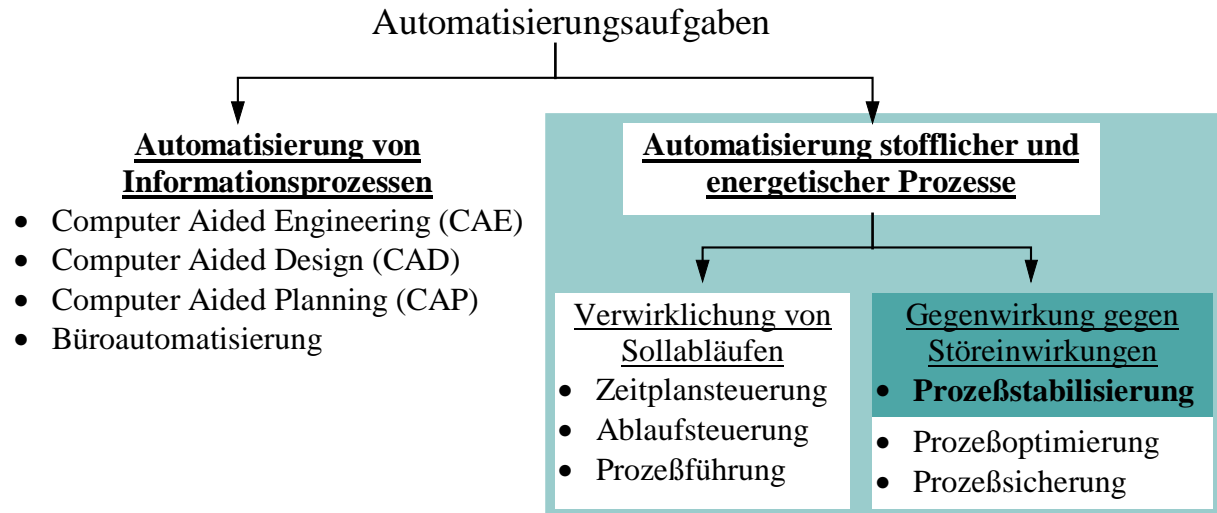


# Grundlagen der Automatisierungstechnik

<b>1 EINFÜHRUNG IN DIE AUTOMATISIERUNG</b>	<b>2</b>
<b>2 AUSGEWÄHLTE GRUNDLAGEN DER STEUERUNGSTECHNIK</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Steuerung und Regelung</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Die Steuerkette und ihre Komponenten</b>	<b>8</b>
2.2.1 Meßeinrichtungen im Überblick	8
2.2.2 Stelleinrichtungen im Überblick	11
<b>2.3 Arbeitsschritte beim Entwurf diskreter Steuerungen</b>	<b>13</b>
<b>2.4 Beschreibungsmittel für Prozeßabläufe</b>	<b>14</b>
2.4.1 Schaltfolgediagramme (Weg-Zeit-Diagramme)	14
2.4.2 Prozeßablaufpläne (PRAP)	14
<b>2.5 Logikentwurf mit der Boole'schen Schaltalgebra</b>	<b>17</b>
2.5.1 Grundlagen der Boole'schen Schaltalgebra	17
2.5.2 Anwendung der Boole'schen Schaltalgebra für den Entwurf von Steuerungen	20
2.5.3 Minimierung von Schaltfunktionen mit Hilfe des Karnaugh-Plans	22
2.5.4 Sequentielle Systeme	24
<b>2.6 Verbindungsprogrammierte und speicherprogrammierbare Binärsteuereinrichtungen</b>	<b>25</b>

# 1 Einführung in die Automatisierung

## Aufgaben der Automatisierung:



Hier wird nur die Automatisierung stofflicher und energetischer Prozesse Betrachtet !

### Verwirklichung von Sollabläufen:

- Unter Sollabläufen versteht man die
  - ⇒ Durchführung von verschiedenen Operationen in einer vorgegebenen zeitlichen und sachlichen Reihenfolge.
- Die Verwirklichung von Sollabläufen dient dazu, bestimmte Funktionen (von Anlagen und Aggregaten) überhaupt erst hervorzubringen.
- Die Verwirklichung von **Sollabläufen** ist hauptsächlich Gegenstand der **Steuerungstechnik**.

### Gegenwirkung gegen Störeinwirkungen (Regelung):

- Die (automatische) Regelung hat die Aufgabe, gegebene Funktionen (d.h. das Ergebnis der Verwirklichung von Sollabläufen) aufrechtzuhalten.

#### **Aufgaben der Prozeßstabilisierung (Regelung im engeren Sinne):**

- ⇒ Aufrechterhaltung eines bestimmten Prozeßregimes
- ⇒ Beseitigung / Minimierung der Auswirkungen von Störungen
- ⇒ Ausschaltung / Minimierung von unerwünschten gegenseitigen Beeinflussungen bzw. Koplungen von Teilsystemen
- ⇒ Die **Prozeßstabilisierung** ist hauptsächlich Gegenstand der **Regelungstechnik**.

### **Aufgaben der Prozeßoptimierung:**

- ⇒ Optimierung des statischen Betriebes (statische Optimierung)
- ⇒ Optimierung von Übergangsvorgängen (dynamische Optimierung)
  - Beachte: Bei der Optimierung soll die Zielgröße nicht an die Führungsgröße angeglichen werden, sondern ein bestimmtes Extremum erreichen. In diesem Sinne gehört die Prozeßoptimierung streng genommen nicht zu Regelung (Vergleiche Begriffsdefinition "Regelung" nach DIN 19 226).

### **Aufgaben der Prozeßsicherung:**

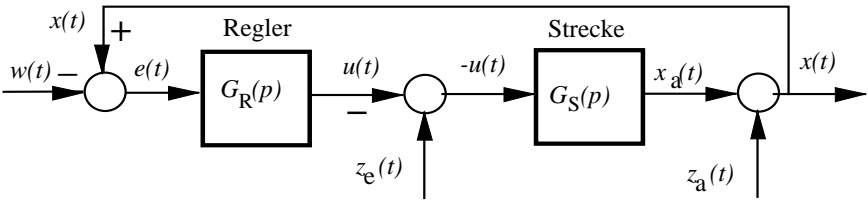
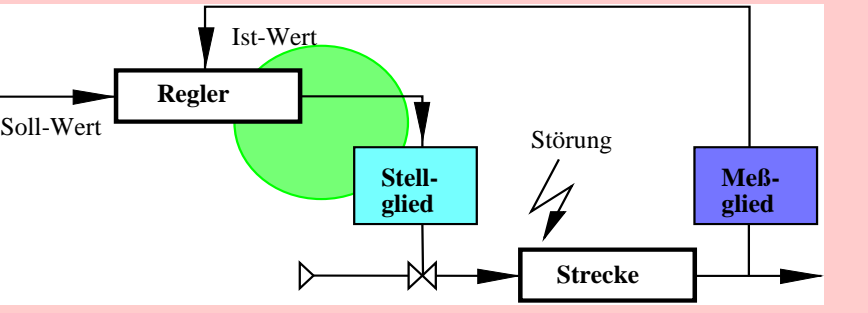
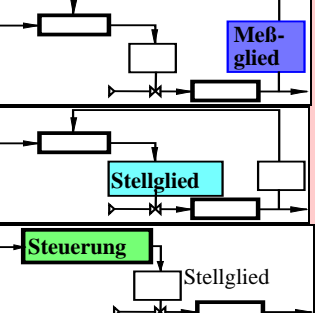
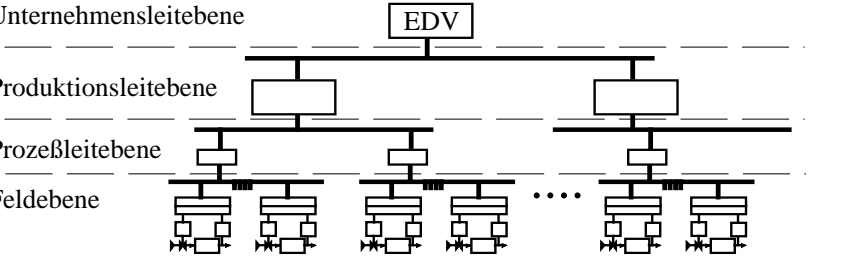
- ⇒ *Anzeige und/oder Protokollierung wichtiger Größen (⇒ Meßtechnik & Steuerung)*
- ⇒ *Signalisierung und/oder Protokollierung bei Grenzwertüberschreitungen (⇒ Meßtechnik & Steuerung)*
- ⇒ Noteingriffe bzw. automatische Abschaltung bei Grenzwertüberschreitungen (⇒ Abschaltkreis bzw. Endwertregelung oder Verriegelungssteuerung)
  - Beachte: Bei der Prozeßsicherung (im Abschaltkreis) wird die Zielgrößenur so lange an die Führungsgröße angeglichen, bis ein bestimmter Wert erreicht ist. danach wird die Funktion beendet. Deshalb wird der Abschaltkreis auch Endwertregler genannt.
  - Streng genommen gehört der Abschaltkreis damit nicht zu Regelung (Vergleiche Begriffsdefinition "Regelung" nach DIN 19 226).

