

Kapitel 3: Steuerungssysteme

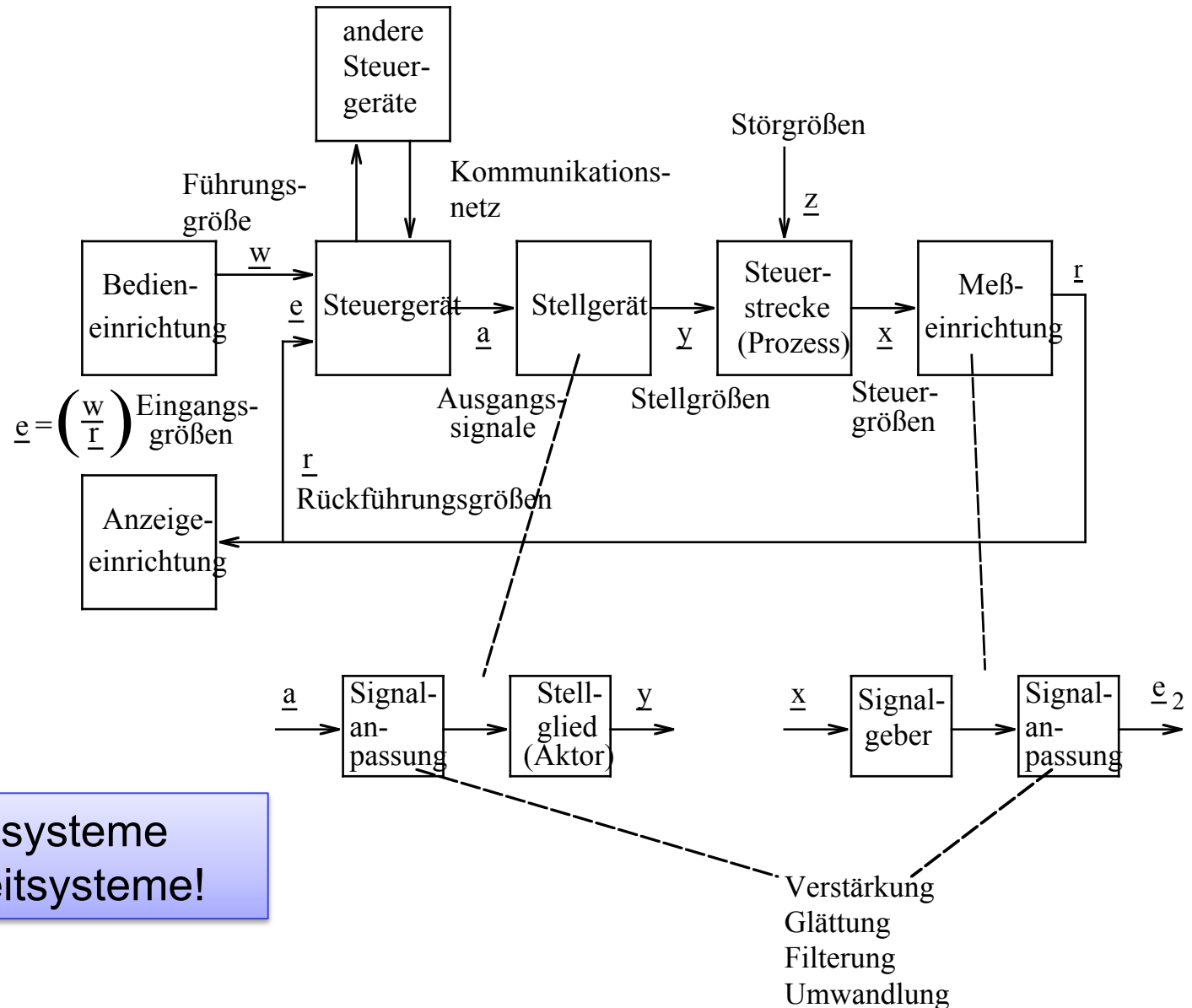
3.1 Grundbegriffe

3.2 Formen von Steuergeräten

3.3 Systematische Entwicklung von Steuerungen

3.4 Ein erstes Beispiel: Steuerung Werktor

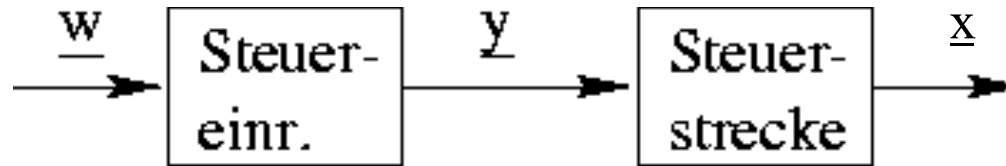
Elemente eines Steuerungssystems



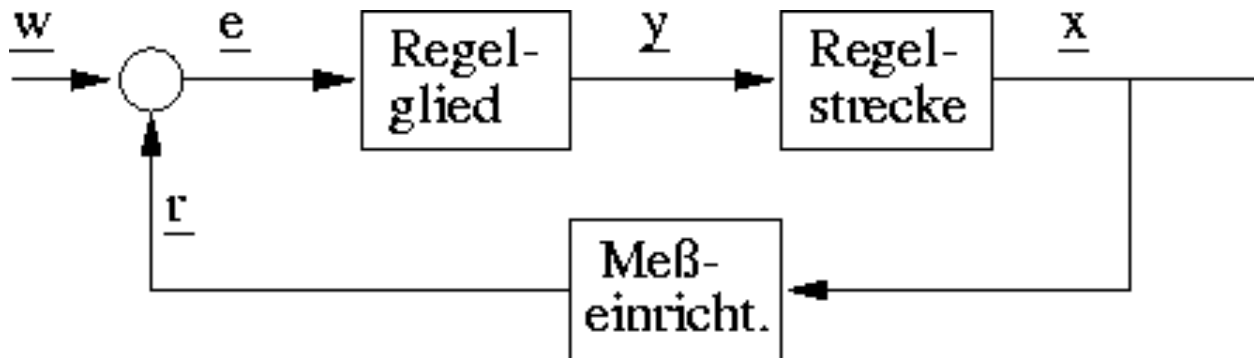
**Steuerungssysteme
sind Echtzeitsysteme!**

Steuerung und Regelung

Offener und geschlossener Wirkungsablauf nach DIN19221 und 19226.



Die Rückführung der Steuergrößen zum Steuergerät, wie sie z.B. für Ablaufsteuerungen notwendig ist, bezeichnet man als geschlossene Steuerung.



Von Regelung spricht man nur, wenn der Wert der kontrollierten Größe fortlaufend mit dem Wert der zugeordneten Führungsgröße verglichen wird, mit dem Ziel, Abweichungen sofort auszugleichen.

Klassifizierung von Steuerungen

Unterscheidung nach Art der Signalverarbeitung:

- **synchrone Steuerung** (Taktsignal $\underline{a}(kt)$, $\underline{e}(kt)$)
- **asynchrone Steuerung** (ereignisdiskretes System)
- **Verknüpfungssteuerung** (kombinatorisches System $\underline{a}=f(\underline{e})$)
- **Ablaufsteuerung** (sequentielle Automaten $\underline{a}=f(\underline{e},\underline{s})$)

Vergleich synchrone und asynchrone
Programmierung bei Echtzeitsystemen.

Unterscheidung nach Informationsdarstellung

analoge Steuerung:

stetig wirkende Funktionsglieder

Beispiel: Steuerung der Gitterspannung einer Verstärkerröhre durch den Anodenstrom.

binäre Steuerung:

keine Zahlen oder Codes, Verwendung von Verknüpfungs-, Zeit- und Speichergliedern

Beispiel: Elektromechanische Steuerung mit Schalter, Relais, Lampen usw.

digitale Steuerung:

Zahlen und Codes, Verwendung von Zählern, Rechenwerken, Registern usw.

Beispiel: Steuerung mit digitalisierten Signalwerten, Zugriff über Geräteadressen, Benutzerdialoge usw.

Unterscheidung der zu steuernden Prozesse

Fließprozesse:

zeit- und ortsabhängige, kontinuierliche Prozessgrößen wie Temperatur, Druck, usw.

→ Differentialgleichungen

Beispiele: Heizungsanlagen, Energieversorgung in Kraftwerken

Folgeprozesse:

diskrete Prozessgrößen und Folge von Ereignissen, wie Schalterstellung

→ Boolesche Funktionen, Automaten

Beispiele: Fahrstuhl, Fertigungsmaschine, Waschmaschine

Stückprozesse:

einzelne, identifizierbare Objekte (Stücke), Veränderungen im Ort und Zustand

→ Stellen-/Transitionsnetze

Beispiele: Lagerhaltung, Paketverteilanlagen, Montage

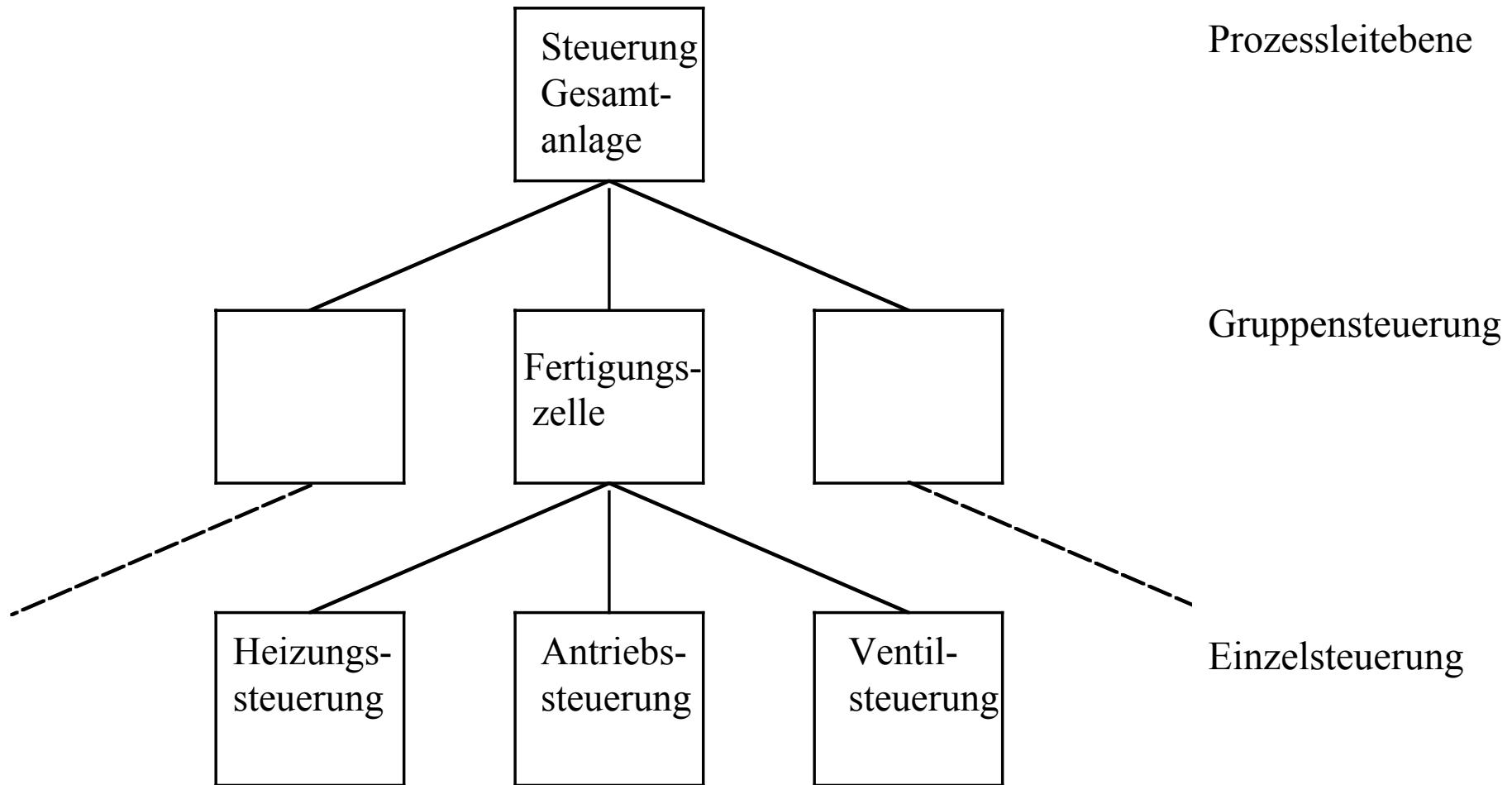
Chargenprozesse:

kontinuierliche Vorgänge, die in diskreten Zeitabständen ablaufen

→ Automaten und Differentialgleichungen

Beispiele: Brauerei, Gießerei, Produktion von Fertiggerichten, Kläranlagen

Hierarchisch organisierte Steuerung



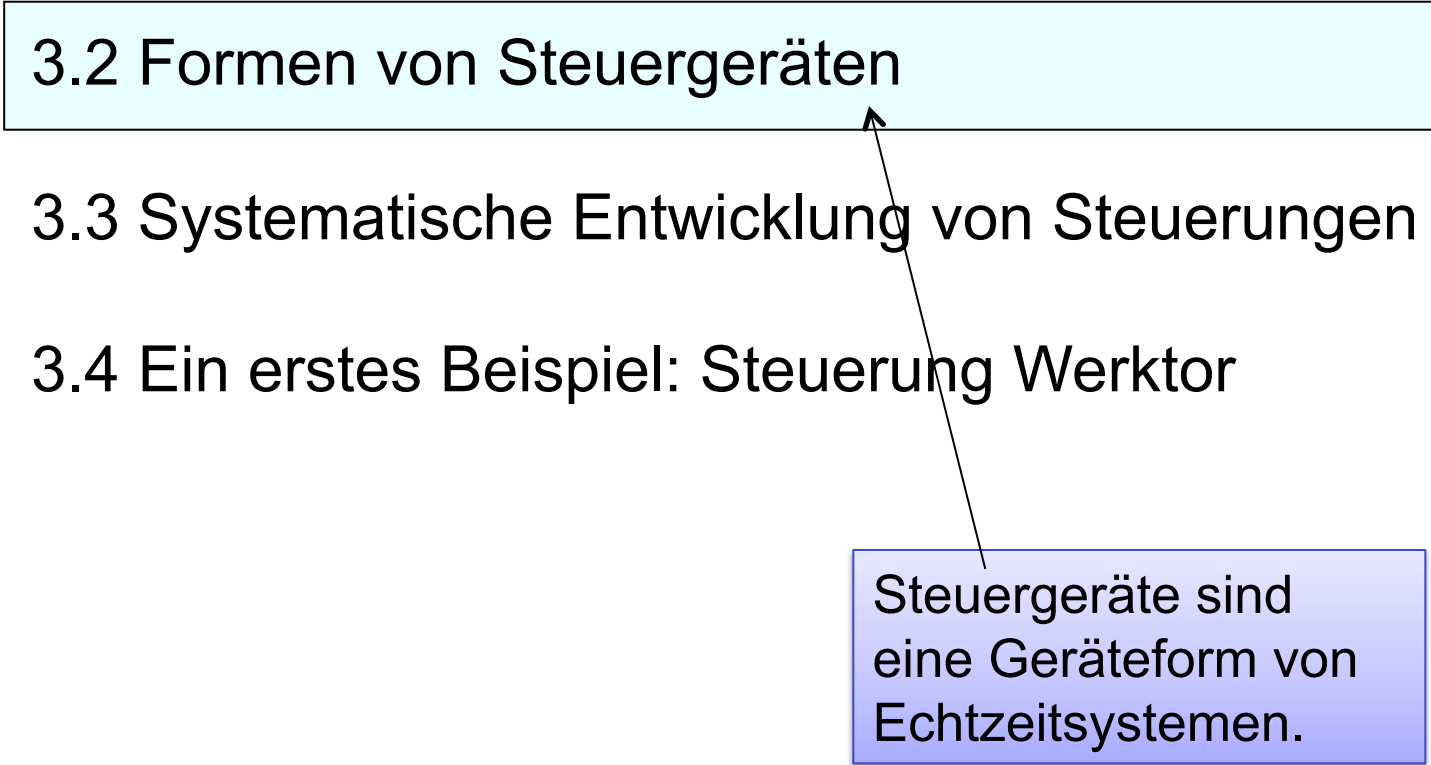
Kapitel 3: Steuerungssysteme

3.1 Grundbegriffe

3.2 Formen von Steuergeräten

3.3 Systematische Entwicklung von Steuerungen

3.4 Ein erstes Beispiel: Steuerung Werktor



Steuergeräte sind
eine Geräteform von
Echtzeitsystemen.

SPS-Automatisierungsgerätes

Modularer Aufbau:

- Netzgerät (Stromversorgung)
- Verarbeitungseinheit (CPU)
- Digital I/O
- Analog I/O
- Feldbus-Schnittstelle
- Programmiergerät (heute: PC)

Programmierung nach IEC 61131:

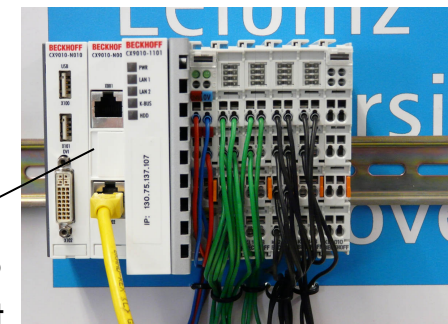
Programmierung in verschiedenen Sprachen
möglich: AWL, ST, KOP, AS, FBS

Standardisierte Betriebsarten:

- Neustart bei Initialisierung
- Warmstart bzw. Wiederanlauf bei Störung
- Automatikbetrieb
- Einzelschritt bzw. Tippbetrieb



CPU mit:
Steuer- und Rechenwerk,
Akku, Programmspeicher,
Merkern, Zeitgliedern,
Zählern, Prozessabbild
und Bussystem



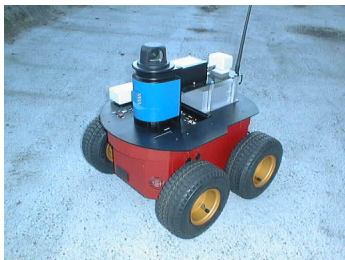
SPS mit Windows XP
Embedded & Echtzeit
Laufzeitumgebung

Eingebettete Steuergeräte

Kleine Automatisierungsgeräte, die in das zu steuernde System baulich integriert sind. Wesentlicher Kern sind leistungsfähige Mikrocontroller (z.B. Intel 8051 oder Siemens 80167) mit denen die Steuerungsfunktionen softwaremäßig in einer höheren Programmiersprache, meist C oder seltener Assembler, realisiert werden. Es bestehen große Anforderungen an die Zuverlässigkeit.

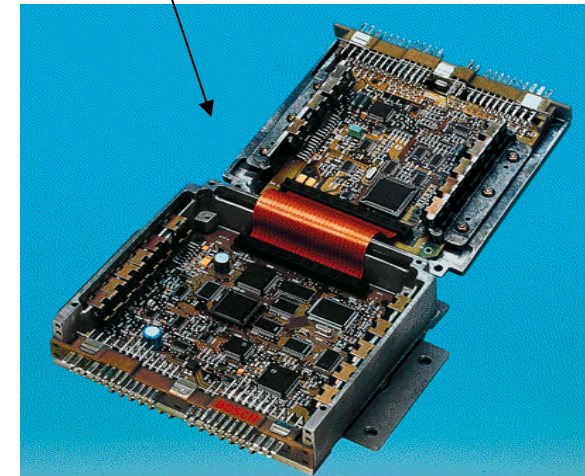
Anwendungsbeispiele:

- KFZ-Steuergeräte für Airbag, ABS oder Motormanagement
Die Steuerungsfunktionen werden zunehmend auf viele Controller verteilt.
- Waschmaschinen, DVD-Player, Hausheizung o.ä.



