

Bibliothek des technischen Wissens

Dietmar Schmid
Hans Kaufmann
Alexander Pflug
Eckehard Kalhöfer
Jürgen Baur

Automatisierungstechnik

Grundlagen, Komponenten und Systeme

16., überarbeitete Auflage

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

Europa-Nr.: 51518

Die Autoren des Buches

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

16. Auflage 2026

Druck 5 4 3 2 1

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

ISBN 978-3-8085-5167-7

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.

© 2026 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 16. Auflage

Die Automatisierungstechnik prägte einst 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). Die Automatisierungstechnik bleibt dabei nicht außen vor, sondern ist integraler Bestandteil. So führt der KI-Bereich, z. B. zur Bauteilprüfung oder zu medizinischen Behandlungsformen, auch zu den Neuerungen in der Automatisierungstechnik.

Die **16. Auflage der AUTOMATISIERUNGSTECHNIK** wurde neu strukturiert und in etlichen Einzelthemen ergänzt, u. a. gibt es weitere Beispiele zum Steuern mit LOGO. **Messen und Prüfen** wurde vom Unterkapitel zum **Hauptkapitel 4**. Es enthält neu die **bildgebenden Verfahren** zum mechanischen, optischen, akustischen, thermischen, elektromagnetischen und kernmagnetischen Messen und Prüfen.

Die automatisierte Technik ist weiterhin der Motor unserer Gesellschaft. Die Komponenten dazu sind digital vernetzte mechanische, elektrische, elektronische, akustische, optische, elektromagnetische und kernmagnetische Elemente. Mit diesem Buch werden die technisch-physikalischen Grundlagen hierzu vermittelt.

Die Hauptkapitel sind:

1. **Grundlagen** der Automatisierungstechnik: Steuerungstechnik, SPS, Regelungstechnik, Strukturierung von Systemen
2. **Aktoren**, pneumatisch, hydraulisch, elektrisch, mechatronisch
3. **Sensoren** für Wege, Winkel, Drücke, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Temperaturen und Sensorsysteme zur Sicherheit
4. **Messen und Prüfen**, mechanisch, elektrisch, akustisch, optisch, elektromagnetisch und kernmagnetisch
5. **Computergesteuerte Maschinen**, CNC-Werkzeugmaschinen, Roboter, 3D-Drucker
6. **Montageautomatisierung**, Materialflusstechnik, Fügeverfahren
7. **Prozesse steuern und regeln**, statistische Prozessregelung, Prozessfähigkeit, Betriebsdatenerfassung
8. **Informationstechnik**, Programmieren, Steuern, Regeln und Simulieren, Datenbanken, Bildverarbeitung, Virtual Reality (VR)
9. **Kommunikationstechnik**, LAN, WLAN, Feldbus-Systeme, Schnittstellen
10. **Aufgaben und Übungen** (Lösungen sind in der EUROPATHEK)

Das vorliegende Buch vermittelt den **Lehrstoff**, wie er im Bereich der **Digitaltechnik, der Automatisierungstechnik und der Mechatronik** 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.

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.

Herbst 2026 Die Autoren

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen der Automatisierungstechnik 9

1.1 Einführung 9
1.1.1 Automatisierung und Automaten 9
1.1.2 Entwicklungsphasen industrieller Technik 10
1.2 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 Leistungsschalter 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) 34
1.2.4.6 Elektrostatische Entladungen (ESD) . . 36
1.2.4.7 Sicherheitsfunktionen 37
1.2.5 Grundschaltungen 39
1.2.6 Elektronische Bauelemente 42
1.2.6.1 Halbleiterbauelemente 42
1.2.6.2 Integrierte Schaltkreise (IC) und Grundverknüpfungen 45
1.2.7 Schaltalgebra 46
1.2.8 Kombinatorische Steuerungen 47
1.2.9 Sequentielle 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 (DB) 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 107
1.4.19 Prozess-Simulation 111
1.4.20 IEC 61131 114
1.4.21 Zuverlässigkeit und Sicherheit 115
1.5 Grundlagen der Analogsignalverarbeitung 116
1.5.1 Operationsverstärker (OP) 116
1.5.2 Grundschaltungen 117
1.5.3 Analog-Digital-Umsetzer und Digital-Analog-Umsetzer 120
1.6 Regelungstechnik 122
1.6.1 Einführung 122
1.6.1.1 Unstetige Regelung 122
1.6.1.2 Stetige Regelung 123
1.6.2 Der Regelkreis 124
1.6.2.1 Die Regelstrecke 125
1.6.2.2 Zusammenstellung wichtigster Regelkreisglieder mit Beispielen . . . 128
1.6.2.3 Regeleinrichtung 129
1.6.3 Beispiele für Regelkreise 130
1.6.3.1 Regelung von P-T_1-Strecken 130
1.6.3.2 Regelung von I-Strecken 132
1.6.4 Aufbau und Funktion von Standardreglern 135
1.6.4.1 Analoge Regler mit Operationsverstärkern 135
1.6.4.2 Digitale Regler (Software-Regler) . . . 137
1.6.4.3 Kompaktregler 139
1.6.5 Wahl der Reglerparameter 140
1.6.5.1 Prüfen des Wirkungssinns 140
1.6.5.2 Die Regelkreisstabilität 140
1.6.5.3 Einstellen der Reglerparameter 140
1.6.5.4 Selbstoptimierende Regler 141
1.6.6 Betrachtungen im Frequenzbereich . 142
1.7 Strukturierung von Systemen 145
1.7.1 Prinzipien der Strukturierung 145
1.7.2 Referenzkennzeichen 147
1.7.3 Schaltplan erstellen mit FluidSIM® . . 149
1.7.4 Steuern und Regeln mit FluidSIM® . 150

