des räumlichen *Bewegungsvorganges* als auch hinsichtlich ihrer *Ablauffolge* selbsttätig aus. Der Mensch ist hauptsächlich überwachend tätig. Bei *Teilautomaten* werden *Teilaufgaben*, wie z. B. das Einspannen von Werkstücken, von Hand ausgeführt.

Die Vorteile der Automatisierung sind: **Senkung der Kosten, Erhöhung der Qualität und Humanisierung der Arbeit.**

Unseren heutigen hohen Lebensstandard, mit der gleichfalls hohen Lebenserwartung, verdanken wir im wesentlichen der Automatisierung in der Fertigung. Durch die Automatisierung der Fertigung können mehr Waren bei geringer werdendem Zeitaufwand produziert werden, sodass mehr Menschen im Bereich der Dienstleistungsaufgaben, im Bereich der Wissenschaft und Forschung

tätig werden können. Die Automatisierung ermöglicht ferner eine Gestaltung der Arbeitsplätze, die weitgehend frei sind von schweren Arbeitsbelastungen.

Die Muskelkraft wird durch Motoren ersetzt und die Steuerungsaufgaben, die für den Menschen besonders durch Stress belastend sind, werden von automatisch arbeitenden elektronischen Steuerungen wahrgenommen.

Die **Komponenten (Bild 1)** der Fertigungsautomatisierung sind:

- **Steuerungen**, häufig in Form von **Computern** zur Steuerung des Fertigungsprozesses mit Bedienfeld und Anschluss zu übergeordneten Automatisierungssystemen.
- **Antriebe** (Aktoren) zur Bewegung von Werkstücken und Werkzeugen.
- **Sensoren** zur ständigen Kontrolle des Fertigungsprozesses und zur Signalgebung für den Fertigungsablauf.
- **Software-Bausteine** zur Steuerung, Regelung und Simulation des Fertigungsprozesses.
- **Telekommunikations-Systeme** zur Informationsübertragung, zur Fernsteuerung, zur Fernwartung und zur Fernbeobachtung.



Bild 1: Komponenten der Fertigungsautomatisierung

1.2 Steuerungstechnik

Eine Steuerung erzeugt aufgrund von *Eingangssignalen* und aufgrund seiner *inneren Gesetzmäßigkeit*, z. B. einer Schaltung oder eines Programms, *Ausgangssignale* für die Aktoren, für das Anzeigefeld und für andere Steuerungen.

Die **innere Gesetzmäßigkeit** bestimmt die Ausgangssignale in Abhängigkeit von der Information der Eingangssignale und in Abhängigkeit von dem bisherigen Prozessgeschehen. Demnach enthalten Steuerungen Bausteine oder *Funktionen* zur Entschlüsselung und Bewertung von Eingangssignalen und *Speicher* (Gedächtnisse, Merker) für vorangegangene Ereignisse (**Bild 1**).

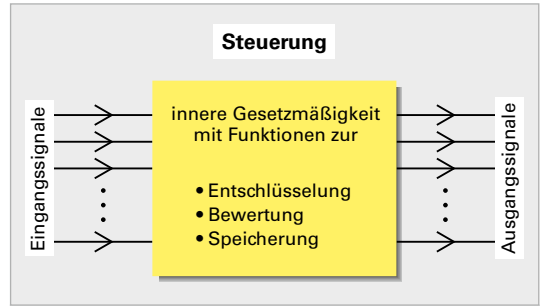


Bild 1: Struktur einer Steuerung

1.2.1 Steuerungsarten

Nach Art der Signalverarbeitung unterscheidet man zwischen **analogen Steuerungen**, **binären Steuerungen** und **digitalen Steuerungen** (**Tabelle 1**).

