



Bibliothek des technischen Wissens

Dietmar Schmid

Hans Kaufmann

Alexander Pflug

Steuern und Regeln für Maschinenbau und Mechatronik

17., überarbeitete und erweiterte Auflage

Bearbeitet von Lehrern und Ingenieuren (s. Rückseite)

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

Europa-Nr.: 10021

Die Verfasser des Buches

Schmid, Dietmar	Dr.-Ing., Professor	Essingen
Kaufmann, Hans	Dipl.-Ing. (FH), Studiendirektor	Aalen
Pflug, Alexander	Dipl.-Ing., Studienrat	Schwäbisch Gmünd

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Schmid, Essingen

Bildbearbeitung

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

Dem Buch wurden die neuesten Ausgaben der Normen und Gesetze zu Grunde 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 Dritter unterliegen, sind diese mit dem ©-Symbol und dem Urhebername versehen.

17. Auflage 2023

Druck 5 4 3 2 1

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

ISBN 978-3-7585-1411-1

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

© 2023 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfotos: Prof. Schmid und Autorenkreis

Druck: LD Medienhaus GmbH & Co. KG, 44149 Dortmund

Vorwort zur 17. Auflage

Steuern und Regeln für Maschinenbau und Mechatronik führt die Bausteine der Mechanik, der Pneumatik, der Hydraulik, der Elektrotechnik, der Elektronik und der Kommunikations- und Computertechnik zu einem aktuellen Wissensgebiet zusammen, nämlich dem der Mechatronik.

Die **17. Auflage** wurde erweitert und in allen Kapiteln mit Blick auf **Industrie 4.0** aktualisiert.

Die neu gefassten Kapitel dieser Auflage sind:

- **Kapitel 4: Sensoren und Sensorsysteme.** Dieses Kapitel erweitert den bisherigen Abschnitt „Sensoren“ um die komplexen Sensorsysteme der Sonar-, Radar- und Röntgentechnik, sowie um die Sensormikrosysteme der MEMS-Technologie.
- **Kapitel 11: Materialflussautomatisierung.** Der Materialfluss ist das am meisten ins Auge fallende Kennzeichen der **Industrie 4.0.**, wenn Produkte sich nämlich, wie von Geisterhand gesteuert, selbsttätig und zielgerichtet von einer Station zur anderen bewegen. Dem wird mit den Verfahren des Materialförderens, des Speicherns, Magazinierens, Sortierens und Verkettens Rechnung getragen.
- **Kapitel 12: Montageautomatisierung.** Dieses Kapitel umfasst jetzt alle gängigen Fügeverfahren, die in der **Fertigungsautomatisierung** genutzt werden. Es schließt mit einem Fallbeispiel aus der Automobilbranche, einer typischen Anwendung der **Industrie 4.0.**

Das **praxisbezogene Lehrbuch** richtet sich an alle, die sich in der **Steuerungs- und Regelungstechnik** in Verbindung mit moderner **Informations- und Kommunikationstechnik** ausbilden und weiterbilden wollen. Es ist geeignet sowohl für **Auszubildende** zur Vertiefung ihres Wissens als auch für die **Meister- und Techniker Ausbildung**, für den Unterricht im **Technischen Gymnasium** und im **Berufskolleg**, aber auch als praktische Ergänzung für **Studierende** an **Hochschulen**. Ebenso wird das Buch in der **beruflichen Praxis**, für alle, die sich mit Steuerungs- und Überwachungsaufgaben sowie mit Qualitätsmanagement befassen, eine wertvolle Hilfe sein.

Das Buch ist gegliedert in die Lehr- und Lernbereiche:

- | | |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| • Steuern, Regeln, Leiten | • Computergesteuerte Maschinen |
| • Mechanische Steuerungen und Getriebe | • Materialflussautomatisierung |
| • Elektrische und elektronische Steuerungen | • Montageautomatisierung |
| • Sensoren und Sensorsysteme | • Qualitätsmanagement |
| • Pneumatik | • Instandhaltung und Energieeffizienz |
| • Hydraulik | • Geschäftsprozesse |
| • Regelungstechnik | • Arbeitsgestaltung und Arbeitsschutz |
| • Speicherprogrammierte Steuerungen (SPS) | • Informations- und Kommunikationstechnik |
| • Elektrische Antriebe | • Aufgaben und Übungen. |

Die einzelnen Kapitel des Buches sind weitgehend in sich abgeschlossen und können auch in anderer Reihenfolge erarbeitet bzw. unterrichtet werden. Damit ergibt sich für den Unterricht ein großer Spielraum bei der Stoffauswahl und in der inhaltlichen Schwerpunktsetzung.