2 Aktoren 153

2.1 Pneumatische Aktoren 153
2.1.1 Einführung 153
2.1.2 Komponenten der Pneumatik 154
2.1.2.1 Wartungsgeräte 154
2.1.2.2 Aktoren 155
2.1.2.3 Ventile 158
2.1.2.4 Signalgeber und Signalwandler 163
2.1.3 Pneumatische Steuerungen 164
2.1.3.1 Schaltplanaufbau 164
2.1.3.2 Pneumatische Verknüpfungssteuerungen 166
2.1.3.3 Elektrische Ansteuerung von Aktoren 168
2.1.3.4 Vakuumtechnik 174
2.1.3.5 Sicherheitsfunktionen 175
2.1.3.6 Energieeffizienz 176

2.2 Hydraulische Aktoren 177
2.2.1 Allgemeines 177
2.2.2 Physikalische Grundlagen 177
2.2.2.1 Hydrostatik 177
2.2.2.2 Hydrodynamik 179
2.2.3 Hydraulikflüssigkeiten 180
2.2.4 Aufbau hydraulischer Steuerungen . 182
2.2.5 Hydraulikpumpen 183
2.2.6 Hydraulikspeicher 185
2.2.7 Antriebselemente 187
2.2.8 Hydraulikventile 190
2.2.8.1 Druckventile 190
2.2.8.2 Wegeventile 193
2.2.8.3 Sperrventile 194
2.2.8.4 Stromventile 195
2.2.9 Energieeffiziente hydraulische Steuerung zum Spannen von Teilen . 197
2.2.10 Proportionaltechnik 198
2.2.11 Servoventile 205
2.2.12 Mobilhydraulik 207

2.3 Elektrische Aktoren 208
2.3.1 Einführung 208
2.3.2 Rechnerische Grundlagen 210
2.3.3 Erste Orientierung 213
2.3.4 Gleichstromantriebe (DC-Antriebe) . 214
2.3.5 Drehfeldantriebe 220
2.3.5.1 Drehstromasynchronmotoren 220
2.3.5.2 Drehstromsynchronmotoren 228
2.3.5.3 Feldorientierte Regelung 231
2.3.6 Kühlung und Bauformen 233
2.3.7 Antriebsprojektierung 234
2.3.8 EMV-Maßnahmen 235
2.3.9 Kleinmotoren 237
2.3.9.1 DC-Kleinmotoren 237
2.3.9.2 Schrittmotoren 238

2.4 Mechatronische Aktoren 239
2.4.1 Piezoaktoren 239
2.4.2 Tauchspulenantriebe 242
2.4.3 Magnetostriktive Aktoren 242
2.4.4 Kapazitive Mikroaktoren 243
2.4.5 Thermische Aktoren 244
2.4.5.1 Thermobimetall-Aktoren 244
2.4.5.2 Dehnstoff-Aktoren 245
2.4.5.3 Memory-Metall-Aktoren 245
2.4.6 MRF-Aktoren 246

2.5 CNC-Achsantriebssysteme 247
2.5.1 Struktur 247
2.5.2 Art der Wegmessung 247
2.5.3 Antriebsarten 249
2.5.4 Mechanische Übertragungsglieder . 250
2.5.5 Lageregelung 252

3 Sensoren 254

3.1 Allgemeines 254

3.2 Sensoren für Wege, Winkel und Abstände 255
3.2.1 Sensorsignale durch Widerstandsänderung 255
3.2.2 Sensorsignale durch magnetische Kopplung 260
3.2.3 Sensorsignale mittels magnetischer und elektrischer Felder 261
3.2.4 Radarsensoren 262
3.2.5 Optische Sensoren 263
3.2.6 Sensorsignale durch Laufzeitmessung 267
3.2.7 Digitale Weg- und Winkelmessung . 268
3.2.7.1 Inkrementale Weg- und Winkelmessung 268
3.2.7.2 Absolute Weg- und Winkelmessung . 272
3.2.7.3 Zyklische analoge Weg- und Winkelmessung 274
3.2.7.4 Berührungsloses Messen mit Autofokus-Systemen 275

3.3 Geschwindigkeitssensoren 276

3.4 Sensoren für Dehnungen, Kräfte, Drehmomente und Drücke 277
3.4.1 Dehnungsmessung 277
3.4.2 Kraft- und Drehmomentmessung . . . 279

3.5 Beschleunigungssensoren 281

3.6 Temperatursensoren 282

3.7 Sensoren für Strömungen 284

3.8 Sensoren für elektrische Größen (Messumformer) 285

3.9 Sensoren zur Sicherheitstechnik . . . 286

3.10 Mikromechanische Sensoren 288

3.11 Störungen in Sensorleitungen 289

4 Messen und Prüfen 291

4.1 Koordinatenmessgeräte (KMG) 291
4.1.1 Aufbau und Wirkungsweise 292
4.1.2 Bauarten 293
4.1.3 Messsysteme der Linearachsen 293
4.1.4 Messkopfsysteme 294
4.1.5 Zusatzausstattungen 296
4.1.6 Steuerungen und Antriebe 297