Tabelle 1: Steuerungsarten																																										
Art	Signalardarstellung	Beispiele																																								
Analoge Steuerung		Steuerung mit Kurvenscheibe																																								
Binäre Steuerung		Steuerung mit Schaltern und Relais																																								
Digitale Steuerung	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>4</td><td>10</td><td>4</td><td>9</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td></td></tr> </table>	0	1	3	2	4	10	4	9	0	1	0	0	0	0	1		0	0	1	0	1	0	0		0	1	0	1	0	0	0		0	1	0	0	1	0	1		Winkelcodierer
0	1	3	2	4	10	4	9																																			
0	1	0	0	0	0	1																																				
0	0	1	0	1	0	0																																				
0	1	0	1	0	0	0																																				
0	1	0	0	1	0	1																																				

Analoge Steuerungen

Bei analog arbeitenden Steuerungen werden die Ausgangssignale mithilfe eines **analogen Signalumformers** gebildet, z. B. wird die Vorschubbewegung für ein Werkzeug über eine **Kurvenscheibe** (**Bild 2**) gesteuert. Das Eingangssignal ist der Drehwinkel der Kurvenscheibe. Die Kurvenscheibe wird z. B. mit einem langsam laufenden Motor gleichmäßig gedreht. Ausgangsgröße ist die Vorschubbewegung des Werkzeugs, entsprechend der Steigung der Kurvenscheibe.

Analoge Steuerungen werden immer weniger zur Automatisierung der Fertigung eingesetzt, da die Veränderung der *inneren Gesetzmäßigkeit* nur durch Austausch von Bauelementen, z. B. Kurvenscheiben, vorgenommen werden kann und somit teuer und zeitaufwendig ist.

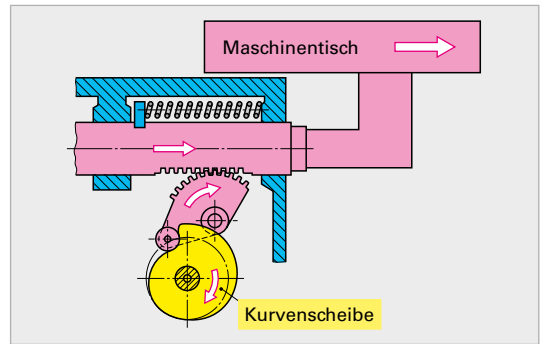


Bild 2: Analoge Steuerung

Binäre Steuerungen

Binäre Steuerungen arbeiten mit Binärsignalen. Binärsignale sind **zweiwertige Signale**, also Schaltsignale mit den Eigenschaften EIN/AUS bzw. mathematisch ausgedrückt mit den Werten 1 und 0.

Beispiel: Der Vorschubtisch einer Schleifmaschine soll ständig hin- und herfahren (**Bild 3**). Über einen Umschalter kann durch eine positive Motorspannung der Tisch nach rechts gesteuert werden. Trifft der am Tisch befestigte Nocken 1 auf den Umschalter, wird der Tisch über die negative Motorspannung nach links bewegt, bis der Nocken 2 wieder auf die Gegenbewegung umschaltet.

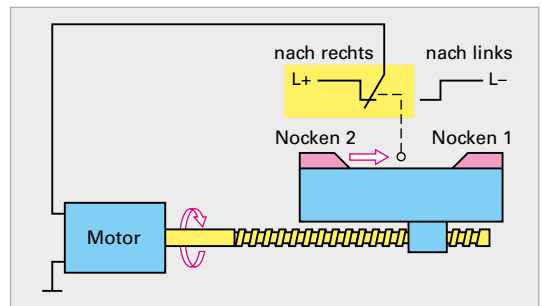


Bild 3: Binäre Steuerung eines Vorschubantriebs für eine Schleifmaschine

Werden aus der Kombination mehrerer Eingangssignale die Steuerungssignale erzeugt, so spricht man von **kombinatorischen Steuerungen** oder von Verknüpfungssteuerungen.

Beispiel für eine kombinatorische Steuerung

Voraussetzung für das Zünden des Schweißbrenners in einer Roboterarbeitszelle ist, dass die Zellentüre geschlossen ist, dass die Kühlwasserpumpe läuft, dass der Roboter „betriebsbereit“ meldet und dass die Überwachung für den Drahtvorschub keine Störung meldet. Erst die vollständige Kombination dieser einzelnen Bedingungen führt zur Zündfreigabe (**Bild 1**).