In der **EUROPATHEK** (siehe vordere Umschlaginnenseite) stehen digitale Zusatzmaterialien zur Verfügung: Neben den Lösungen zu den Aufgaben enthalten die Zusatzmaterialien 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.

6.6	Antriebselemente	156	8.6	Programmieren mit strukturiertem Text (ST)	239
6.6.1	Hydraulikzylinder	156	8.6.1	Digitale Regelung	239
6.6.2	Hydraulikmotoren	157	8.6.2	Zweipunktregler	240
6.7	Hydraulikventile	159	8.6.3	PID-Reglerbaustein	241
6.7.1	Allgemeines	159	8.7	Bedienen und Beobachten von Produktionsprozessen	243
6.7.2	Druckventile	160	8.8	Bedienen und Beobachten mit mobilen Endgeräten	244
6.7.3	Wegeventile	163	8.9	Kleinsteuerung LOGO!	246
6.7.4	Sperrventile	164			
6.7.5	Stromventile	165	9	Elektrische Antriebe und Aktoren	
6.7.6	Ventilaufbauarten	168	9.1	Einführung	250
6.7.7	Stetigventile	170	9.2	Rechnerische Grundlagen	252
6.7.8	Proportionalventiltechnik	171	9.3	Gleichstrommotoren (DC-Motoren)	255
6.7.9	Servoventile	177	9.4	Drehstromasynchronmotor	257
7	Regelungstechnik		9.4.1	Aufbau des Kurzschlussläufers	257
7.1	Grundbegriffe	179	9.4.2	Das Drehfeld	258
7.2	Regelungsarten	180	9.4.3	Funktionsweise	259
7.3	Regelkreisglieder	182	9.4.4	Anlasssteuerungen	260
7.3.1	Proportionalglied ohne Verzögerung (P-Glied)	182	9.4.5	Drehrichtungsumkehr	261
7.3.2	Proportionalglied mit Verzögerung 1. Ordnung (P-T ₁ -Glied)	183	9.4.6	Betriebsarten und Fahrprofile	261
7.3.3	Proportionalglied mit Verzögerung 2. Ordnung (P-T ₂ -Glied), Schwingungsglied	184	9.4.7	Drehzahlsteuerung und Drehzahlregelung	262
7.3.4	Integralglied (I-Glied)	187	9.4.7.1	Allgemeines und Einteilung	262
7.3.5	Differenzierglied (D-Glied)	188	9.4.7.2	U/f-Steuerung	263
7.3.6	Totzeitglied (T _f -Glied)	188	9.4.7.3	Vektorregelung	264
7.3.7	Zusammenwirken mehrerer Regelkreisglieder	190	9.5	Drehstromsynchronmotor	266
7.4	Regler und Regelkreise	191	9.5.1	Servoantriebe	266
7.4.1	Schaltende Regler	191	9.5.2	Direktantriebe	268
7.4.2	Analoge Regler	192	9.5.2.1	Torque-Motoren	268
7.4.3	Digitale Regler (Software-Regler)	194	9.5.2.2	Linearmotoren	269
7.4.3.1	Digitalisierung und Signalabastung	194	9.5.3	Schrittmotoren	269
7.4.3.2	Regelungsalgorithmus	195	9.6	Mechatronische Aktoren	270
7.4.3.3	PID-Stellungsalgorithmus	196	9.6.1	Piezoaktoren	270
