



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 abschnittswisen 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	Kleinststeuerung 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	GRAFCET	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 240
2.1.1	Einführung	149	2.4.5.1	Thermobimetall-Aktoren 240
2.1.2	Komponenten der Pneumatik	150	2.4.5.2	Dehnstoff-Aktoren 241
2.1.2.1	Wartungsgeräte	150	2.4.5.3	Memory-Metall-Aktoren 241
2.1.2.2	Aktoren	151	2.4.6	MRF-Aktoren 242
2.1.2.3	Ventile	154	2.5	CNC-Achsantriebssysteme 243
2.1.2.4	Signalgeber und Signalwandler	159	2.5.1	Struktur 243
2.1.3	Pneumatische Steuerungen	160	2.5.2	Art der Wegmessung 243
2.1.3.1	Schaltplanaufbau	160	2.5.3	Antriebsarten 245
2.1.3.2	Pneumatische Verknüpfungssteuerungen	162	2.5.4	Mechanische Übertragungsglieder 246
2.1.3.3	Elektrische Ansteuerung von Aktoren	164	2.5.5	Lageregelung 248
2.1.3.4	Vakuumtechnik	170	3	Sensoren
2.1.3.5	Sicherheitsfunktionen	171	3.1	Allgemeines 250
2.1.3.6	Energieeffizienz	172	3.2	Sensoren für Wege, Winkel und Abstände. 251
2.2	Hydraulische Aktoren.	173	3.2.1	Sensorsignale durch Widerstandsänderung 251
2.2.1	Allgemeines	173	3.2.2	Sensorsignale durch magnetische Kopplung 256
2.2.2	Physikalische Grundlagen	173	3.2.3	Sensorsignale mittels magnetischer und elektrischer Felder 257
2.2.2.1	Hydrostatik	173	3.2.4	Radarsensoren 258
2.2.2.2	Hydrodynamik	175	3.2.5	Optische Sensoren 259
2.2.3	Hydraulikflüssigkeiten	176	3.2.6	Sensorsignale durch Laufzeitmessung 263
2.2.4	Aufbau hydraulischer Steuerungen	178	3.2.7	Digitale Weg- und Winkelmessung 265
2.2.5	Hydraulikpumpen	179	3.2.7.1	Inkrementale Weg- und Winkelmessung 265
2.2.6	Hydraulikspeicher	181	3.2.7.2	Absolute Weg- und Winkelmessung 269
2.2.7	Antriebselemente	183	3.2.7.3	Zyklische analoge Weg- und Winkelmessung 271
2.2.8	Hydraulikventile	186	3.2.7.4	Berührungsloses Messen mit Autofokus-Systemen 272
2.2.8.1	Druckventile	186	3.3	Geschwindigkeitssensoren 273
2.2.8.2	Wegeventile	189	3.4	Sensoren für Dehnungen, Kräfte, Drehmomente und Drücke 274
2.2.8.3	Sperrventile	190	3.5	Beschleunigungssensoren 278
2.2.8.4	Stromventile	191	3.6	Temperatursensoren 279
2.2.9	Energieeffiziente hydraulische Steuerung zum Spannen von Teilen	193	3.7	Sensoren für Strömungen. 281
2.2.10	Proportionaltechnik	194	3.8	Sensoren für elektrische Größen (Messumformer). 282
2.2.11	Servoventile	201	3.9	Sensoren zur Sicherheitstechnik 283
2.2.12	Mobilhydraulik	203	3.10	Mikromechanische Sensoren 285
2.3	Elektrische Aktoren 204		3.11	Störungen in Sensorleitungen 286
2.3.1	Einführung	204	4	Computergesteuerte Maschinen 288
2.3.2	Rechnerische Grundlagen	206	4.1	CNC-Werkzeugmaschinen. 288
2.3.3	Erste Orientierung	209	4.1.1	Der Produktionsprozess 288
2.3.4	Gleichstromantriebe (DC-Antriebe)	210	4.1.2	NC-Achsen und deren Steuerung 291
2.3.5	Drehfeldantriebe	216	4.1.3	CNC-Programmierung 293
2.3.5.1	Drehstromasynchronmotoren	216	4.1.3.1	DIN-Programmierung 293
2.3.5.2	Drehstromsynchronmotoren	224	4.1.3.2	Werkstatorientiertes Produzieren (WOP) 303
2.3.5.3	Feldorientierte Regelung	227	4.1.4	Interpolation 305
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	6	Prozesse steuern	404
4.3.2	Laser-Tracking.....	328	6.1	Einführung	404
4.3.3	Optisches 3D-Scannen.....	329	6.2	Statistische Prozessregelung (SPC) ..	405
4.3.3.1	Räumlichen Wahrnehmung und Triangulation.....	329	6.2.1	Prüfdaten	405
4.3.3.2	Scannen mit Punkten und mit Linien	330	6.2.2	Normalverteilung	406
4.3.3.3	Streifenlichtscanner.....	331	6.2.3	Wahrscheinlichkeitsnetz	407
4.3.3.4	Photogrammetrie.....	336	6.2.4	Auswertung einer Stichprobe	407
4.3.4	Röntgen-Computertomographie (CT) ..	338	6.2.5	Qualitätsregelkarten.....	411
4.3.4.1	Allgemeines	338	6.3	Maschinenfähigkeit und Prozessfähigkeit.....	413
4.3.4.2	CT in der industriellen Messtechnik ..	338	6.4	Betriebsdatenerfassung (BDE)	416
4.3.4.3	Auflösung	339	6.4.1	Chipkarten, Chipmünzen, RFIDs ...	417
4.4	Robotertechnik.....	341	6.5	Manufacturing Execution Systems (MES).....	420
4.4.1	Einführung	341	6.5.1	Einführung	420
4.4.2	Einteilung	342	6.5.2	MES am Beispiel der Datenerfassung	421
4.4.3	Kinematischer Aufbau	343	6.5.3	MES am Beispiel des Informationsmanagements.....	421
4.4.3.1	Die RRR-Kinematik.....	346	7	Informationstechnik	422
4.4.3.2	Der Gewichtsausgleich	347	7.1	Programmierung	422
4.4.4	Greifer	348	7.1.1	Programmiersprachen.....	422
4.4.5	Roboterprogrammierung	349	7.1.2	Software Engineering	423
4.4.6	Koordinatensysteme	351	7.1.3	Qualität der Software.....	424
4.4.7	Die Bewegungserzeugung	355	7.1.4	Sicherung gegen unberechtigte Nutzung.....	424
4.4.8	Koordinatentransformation.....	357	7.1.5	Betriebssystem Windows	425
4.4.9	Interpolation und Betriebsarten ...	358	7.1.6	Objektorientierte Programmierung (OOP).....	428
4.4.10	Schleppabstand und Bahngeschwindigkeit.....	360	7.1.7	Algorithmen	430
4.4.11	Sensorführung von Robotern	362	7.1.8	Strukturierte Programmierung	431
4.4.12	Kollaborierende Roboter – Cobot ...	365	7.1.9	Rechnerinterne Datendarstellung ...	432
4.4.13	Roboter und Manipulatoren in der Medizintechnik	367	7.1.10	Programmaufbau und Programmkomponenten.....	435
4.4.14	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			
5.2.2	Puffern.....	379			