Experimental-roboter mit eingebettetem Steuergerät

Wegen ihrer sehr großen Stückzahlen sind Komponenten eingebetteter Steuergeräte sehr preiswert bei gleichzeitig hoher Zuverlässigkeit. Sie gewinnen daher im industriellen Bereich zunehmend an Bedeutung und verdrängen traditionelle Technologien.



Steuerung von Industrierobotern

für Montage, Handhabung oder Werkstückbearbeitung

Roboterprogrammierung:

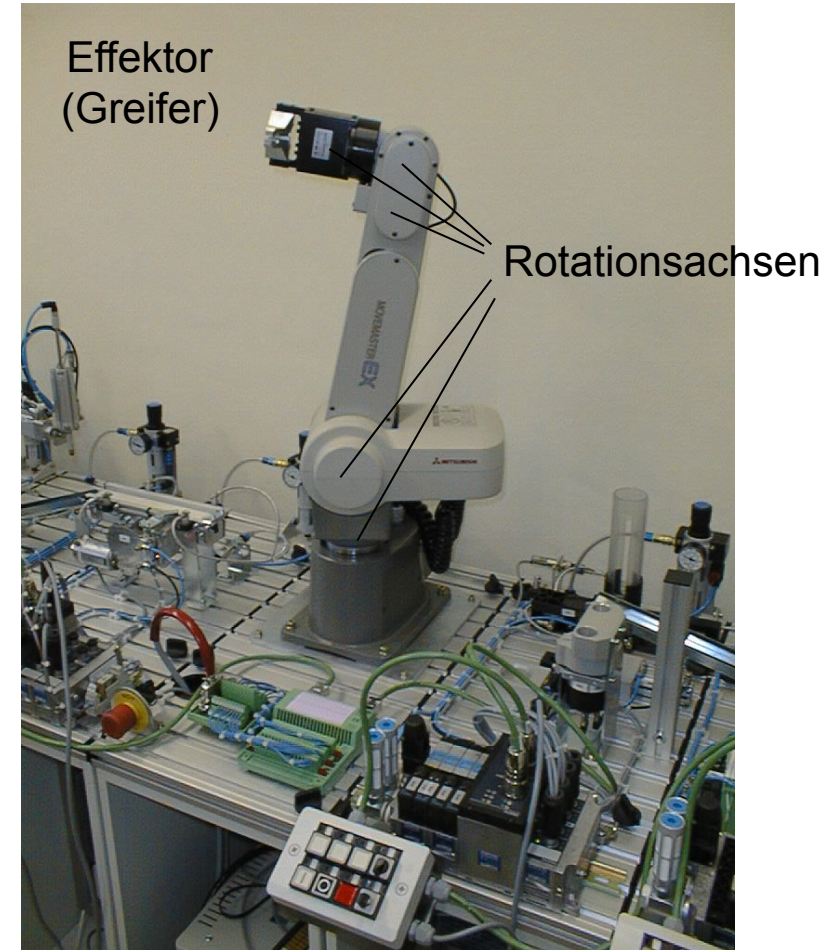
- 1. Teach-In Verfahren:** Interaktive Programmierung von Raumpositionen, Bewegungskurven und Effektoraktionen mit einem mobilen Handprogrammiergerät (Teach-Box).
- 2. Textuelle Programmierung:** Verwendung einer für Robotersteuerung entwickelten höheren Programmiersprache (z.B. MRL oder IRL)
- 3. Kombinierte Verfahren:** Programmierung von Positionen und Teilbewegungen mit der Teach-Box, Anfahren und Ausführung aus einer höheren Programmiersprache heraus.

Man unterscheidet:

PTP Point to Point: **Punktsteuerung** - Die Bewegungsbahn wird unkontrolliert und ohne Funktionszusammenhang durchfahren.

CP Continuos Point: **Bahnsteuerung** - kontrollierte Bewegung entlang einer definierten Bahnkurve.

MP Multipoint: **Vielpunktsteuerung** - Annäherung des Bahnverhaltens durch mehrere Zwischenpunkte.



Mitsubishi Roboter (5 Freiheitsgrade)

Eigenschaften von Industrierobotern

1. Beweglichkeit

Rotationsachsen oder Translationsachsen (Zahl der Freiheitsgrade bestimmt die Beweglichkeit). Die Achsen bestimmen den Arbeitsraum und das zweckmäßige Koordinatensystem :

- kartesisch (z.B. Portalroboter)
- zylindrisch (z.B. Kranroboter)
- kugelförmig (z.B. bei drei Rotationsachsen)

Weitere Einflussfaktoren:

- Traglast
- Auflösung Messsystem
- Gelenkspiel
- Materialkrümmung

2. Effektor

Die Einsatzmöglichkeiten werden durch den Effektor (Greifer, Werkzeug) bestimmt. Die Effektoren werden um aufgabenspezifische Sensoren ergänzt, wie z.B. optische oder taktile Sensoren zur Objekterkennung bzw. zur Bestimmung der am Greifer wirkenden Kräfte.

Zu unterscheiden von
Positioniergenauigkeit

3. Wiederholgenauigkeit

Präzision der Positionierung bei Wiederholung der Bewegung (z.B. 0,5 mm bei 1000 Wiederholungen).

4. Geschwindigkeit

Schnelles Anlaufen und Bremsen, z.B. bewirkt durch Gleichstromservomotoren oder Schrittmotoren usw.

5. Tragkraft, Beschleunigung, Antriebe, Positioniergenauigkeit usw.

Maschinensteuerung

NC - Numerical Control (Lochstreifen)

CNC - Computer Numerical Control (Computer)

DNC – Direct Numerical Control (Netzwerk)

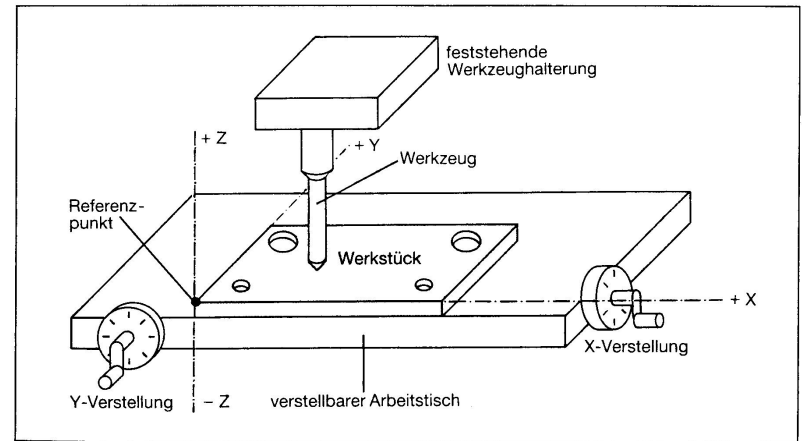
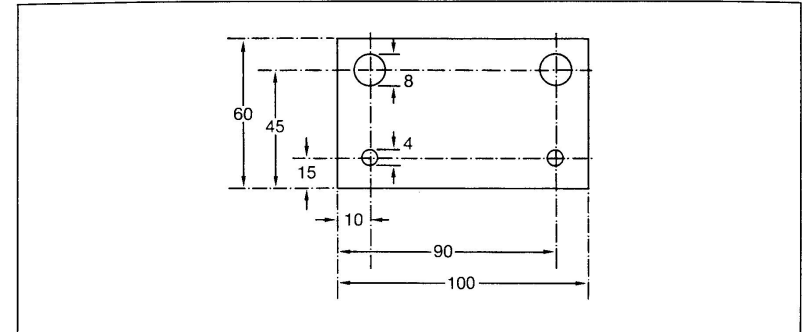
Steuerung von Werkzeugmaschinen zur spanabhebenden Umformung von Rohlingen (Fräsen, Drehen, Bohren), auch in der Holzbearbeitung:

Der NC Programmierer muss die prinzipielle Funktionsweise der Werkstückbearbeitung und das Zusammenspiel zwischen Steuerung und Maschine kennen.

Programmierung in speziellen NC-
Programmiersprachen (EXAPT, ADAPT u.a.).

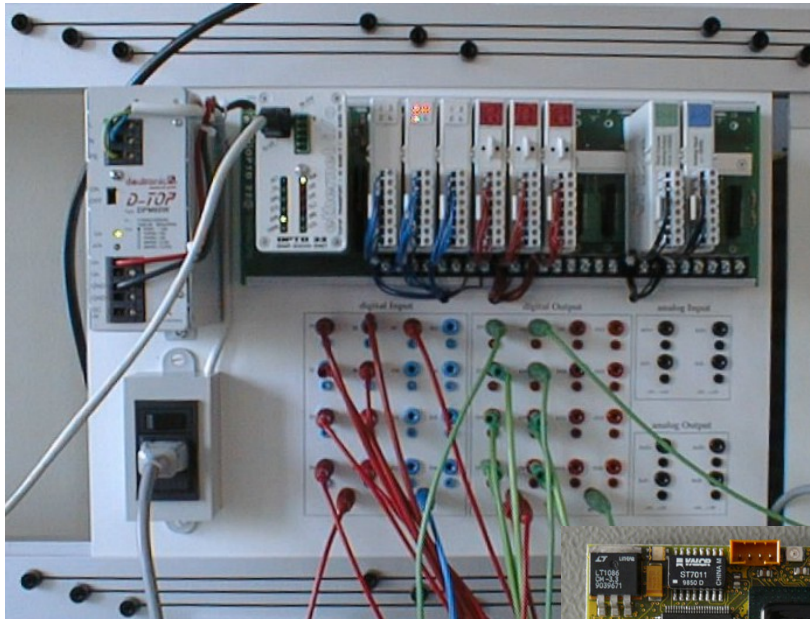
Beispiele:

- Geometriebefehle: P1 = POINT / 15.7, 25, 13
- Bewegungsbefehle: GOTO / P1
- Hilfsbefehle: COOLNT (*Kühlmittel einschalten*)