7.4.3.4	PID-Geschwindigkeitsalgorithmus	197	9.6.2	Tauchspulen-Linearaktoren	271
7.4.4	Regelung von P-Strecken	198	9.6.3	Kapazitive Mikroaktoren	271
7.4.4.1	Drehzahlregelung mit PI-Regler	198	9.6.4	Thermische Aktoren	272
7.4.5	Regelung von I-Strecken	199	9.6.4.1	Thermobimetall-Aktoren	272
7.4.6	Einstellen eines Reglers	200	9.6.4.2	Dehnstoff-Aktoren	273
7.4.7	Selbstoptimierende Regler	201	9.6.4.3	Memory-Metall-Aktoren	273
8	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)		9.7	Lageregelung (Positionierantriebe)	274
8.1	Aufbau und Funktionsweise	202	9.7.1	Kaskadenregelung	274
8.2	Programmierung	205	9.7.2	Geschwindigkeitsvorsteuerung	275
8.2.1	Programmiersprachen	205	9.7.3	Analoger und digitaler Drehzahlregelkreis	276
8.2.2	Programmaufbau	208			
8.3	Funktionen und Operationen	212	10	Computergesteuerte Maschinen	
8.3.1	Binäre Abfragen und Verknüpfungen	212	10.1	CNC-Werkzeugmaschinen	277
8.3.2	SR/RS-Speicherfunktionen	215	10.1.1	Der Produktionsprozess	277
8.3.3	Flankenauswertung	217	10.1.2	NC-Achsen und deren Steuerung	280
8.3.4	Zeitfunktionen	218	10.1.3	CNC-Programmierung	282
8.3.5	Zählfunktionen	220	10.1.3.1	DIN-Programmierung	282
8.3.6	Arithmetische und numerische Funktionen	222	10.1.3.2	Werkstatorientiertes Produzieren (WOP)	292
8.3.7	Übertragungsfunktionen und Programmsteuerungsfunktionen	222	10.1.4	Interpolation	294
8.3.8	Digitale Operationen	223	10.1.5	Leistungsfähigkeit	296
8.4	Ablaufsteuerungen	225	10.1.6	Offene CNC-Steuerung	298
8.4.1	Gliederung und Darstellung	225	10.2	3D-Druck – Additive Fertigungsverfahren	299
8.4.2	Beispiel für eine Ablaufsteuerung	226	10.2.1	Allgemeines	299
8.4.3	Programmierung in Ablaufsprache	229	10.2.2	AM-Verfahren	300
8.4.4	Betriebsartensignale	231	10.2.3	Die Informationskette und die Prozesskette	302
8.4.5	Funktionsbaustein für Betriebsarten	232	10.3	Robotertechnik	303
8.4.6	Funktionsbaustein für Schrittketten	233	10.3.1	Einteilung	303
8.4.7	Funktionsbaustein für die Befehlsausgabe	234	10.3.2	Der kinematische Aufbau	305
8.4.8	Zustandsautomaten	234	10.3.2.1	Die RRR-Kinematik	308
8.5	Analogwertverarbeitung	236	10.3.2.2	Der Gewichtsausgleich	309
			10.3.3	Greifer	310
			10.3.4	Roboterprogrammierung	311
			10.3.5	Die Bewegungserzeugung	313