### **Definition der Regelung nach DIN 19 226:**

"Das Regeln - die Regelung - ist ein Vorgang, bei dem eine Größe, die zu regelnde Größe (Regelgröße) fortlaufend erfaßt, mit einer anderen Größe verglichen und abhängig vom Ergebnis des Vergleichs im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflußt wird. Der sich dabei ergebende Wirkungsablauf findet in einem geschlossenen Kreis, dem Regelkreis, statt." (vgl. Brack, Seite 117)

**--- Siehe auch Kap. 2.1 - Steuerung und Regelung ---**

**Platz der Lehrveranstaltung im Ausbildungsgefüge des Studienganges Automatisierungstechnik:**

<p><b>Systemtheoret. Blockschalbild</b></p>		<p><b>Grundlagen der AT:</b>          ⇒ Beschreibung der Komponenten des Regelkreises  <b>Regelungstechnik I:</b>          ⇒ Analyse und Synthese von Regelkreisen  <b>Regelungstechnik II:</b>          ⇒ Lineare und nichtlineare Systeme und stoch. Prozesse</p>
<p>↑ <i>theoretische</i> ↑          ↑ <i>Grundlagen</i> ↑</p> <p><b>Elementarer Regelkreis:</b></p> <p>↓ <i>komplexe</i> ↓          ↓ <i>Anwendungen</i> ↓</p>		<p><b>Prozeßmeßtechnik:</b>          ⇒ verschied. Meßverfahren</p> <p><b>Automatis.-anlagen u. Geräte:</b>          ⇒ Funktionseinheiten</p> <p><b>Steuerungstechnik:</b>          ⇒ SPS, Petrinetze</p> 
<p><b>Anwendung elementarer Regelkreise auf komplexe industrielle Prozesse</b></p>	<p><i>Leitebene</i></p> <p>Leiteinrichtung <i>übergeordnete Regel- und Steuerfunktionen</i></p> <hr/> <p><i>Feldebene</i></p> <p>µ-Prozeßrechner 1 <i>Prozeßperipherie</i>      µ-Prozeßrechner n <i>Prozeßperipherie</i> <i>primäre Regel- und Steuerfkt.</i></p> <p>Stellglied      Meßglied      Stellglied      Meßglied</p> <p>Strecke 1      Strecke n</p>	<p><b>Automatisierungsanlagen u. Geräte:</b>          ⇒ Funktionseinheiten zur Gewinnung, Übertragung, Verarbeitung und Nutzung von Informationssignalen</p> <p><b>Industrielle Kommunikation:</b> ⇒ Bussysteme</p> <p><b>Prozeßautomatisierung:</b>          ⇒ Entwurf von automatisierungstechn. Strukturen          ⇒ Anlagenautomatisierung          ⇒ Prozeßoptimierung          ⇒ Projektentwicklung / Projektablauf</p>
<p><b>Automatisierungshierarchie</b></p>	<p>Unternehmensleitebene      EDV</p> <hr/> <p>Produktionsleitebene</p> <hr/> <p>Prozeßleitebene</p> <hr/> <p>Feldebene</p> 	<p><b>Fertigungsautomatisierung:</b>          ⇒ Robotersteuerung / numerische Steuerung (NC)          ⇒ Vernetzung          ⇒ automatisierte Fertigungszellen und Fabriken</p> <p><b>Dezentrale Prozeßleitsysteme</b></p> <p><b>Prozeßmodellierung</b></p>

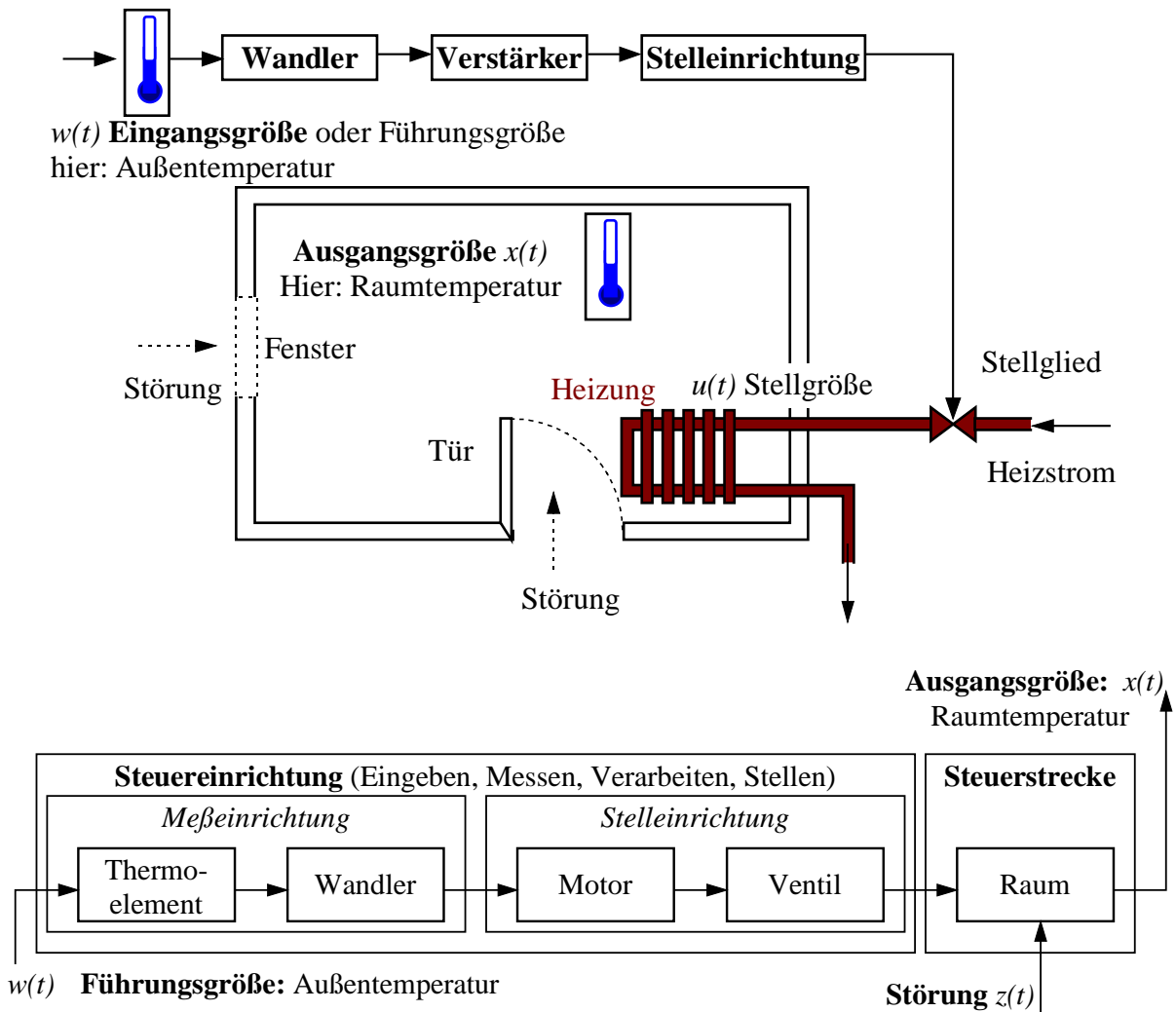
## 2 Ausgewählte Grundlagen der Steuerungstechnik

### 2.1 Steuerung und Regelung

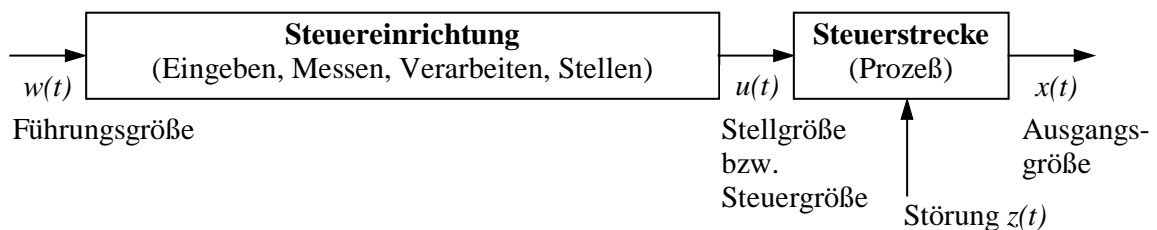
#### Töpfer:

"Steuern ist ein Vorgang, bei dem eine oder mehrere Größen(Eingangsgrößen) andere Größen (Die Ausgangsgrößen) auf Grund der dem Steuersystem eigenen Gesetzmäßigkeit - Algorithmus genannt - beeinflussen."