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 Videospielen 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 erwärmte 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.

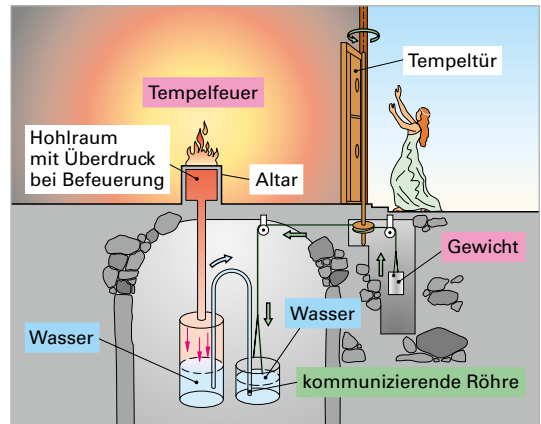


Bild 1: Automatisches Schließen und Öffnen von Tempeltüren, etwa 100 v. Chr.

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**).

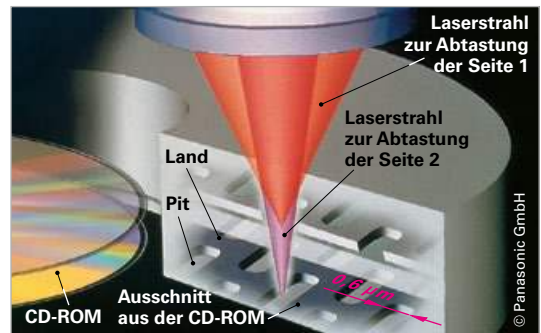


Bild 2: CD-ROM

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)

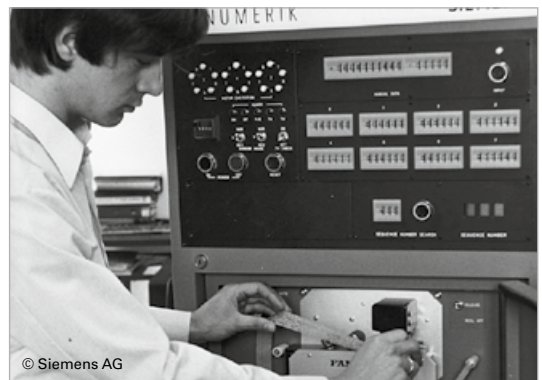


Bild 3: NC-Steuerung mit Lochstreifeneingabe (1970)



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

¹ engl. *smart* = geschickt