10.3.5.1	Koordinatensysteme	313	14.3.1	Energie-Monitoring	389
10.3.5.2	Robotersteuerung	315	14.3.2	Energiewertstrom	389
10.3.5.3	Achsstellungen	316	14.3.3	Lastmanagement	390
10.3.5.4	Überschleifen und Pendeln	318	14.4	Energieeffiziente Geräte und Anlagen	391
10.3.5.5	Robotersensorführung	319	15	Geschäftsprozesse	
10.3.6	Kollaborierende Roboter	321	15.1	Managementaufgaben	392
10.3.7	Schutzmaßnahmen	322	15.2	Prozessmanagement	393
11	Materialflussautomatisierung		15.3	Produkt-Daten-Management	394
11.1	Fördersysteme	324	15.4	Gestaltungsmethoden für Prozessketten	396
11.2	Fahrerlos Transportieren	327	15.5	Projektmanagement	398
11.3	Puffersysteme	328	15.6	Informationsmanagement	399
11.4	Bunkersysteme	328	15.7	Planungsinstrumente	401
11.5	Magazinsysteme	329	15.8	Moderation	407
11.6	Sortieranlagen	330	15.9	Präsentation	407
11.7	Verkettungssysteme	331	15.9.1	Inhalt und visuelle Darstellung	408
12	Montageautomatisierung		15.9.2	Präsentationsgrafik mit PowerPoint	409
12.1	Grundlagen	332	16	Arbeitsgestaltung und Arbeitsschutz	
12.2	Fügeverfahren in der Montage	335	16.1	Der Mensch ist das Maß	410
12.2.1	Zusammensetzen, Anpressen und Einpressen	336	16.2	Arbeitsplatzgestaltung	411
12.2.1.1	Zusammensetzen	336	16.3	Arbeitsbelastungen	415
12.2.1.2	Anpressen und Einpressen	336	16.3.1	Arbeitsbelastung durch die Art der Arbeit	415
12.2.1.3	Verschrauben	337	16.3.2	Belastungen durch die Arbeitsorganisation	416
12.2.2	Fügen durch Umformen	342	16.4	EU-Maschinenrichtlinie	418
12.2.3	Fügen durch Schweißen	344	16.4.1	Sicherheit und Gesundheitsschutz	418
12.2.4	Fügen durch Löten	349	16.4.2	Kennzeichnung und Betriebsanleitung	420
12.2.5	Fügen durch Kleben	351	17	Informations- und Kommunikationstechnik	
12.3	Montageautomaten	353	17.1	Computertechnik	422
12.4	Montagefolge und Erzeugnisgliederung	354	17.1.1	Der PC	422
12.5	Beispiel Motorenmontage	356	17.1.2	Objektorientierte Software	425
12.5.1	Logistik und Layout	356	17.1.3	Steuern mit PC	428
12.5.2	Wareneingang	357	17.1.4	Schaltplanerstellen mit FluidSIM	433
12.5.3	Montage des Basismotors	358	17.1.5	Steuern und Regeln mit FluidSIM	434
13	Qualitätsmanagement		17.2	Kommunikationstechnik	435
13.1	Qualität	359	17.2.1	Lokale Kommunikation	435
13.1.1	Qualitätsmerkmale	360	17.2.2	Lokale Netze (LAN)	437
13.1.2	Fehler	360	17.2.3	Feldbussysteme	439
13.2	Ziele des Qualitätsmanagements	361	17.2.3.1	CAN-Bus	439
13.3	TQM – Total Quality Management	361	17.2.3.2	PROFIBUS, PROFIBUS-DP	440
13.4	Qualitätskreis und Qualitätspyramide	362	17.2.3.3	Aktor-Sensor-Interface (AS-i)	441
13.5	Aufbau und Elemente eines Qualitätsmanagementsystems	363	17.2.3.4	IO-Link	443
13.5.1	Aufbauorganisation	363	17.2.4	Serielle Schnittstelle V.24	444
13.5.2	Ablauforganisation	364	17.2.5	Serielle Schnittstelle RS 485	446
13.5.3	DIN EN ISO 9000	364	18	Aufgaben und Übungen	
13.5.4	Zertifizierung	366	18.1	Aufgaben und Übungen zur Pneumatik	447
13.6	Statistische Qualitätslenkung	366	18.2	Aufgaben und Übungen zur Hydraulik	452
13.6.1	Prozessanalyse	367	18.3	Aufgaben und Übungen zu GRAFCET	454
13.6.2	Qualitätsregelkarten	369	18.4	Aufgaben und Übungen zur SPS	455
13.6.3	Maschinen- und Prozessfähigkeit	370	18.5	Aufgaben und Übungen zur Regelungstechnik	468
14	Instandhaltung und Energieeffizienz		18.6	Aufgaben und Übungen zu elektrischen Antrieben	470
14.1	Instandhaltung	371	18.7	Aufgaben und Übungen zur CNC-Technik	471
14.1.1	Begriffe	371	Verzeichnis der Sachworte und der Personen	472	
14.1.2	Wartung	374	Quellenverzeichnis	480	
14.1.3	Inspektion	378			
14.1.4	Instandsetzung	380			
14.1.5	Inbetriebnahme	381			
14.1.6	Fehlersuche	383			
14.1.7	Reparatur	384			
14.2	Condition-Monitoring (Zustandsbedingte Instandhaltung)	385			
14.3	Energieeffizienz	389			