Satznr.	Wegbe- dingung	Weginformation			Schaltinformationen			Werkzeug	Zusatz
		X	Y	Z	Vorschub	Drehzahl			
N 001	G 00	X 10	Y 15	Z 2	F 1000	S 55		T 01	M 09
N 002				Z 0					
N 003		X 90		Z 2					
N 004				Z 0					
N 005			Y 45	Z 2	F 500	S 30		T 02	
N 006				Z 0					
N 007		X 10		Z 2					
N 008				Z 0					
N 009		X 0	Y 0						M 30

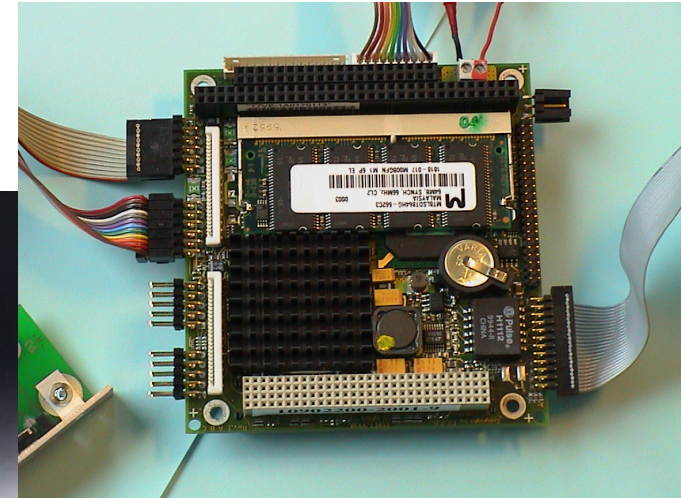
Remote Controller



Opto22

Zugriff auf Steuerungen aus der Ferne für Wartung, Programmierung, Bedienung usw.

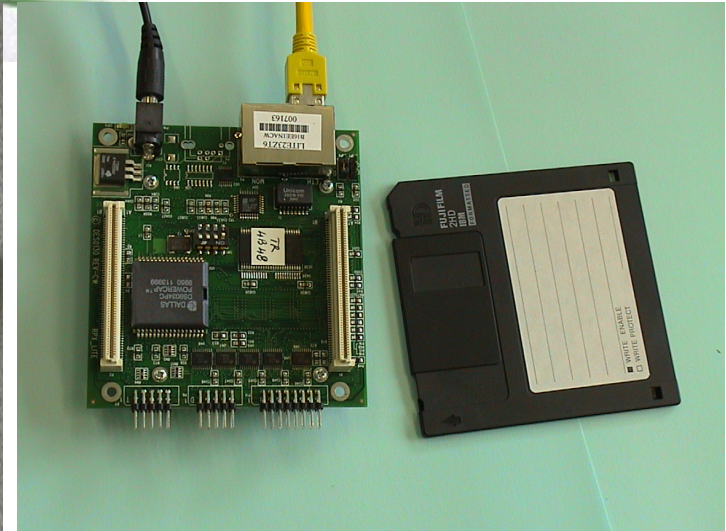
RFC



Pentium mit Linux/RTAI



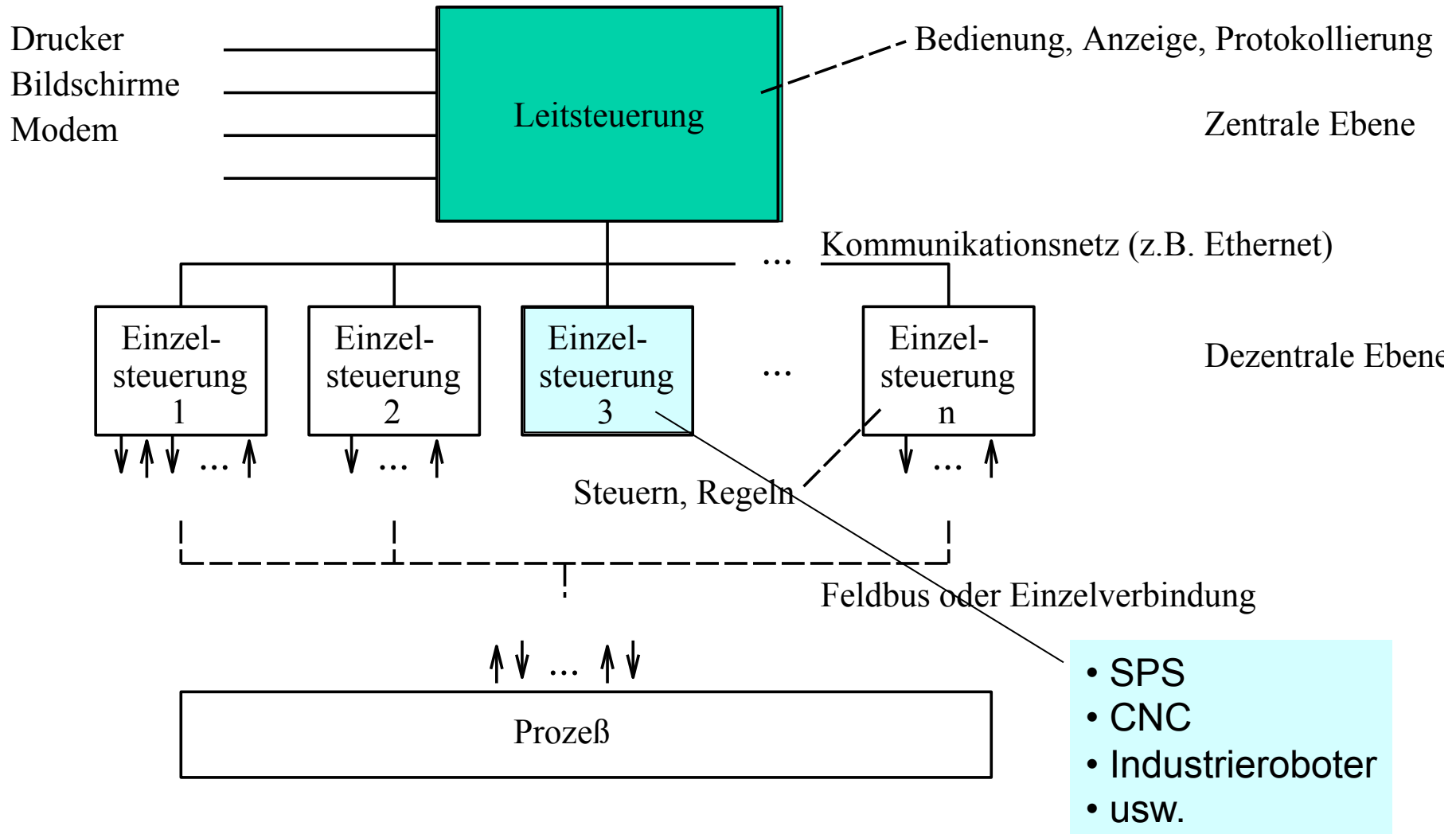
DIMM-PC



Power-PC mit Jbed

Prozessleitsteuerung

(auch: Prozessleitsystem)

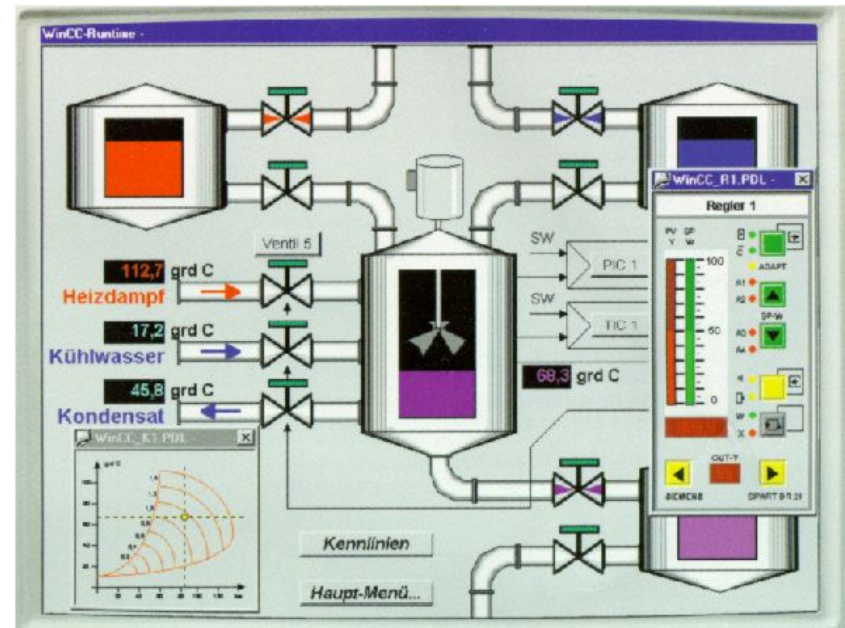


Aufgaben eines Prozessleitsystems (PLS)

Funktionen in Echtzeit

1. **Prozessvisualisierung** auf Bildschirmen
2. Datenauswertung und **Archivierung**
3. **Systemdiagnose**
4. **Bedienung**
5. Systemdokumentation
(Hilfetexte, Reparaturanweisungen ...)
6. **Alarmbehandlung**

Prozessvisualisierung
eines verfahrens-
technischen Prozesses



Alternative Steuergerätetechnologien

Verbindungsprogrammierte Steuerung nach DIN 19237: Steuerung deren Programm durch die Art der Funktionsglieder und durch deren Verbindungen vorgegeben wird.

- Mechanische Steuerung
- Relaissteuerung
- Pneumatische Steuerung
- Hydraulische Steuerung

Heute werden diese Gerätetechnologien häufig mit Speicherprogrammierten Steuerungen oder Mikrocontrollern kombiniert, so dass hybride Steuerungen (Echtzeitsysteme) entstehen.

Verbindungsprogrammierte Steuerungen arbeiten nahezu verzögerungsfrei und sind damit hinsichtlich Ihrer Reaktionsverzögerung Echtzeitsysteme.