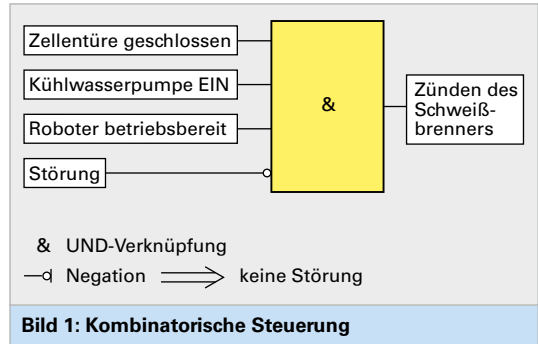


Bild 1: Kombinatorische Steuerung

Häufig ist ein **schrittweiser Ablauf** zu steuern. Dann wird abhängig von dem vorhergehenden Schritt und nach Erfüllung von **Weiterschaltbedingungen** der Folgeschritt ausgelöst. Man spricht von **Ablaufsteuerungen**. Hängen die Weiterschaltbedingungen nur von der Zeit ab, heißen diese Steuerungen **zeitgeführte Ablaufsteuerungen**. So ist z. B. die Steuerung für das langsame Hochlaufen großer Motoren zeitgeführt, wenn abhängig von einer Zeitschaltuhr (**Bild 2**) die Motorspannung schrittweise erhöht wird. Erfolgt die Steuerung der Motorspannung jedoch abhängig von der jeweils erreichten und gemessenen Drehzahl, so spricht man von einer **prozessabhängigen Ablaufsteuerung** (**Bild 3**).

Digitale Steuerungen

In digitalen Steuerungen erfolgt die Signalverarbeitung vorwiegend mit **Zahlen**. So gehören alle numerischen Werkzeugmaschinensteuerungen zu den digitalen Steuerungen (**Bild 4**). Die Verschlüsselung der Zahlen und das Verarbeiten der Zahlen erfolgt meist in Form **binärer Codes** mit **Mikroprozessoren** und **Computern**.

In digitalen Steuerungen erfolgt die Signalverarbeitung mit Zahlen.