4.1.7 Messwertverarbeitung und Messwertauswertung 297
4.1.8 Tastelementkalibrierung 300
4.1.9 Durchführung eines Messauftrags . . 300
4.2 Laser-Tracking 305
4.3 Optisches 3D-Scannen 306
4.3.1 Räumlichen Wahrnehmung und Triangulation 306
4.3.2 Scannen mit Punkten und mit Linien 307
4.3.3 Streifenlichtscanner 308
4.3.4 Photogrammetrie 312
4.4 Messen und Prüfen mit Ultraschall . 314
4.5 Messen und Prüfen von Oberflächen 315
4.6 Messen und Prüfen mit Wärmestrahlung 316
4.7 Messen und Prüfen mit Röntgendurchstrahlung 317
4.8 Röntgen-Computertomografie (CT) . 318
4.9 Kernspinresonanzspektroskopie (NMR) 319
4.10 Magnetresonanztomografie (MRT) . 320

5 Computergesteuerte Maschinen 321

5.1 CNC-Werkzeugmaschinen 321
5.1.1 Der Produktionsprozess 321
5.1.2 NC-Achsen und deren Steuerung . . . 324
5.1.3 CNC-Programmierung 326
5.1.3.1 DIN-Programmierung 326
5.1.3.2 Werkstattorientiertes Produzieren (WOP) 336
5.1.4 Interpolation 338
5.1.5 Leistungsfähigkeit 340
5.1.6 Offene CNC-Steuerung 342
5.2 3D-Druckverfahren 343
5.2.1 Allgemeines 343
5.2.2 AM-Verfahren 344
5.2.3 Die Informationskette und die Prozesskette 346
5.3 Robotertechnik 347
5.3.1 Einführung 347
5.3.2 Einteilung 348
5.3.3 Kinematischer Aufbau 349
5.3.3.1 Die RRR-Kinematik 352
5.3.3.2 Der Gewichtsausgleich 353
5.3.4 Greifer 354
5.3.5 Roboterprogrammierung 355
5.3.6 Koordinatensysteme 357
5.3.7 Die Bewegungserzeugung 361
5.3.8 Koordinatentransformation 363
5.3.9 Interpolation und Betriebsarten 364
5.3.10 Schleppabstand und Bahngeschwindigkeit 366
5.3.11 Sensorführung von Robotern 368
5.3.12 Kollaborierende Roboter – Cobot . . . 371
5.3.13 Roboter und Manipulatoren in der Medizintechnik 373
5.3.14 Schutzmaßnahmen 375
5.4 Sicherheit von Maschinen und Anlagen 377

6 Montageautomatisierung 381

6.1 Grundlagen 381
6.2 Materialflusstechnik 384
6.2.1 Lagern 384
6.2.2 Puffern 385
6.2.3 Bunkern 386
6.2.4 Magazinieren 387
6.2.5 Fördersysteme 388
6.2.6 Montage im Kreisprozess 391
6.3 Fügeverfahren 392
6.3.1 Übersicht 392
6.3.2 Zusammensetzen 392
6.3.3 Anpressen und Einpressen 393
6.3.4 Verschrauben 394
6.3.5 Umformendes Fügen 398
6.3.6 Schweißen 400
6.3.7 Löten 404
6.3.8 Kleben 407

7 Prozesse steuern und regeln 408

7.1 Einführung 408
7.2 Statistische Prozessregelung (SPC) . 409
7.2.1 Prüfdaten 409
7.2.2 Normalverteilung 410
7.2.3 Wahrscheinlichkeitsnetz 411
7.2.4 Auswertung einer Stichprobe 411
7.2.5 Qualitätsregelkarten 415
7.3 Maschinenfähigkeit und Prozessfähigkeit 417
7.4 Betriebsdatenerfassung (BDE) 420
7.4.1 Chipkarten, Chipmünzen, RFIDs 421
7.5 Manufacturing Execution Systems (MES) 424
7.5.1 Einführung 424
7.5.2 MES am Beispiel der Datenerfassung 425
7.5.3 MES am Beispiel des Informationsmanagements 425

8 Informationstechnik 426

8.1 Programmierung 426
8.1.1 Programmiersprachen 426
8.1.2 Software Engineering 427
8.1.3 Qualität der Software 428
8.1.4 Sicherung gegen unberechtigte Nutzung 428
8.1.5 Betriebssystem Windows 429
8.1.6 Objektorientierte Programmierung (OOP) 432
8.1.7 Algorithmen[1] 434
8.1.8 Strukturierte Programmierung 435
8.1.9 Rechnerinterne Datendarstellung . . . 436

8.1.10 Programmaufbau und Programmkomponenten 439
8.1.11 Strukturierte Anweisungen 441
8.1.12 Strukturierung mit Funktionen 443
8.1.13 Fallbeispiel: Steuerkurve 444
8.1.14 Grafische Programmierung 450
8.1.15 Kommunikation mit unterschiedlichen Systemen 456

8.2 Steuern mit Computer 457
8.2.1 Zusatzbaugruppen 457
8.2.2 Elemente zu einem Projekt „Werkstück prägen“ 458

8.3 Regelung mit PC und SPS 463
8.3.1 Hardware und Software 463
8.3.2 Grafische Ausgabe 464
8.3.3 Regelkreisglieder 465
8.3.3.1 Proportionalglied ohne Verzögerung (P-Glied) 465
8.3.3.2 Integrierglied (I-Glied) 466
8.3.3.3 Totzeitglied (T_t-Glied) 467
8.3.3.4 Proportionalglied mit Verzögerung 1. Ordnung (P-T_1-Glied) 468
8.3.3.5 Proportionalglied mit Verzögerung 2. Ordnung (P-T_2-Glied) und Schwingungsglied 469
8.3.4 Regelkreise 470
8.3.4.1 P-Regelung mit P-T_1-Strecke 470
8.3.4.2 P-Regelung und P-T_1-Strecke (SPS-Simulation) 471
8.3.4.3 I-Regelung und P-T1-Strecke 472
8.3.4.4 PI-Regelung einer P-T_1-Strecke mit Störgrößenaufschaltung (Beispiel) . . 473
8.3.4.5 Optimierung der Reglerparameter . . 474
8.3.4.6 P-Regler mit P-T_1-I-Strecke (Positionsregelung, Lageregelung) . 475
8.3.4.7 Lageregelung mit Totzeit 477
8.3.4.8 Geschwindigkeitsvorsteuerung 478
8.3.5 Fuzzy-Logic 479
8.3.5.1 Grundlagen der Fuzzy-Technologie . 479
8.3.5.2 Fuzzy-Regelung einer Bandsägemaschine 480