Mechanische Steuerungen

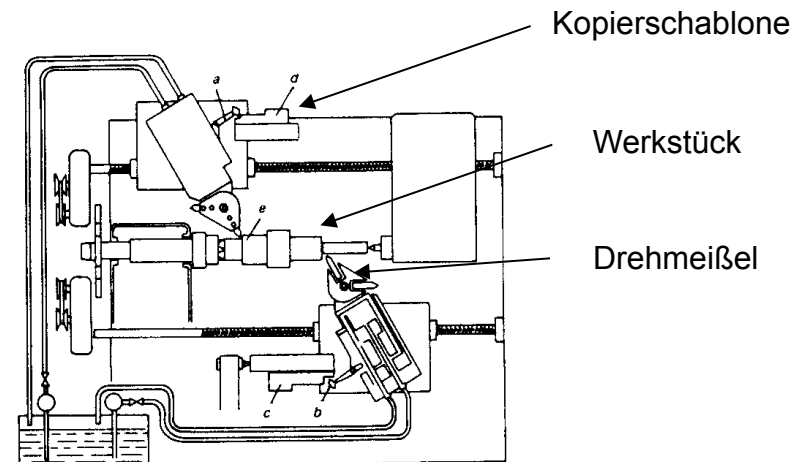
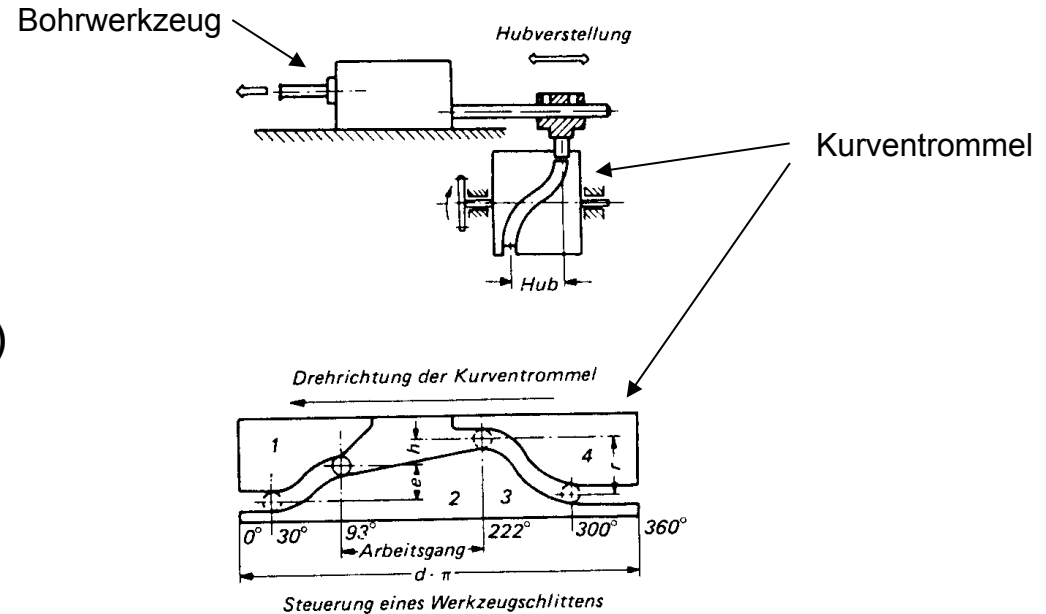
Beispiele:

- Nockenwelle (Taktsteuerung von Verbrennungsmotoren)
- Kurvenscheiben (Steuerung von Vorschüben an Werkzeugschlitten)
- Kopierschablone (Steuerung von Drehwerkzeugen)

Mechanischer Programmspeicher:

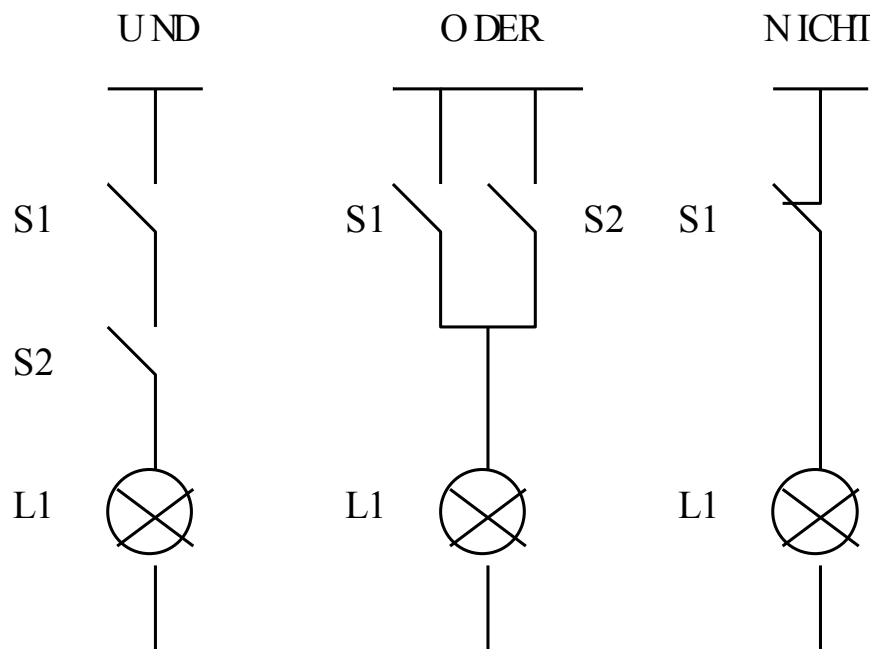
Steuersignale werden gebildet von Kräften und Wegen bzw. deren Änderung:

➔ **Wegplansteuerung:** Führungsgrößen werden von einem Programmgeber geliefert, dessen Ausgangsgrößen vom zurückgelegten Weg eines beweglichen Teils der gesteuerten Anordnung abhängen.



Elektromechanische Steuerung

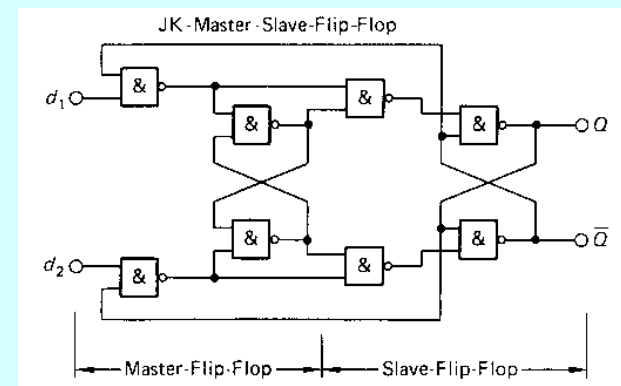
Kontaktbehaftete Geräteelemente (Schütze und Relais), die Steuersignale werden durch Spannungs- bzw. Stromänderungen im offenen bzw. im geschlossenen Stromkreis dargestellt



Stromlaufpläne logischer Grundfunktionen

Weiterentwicklung in Form
„Elektronischer Steuerungen“:

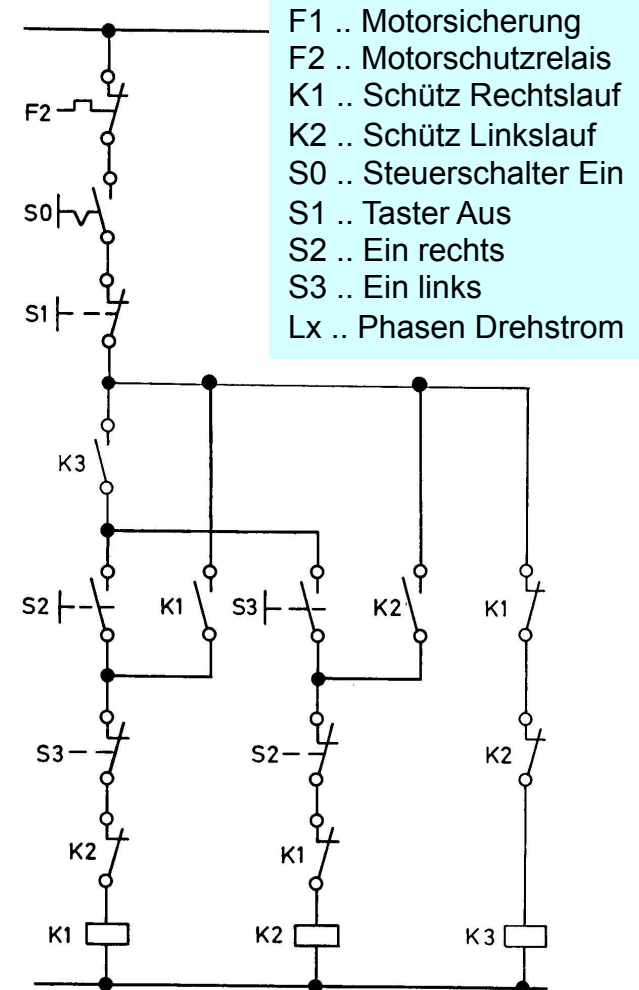
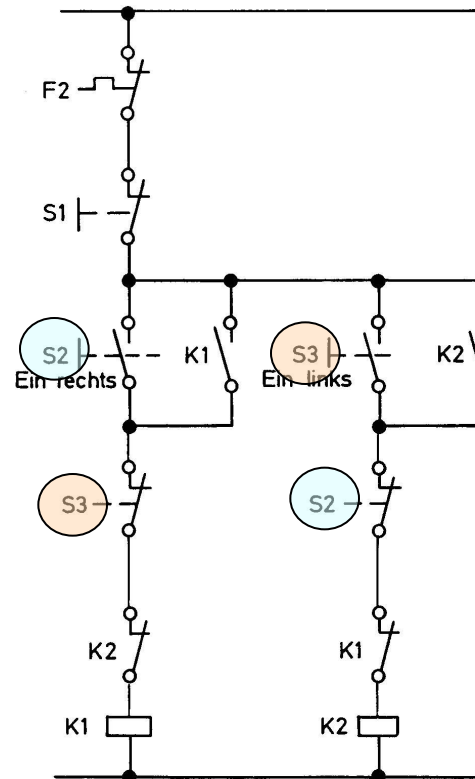
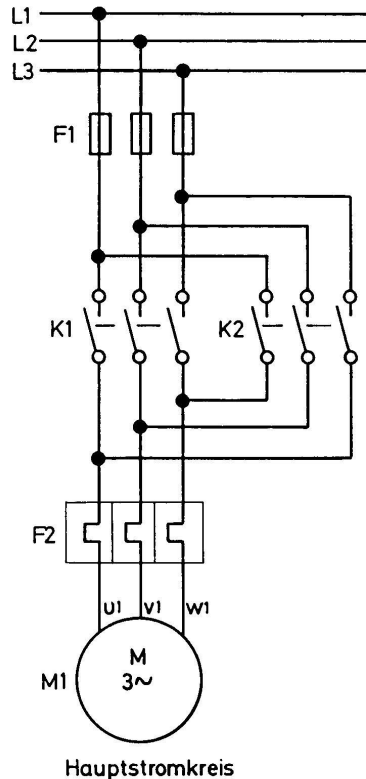
Kontaktloser Aufbau mit elektronischen Schaltkreisen, sogenannte Transistorsteuerungen. Strom- und Spannungsänderungen zwischen definierten Pegeln. Realisierungsformen: TTL-Schaltkreise, ASIC, PAL