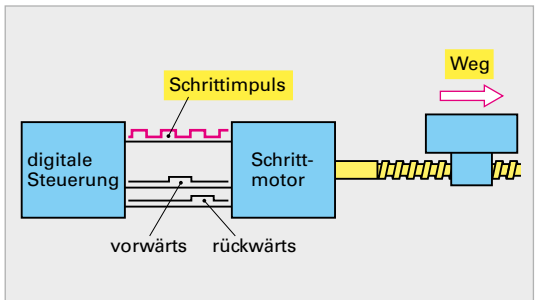


Bild 4: Digital gesteuerter Vorschubantrieb

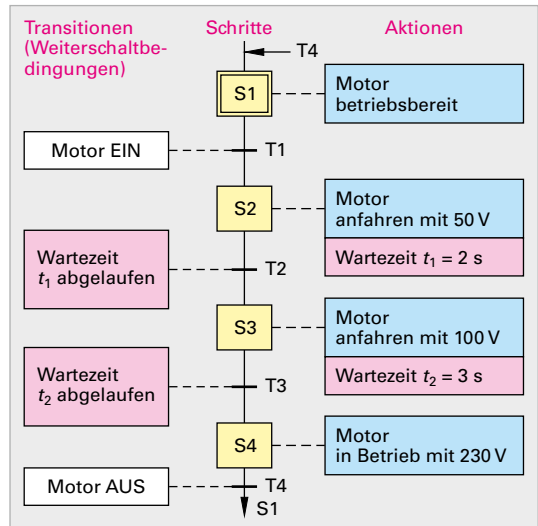


Bild 2: Zeitgeführte Ablaufsteuerung

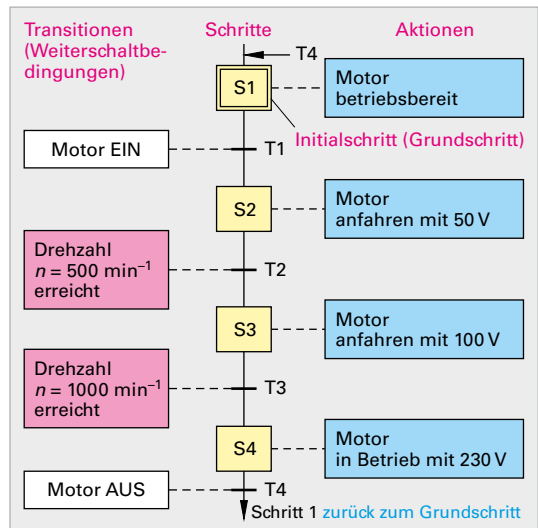


Bild 3: Prozessabhängige Ablaufsteuerung

Codierungen in digitalen Steuerungen

Der meistbenutzte Code ist der **Dualcode** (BCN von Binary Coded Natural = natürlicher Binär-code). Der Dualcode ist ein Zahlencode mit der Basis $B = 2$. Alle Zahlenwerte können durch eine Folge mit Ziffern 1 und 0 ausgedrückt werden, wobei der Stellenwert der 1-Ziffern Potenzen von 2 entspricht und zwar links vom Komma $2^0, 2^1, 2^2 \dots$ und rechts vom Komma $2^{-1}, 2^{-2}, 2^{-3} \dots$. Wenn eine solche 2er-Potenz berücksichtigt wird, schreibt man in die jeweilige Stelle eine 1 sonst eine 0. Diese Ziffern nennt man Binärziffern (binary digit) oder abgekürzt Bit (Mehrzahl: Bits).

Beispiel: Beispiel: Bestimmen Sie die zur Dualzahl 1101,01 gleichwertige Dezimalzahl!

Lösung:

$$\begin{aligned}
 1101,01 &\hat{=} 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} \\
 &= 8 \quad + 4 \quad \quad \quad + 1 \quad \quad \quad + 0,25 \\
 &= 13,25
 \end{aligned}$$

Das Rechnen mit Dualzahlen geschieht ähnlich wie im Dezimalzahlensystem (**Tabelle 1**).

Man kann mit n Bits 2^n Zeichen darstellen.

Mit 4 Bits kann man $2^4 = 16$ verschiedene Zeichen darstellen, z. B. die Zahlen 0 bis 15. Will man positive und negative Zahlen darstellen, dann benötigt man ein weiteres Bit. Die Darstellung negativer Zahlen geschieht durch Komplementbildung. Die Zahlen in der linken Hälfte des Zahlenrings (**Bild 1**) sind die negativen Zahlen.

Neben dem Dualcode gibt es eine Vielzahl weiterer Codierungen. Im **Gray-Code**¹ wechselt von einer Ziffer zur nächsten immer nur 1 Bit (**Tabelle 2**). Der Gray-Code ist daher gut geeignet zur Zahlendarstellung auf Codelinealen und Codescheiben.

Will man Dezimalzahlen direkt binär darstellen, dann verschlüsselt man jede einzelne Ziffer durch einen **BCD-Code** (binary coded decimal = binäre Dezimalverschlüsselung). Man benötigt für jede Ziffer einer Dezimalzahl eine binäre Zahl mit mindestens 4 Bits.

Bei der **8-4-2-1-Codierung** (Tabelle 2) wird jede Dezimalziffer durch die entsprechende Dualzahl ausgedrückt. Es gibt eine Vielzahl von BCD-Codes. Beim **2-aus-5-Code** (Tabelle 2) müssen z. B. immer 2 Bits mit dem Wert 1 vorhanden sein. Codes die mehr Bits für eine Verschlüsselung verwenden als notwendig sind heißen weitschweifig (redundant).