8.4 Programmiersprache Java 482
8.4.1 Einführung 482
8.4.2 Erstellen einer Applikation 483
8.4.3 HTML 483
8.4.4 Erstellen von Grafiken 485
8.4.5 Animationen 486
8.4.6 Multithreading 486
8.4.7 Java-Script 487

8.5 Visual Basic für Excel 488
8.5.1 Aufbau eines VBA-Programms 488
8.5.2 Aufruf von VBA 489
8.5.3 Erstellen von Funktionen 490
8.5.4 Variable und Zugriff auf Zellen 491
8.5.5 Projekt: SPC-Maschinenregelung . . . 493
8.5.6 Erstellen eines Formulars als Unterprogramm 494

8.6 Relationale Datenbanken 495
8.6.1 Datenbankobjekte 496
8.6.2 Entwerfen einer Datenbank 498

8.7 Bildverarbeitung 501
8.7.1 Grauwertbildverarbeitung 501
8.7.2 Binärbildverarbeitung 506
8.7.3 Farbbildverarbeitung und Farbbildcodierung 507

8.8 Virtuelle Umgebung 509
8.8.1 Allgemeines 509
8.8.2 Szenensteuerung 510
8.8.3 Augmented Reality, Mixed Reality . . 511

9 Kommunikationstechnik 512

9.1 Kommunikation über das Internet . . 512

9.2 Local Area Network (LAN) 513
9.2.1 Ethernet-LAN 514
9.2.1.1 Einführung 514
9.2.1.2 Peer-to-Peer-Netzwerk 517
9.2.1.3 Client-Server-Netzwerk 517
9.2.1.4 Peer-to-Peer-Netzwerk mit zwei PCs . 518
9.2.1.5 Erweiterung zu einem Client-Server-Netzwerk 521
9.2.2 Wireless LAN (WLAN) 523

9.3 Feldbus-Systeme 525
9.3.1 CAN-Bus 525
9.3.2 Aktor-Sensor-Interface (AS-i) 527
9.3.3 PROFIBUS, PROFIBUS-DP 529
9.3.4 PROFINET 532
9.3.5 PROFIsafe 533

9.4 Schnittstellen 535
9.4.1 Aufgaben und Art der Schnittstellen 535
9.4.2 USB-Schnittstelle 536
9.4.3 FireWire (IEEE 1394) 536
9.4.4 Serielle Schnittstelle V.24 537
9.4.5 Serielle Schnittstelle RS 485 539
9.4.6 IO-Link 540

10 Aufgaben und Übungen 541

10.1 Aufgaben und Übungen zur Pneumatik 541
10.2 Aufgaben und Übungen zur Hydraulik 546
10.3 Aufgaben und Übungen zu GRAFCET 548
10.4 Aufgaben und Übungen zur SPS . . . 549
10.5 Aufgaben und Übungen zur Regelungstechnik 562
10.6 Aufgaben und Übungen zum Programmieren 566
10.7 Aufgaben und Übungen zur Antriebstechnik 569
10.8 Aufgaben und Übungen zur CNC-Technik 570

Sachwortverzeichnis 572

Quellenverzeichnis 576

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 347)* 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, auch im Krieg, z. B. beim Aufspüren von Minen oder Rückholen von Verletzten. Es gibt Roboter für viele Anwendungen, z. B. zum Ballspielen, 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.



Roboter als Spielzeuge



Roboter als Helfer in der Kantine



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 Behältnis. 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.

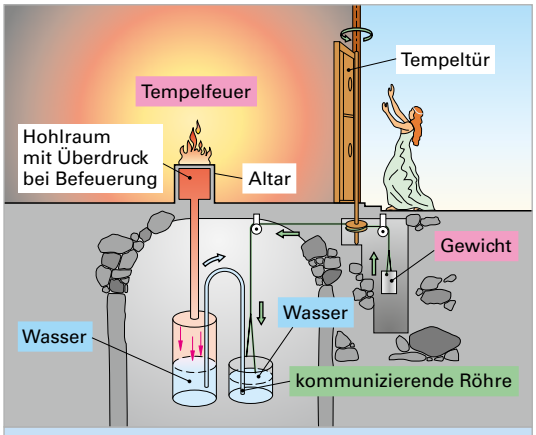


Bild 1: Automatisches Schließen und Öffnen von Tempeltüren, etwa 100 v. Chr.

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)**.

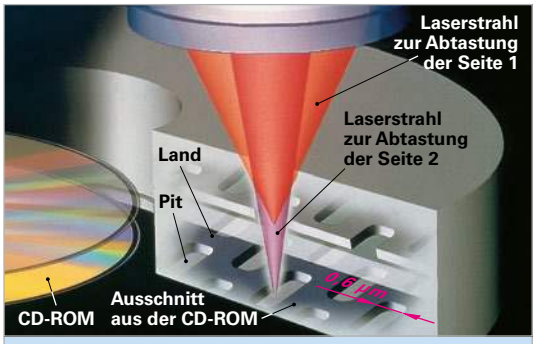


Bild 2: CD-ROM

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)**.