Beispiel: Drehstrom-Asynchronmaschine

Drehrichtungsumkehr

Quelle: Böhm, W.: Elektrische Steuerungen. Vogel 1991



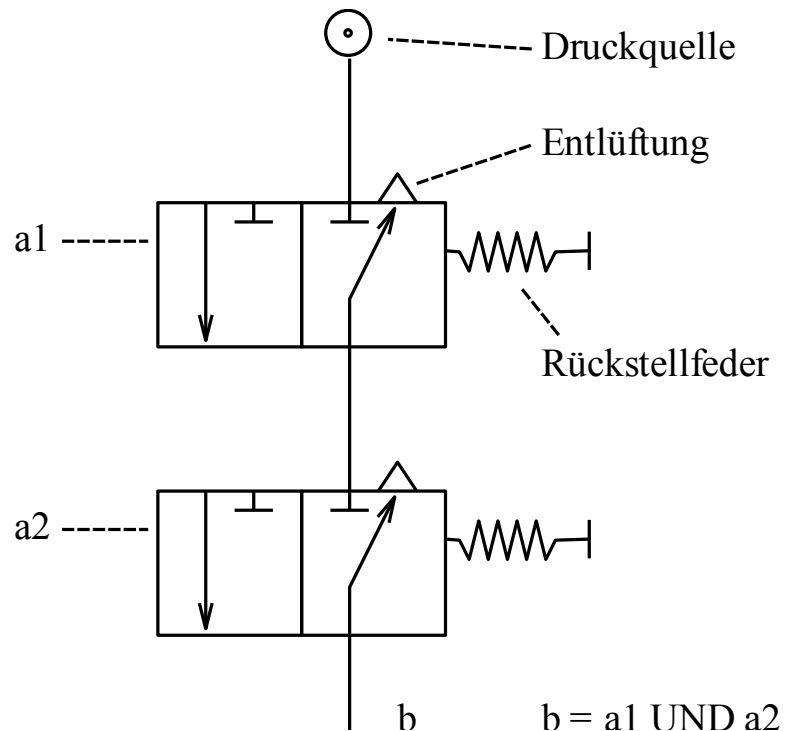
- Übersichtsschaltplan und Stromlaufplan (Haupt- und Steuerstromkreis)
- andere Phasenreihenfolge: 1-2-3 und 3-2-1
- Steuerstromkreis mit gegenseitiger Verriegelung. Kurzschlussgefahr, wenn: Einschalt- < Ausschaltverzögerung
- Steuerstromkreis mit Umschaltverzögerung: kein Kurzschluss durch Addition von Einschalt- und Ausschaltverzögerung.

Pneumatische und hydraulische Steuerung

Gerätetechnik mit Ventilen und Zylindern. Das Medium der Signalübertragung ist Druckluft oder Hydrauliköl.

Eine hochentwickelte pneumatische Steuerungstechnik ist in den Fluidik-Steuerungen entwickelt.

Aufgrund des möglichen, höheren Drucks ($> 100 \text{ bar}$) kann mit Hydraulikzylindern (Linearantrieb) eine sehr große Stellkraft direkt gesteuert werden (Hydromotoren).



Pneumatische UND-Stufe

Kapitel 3: Steuerungssysteme

3.1 Grundbegriffe

3.2 Formen von Steuergeräten

3.3 Systematische Entwicklung von Steuerungen

3.4 Ein erstes Beispiel: Steuerung Werktor

Entwicklung von Steuerungen

Zentrales Ziel bei der Realisierung industrieller Steuerungen ist der zufriedene Auftraggeber bzw. Betreiber der automatisierten Anlage.

Dies wird erreicht durch:

- Erfüllung der funktionalen, qualitativen und zeitlichen Anforderung. Diese müssen präzise, d.h. am besten formal, in Spezifikation beschrieben werden.
- Kostengünstige Realisierung.
- Geringe Folgekosten (Zuverlässigkeit und Wartbarkeit).
- Sicherheit (keine Gefahr für Leben und Sache).
- Vollständige und korrekte Dokumentation für Bedienung, Pflege, Fehleranalyse und Erweiterung.

Projektphasen

1. Aufgabenstellung

(a) Lastenheft (Wunsch, Idee)

verbale Beschreibung, Technologieschema

(b) Pflichtenheft (Lösung, Vertrag)

Grobstruktur, Zuordnungstabelle, Gerätetechnik,
Betriebsarten, Prototypenentwicklung, Validierung

2. Entwurf

(a) Hardware-Entwurf (Schaltplan, Logikplan, ...)

(b) Software-Entwurf (Zustandsgraph, SIPN, PAP, ...)

(c) Entwurf: Bedienung, Visualisierung, Dokumentation ...

3. Realisierung

(a) Bestellung, Verdrahtung und Montage

(b) Programmierung (SPS (ST, AWL,...), Java, PEARL, ...)

4. Test

(a) Testfallentwicklung (systematische Vorgehensweise)

(b) Testdurchführung (mit und ohne technischen Prozess)

5. Inbetriebnahme

(a) Aufbau vor Ort, inkl. Test

(b) Einweisung des Bedien- und Wartungspersonals

6. Nutzung (längste und teuerste Phase)

Systemanalyse

Konzeption

Auftrag

Implementierung
Dokumentation,

Test

Lieferung

Abnahme

Kapitel 3: Steuerungssysteme

3.1 Grundbegriffe

3.2 Formen von Steuergeräten

3.3 Systematische Entwicklung von Steuerungen

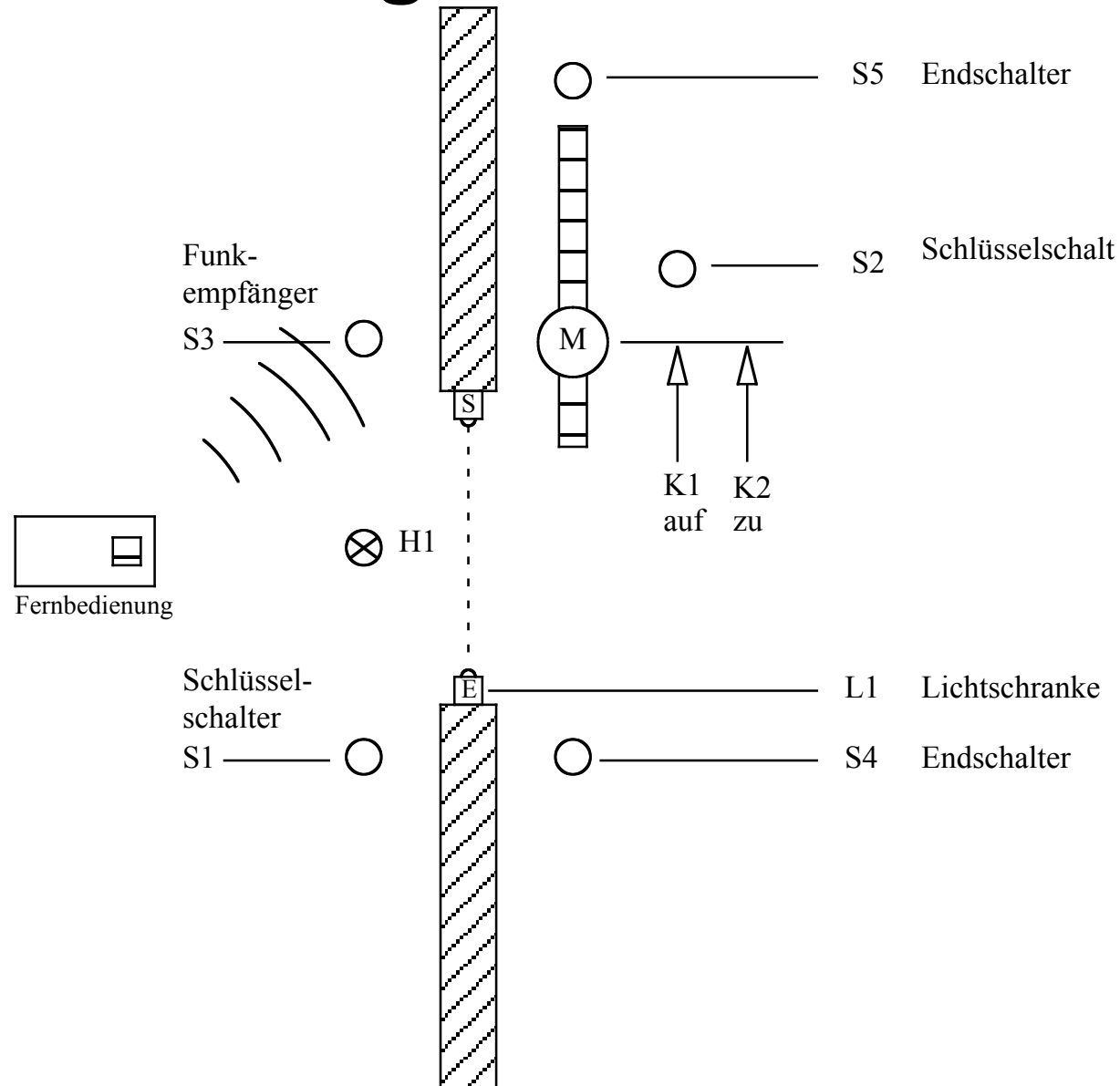
3.4 Ein erstes Beispiel: Steuerung Werktor