#### Beispiel:



Abstrakte Darstellung der **offenen Steuerung:**

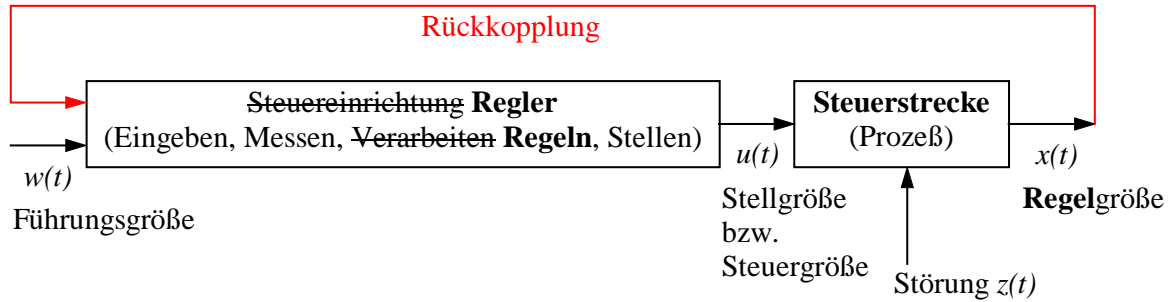


**Nachteil der offenen Steuerung:**

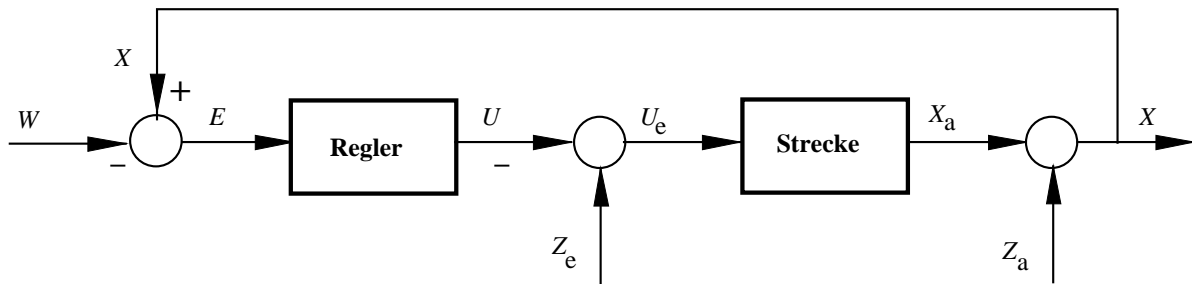
- keine automatische Reaktion auf Störungen (hier: Öffnen und Schließen von Tür und Fenster)

**Ausweg:**

Einführen einer **Rückkopplung** zwischen Systemausgang und Systemeingang



**Typische Darstellung des Regelkreises und der Störungen:**



- $X$  - (gestörte) Regelgröße (geregelte Größe)
- $W$  - Führungsgröße
- $E$  - Regelabweichung
- $Z_e$  - Störung am Eingang der Regelstrecke
- $Z_a$  - Störung am Ausgang der Regelstrecke
- $U_e$  - (gestörte) Stellgröße oder Steuergröße

**Vergleich der Eigenschaften der offenen Steuerung und der geschlossenen Steuerung (Regelung):**

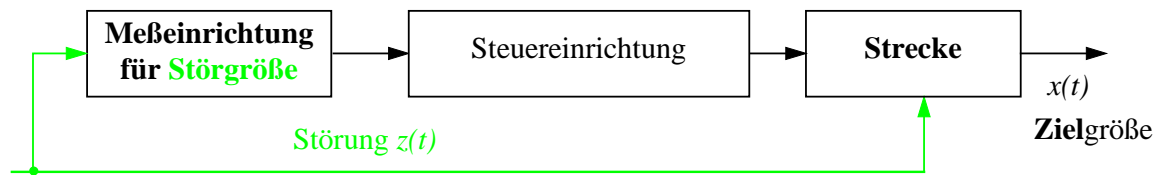
		offene Steuerung bzw. Steuerung	geschlossene Steuerung bzw. Regelung <sup>1</sup>
Störgrößen-gegenwirkung	Prozeßstabilisierung	• Steuerung nach der Störgröße	• <b>Regelung<sup>2</sup></b>
	Prozeßoptimierung	• Vorwärtsoptimierung	• Suche im Prozeß
	Prozeßsicherung	• Verriegelungssteuerung	• Abschaltkreis
Sollabläufe		• <b>Zeitplansteuerung</b>	• Ablaufsteuerung

<sup>1</sup> allgemeiner Oberbegriff für geschlossene Steuerungen; Regelung im weiteren Sinne

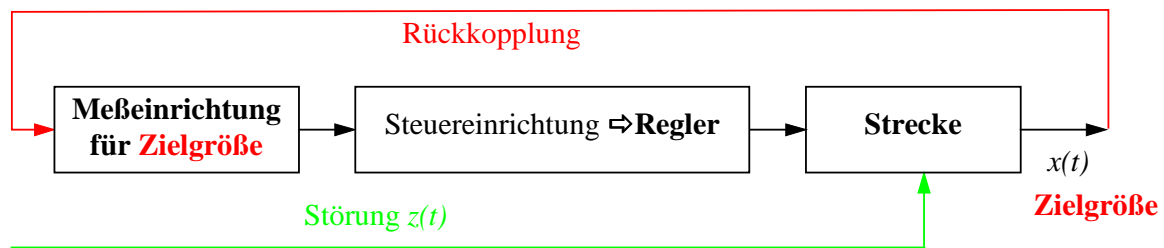
<sup>2</sup> Regelung im engeren Sinne

Unterschied zwischen (offener) Steuerung und Regelung bei **Störgrößengegenwirkung**:

**Offene Steuerung:**



**Geschlossenen Steuerung = Regelung:**



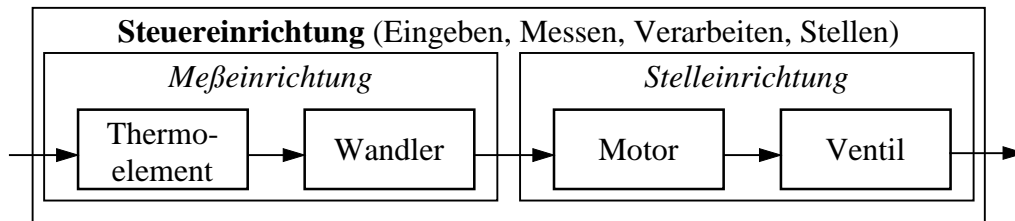
**Vergleich der offenen und geschlossenen Steuerung nach Brack:**

Merkmal	Offene Steuerung	Geschlossene Steuerung
Grundprinzip: Steuerwirkung beruht auf	in der Steuereinrichtung gespeicherten Sollverlauf + Störgrößenänderung	Zielgrößenänderung
Voraussetzung für die Anwendung	Steuerstrategie ermittelbar, Störgröße meßbar	Zielgröße meßbar
Voraussetzung für die Ermittlung der Steuerstrategie	genaue Kenntnis des Sollverhaltens sowie des statischen und dynamischen Prozeßverhaltens	grobe Kenntnis des statischen und dynamischen Prozeßverhaltens
Robustheit der Steuerstrategie	empfindlich gegenüber Änderungen des Prozeßverhaltens	ohne große Schwierigkeiten robust gestaltbar
Besondere Vorteile	rasche Wirksamkeit gegenüber erfaßten Störgrößen, bevor sich diese auf die Zielgröße ausgewirkt haben	relativ einfache und robuste Steuerstrategien, Wirksamkeit gegenüber sämtlichen Störgrößen
Besondere Probleme	großer Aufwand für Steuerstrategie, empfindlich gegenüber Prozeßänderungen	dynamische Probleme im geschlossenen Wirkungskreis
Hautanwendungsgebiet	Erzielung von Sollabläufen: ⇒ Führungssteuerungen ⇒ Zeitplansteuerungen	Prozeßstabilisierung ⇒ <b>Regelung</b>

**Merke:**

*Oftmals kommen kombinierte Strukturen aus (offener) Steuerung und Regelung zum Einsatz !!!*

## 2.2 Die Steuerkette und ihre Komponenten



### 2.2.1 Meßeinrichtungen im Überblick

Nach Töpfer, Seite 57ff.:

Meßgröße	typischer Meßbereich	Abbildungsgröße	typische Meßmittel
Temperatur	-220.....500°C...(850°C) -220...1600°C...(1800°C) (-100)...20...4200°C	elektrischer Widerstand elektrische Spannung	Widerstandsthermometer Thermoelement
Druck	-0,1 MPa ... 1,0MPa  Differenzdruck: 0 ... 0,4 MPa, 0 ... 100 MPa	Weg, Winkel, Kraft   elektrischer Widerstand	Membran-, Tauchglocken- und Rohrmanometer oder Meßumformer, Ringwaage, Bartonzelle, Feder- und Kolbenmanometer, Meßumformer
Durchfluß, Volumen	0 ... 0,3 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ... 3 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ... 30 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Differenzdruck, Kraft  elektrische Spannung  Weg  Drehzahl, Frequenz, Impuls, Zeit	Drosselgeräte in Verbindung mit Meßumformer; Staudruckdurchflumesser induktiver Durchflußmesser Schwebekörperdurchfluß- messer Wälzkolben-, Ringkolben- , Hubkolben-, Flügelrad- Turbinen-, Trommelgas- Zähler-, Drall-, Wirbel- Ultraschall-, Laser- Durchflußmesser
Füllstand	0 ... 40 ....100 m Höhe entsprechend Behälterform: Flüssigkeit: 5000 m <sup>3</sup> (30000m <sup>3</sup> ) Gas: 300 000 m <sup>3</sup>	Weg, Winkel   Kraft, Masse  Druck  elektr. Kapazität	Schwimmerstandmesser, Ultraschall- und γ-Strahlenschranke, Seilsondem  Kraftmeßdosen, Auftriebskörper, Behälterwaagen Manometer, Druck-und Differenzdruckumformet kapazitiver Füllstandsmesser