1 Einführung

Damit Maschinen und Anlagen selbsttätig, also automatisch, arbeiten können, werden sie mit Steuerungs-, Regelungs- und Leittechniken ausgerüstet. Diese Einrichtungen sind mechanische, elektrische, pneumatische und hydraulische Antriebe und Steuerungselemente. Mit Computern steuert man komplexe Fertigungseinrichtungen und Produktionsanlagen. Mikroprozessoren und Mikrocomputer und Industrie-PC sind heute häufig Bestandteil auch kleinster Steuerungsbaugruppen. Die Begriffe der Leittechnik, Steuerungstechnik und Regelungstechnik sind in DIN IEC 60050-351 „Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 351: Leittechnik“ festgelegt (Gesamtumfang 194 Seiten).

1.1 Steuern, Steuerung

Das Steuern ist ein Vorgang, bei dem eine Anlage oder ein Gerät durch Steuersignale beeinflusst wird. Kennzeichnend für das Steuern ist der **offene Wirkungsweg** der Signale.

Die Steuersignale wirken von dem Steuergerät auf die Anlage oder Maschine ohne ein fortlaufendes Erfassen und Korrigieren des Steuerungsvorgangs (**Bild 1**). Bei einer Vorschubsteuerung wird der Maschinentisch über einen Antrieb bewegt. **Stellsignal** ist die Motorspannung U_M für den Vorschubmotor. Dieser bildet zusammen mit dem Maschinentisch die **Steuerstrecke**. **Steuergröße** ist der Vorschubweg s , den der Maschinentisch zurücklegt.

Der Begriff Steuerung wird auch für die Gesamtanlage verwendet, in der der Vorgang des Steuerns stattfindet. Im Wirkungsplan wird das Zusammenwirken der einzelnen Steuerungsbaugruppen mit **Blocksymbolen** und **Wirkungslinien** dargestellt. Die Wirkungsrichtung kennzeichnet man mit Pfeilen.

1.1.1 Analoge, binäre und digitale Steuerungen

Nach der Art der Signaldarstellung unterscheidet man analoge Steuerungen, binäre Steuerungen und digitale Steuerungen.

Bei **analogen Steuerungen** steuert man überwiegend mit stetig wirkenden Signalen, die ein analoges Abbild der Steuergröße sind.

Beispiel. Der Bewegungszyklus eines Maschinentisches soll über eine Kurvenscheibe gesteuert werden (**Bild 2**). Die zu steuernde Größe ist der Weg s des Maschinentisches. Er wird unter Berücksichtigung des Getriebes auf den entsprechenden Radius der Kurvenscheibe umgerechnet. Der Radius der Kurvenscheibe ist analog zur Steuergröße, dem Weg s . Wird die Kurvenscheibe gedreht, bewegt sich der Maschinentisch zyklisch vorwärts und rückwärts.

Die wichtigsten Bauelemente analoger Steuerungen sind **Kurvenscheiben, Getriebe, Ventile, Motoren, analoge Sensoren** und **Operationsverstärker**.

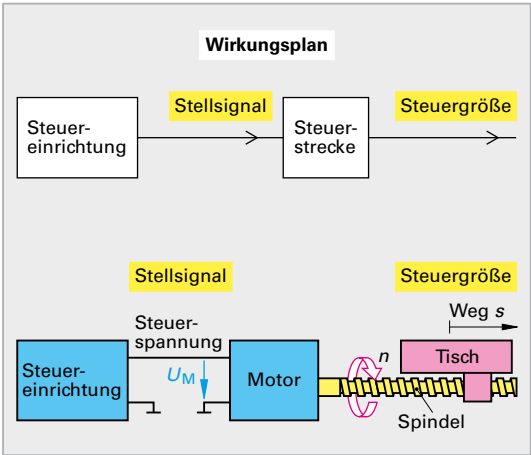


Bild 1: Prinzip einer Steuerung am Beispiel einer Vorschubeinrichtung

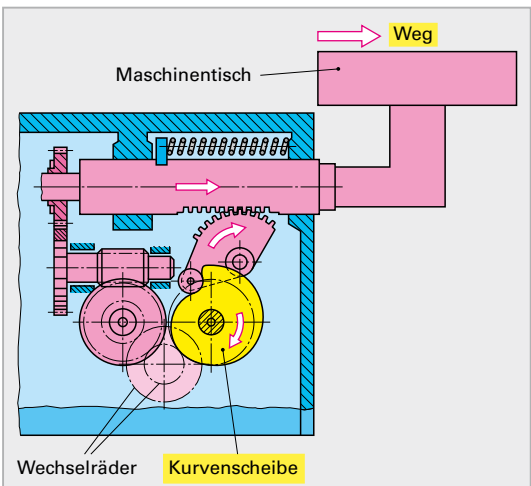


Bild 2: Analoge Steuerung eines Maschinentisches

Bei binären Steuerungen steuert man mit binären, d.h. zweiwertigen Signalen.

Binäre Signale werden durch zwei verschiedene Werte oder Zustände dargestellt, z.B. durch EIN und AUS, durch SCHWARZ und WEISS oder STROMLEITEND und STROMNICHTLEITEND oder einfach durch 0 und 1. Die meisten Steuerungen arbeiten mit Schaltsignalen und sind somit binäre Steuerungen.

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

Die wichtigsten Bauelemente binärer Steuerungen sind **Relais, Schaltventile, Dioden** und binäre **elektronische Schaltkreise**.

Bei **digitalen Steuerungen** steuert man mit Zahlen.

Die Steuersignale sind meist binär verschlüsselt (codiert). Die einfachste Codierung ist der **Zählcode**. Dabei werden entsprechend der darzustellenden Zahl Impulse erzeugt und beim Empfänger gezählt.