Bild 3: Automatisierung mit Robotern

Die Werkstücke, z. B. Motorblöcke oder Karosserien 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.

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.



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

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)**.



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

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).

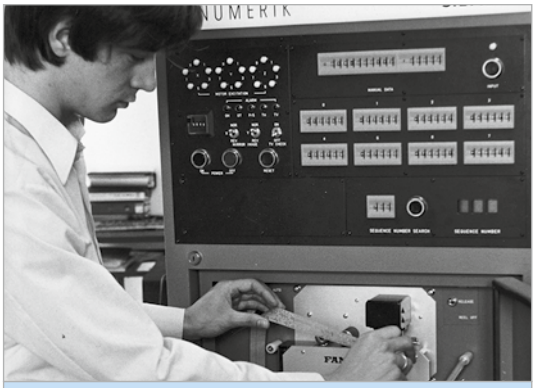


Bild 3: NC-Steuerung mit Lochstreifeneingabe (1970)

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.

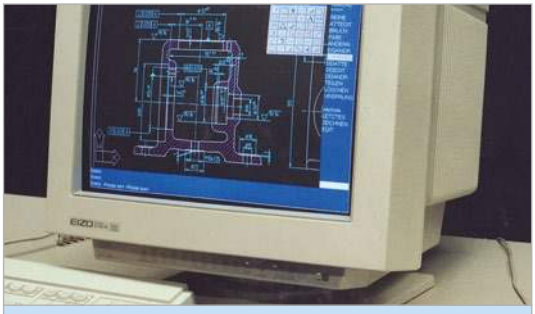


Bild 4: 2D-CAD-System (1998)

[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 Internet[1] 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. 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 Malware[2] (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

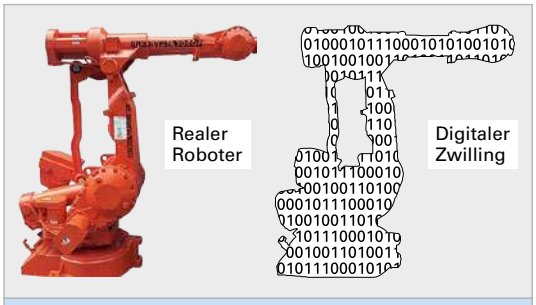
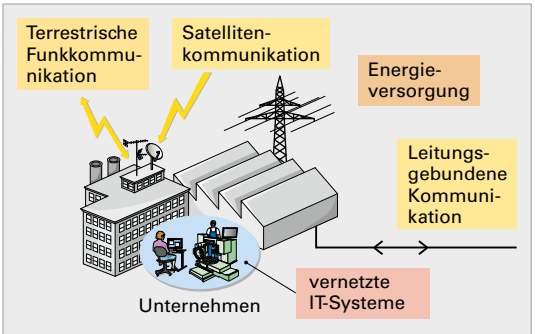


Bild 1: Digitaler Zwilling (Digital Twin)



- Störung oder Zerstörung der Kommunikationsverbindungen, der IT-Systeme oder der Prozesse durch Verfälschen der Information.

Bild 2: Störungen im IT-Bereich

Cyber-Physische-Systeme (CPS)

Eine zunehmende Bedeutung haben **Cyber-Physical-Systems**[1] **(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.

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)**.

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* (*Augmented*[3] *Reality*, AR). AR verwendet man z. B. bei Inspektionen, Montagen **(Bild 4)** und Reparaturen.

[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

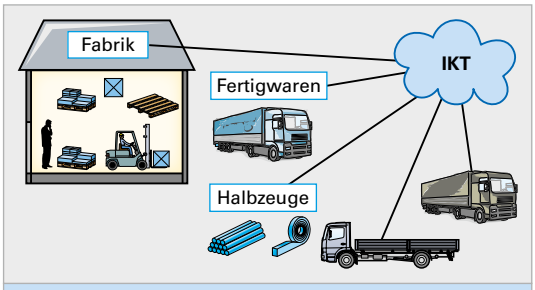


Bild 2: Smart Factory



Bild 3: Immersion in eine virtuelle 3D-Umgebung



Bild 4: Augmented Reality in der Montage

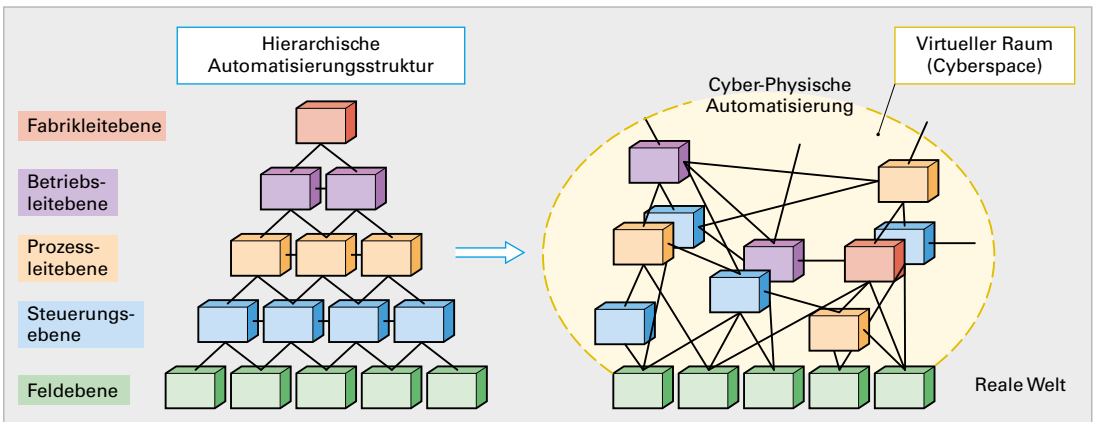


Bild 1: CPS in der Automatisierung

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.