Meßgröße	typischer Meßbereich	Abbildungsgröße	typische Meßmittel
Masse	0 ... $6 \cdot 10^5$ kg 0 ... $6000 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$	Kraft	Band-, Kran-, Behälter- und Fahrzeugwaagen; Wägemaschinen
Kraft, Moment	0 ... $10^7$ N	Weg, Drehung  Permeabilität  elektrische Spannung  Frequenz Dualzahl	Kraftmeßdose mit Differenzialdrossel oder Dehnungsmeßstreifen magnetoelastische Kraftmeßdose Piezoelektrische Kraftmeßdose Freisaitengeber digitale Kraftmeßdose
Dichte	Flüssigkeiten: $5 \cdot 10^2 \dots 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  Gase: $0,1 \dots 10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	Weg, Kraft, Masse	Schwimmerdichtemesser, Auftriebskörperdichtemessung, Waagen radioaktiver Dichtemesser, Refraktometer, Perlrrohr-Dichtemesser
Viskosität	$10^{-4} \dots 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$	Drehmoment Zeit Differenzdruck mechanische Dämpfung	Rotationsviskosimeter Kugelfallviskosimeter Kapillarviskosimeter Ultraschallviskosimeter
Feuchte	1 ... 99 % relative Feuchte	Weg elektrischer Widerstand komplexer Widerstand	Haarhygrometer LiCL-Feuchtefühler Aluminiumoxid-Hygrometer
pH-Wert	1 ... 14	elektrische Spannung u.a.	pH-Wert-Meßgerät u.a.
Weg, Länge, Dicke	$10^{-6} \dots 100 \text{ m} \dots$	Winkel Widerstand Induktivität Koppelfaktor elektrische Kapazität Dehnung  Impulszahl  Dualzahl	Drehpotentiometer Potentiometer Differentialdrossel Differentialtransformator Differentialkondensator Biegefeder mit Dehnungsmeßstreifen Rasterstab mit optischer Abtastung Kodelineal, CCD-Kamera
Winkel  Winkel- geschwindigkeit	Drehwinkel 0 ... $360^\circ$  Drehwinkel- geschwindigkeit 0 ... $2000^\circ/\text{s}$	elektrische Spannung elektrischer Widerstand Weg Induktivität Koppelfaktor elektrische Kapazität Dehnung  Impulszahl  Dualzahl	Drehmelder Drehpotentiometer Linear-Potentiometer Differentialdrossel Differentialtransformator Differentialkondensator Biegefeder mit Dehnungsmeßstreifen Rasterstab mit optischer Abtastung Kodeschgeibe

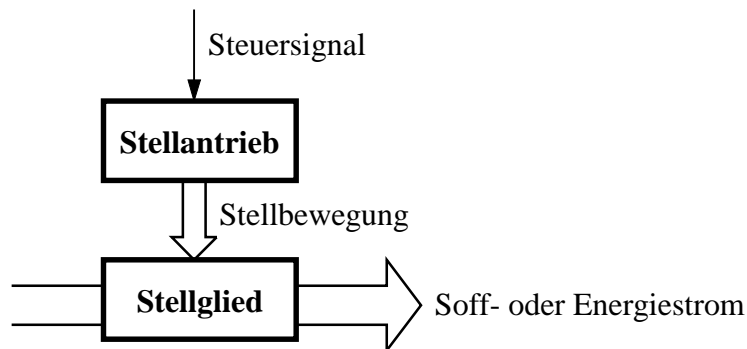
<b>Meßgröße</b>	<b>typischer Meßbereich</b>	<b>Abbildungsgröße</b>	<b>typische Meßmittel</b>
Schichtdicke	< 0,1 nm ... 2 mm	Weg, Induktivität, Kapazität elektrischer Widerstand komplexer Widerstand  Impulszahl  elektrische Spannung	Feinzeigergeräte Leitfähigkeitsmeßgeräte Wirbelstromschicht- dickenmeßgeräte radiometrischer Schichtdickenmesser thermoelektrische Tastsonde
Drehzahl	0,1 ... 100 000 U/min <sup>-1</sup>	elektrische Spannung	Tachogenerator
Stückzahl	0 ... 10000 Hz	elktr. Strom u. Spannung, Impulszahl	Initiatoren (Schranken)

## 2.2.2 Steleinrichtungen im Überblick

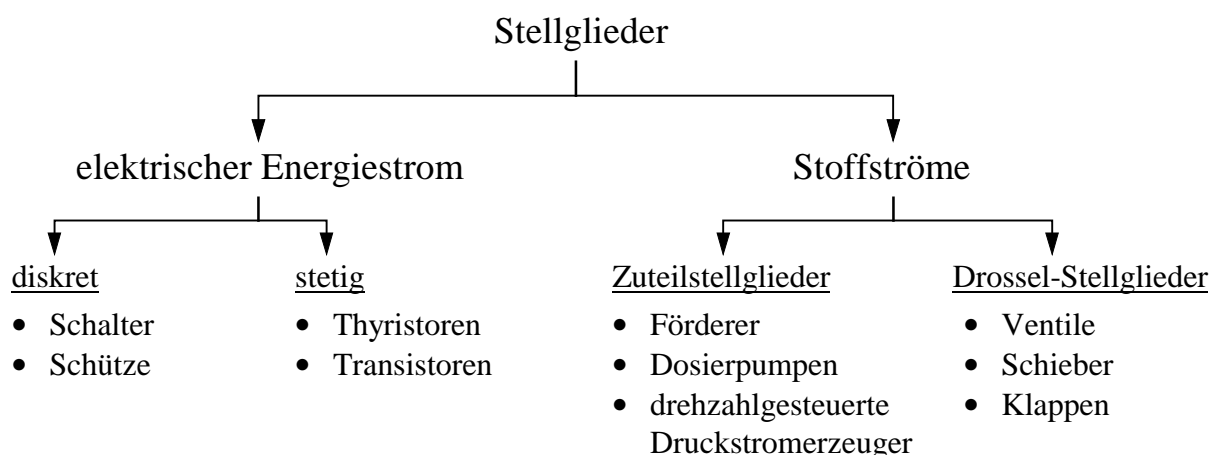
Stelleinrichtungen dienen zur zielgerichteten Beeinflussung von Stoff- und Energieströmen, d.h. zur Änderung ihrer Stärke und ggf. auch Richtung.

Stoffströme:	Energieströme
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flüssigkeiten</li> <li>• Gase und Dämpfe</li> <li>• Feststoffe unterschiedlicher Stückigkeit (von Staubpartikeln bis zu großen Einzelstücken)</li> <li>• Gemische wie Schlämme, Pasten, Suspensionen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elektrische Energie</li> <li>• Wärmeenergie (wird meist mit Stoffströmen wie Flüssigkeiten oder Dämpfen transportiert)</li> </ul>

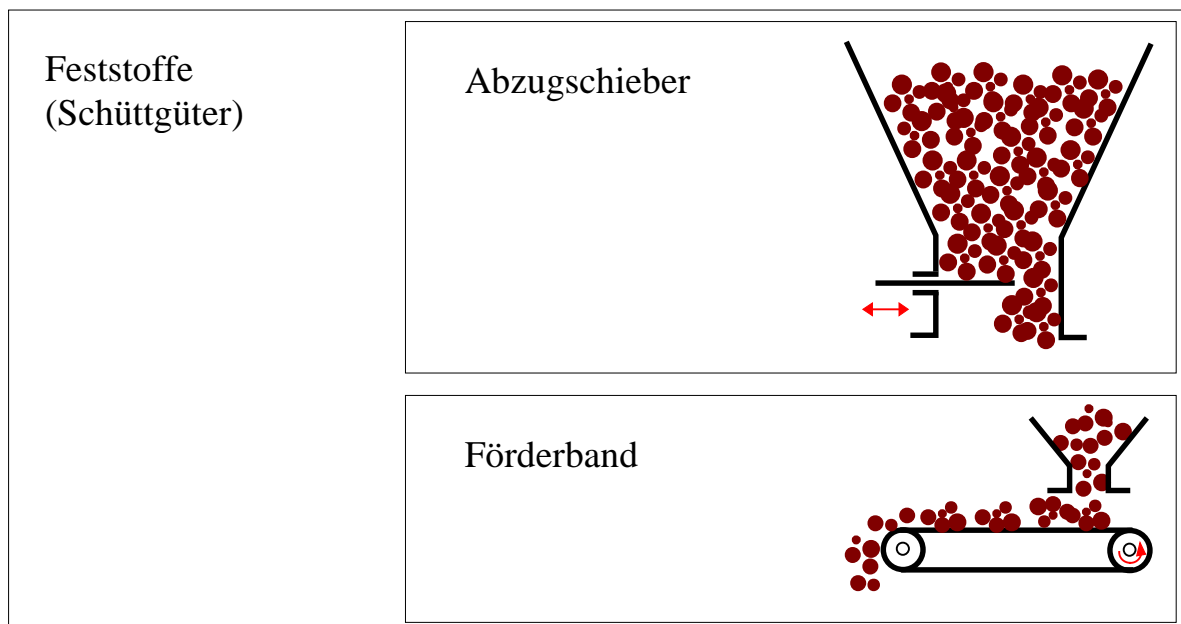
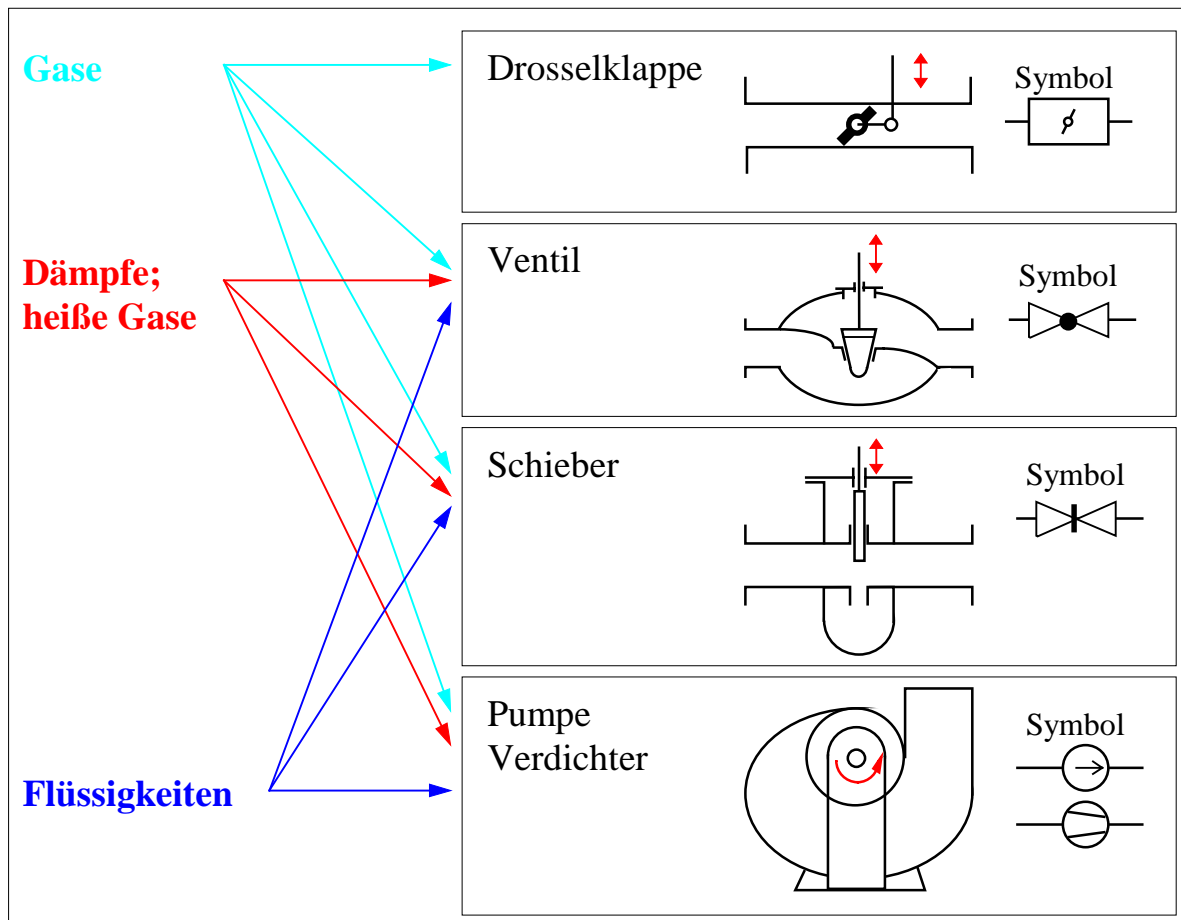
### Typischer Aufbau einer Steleinrichtung:



### Klassifikation von Stellgliedern:



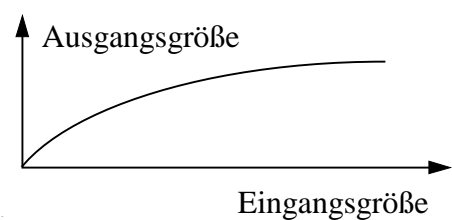
## Ausgewählte Beispiele für Stellglieder:



### Beachte:

Die meisten Stellglieder haben eine **nichtlineare** Eingangs-/Ausgangskennlinie !!!

Beispiel: Statistische Kennlinie eines Ventils



## 2.3 Arbeitsschritte beim Entwurf diskreter Steuerungen

Typische Arbeitsschritte (nach Töpfer):

### 1. Aufgabenstellung

- Beschreibung des technologischen Prozesses auf der Grundlage eines Prozeßmodells
- Bestimmung der technisch-technologischen, betrieblichen und wirtschaftlichen Anforderungen wie
  - ⇒ Einsatzbedingungen
  - ⇒ Sicherheitsanforderungen
  - ⇒ Zuverlässigkeit
  - ⇒ Flexibilität
  - ⇒ Bedienungsanforderungen
  - ⇒ Kommunikationsanforderungen
  - ⇒ Betriebbarkeit, Wartbarkeit, Instandhaltung
  - ⇒ zulässiger Aufwand (Kosten, Budget)
- Formulierung der Aufgabe ausgehend von der technisch-technologischen Funktion der Steuerung

### 2. Systementwurf

- Festlegung der Eingangs- und Ausgangssignale
- Grobentwurf der Steuerung
- Zerlegung in Teilaufgaben (Dekomposition)

### 3. Logikentwurf

- Erarbeitung von
  - ⇒ **Schaltfolgediagramme** und/oder **Prozeßablaufplänen** für die Steuerabläufe
  - ⇒ **Schaltbelegungstabellen** (Wahrheitstabellen), **Boole'schen Gleichungen** und/oder **Logikplänen** (für kombinatorische Schaltungen)
  - ⇒ Automatentabellen, Zustandsgraphen und/oder Zustandsgleichungen (für Folgeschaltungen)zur funktionellen Verknüpfung der Größen
- Überprüfung des Entwurfes (z.B. durch Simulation); ggf. Korrektur des Entwurfes

### 4. Technischer Entwurf

- Auswahl gerätetechnischer Lösungsmöglichkeiten
- Funktionsaufteilung auf Baugruppen und Geräte
- Erarbeitung der Ausführungsunterlagen (Stromlaufpläne, Anordnungspläne, Gerätelisten usw.)

### 5. Ausführung und Inbetriebnahme

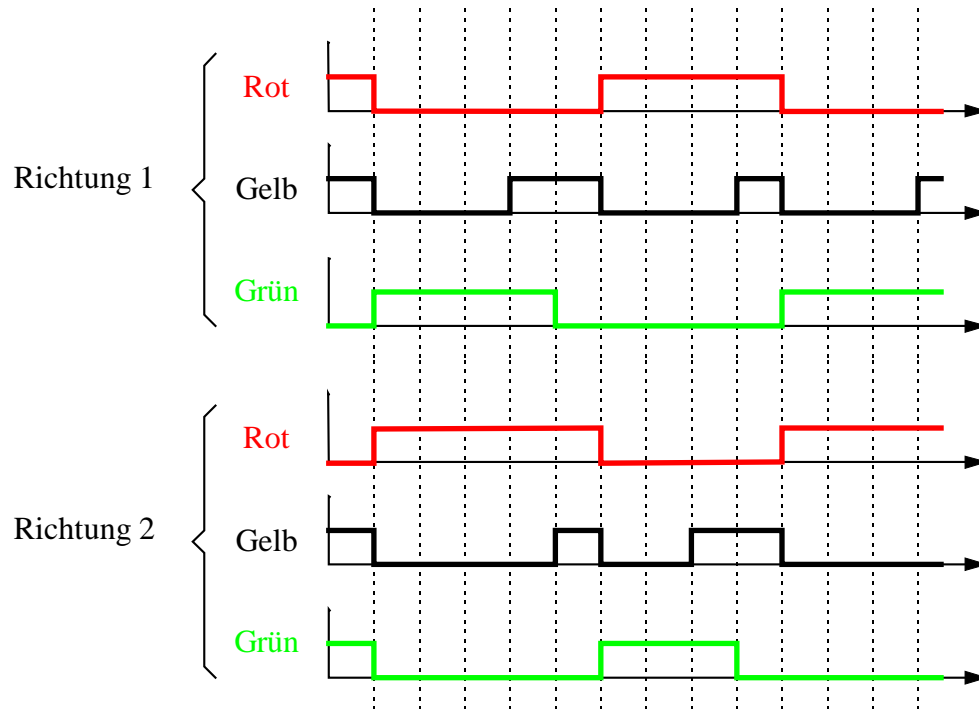
- Montage und Verkabelung (bei verbindungsprogrammierbare Steuerungen)
- Programmierung (bei speicherprogrammierbaren Steuerungen)
- Funktionserprobung (Hardware und Software)

## 2.4 Beschreibungsmittel für Prozeßabläufe

### 2.4.1 Schaltfolgediagramme (Weg-Zeit-Diagramme)

Schaltfolgediagramme bzw. Weg-Zeit-Diagramme dienen zur Darstellung der zeitlichen Veränderung der Zielgrößen und/oder der Steuergrößen.

#### Beispiel: Schaltfolgediagramm für die Steuerung einer Verkehrsampel

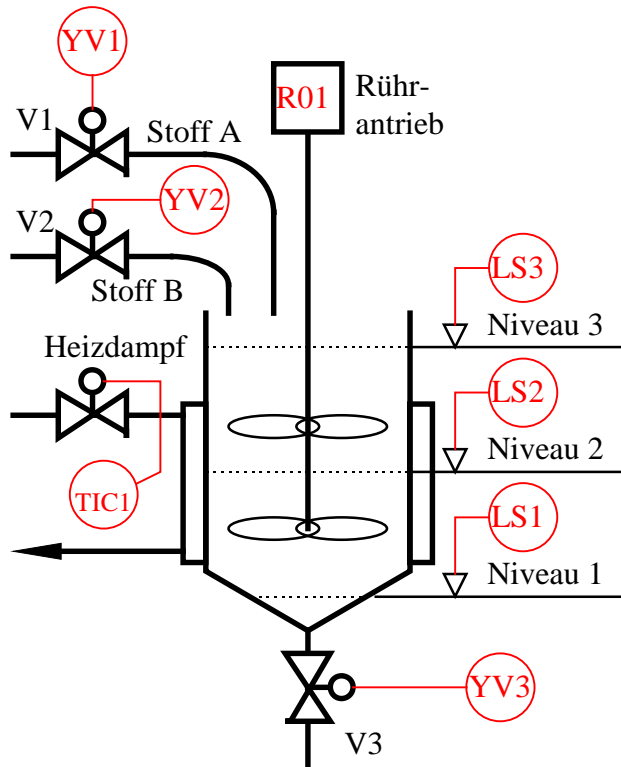


- ⇒ Schaltfolgediagramme sind weit verbreitet.
- ⇒ Man kann sie jedoch nur für relativ kleine Steuerungsaufgaben einsetzen.
- ⇒ Des Weiteren zeigen sie keine kausalen Zusammenhänge.