Tabelle 1: Rechnen mit Dualzahlen			
Grundregeln:			
$0 + 0 = 0$	$0 - 0 = 0$	$0 \cdot 0 = 0$	$0 : 1 = 0$
$1 + 0 = 1$	$1 - 0 = 1$	$0 \cdot 1 = 0$	$1 : 1 = 1$
$0 + 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	$1 \cdot 0 = 0$	
$1 + 1 = 0$	$0 - 1 = 1$	$1 \cdot 1 = 1$	
plus Übertrag 1 in die nächste Stelle		und belaste die nächste Stelle mit 1	
Beispiele:			
$ \begin{array}{r} 6 + 5 = 11 \\ 110 \\ + 101 \\ \hline 1011 \hat{=} 11 \end{array} $	$ \begin{array}{r} 11 - 5 = 6 \\ 1011 \\ - 101 \\ \hline 110 \hat{=} 6 \end{array} $	$ \begin{array}{r} 6 \cdot 5 = 30 \\ 110 \cdot 101 \\ \hline 110 \\ 000 \\ 110 \\ \hline 11110 \hat{=} 30 \end{array} $	

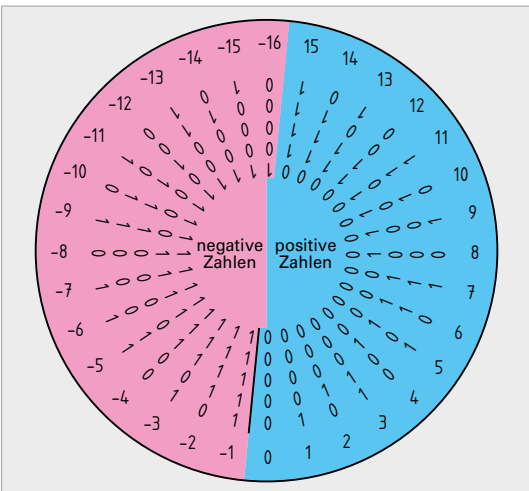


Bild 1: Zahlenring für 4-Bit-Zahlendarstellung

Tabelle 2: Codierungen (Beispiele)				
Dezimalzahl	Dualcode	Graycode	8-4-2-1-Code	2-aus-5-Code
0	0000	0000	0000	0000
1	0001	0001	0001	0001
2	0010	0010	0010	0010
3	0011	0011	0011	0011
4	0100	0100	0100	0100
5	0101	0101	0101	0101
6	0110	0110	0110	0110
7	0111	0111	0111	0111
8	1000	1000	1000	1000
9	1001	1001	1001	1001
10	1010	1010	1010	1010
11	1011	1011	1011	1011
12	1100	1100	1100	1100
13	1101	1101	1101	1101
14	1110	1110	1110	1110
15	1111	1111	1111	1111
Stellenwert	8 4 2 1	kein	8 4 2 1	7 4 2 1 0

¹ Frank Gray, amerik. Wissenschaftler (1887 bis 1969)

1.2.2 Programmsteuerungen

Bei Steuerungen für automatisch ablaufende Fertigungsvorgänge unterscheidet man zwischen *verbindungsprogrammierten* Steuerungen, *speicherprogrammierten* Steuerungen und *frei programmierten* Steuerungen (Tabelle 1).

Verbindungsprogrammierte Steuerung (VPS)

Bei einer verbindungsprogrammierten Steuerung ist das Programm durch die *Wahl der Bauelemente* und deren *Verdrahtung* (Verbindung) festgelegt (Bild 1). Die Steuerung wird z. B. für einen ganz bestimmten Fertigungsprozess entwickelt und in Form einer Elektronikplatine hergestellt. Eine solche Steuerung hat Einzelfachcharakter und kann nicht für andere Aufgaben verwendet werden.

Bei der VPS werden die Steuerungseigenschaften durch die Bauelemente und ihre Verbindung festgelegt.

Speicherprogrammierte Steuerung (SPS)

Eine speicherprogrammierte Steuerung¹ (Bild 2) enthält intern Mikroprozessoren und erzeugt die *Steuersignale abhängig* von einem *Programm*, das in einem Programmspeicher gespeichert ist. Der Steuerungsaufgabe muss somit nur das Programm angepasst werden, jedoch nicht die Steuerungshardware. Diese ist universell verwendbar. Speicherprogrammierte Steuerungen können also leicht an unterschiedliche Anforderungen angepasst werden, nämlich einfach durch Austausch der Programme. Die meisten Steuerungen zur Fertigungsautomatisierung sind speicherprogrammierte Steuerungen.