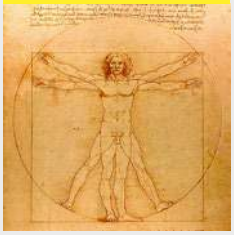
Industrie 5.0 geht auf den sich entwickelnden Qualifikations- und Ausbildungsbedarf der Beschäftigten ein und hilft die besten Talente anzuziehen.

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

Wie kann das geschehen?

I 5.0 orientiert sich am Menschen
... fördert Talent, Vielfalt und Fähigkeiten

HUMAN CENTRIC



I 5.0 ist robust
... agil und belastbar mit flexibler und anpassungsfähiger Technik

RESILIENT



I 5.0 ist nachhaltig
... und respektiert die Ressourcen unseres Planeten

SUSTAINABLE



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 Schlechtteil 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.

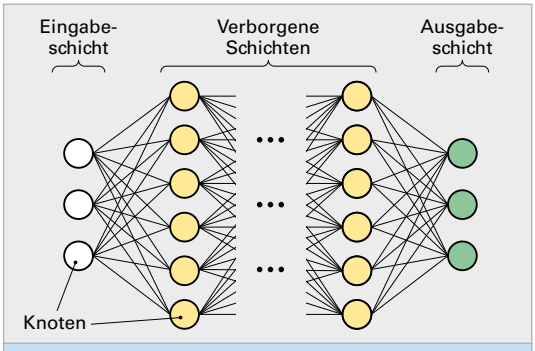


Bild 1: Aufbau eines neuronalen Netzes

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.

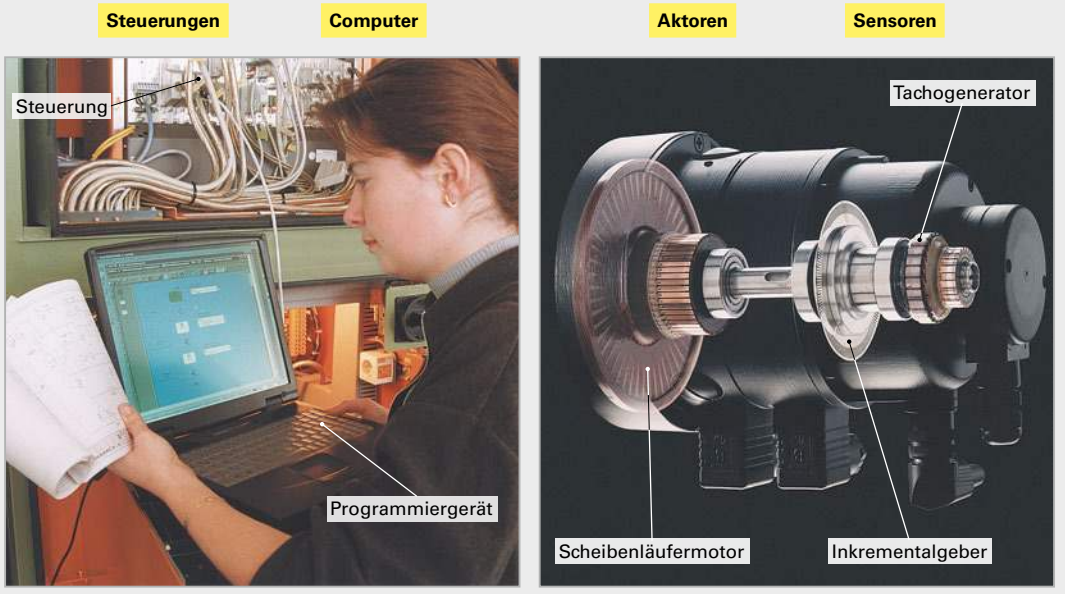


Bild 1: Komponenten der Fertigungsautomatisierung

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)**.

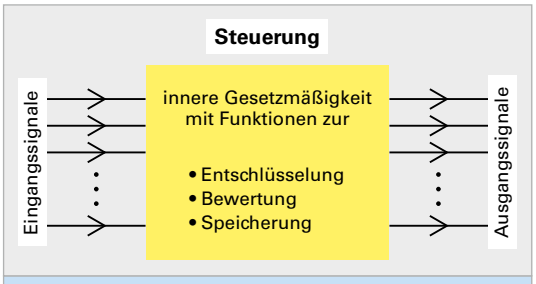


Bild 1: Struktur einer Steuerung

1.2.1 Steuerungsarten

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

Tabelle 1: Steuerungsarten

Art	Signaldarstellung	Beispiele
Analoge Steuerung	Ausgang, Zeit	Steuerung mit Kurvenscheibe
Binäre Steuerung	1 0 1 0 1 0 1, Zeit	Steuerung mit Schaltern und Relais
Digitale Steuerung	0 13 2 4 10 4 9	Winkelcodierer

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.

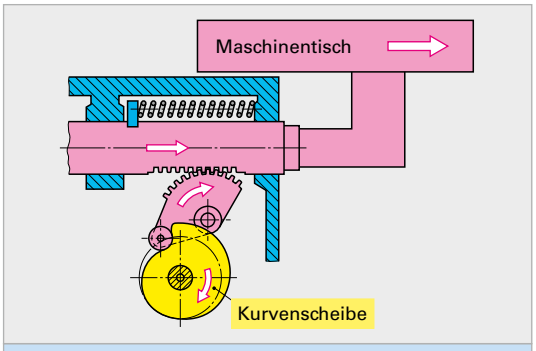


Bild 2: Analoge Steuerung

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.