### 2.4.2 Prozeßablaufpläne (PRAP)

- Prozeßablaufpläne beschreiben das Sollverhalten des sequentiellen Prozesses in quantitativer Form.
- Prozeßablaufpläne legen eindeutig fest,
  - ⇒ welchen Wert die Operationsvariablen (Steuergrößen, Stellgrößen) annehmen müssen,
  - ⇒ unter welchen Bedingungen die Operationsvariable ihre Werte ändern müssen.

## Beispiel: Steuerung eines Chargenmischers



### Rot eingezeichnet:

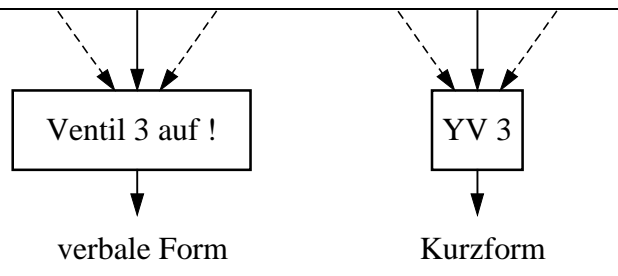
MSR-Stellen (vereinfachte Darstellung)

### Technologiebeschreibung:

1. Der Mischer ist zu leeren (Ventil 3 öffnen)..
2. Wenn der Mischer leer ist und Ventil 3 wieder geschlossen ist, ist das Ventil 1 solange zu öffnen, bis der zugeführte Stoff A das Niveau 2 erreicht.
3. Wenn Niveau 2 erreicht ist, muß Ventil 1 geschlossen und Ventil 2 so lange geöffnet und Stoff B zugeführt werden, bis das Niveau 3 erreicht ist.
4. Nach Füllen des Mischers ist unter ständigen Rühren der Mischerinhalt durch Öffnen des Heizdampfventils auf 87°C aufzuheizen.
5. Nach Erreichen dieser temperatur ist sie für eine Dauer von 6 Stunden aufrechtzuhalten (mit einer Toleranz von 0,5°).
6. Danach sind Heizung und Rührantrieb abzuschalten und der Behälter durch öffnen zu entleeren.

Prozeßablaufpläne sind linear gerichtete Graphen mit **Kanten**, **Operationsknoten** (Operationen) und **Entscheidungsknoten** (Bedingungen).

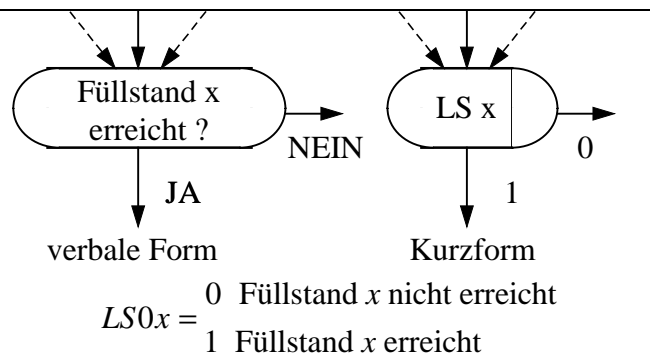
- Ein **Operationsknoten** drückt einen bestimmten Zustand aus (Ventil auf, Motor ein usw.).
- Operationsknoten werden durch Rechtecke dargestellt.
- Operationsknoten haben einen Ausgang und können mehrere Eingänge haben.



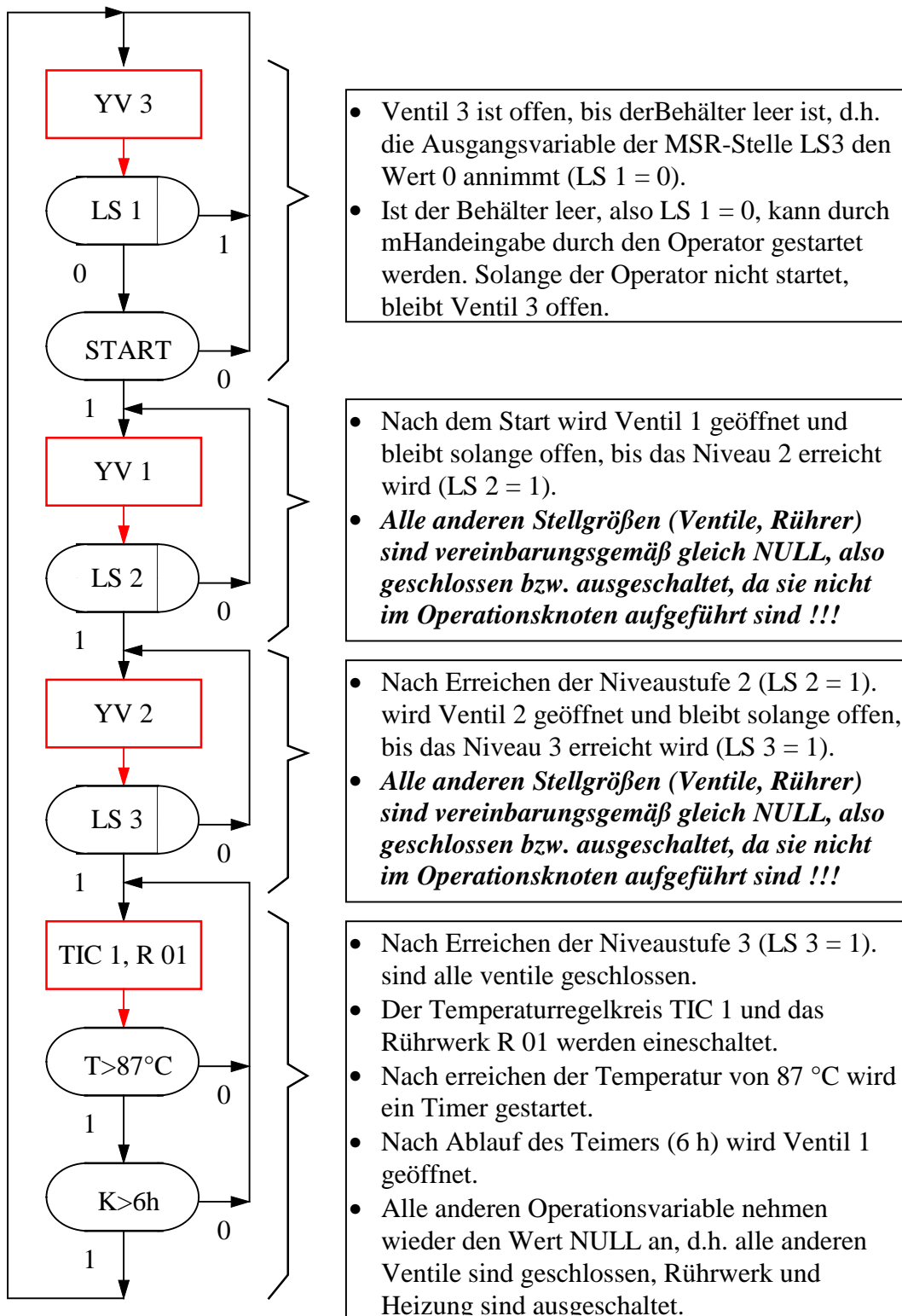
### Beachte:

- Zu einem sequentiellen Prozeß gehören sehr viele Stellgrößen (Operationsvariable).
- **In die jeweilige Operation werden nur die Operationsvariablen eingetragen, die in diesem Ablaufpunkt den Wert 1 haben.**
- Alle nicht angegebenen Variablen haben dann in diesem Ablaufpunkt den Wert 0.

- Ein **Entscheidungsknoten** prüft eine Bedingung, die vor der Durchführung einer Operation erfüllt sein muß.
- Entscheidungsknoten werden durch Langrunde (oder Rhomben) dargestellt.
- Entscheidungsknoten haben immer zwei Ausgänge (JA bzw. 1 und NEIN bzw. 0) und können mehrere Eingänge haben.



**Prozeßablaufplan für den Sollablauf im Chargenmischer:**  
(vereinfachter Ablauf ohne Fehlerbehandlung)



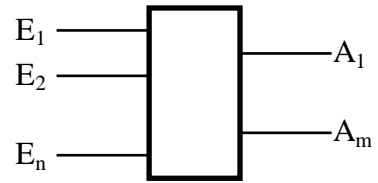


## 2.5 Logikentwurf mit der Boole'schen Schaltalgebra

### 2.5.1 Grundlagen der Boole'schen Schaltalgebra

Betrachten wir ein System, deren Eingänge und Ausgänge nur 2 Zustände annehmen können:

- ⇒ **logisch 1**
- ⇒ **logisch 0**



In Abhängigkeit von der physikalischen Realisierung des Systems können sich hinter den logischen Signalen unterschiedliche physikalische Signale verbergen, z.B.

- ⇒ Schalter geschlossen/offen
- ⇒ Relaiskontakt geschlossen/offen
- ⇒ hohes/tiefes Potential (Spannung)
- ⇒ elektrischer Strom ein/aus
- ⇒ Ventil auf/zu
- ⇒ Schieber auf/zu

usw.

Bei der Behandlung der Boole'schen Schaltalgebra trennen wir uns von der eigentlichen Physik und betrachten nur die logischen Zustände.

Dabei schränken wir die Betrachtung zunächst auf Systeme mit

- ⇒ **n Eingängen** und
- ⇒ **1 Ausgang** ein.