Bei der SPS werden die Steuerungseigenschaften durch ein Programm in einem elektronischen Programmspeicher festgelegt.

Freiprogrammierbare Steuerungen

Eine freiprogrammierbare Steuerung enthält im Unterschied zur speicherprogrammierten Steuerung einen Mikroprozessor mit Schreib-Lese-Speicher.

Freiprogrammierbare Steuerungen sind meist Steuerungen mit Mikrocomputern oder Industrie-PCs.

Tabelle 1: Programmverwirklichung		
	Art	Beispiel
Verbindungsprogrammiert VPS	fest-programmierbar	Relaissteuerung
	um-programmierbar	Programmsteuerung mit Steckerfeld
Speicherprogrammiert SPS <small>engl. Programmable Logic Controller PLC</small>	austausch-programmierbar	SPS mit EPROM ¹
	frei-programmierbar	SPS mit EEPROM ² oder mit RAM ³

1 EPROM von Erasable Programmable Read Only Memory = löschtbarer Nur-Lese-Speicher
2 EEPROM von Electrically EPROM = elektrisch löschtbarer Nur-Lese-Speicher
3 RAM von Random Access Memory = Speicher mit wahlfreiem Zugriff



Bild 1: Verbindungsprogrammierte Steuerung (VPS)

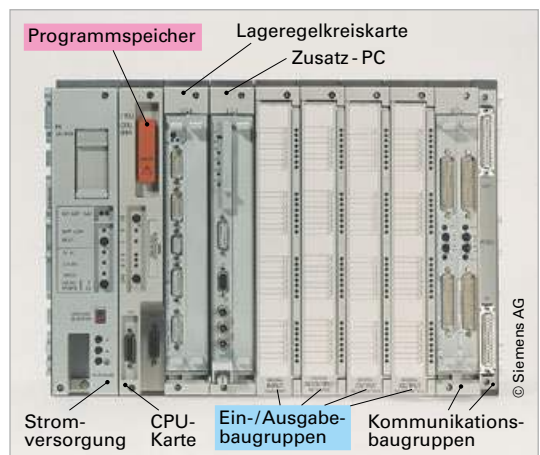


Bild 2: Speicherprogrammierte Steuerung (SPS)

¹ Die in Bild 2 dargestellte SPS stammt aus der Zeit um 1990. Hier ersieht man im Unterschied zu den heutigen Modellen den strukturellen SPS-Aufbau mit den einzelnen Funktionseinheiten.

1.2.3 Elektrische Kontaktsteuerungen

Die wichtigsten Bauelemente elektrischer Kontaktsteuerungen sind: Schaltgeräte, Steckvorrichtungen, Leitungsverbindungen und Anzeigergeräte (**Bild 1**). **Schaltpläne** dienen der übersichtlichen Darstellung einer elektrischen Steuerung. In ihnen wird die Funktion der Bauelemente durch genormte Sinnbilder, die man **Schaltzeichen** nennt, wiedergegeben. Die Schaltzeichen geben grundsätzlich den Zustand des unbetätigten Schaltgerätes an.

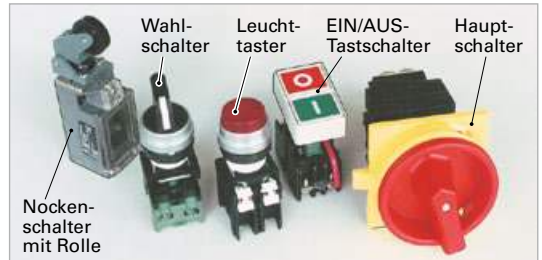


Bild 1: Schalter

Zur **Kennzeichnung** der Betriebsmittel in Schaltplänen verwendet man eine alphanumerische Kennzeichnung. Sie besteht allgemein aus mehreren Zeichen (siehe Seite 29/30). In der vereinfachten Form wird zur Kennzeichnung elektrischer Betriebsmittel in Schaltplänen ein einzelnes **Buchstabensymbol** mit angehängter laufender Nummer xx verwendet, z. B. S1 für den Schalter 1 und M1 für den Motor 1.