Beispiel. Ein Vorschubtisch soll um einen durch Zahlen bestimmbaren Weg zyklisch vor und zurück bewegt werden. Die digitale Steuerung erzeugt abgezählt und abwechselnd Impulse zur Rechtsdrehung und zur Linksdrehung eines Schrittmotors (**Bild 2**). Die Impulszahl und damit der Verfahrensweg kann an einem Vorwahlschalter eingestellt werden (**Bild 3**). Mit jedem Impuls wird der Schrittmotor genau um einen Winkelschritt (Inkrement) gedreht und damit der Maschinentisch um einen Wegschritt weiterbewegt. Ein solcher Wegschritt ist die kleinste ausführbare Bewegung und entspricht dem niederwertigsten Ziffernschritt am Vorwahlschalter. Je nach Wahl des Getriebes, des Schrittmotors und der Spindelsteigung entspricht ein solcher Wegschritt z.B. 0,1 mm. Im Unterschied zur analogen Steuerung sind Stell- und Steuergröße unstetig.

Die wichtigsten Bausteine digitaler Steuerungen sind Mikrocontroller, programmierbare Schaltkreise (FPGAs¹, **Bild 4**), digitale Sensorsysteme und digitale Netze.

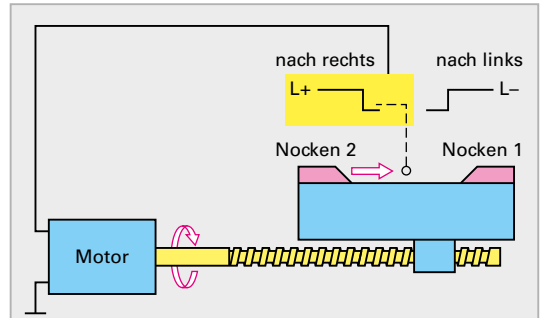


Bild 1: Binäre Steuerung eines Vorschubantriebs (Pendeln)

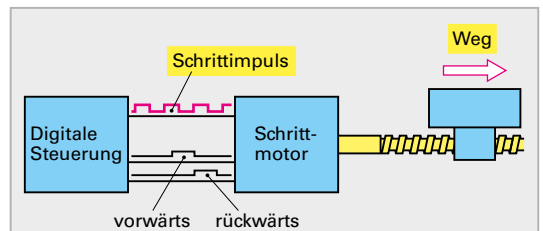


Bild 2: Digitale Vorschubsteuerung mit Schrittmotor

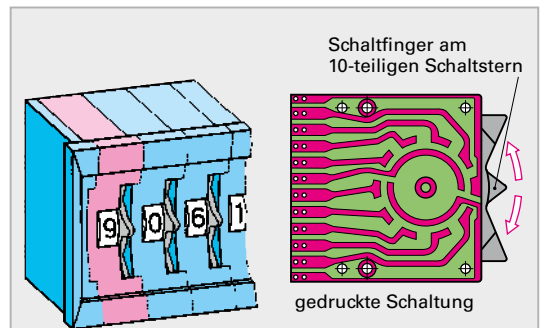


Bild 3: Elektromechanischer Vorwahlschalter

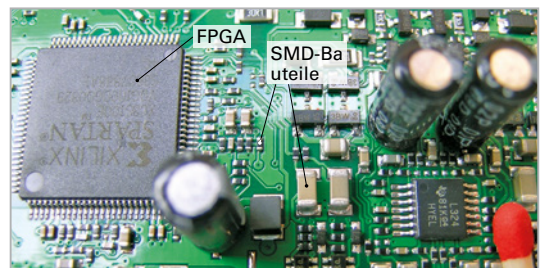


Bild 4: Digitalbaugruppe mit FPGA

¹ FPGA, Kunstwort für *Field Programmable Gate Array* = programmierbare logische Schaltung

1.1.2 Verknüpfungssteuerungen und Ablaufsteuerungen

Nach Art der Signalverarbeitung unterscheidet man Verknüpfungssteuerungen (kombinatorische Steuerungen) und Ablaufsteuerungen (sequenzielle Steuerungen).

Bei **Verknüpfungssteuerungen** entsteht die Steuergröße durch Verknüpfung (Kombination) mehrerer Signale.

Z.B. darf eine Drehmaschine nur anlaufen, wenn die Schutztüre geschlossen ist UND das Werkstück im Spannfutter gespannt ist (**Bild 1**).