Alle logischen (digitalen) Steuersysteme lassen sich aus **Elementarsystemen** mit **2 Eingängen** und **1 Ausgang** konstruieren.

Es existieren 16 solcher Elementarsysteme:

		Kombinationen der möglichen Eingangswerte					
	Nr.	E1	0	1	0	1	
	1	A	0	0	0	0	
	2	A	0	0	0	1	AND
	3	A	0	0	1	0	
	4	A	0	0	1	1	
	5	A	0	1	0	0	
	6	A	0	1	0	1	
	7	A	0	1	1	0	
	8	A	0	1	1	1	OR
		Werte am Systemausgang					

		Kombinationen der möglichen Eingangswerte					
	Nr.	E1	0	1	0	1	
	9	A	1	0	0	0	NOR
	10	A	1	0	0	1	
	11	A	1	0	1	0	$\overline{E1}$
	12	A	1	0	1	1	
	13	A	1	1	0	0	$\overline{E2}$
	14	A	1	1	0	1	
	15	A	1	1	1	0	NAND
	16	A	1	1	1	1	
		Werte am Systemausgang					

**Besonders wichtige (interessante) Funktionen:**

Fkt.-Nr.	Bezeichnung	Gleichung	Symbol
2	Konjunktion, UND, <b>AND</b>	$A = E1 \wedge E2 = \underbrace{E1 \cdot E2}_{\substack{\text{algebraische} \\ \text{Schreibweise}}}$	
8	Disjunktion, ODER, <b>OR</b>	$A = E1 \vee E2 = \underbrace{E1 + E2}_{\substack{\text{algebraische} \\ \text{Schreibweise}}}$	
9	Negiertes ODER, <b>NOR</b>	$A = \overline{E1 \vee E2} = \overline{\underbrace{E1 + E2}_{\substack{\text{algebraische} \\ \text{Schreibweise}}}}$	
11 bzw. 13	Negation, NICHT	$A = \overline{E}$	
15	Negiertes UND, <b>NAND</b>	$A = \overline{E1 \wedge E2} = \overline{\underbrace{E1 \cdot E2}_{\substack{\text{algebraische} \\ \text{Schreibweise}}}}$	

Mit den Funktionen **AND** und **NEGATION**, oder **OR** und **NEGATION** oder **NAND** oder **NOR** lässt sich jede kombinatorische sequentielle Schaltung verwirklichen.

**Anmerkung zur algebraischen Schreibweise:**

Das exakte algebraische Äquivalent zur Boole'schen Schreibweise ist wie folgt:

Negation	$\overline{E} = 1 - E$
Konjunktion, UND, AND	$E1 \wedge E2 = E1 \cdot E2$
Disjunktion, ODER, OR	$E1 \vee E2 = \overline{\overline{E1 \wedge E2}} = 1 - (1 - E1)(1 - E2)$

In der Technik verwendet man oft (mathematisch nicht exakte) Mischformen, da diese übersichtlicher sind, z.B.

exakte Boole'sche Darstellung	$Y = (X1 \wedge X2) \vee (\overline{X3} \wedge X4)$
exakte algebraische Darstellung	$Y = 1 - (1 - X1 \cdot X2) \cdot (1 - (1 - X3) \cdot X4)$
unexakte, aber übersichtliche Mischform	$Y = (X1 \cdot X2) + (\overline{X3} \cdot X4),$ das Multiplikationszeichen wird oft weggelassen

***In Rechnerprogrammen ist die exakte algebraische Darstellungsform zu verwenden, da nur diese bei formaler Behandlung das richtige Ergebnis liefert.***

**Grundgesetze:**

1	$X1 \cdot X2 = X2 \cdot X1$ $X1 + X2 = X2 + X1$	Kommutativgesetz												
2	$(X1 + X2) \cdot X3 = X1 \cdot X3 + X2 \cdot X3$ $X1 \cdot X2 + X3 = (X1 + X3)(X2 + X3)$	Distributivgesetz												
3	$(X1 \cdot X2) \cdot X3 = X1 \cdot (X2 \cdot X3)$ $(X1 + X2) + X3 = X1 + (X2 + X3)$	Assoziativgesetz												
4	$\overline{X1 \cdot X2} = \overline{X1} + \overline{X2}$ $\overline{X1 + X2} = \overline{X1} \cdot \overline{X2}$	<b>Negationsregeln oder de-Morgan-Regeln</b>												
5	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <tr> <td><math>\overline{0} = 1</math></td> <td><math>\overline{1} = 0</math></td> <td><math>\overline{\overline{X}} = X</math></td> </tr> <tr> <td><math>1 \cdot X = X</math></td> <td><math>0 \cdot X = 0</math></td> <td><math>X \cdot X = X</math></td> </tr> <tr> <td><math>1 + X = 1</math></td> <td><math>0 + X = X</math></td> <td><math>X + X = X</math></td> </tr> <tr> <td><math>X \cdot \overline{X} = 0</math></td> <td><math>X + \overline{X} = 1</math></td> <td></td> </tr> </table>	$\overline{0} = 1$	$\overline{1} = 0$	$\overline{\overline{X}} = X$	$1 \cdot X = X$	$0 \cdot X = 0$	$X \cdot X = X$	$1 + X = 1$	$0 + X = X$	$X + X = X$	$X \cdot \overline{X} = 0$	$X + \overline{X} = 1$		elementare Verknüpfungen
$\overline{0} = 1$	$\overline{1} = 0$	$\overline{\overline{X}} = X$												
$1 \cdot X = X$	$0 \cdot X = 0$	$X \cdot X = X$												
$1 + X = 1$	$0 + X = X$	$X + X = X$												
$X \cdot \overline{X} = 0$	$X + \overline{X} = 1$													
6	$X1 \cdot (X1 + X2) = X1$ $X1 + X1 \cdot X2 = X1 \cdot (1 + X2) = X1$ $X1 \cdot X2 + X1 \cdot \overline{X2} = X1 \cdot (X2 + \overline{X2}) = X1$ $(X1 + X2)(X1 + \overline{X2}) = X1$	abgeleitete Kürzungsregeln												

## 2.5.2 Anwendung der Boole'schen Schaltungsgebra für den Entwurf von Steuerungen

### Beispiel: Fahrstuhlsteuerung

#### Vereinfachte Steuerung nach folgenden Algorithmus:

Es wird nur eine Steuerung zum Einschalten des Fahrstuhlmotors betrachtet, die den nachfolgendem Algorithmus realisieren soll. Die Fahrtrichtung und das gewählte Stockwerk interessiert in diesem Beispiel nicht.

#### Steueralgorithmus:

1. Der Fahrstuhlmotor kann durch einen Außenschalter oder einen Innenschalter eingeschaltet werden.
2. Das Einschalten darf nur erfolgen, wenn die Fahrstuhltür geschlossen ist.
3. Wenn die Fahrstuhlkabine besetzt ist, darf ein Einschalten des Motors mit Hilfe des Außenschalters nicht möglich sein.

Eingangsvariable:	Ausgangsvariable
$X0 = \begin{cases} 1 & \text{Außenschalter ein} \\ 0 & \text{Außenschalter aus} \end{cases}$	$Y = \begin{cases} 1 & \text{Motor ein} \\ 0 & \text{Motor aus} \end{cases}$
$X1 = \begin{cases} 1 & \text{Innenschalter ein} \\ 0 & \text{Innenschalter aus} \end{cases}$	
$X2 = \begin{cases} 1 & \text{Fahrstuhlkabine besetzt} \\ 0 & \text{Fahrstuhlkabine nicht besetzt} \end{cases}$	
$X3 = \begin{cases} 1 & \text{Fahrstuhltür geschlossen} \\ 0 & \text{Fahrstuhltür offen} \end{cases}$	

Aufstellen einer **Schaltbelegungstabelle** (Wahrheitstabelle):

Zustand	X3	X2	X1	X0	Y	
0	0	0	0	0		Tür offen X3 = 0 -> Motor aus
1	0	0	0	1		Tür offen X3 = 0 -> Motor aus
2	0	0	1	0		Tür offen X3 = 0 -> Motor aus
3	0	0	1	1		Tür offen X3 = 0 -> Motor aus
4	0	1	0	0		Tür offen X3 = 0 -> Motor aus
5	0	1	0	1		Tür offen X3 = 0 -> Motor aus
6	0	1	1	0		Tür offen X3 = 0 -> Motor aus
7	0	1	1	1		Tür offen X3 = 0 -> Motor aus
8	1	0	0	0	0	beide Schalter AUS
9	1	0	0	1	1	<b>Tür zu, Kabine leer, Außenschalter EIN</b>
10	1	0	1	0	?	sinnlose Kombinationen -> wenn Kabine leer,
11	1	0	1	1	?	kann Innenschalter nicht betätigt werden !
12	1	1	0	0	0	beide Schalter AUS
13	1	1	0	1	0	Tür zu, <b>Kabine besetzt (!)</b> , Außenschalter EIN
14	1	1	1	0	1	<b>Tür zu, Kabine besetzt, Innenschalter EIN</b>
15	1	1	1	1	1	<b>Tür zu, Kabine besetzt, beide Schalter EIN</b>

Auf Basis dieser Wahrheitstabelle bildet man nun zunächst die **disjunktive Normalform** aus alle Kombinationen, die zum Einschalten des Motors führen, also zu  $Y = 1$ .