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.

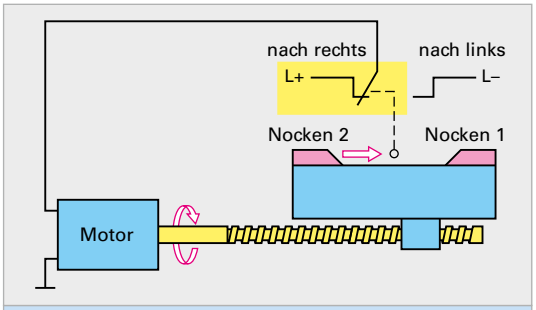


Bild 3: Binäre Steuerung eines Vorschubantriebs für eine Schleifmaschine

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.

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)**.

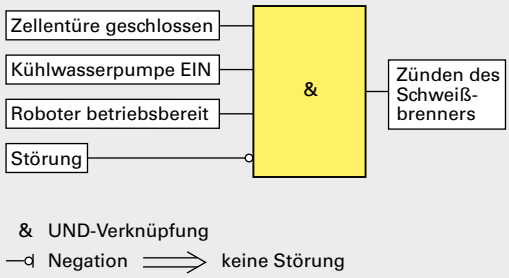


Bild 1: Kombinatorische Steuerung

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).**

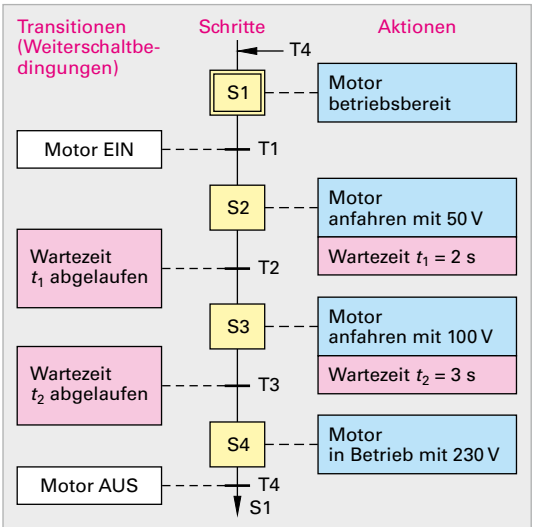


Bild 2: Zeitgeführte Ablaufsteuerung

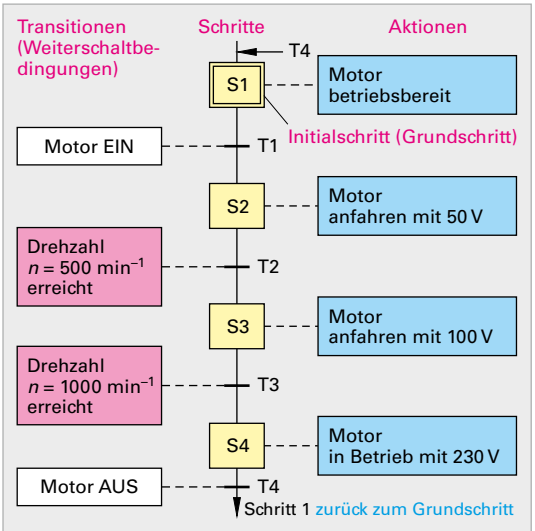


Bild 3: Prozessabhängige Ablaufsteuerung

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.

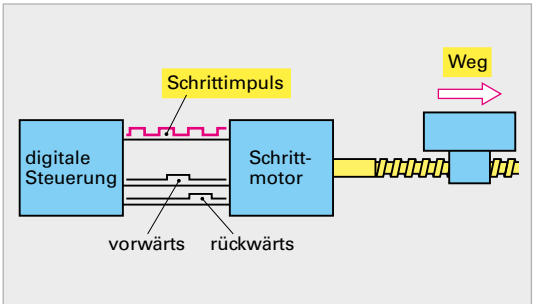


Bild 4: Digital gesteuerter Vorschubantrieb

Codierungen in digitalen Steuerungen

Der meistbenützte Code ist der **Dualcode** (BCN von Binary Coded Natural = natürlicher Binärcode). 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 ... und rechts vom Komma 2^{-1}, 2^{-2}, 2^{-3} ... 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:

$$1101{,}01 \triangleq 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2}$$
$$= 8 + 4 + 1 + 0{,}25$$
$$= \mathbf{13{,}25}$$

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).

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

Tabelle 1: Rechnen mit Dualzahlen

Grundregeln:

0 + 0 = 0	0 – 0 = 0	0 · 0 = 0	0 : 1 = 0
1 + 0 = 1	1 – 0 = 1	0 · 1 = 0	1 : 1 = 1
0 + 1 = 1	1 – 1 = 0	1 · 0 = 0	
1 + 1 = 0	0 – 1 = 1	1 · 1 = 1	
plus Übertrag 1 in die nächste Stelle	und belaste die nächste Stelle mit 1		

Beispiele:

6 + 5 = 11 110 + 101 **1011 ≙ 11**	11 – 5 = 6 1011 $-_1$101 **110 ≙ 6**	6 · 5 = 30 110 · 101 110 000 110 **11110 ≙ 30**