Schaltkontakte werden z. B. von Hand, durch Nocken oder durch Fernbedienung betätigt. Die Fernbedienung erfolgt meist durch elektromagnetische Kraft, wie beim Relais, Schütz und Schrittschaltwerk.

Bei den Schaltkontakten gibt es **Schließer**, die bei Betätigung des Schalters einen Stromkreis schließen, und **Öffner**, die einen Stromkreis unterbrechen.

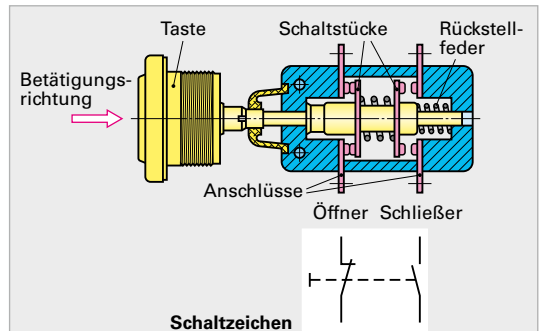


Bild 2: Druckknopftastschalter (Taster)

Nach Art der Schalterbetätigung unterscheidet man **Tastschalter**, **Stellschalter** und **Schlossschalter**.

1.2.3.1 Tastschalter

Druckknopftastschalter, kurz Taster genannt, wie z. B. ein Klingelknopf, wirken nur während der Dauer ihrer Betätigung. Die Kontaktgabe oder Unterbrechung erfolgt über bewegliche Schaltstücke, die z. B. von Hand betätigt werden (**Bild 2**). Taster enthalten oft mehrere Kontakte, z. B. 3 Schließer und 3 Öffner. Eine Feder, die bei Betätigung gespannt wird, bringt die Schaltstücke in ihre Ausgangslage, wenn die Betätigung aufhört. Die Taster dienen oft gleichzeitig als Leuchtmelder (Signal-Lampe).

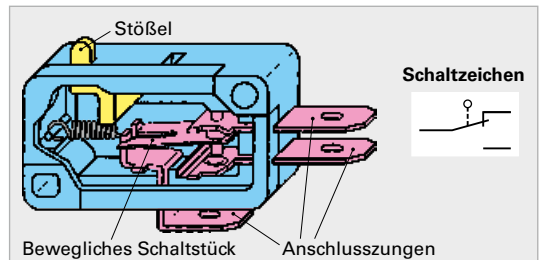


Bild 3: Nockenschalter

Mit **Positionsschaltern (Grenztastern)**, die über Nocken betätigt werden, wird das Erreichen von Grenz- und Endlagen beweglicher Maschinenteile, z. B. von Werkzeugmaschinenschlitten, signalisiert. Die Positionsschalter sind mit Sprungschaltern (Mikroschalter) ausgestattet, damit man auch bei sehr langsamer Betätigung eine plötzliche Kontaktgabe oder Kontaktunterbrechung erhält (**Bild 3**).

Die Betätigung erfolgt entweder direkt über einen Stößel oder über einen Rollenhebel (**Bild 4**). Durch den Hebel vergrößert man den Betätigungsweg und verringert die Betätigungskraft. Die Wegdifferenz zwischen Schaltpunkt und Rückschaltpunkt bezeichnet man als **Schaltdifferenz**.

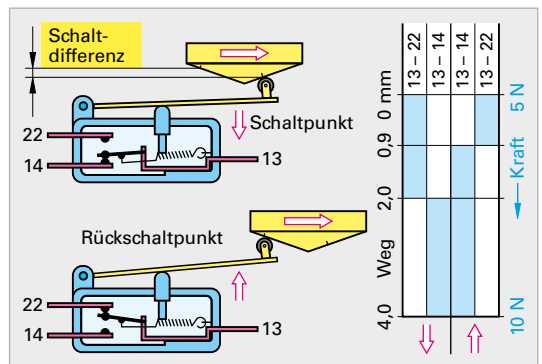


Bild 4: Schaltdifferenz bei einem Positionsschalter mit Rollenhebel