Aufgabenstellung Werktor

Technische Anforderungen::

1. Ein Werktor soll mit einem Elektromotor auf und zu gesteuert werden können.
2. Das Werktor kann von außen und innen mit einem Schlüsselschalter geöffnet werden. Zusätzlich steht eine Fernbedienung zur Verfügung, mit der das Tor von außen und innen geöffnet werden kann.
3. Das vollständig geöffnete Tor soll nach Ablauf der Wartezeit von 20 Sekunden automatisch geschlossen werden.
4. Ein seitlich angebrachtes rotes Blinklicht signalisiert nach beiden Seiten das Öffnen bzw. Schließen des Rollentors.
5. Aus Sicherheitsgründen soll eine Lichtschranke montiert werden. Ist die Lichtschranke unterbrochen, darf das Tor nicht geschlossen werden.
6. Der Elektromotor wird über zwei Schütze für den Links- bzw. Rechtslauf angesteuert.
7. Zwei Endschalter signalisieren „Tor offen“ und „Tor geschlossen“.

Technologieschema Werktor



Zuordnungstabelle Werktor

Signal	E/A	Kennz.	logische Zuordnung
Schlüsselschalter außen	E	S1	betätigt S1=1
Schlüsselschalter innen	E	S2	betätigt S2=1
Funkempfänger	E	S3	Code empfangen S3=1
Endschalter Tor zu	E	S4	Tor zu S4=1 *)
Endschalter Tor auf	E	S5	Tor auf S5=1 *)
Lichtschranke	E	L1	unterbrochen L1=1 *)
Blinklicht	A	H1	Licht an H1=1
Motorschütz Tor auf	A	K1	Schütz angezogen K1=1
Motorschütz Tor zu	A	K2	Schütz angezogen K2=1

*) Die logische Zuordnung wird üblicherweise so gewählt, dass im Störfall in Verbindung mit der Logik des Steuerprogramms keine gefährlichen Zustände entstehen (z.B. durch Leitungsbruch)! Im nachfolgenden Programmbeispiel wurde dies nicht vollständig umgesetzt.

Verknüpfungssteuerung

Eine Verknüpfungssteuerung ist eine Steuerung, die den Signalzuständen der Eingangssignale bestimmte Signalzustände der Ausgangssignale im Sinne boolescher Funktionen zuordnet (DIN 19226).

Wertetafel bzw. Funktionstabelle „Öffnen des Werktores“

Eingänge

Ausgänge

S1	S2	S3	S5	K1	H1
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1
0	0	1	0	1	1
:	:	:	:	:	:
1	1	1	1	0	1

Unklare Aufgabenstellung; Präzisierung in formaler Spezifikation erforderlich!

Boolesche Funktion
bzw. Schaltausdruck:

$$K1 = (S1 \vee S2 \vee S3) \wedge \bar{S}5$$

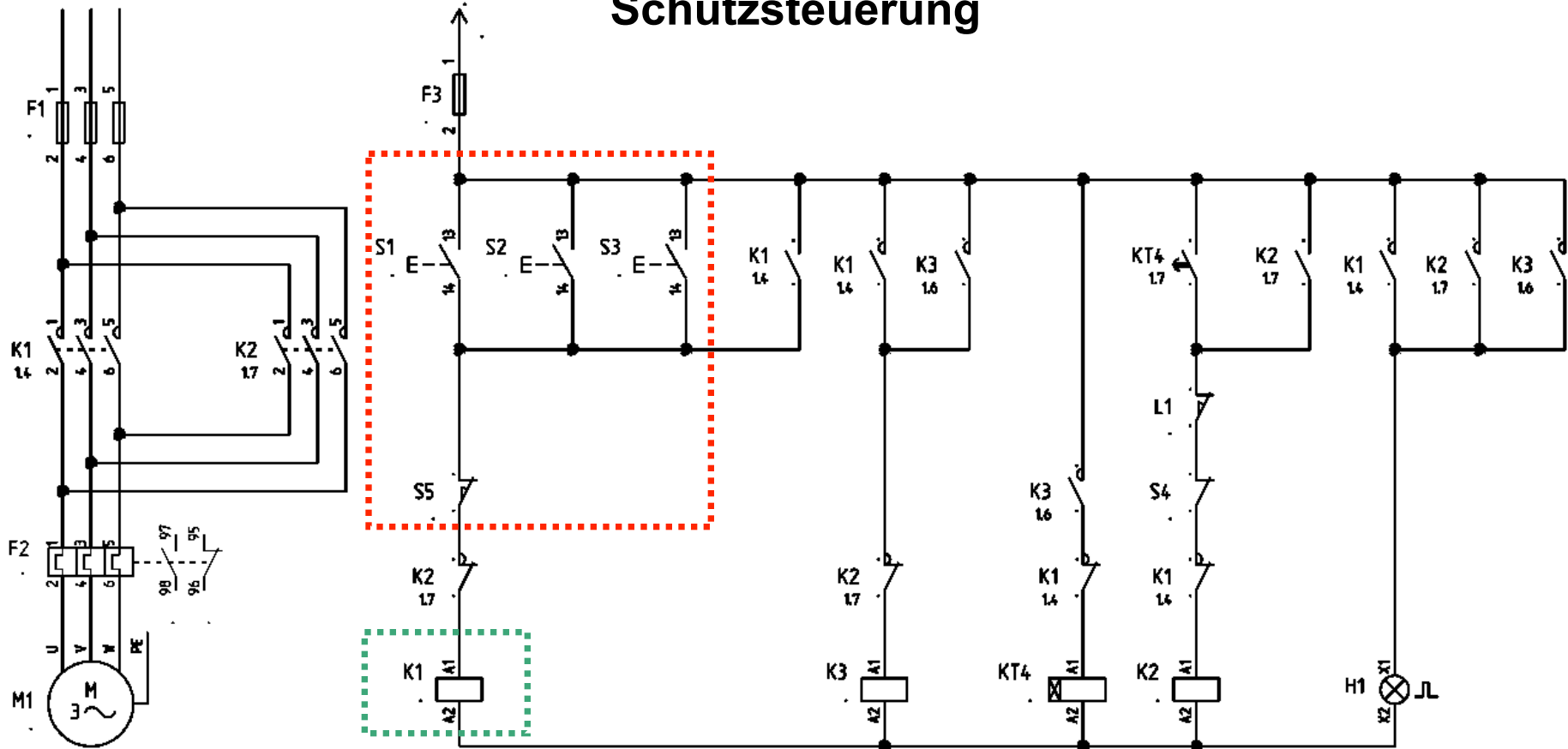
$$H1 = ((S1 \vee S2 \vee S3) \wedge \bar{S}5) \vee (\dots)$$

Öffnen

Schließen

Stromlaufplan Werktor

Schützsteuerung



$$K1 = (S1 \vee S2 \vee S3) \wedge \overline{S5}$$

SPS-Programm (ST)

```
PROGRAM OB1
```

```
VAR (* Eingangssignale *)
```

```
    Tor_Auf AT %IX0.0 : BOOL;
    Tor_Zu AT %IX0.1 : BOOL;
    Schl_Innen AT %IX0.2 : BOOL;
    Schl_Aussen AT %IX0.3 : BOOL;
    Funk AT %IX0.4 : BOOL;
    Lichtschanke AT %IX0.5 : BOOL;
```

```
END_VAR
```

```
VAR (* Ausgangssignale *)
```

```
    Blinklicht AT %QX1.0 : BOOL;
    Motor_Auf AT %QX1.1 : BOOL;
    Motor_Zu AT %QX1.2 : BOOL;
```

```
END_VAR
```

```
VAR (* Speicherglieder: RS-Flip-Flop *)
```

```
    Oeffnen : RS;
    Schliessen : RS;
```

```
END_VAR
```

```
VAR (* Zeitglied: Einschaltverzögerung *)
```

```
    Wartezeit : TON;
```

```
END_VAR
```

```
(* Beginn Anweisungsteil *)
```

```
(* Das Tor öffnet, wenn einer der beiden Schlüssel-
schalter oder die Funkfernbedienung betätigt wird.
Außerdem wird das weder vollständig geschlossene
noch vollständig geöffnete Tor wieder geöffnet,
wenn die Lichtschanke unterbrochen wurde. Der Motor
schaltet ab, sobald der Endschalter (Tor_Auf) an-
spricht. Die drei Tastersignale müssen für die Be-
arbeitung gespeichert werden. *)
```

```
Oeffnen ( SET := ((Schl_Innen OR Schl_Aussen OR Funk)
                  AND NOT Tor_Auf)
          OR
          (Lichtschanke AND NOT (Tor_Auf
                                  OR Tor_Zu)) ,
```

```
          RESET1 := Tor_Auf);
```

```
Motor_Auf := Oeffnen.Q1;
```

```
(* Das Tor schließt automatisch nach Ablauf einer Warte-
zeit von 20 Sekunden. Die Wartezeit läuft immer ab dem
Augenblick, in dem das Tor vollständig geöffnet war.
Sobald die Lichtschanke unterbrochen wird, wird das
Tor wieder vollständig geöffnet. *)
```

```
Wartezeit(IN := Tor_Auf, PT := t#20s);
```

```
Schliessen( SET := NOT Motor_Auf
            AND NOT (Tor_Zu OR Lichtschanke)
            AND Wartezeit.Q,
```

```
            RESET1 := Tor_Zu OR Lichtschanke);
```

```
Motor_Zu := Schliessen.Q1;
```

```
(* Das Blinklicht signalisiert Gefahr und muss daher
immer eingeschaltet sein, wenn das Tor sich bewegt und
wenn das Tor geöffnet ist, da es sich jederzeit wieder in
Bewegung setzen kann. *)
```