Verknüpfungssteuerungen sind binäre Steuerungen. Man entwickelt sie mithilfe der **Schaltalgebra**. Die Darstellung erfolgt durch schaltalgebraische Gleichungen, Kontaktpläne, Funktionstabellen und Funktionspläne.

Bei **Ablaufsteuerungen** werden die Steuerungsvorgänge schrittweise ausgelöst. Das Weiterschalten von einem Schritt zum nächsten erfolgt entweder zeitabhängig oder prozessabhängig.

Bei **zeitabhängigen Ablaufsteuerungen** steuern Taktgeber, Zeitschaltuhren oder Zeitrelais den Ablauf. Ein einfaches Beispiel für eine zeitabhängige Ablaufsteuerung ist die Steuerung für den automatischen Anlauf von Drehstrommotoren über eine Stern-Dreieck-Anlassschaltung. Zunächst wird der Motor in Sternschaltung hochgefahren und nach Ablauf der geschätzten Hochlaufzeit zusätzlich einer Zeitreserve in Dreieckschaltung umgesteuert. Danach ist der Motor betriebsbereit (**Bild 2**). Dargestellt werden Ablaufsteuerungen in Form von Funktionsplänen.

Bei **prozessabhängigen Ablaufsteuerungen** wird das Weiterschalten von einem Schritt zum nächsten durch den Prozess selbst ausgelöst. Im Falle einer Anlassschaltung für Drehstrommotoren benötigt man einen Sensor für den Betriebszustand „Leerlaufdrehzahl erreicht“. Ist die Leerlaufdrehzahl erreicht, wird automatisch auf Dreieckschaltung umgeschaltet (**Bild 3**). Ablaufsteuerungen stellt man mit Funktionsplänen bzw. Programmablaufplänen (GRAFCET, EN 60848) oder aber mit Zustandsdiagrammen (VDI 3260) dar, wenn das Weiterschalten von einem Weg abhängt.

Prozessabhängige Ablaufsteuerungen sind grundsätzlich zeitabhängigen Ablaufsteuerungen vorzuziehen, da bei Störungen der Ablauf unterbrochen wird oder funktionsgerecht langsamer weiterläuft.

Bei z.B. unerwartet stark belastetem Drehstrommotor wird erst dann in die Dreieckschaltung umgeschaltet, wenn eine hinreichend hohe Drehzahl erreicht ist.

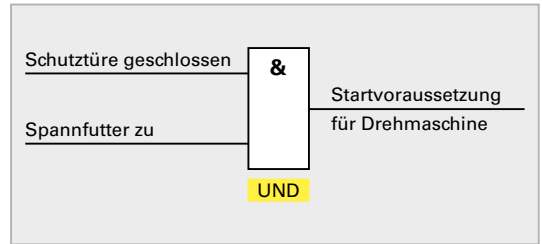


Bild 1: Beispiel einer Verknüpfungssteuerung

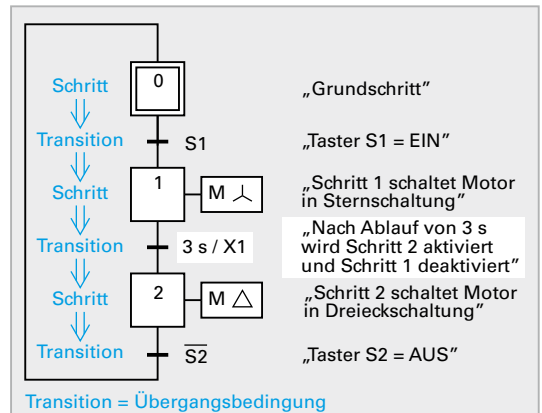


Bild 2: Funktionsplan einer zeitabhängigen Anlassschaltung

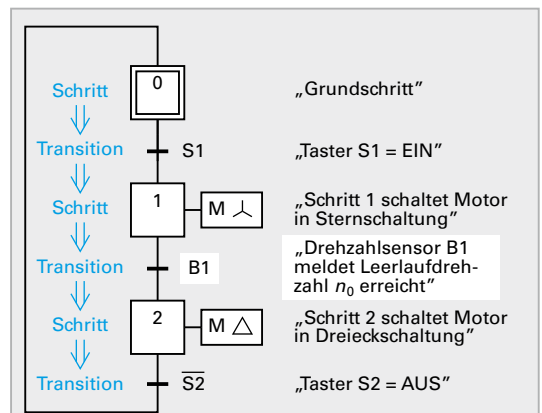


Bild 3: Funktionsplan einer prozessabhängigen Schaltung

1.1.3 Verbindungsprogrammierte Steuerungen und speicherprogrammierte Steuerungen

Steuerungen werden auch nach der Art der Programmverwirklichung eingeteilt. Man unterscheidet verbin- dungsprogrammierte Steuerungen (VPS) und speicherprogrammierte Steuerungen (SPS) (Tabelle 1).