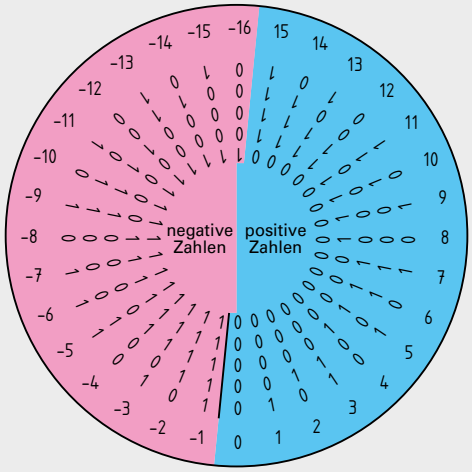


Bild 1: Zahlenring für 4-Bit-Zahlendarstellung

Tabelle 2: Codierungen (Beispiele)

Dezimalzahl	Dualcode	Graycode	8-4-2-1-Code	2-aus-5-Code
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
Stellenwert	8 4 2 1	kein	8 4 2 1	7 4 2 1 0

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 Einzweckcharakter 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 Steuerung[1] **(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.

[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.

Tabelle 1: Programmverwirklichung

Art		Beispiel
Verbindungs-programmiert **VPS**	fest-programmierbar	Relais-steuerung
	um-programmierbar	Programm-steuerung mit Steckerfeld
Speicherpro-grammiert **SPS** engl. Programmable Logic Controller **PLC**	austausch-programmierbar	SPS mit EPROM1
	frei-programmierbar	SPS mit EEPROM[2] oder mit RAM[3]

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

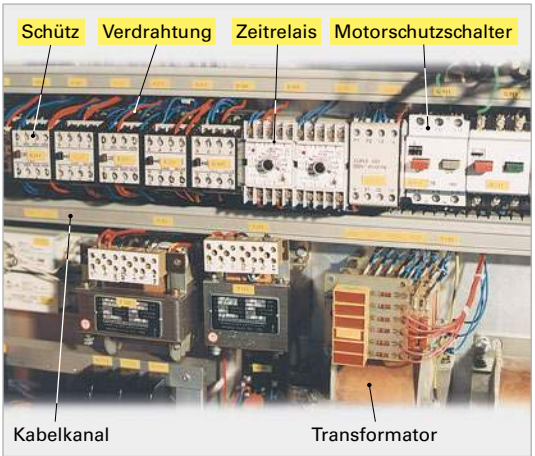


Bild 1: Verbindungsprogrammierte Steuerung (VPS)

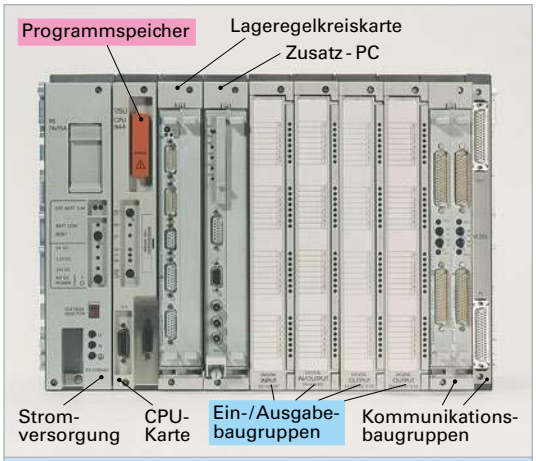


Bild 2: Speicherprogrammierte Steuerung (SPS)

1.2.3 Elektrische Kontaktsteuerungen

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

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.

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).

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 1: Schalter

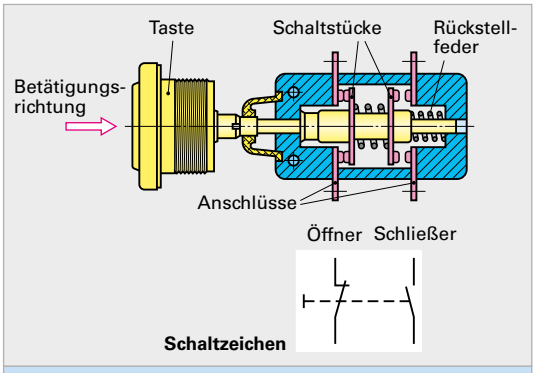


Bild 2: Druckknopftastschalter (Taster)

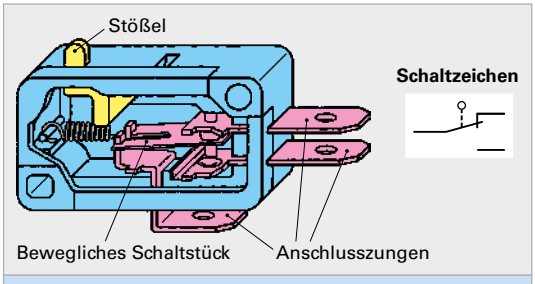


Bild 3: Nockenschalter

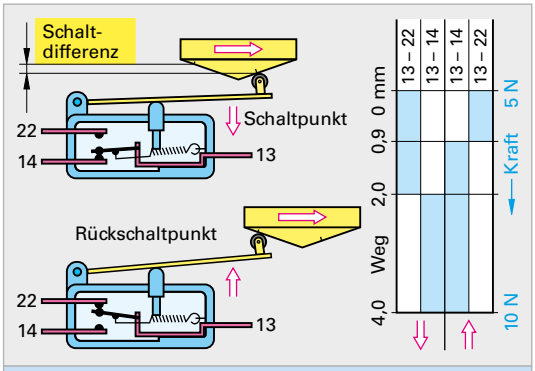


Bild 4: Schaltdifferenz bei einem Positionsschalter mit Rollenhebel