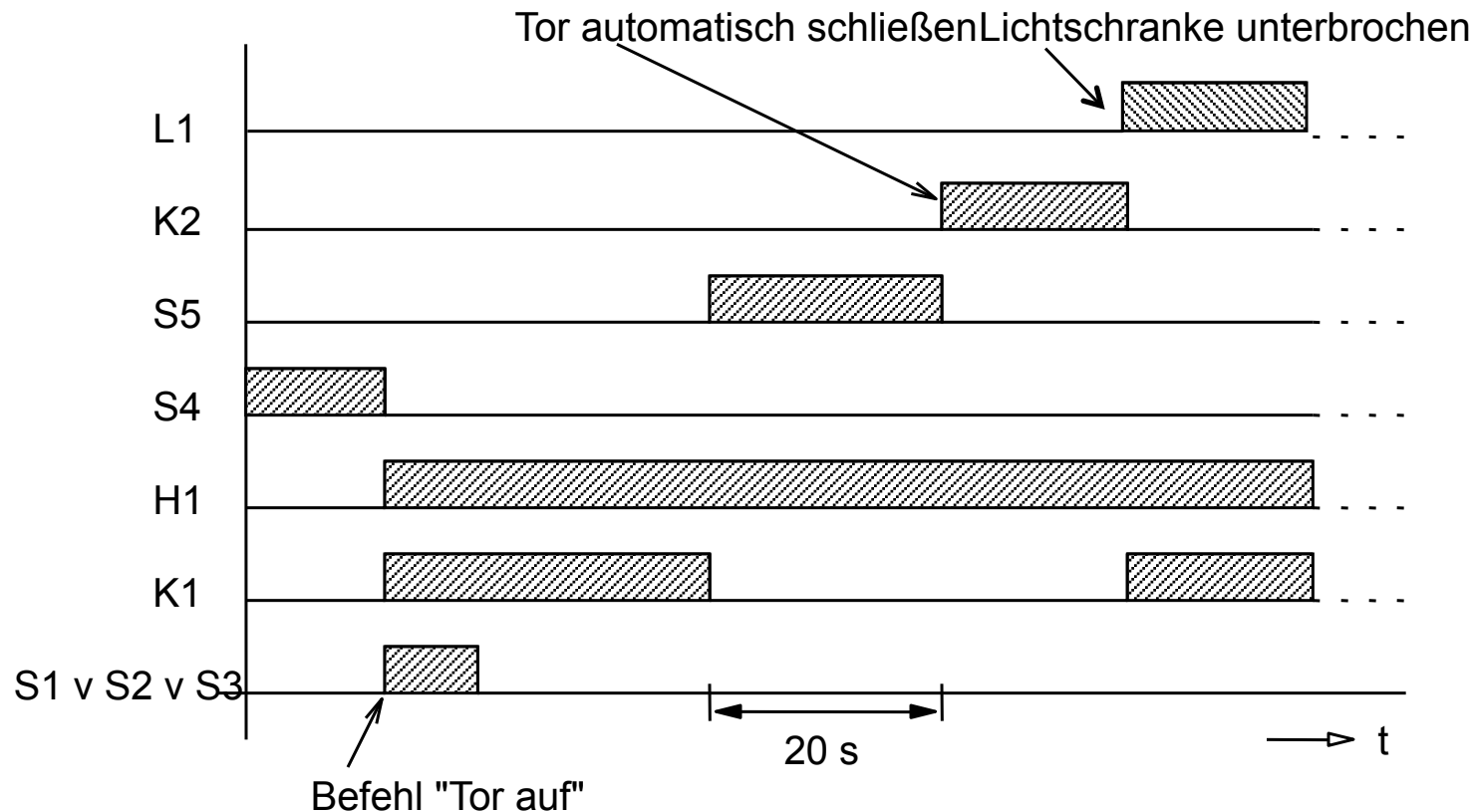
```
Blinklicht := Oeffnen.Q1 OR Schliessen.Q1 OR Tor_Auf;
```

```
END_PROGRAM
```

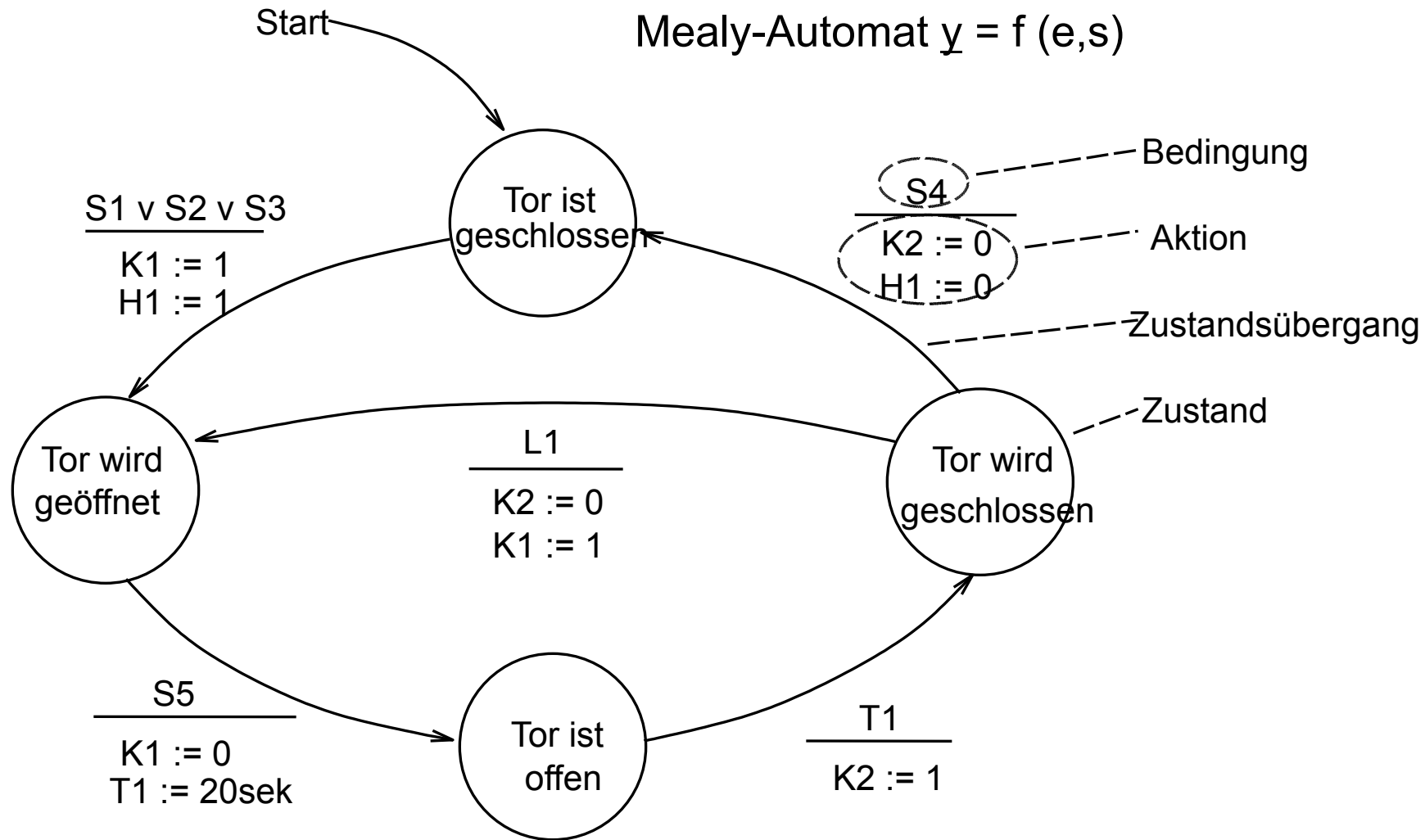
Ablaufsteuerung

Eine Steuerung mit zwangsläufig schrittweisem Ablauf, bei der das Weiterschalten von einem Schritt auf den programmgemäß folgenden abhängig von Weiterschaltbedingungen erfolgt. (DIN 19226).

Beschreibung und Analyse mit dem Zeitdiagramm:



Torsteuerung als Zustandsgraph



Aufgabe

Behauptung: Die vorgestellte Lösung des SPS-Programms für das Werktor ist nicht fehlerfrei!

Hinweis: Der Zustandsgraph enthält diesen Fehler nicht.

Dazu müssen Sie zunächst klären, was „korrekte Funktion“ in diesem Zusammenhang überhaupt bedeutet. Überlegen Sie sich dann, wie Sie auf systematische Art und Weise die korrekte Funktion überprüfen können und führen Sie anschließend die Prüfung und gegebenenfalls Korrektur durch.

Zusammenfassung

Es wurde ein Überblick über die **Steuerungstechnik** gegeben und dabei die folgenden Fachbegriffe eingeführt:

- Regelung vs. Steuerung, Steuerungssystem, Steuergerät usw.
- Technologieschema, Zuordnungstabelle, Wertetafel bzw. Funktionstabelle, Boolesche Funktion, Schaltausdruck, Zeitdiagramm, Zustandsgraph
- Verknüpfungs- und Ablaufsteuerung
- Analoge, binäre und digitale Steuerung, synchrone und asynchrone Steuerung
- Fließ-, Folge-, Stück- und Chargenprozesse
- Projektphasen: Lasten- und Pflichtenheft, Test usw.

Es wurden die wesentlichen Familien von Steuerungssystemen vorgestellt und kurz das Funktionsprinzip erläutert:

- Mechanische, elektronische und elektromechanische Steuerungen, pneumatische und hydraulische Steuerungen, Speicherprogrammierte Steuerungen (SPS), Roboter- und Maschinensteuerungen (CNC), eingebettete Steuerungen, Remote Controller
- Leitsteuerung bzw. Prozessleitsysteme