Bei **verbin- dungsprogrammierten Steuerungen (VPS)** bestimmen die Leitungsverbindungen, z. B. die Verdrahtung, den Programmablauf.

Wenn keine Programmänderungen vorgesehen sind, nennt man diese Steuerungen **festprogram- miert**, sonst **umprogrammierbar**. Das Umpro- grammieren kann z. B. durch den Tausch von Programmsteckern (mit anderer Verdrahtung) erfolgen.

Speicherprogrammierte Steuerungen (SPS) ent- halten einen elektronischen Programmspeicher, der frei programmiert werden kann.

Das Programm kann über einen PC erstellt und in die Steuerung übertragen werden. Die Pro- gramme sind austauschbar und können schnell geändert werden. SPS sind meist bei Maschi- nensteuerungen eingesetzt. Es werden z. B. bei Transferstraßen die Zustellbewegungen einzel- ner Maschinen mit SPS gesteuert. SPS sind als Mehrprozessorsteuerungen mit hochleistungs- fähigen Mikroprozessoren aufgebaut. Über digi- tale Netze können SPS zusammengeschlossen werden und Daten austauschen. Über Kommuni- kationsschnittstellen können SPS aus der Ferne, z. B. über das Internet, beobachtet und mit neuer Software ausgestattet werden.

Tabelle 1: Programmverwirklichung

Art		Beispiel
Verbindungs- programmiert VPS	fest- programmiert	Relaissteuerung
	umprogrammier- bar	Programm- steuerung mit Steckerfeld
Speicher- programmiert SPS	austausch- programmierbar	SPS mit EPROM ¹
	frei- programmierbar	SPS mit EE- PROM ² oder 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

1.2 Regeln, Regelung

Das Regeln bzw. die Regelung ist ein Vorgang, bei dem die zu regelnde Größe (**Regelgröße**) fort- laufend erfasst und so beeinflusst wird, dass sie sich der gewünschten Größe (**Führungsgröße**) angleicht.

Man unterscheidet **Festwertregelungen** und **Fol- geregelungen**.

Beispiel für eine Festwertregelung. In einem Här- teofen soll die Temperatur auf einem gleichblei- benden Wert (**Festwert**) gehalten werden (**Bild 1**). Dieser Wert ist die Führungsgröße. Die Tempe- ratur ist die Regelgröße. Zur Regelung kann ein Dehnstab verwendet werden, der sich je nach Höhe der Ofentemperatur verlängert oder ver- kürzt. Dieser Dehnstab ist über eine Stellschraube mit dem Schieber fest verbunden. Mit der Stellschraube kann die Stellung des Schiebers in Bezug auf den Dehnstab verändert werden. Wird der Härteofen angefahren, verlängert sich der Dehnstab mit steigender Temperatur und der Schieber drosselt die Brenngaszufuhr. Sinkt die Ofentemperatur, verkürzt sich der Dehnstab und der Schieber öffnet die Brenngaszufuhr, damit die Ofentemperatur wieder steigt.

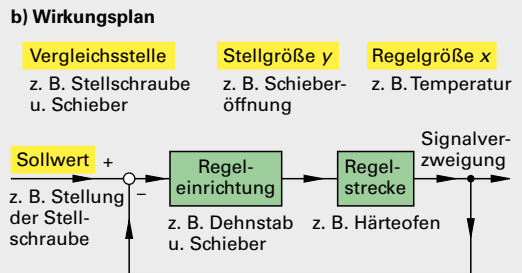
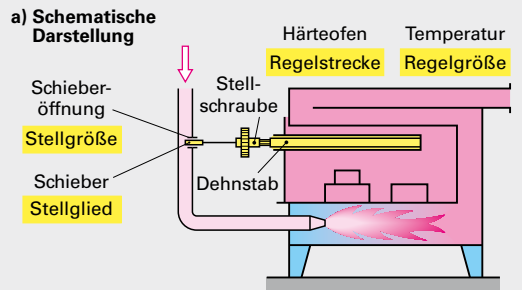


Bild 1: Historische Regelung eines Härteofens