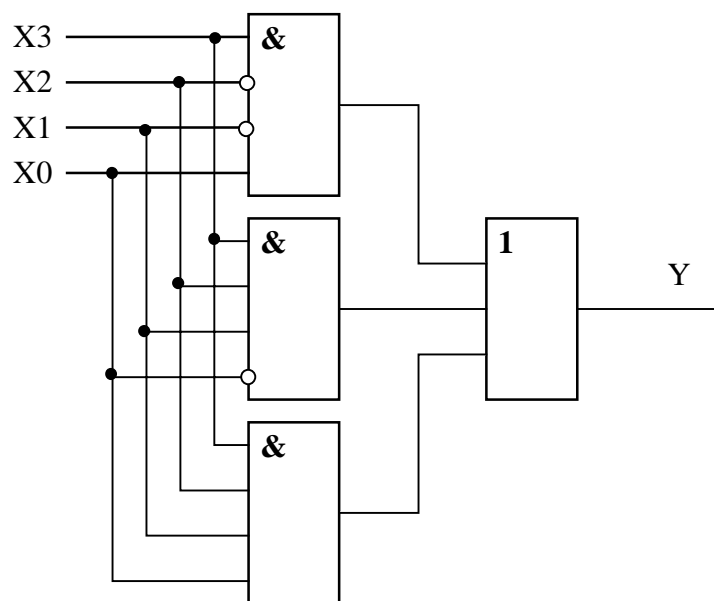
Dazu werden für jeden dieser Zustände (Kombinationen) Konjunktionen aus allen Eingangsvariablen gebildet und diese dann disjunktiv verknüpft. Die Bildung der Konjunktionen erfolgt nach folgender Regel:

- ⇒ Hat die Eingangsvariable  $X_i$  den Wert 1, so geht sie direkt als **nichtnegierte** Variable  $X_i$  in die Konjunktion ein.
- ⇒ Hat die Eingangsvariable  $X_i$  den Wert 0, so geht sie als **negierte** Variable  $\overline{X_i}$  in die Konjunktion ein.

Die disjunktive Normalform für das betrachtete Beispiel hat also folgendes Aussehen:

$$Y = \underbrace{X_3 \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_1} \cdot X_0}_{\text{Zustand 9}} + \underbrace{X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot \overline{X_0}}_{\text{Zustand 14}} + \underbrace{X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot X_0}_{\text{Zustand 15}} +$$

Daraus läßt sich folgender Logikplan (Signalflußplan)ableiten:



Der Schaltungsaufwand kann jedoch weiter **minimiert** werden -> siehe Abschnitt 2.5.3

### 2.5.3 Minimierung von Schaltfunktionen mit Hilfe des Karnaugh-Plans

	$X_0$	$\overline{X_0}$
$X_1$	$X_0 \cdot X_1$	$\overline{X_0} \cdot X_1$
$\overline{X_1}$	$X_0 \cdot \overline{X_1}$	$\overline{X_0} \cdot \overline{X_1}$

	$X_0$	$\overline{X_0}$	$\overline{X_0}$	$X_0$
$X_1$	$X_0 X_1 X_2$	$\overline{X_0} X_1 X_2$	$\overline{X_0} X_1 \overline{X_2}$	$X_0 X_1 \overline{X_2}$
$\overline{X_1}$	$X_0 \overline{X_1} X_2$	$\overline{X_0} \overline{X_1} X_2$	$\overline{X_0} \overline{X_1} \overline{X_2}$	$X_0 \overline{X_1} \overline{X_2}$
	$X_2$	$X_2$	$\overline{X_2}$	$\overline{X_2}$

	$X_0$	$\overline{X_0}$	$\overline{X_0}$	$X_0$	
$X_1$	$X_0 X_1 X_2 X_3$	$\overline{X_0} X_1 X_2 X_3$	$\overline{X_0} X_1 \overline{X_2} X_3$	$X_0 X_1 \overline{X_2} X_3$	$X_3$
$\overline{X_1}$	$X_0 \overline{X_1} X_2 X_3$	$\overline{X_0} \overline{X_1} X_2 X_3$	$\overline{X_0} \overline{X_1} \overline{X_2} X_3$	$X_0 \overline{X_1} \overline{X_2} X_3$	$X_3$
$\overline{X_1}$	$X_0 \overline{X_1} X_2 \overline{X_3}$	$\overline{X_0} \overline{X_1} X_2 \overline{X_3}$	$\overline{X_0} \overline{X_1} \overline{X_2} \overline{X_3}$	$X_0 \overline{X_1} \overline{X_2} \overline{X_3}$	$\overline{X_3}$
$X_1$	$X_0 X_1 X_2 \overline{X_3}$	$\overline{X_0} X_1 X_2 \overline{X_3}$	$\overline{X_0} X_1 \overline{X_2} \overline{X_3}$	$X_0 X_1 \overline{X_2} \overline{X_3}$	$\overline{X_3}$
	$X_2$	$X_2$	$\overline{X_2}$	$\overline{X_2}$	

In den Karnaugh-Plan wird für jede Konjunktion von Eingangsvariablen, für die für das Ausgangssignal Y der Wert 1 in der Wahrheitstabelle steht, eine 1 eingetragen.

Jeweils 2, 4, 8, ...direkt benachbarte logsche 1 lassen sich zusammenfassen bzw. überdecken.

Aus den überdeckten Feldern wird eine neue disjunktive Form abgeleitet, in die pro Überdeckungsfeld nur die Variablen konjunktiv verknüpft eingehen, die sich nicht widersprechen, also nicht gleichzeitig in ihrer direkten und negierten Form überdeckt sind.

**Erklärung am Beispiel** (nicht identisch mit dem Beispiel Fahrstuhlsteuerung !!!):

Gegeben sei folgend e disjunktive Normalform:

$$Y = X_0 X_1 X_2 X_3 + X_0 X_1 \overline{X_2} X_3 + \overline{X_0} \overline{X_1} X_2 X_3 + \overline{X_0} \overline{X_1} \overline{X_2} X_3 + X_0 \overline{X_1} X_2 \overline{X_3} + \overline{X_0} \overline{X_1} X_2 \overline{X_3} + \overline{X_0} \overline{X_1} \overline{X_2} \overline{X_3} + X_0 X_1 X_2 \overline{X_3} + \overline{X_0} X_1 X_2 \overline{X_3}$$

	$X_0$	$\overline{X_0}$	$\overline{X_0}$	$X_0$	
$X_1$	1			1	$X_3$
$\overline{X_1}$		1	1		$X_3$
$\overline{X_1}$	1	1	1		$\overline{X_3}$
$X_1$	1	1			$\overline{X_3}$
	$X_2$	$X_2$	$\overline{X_2}$	$\overline{X_2}$	

**Gekürzte Form:**

$$Y = \underbrace{X_0 X_1 X_3}_{\text{grün}} + \underbrace{\overline{X_0} \overline{X_1}}_{\text{rot}} + \underbrace{X_2 \overline{X_3}}_{\text{blau}}$$

**Anwendung des Karnaugh-Plans zur Minimierung der Schaltungsgleichung für die Fahrstuhlsteuerung:**

Karnaugh-Plan					
	X0	$\overline{X0}$	$\overline{X0}$	X0	
X1	1	1			X3
$\overline{X1}$				1	X3
$\overline{X1}$					$\overline{X3}$
X1					$\overline{X3}$
	X2	X2	$\overline{X2}$	$\overline{X2}$	

$$Y = X1 \cdot X2 \cdot X3 + X0 \cdot \overline{X1} \cdot \overline{X2} \cdot X3$$

$$Y = (X1 \cdot X2 + X0 \cdot \overline{X1} \cdot \overline{X2}) \cdot X3$$

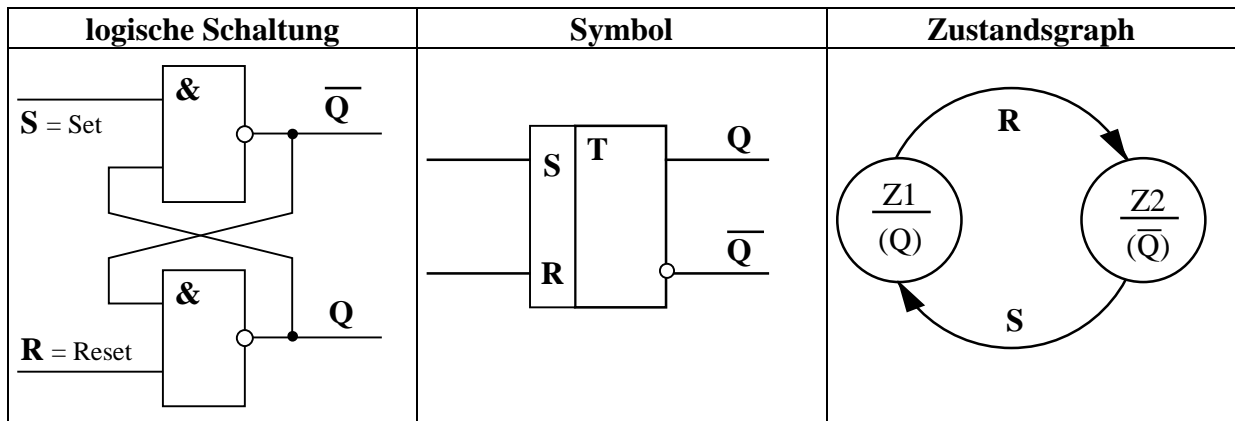
Logikplan:

Kontaktplan<sup>3</sup>:

<sup>3</sup> veraltete Darstellungsform

## 2.5.4 Sequentielle Systeme

- Kombinatorische Systeme können ausschließlich aus den Funktionen UND, ODER und NEGATION gebildet werden.
- Für sequentielle Systeme ist ein weiteres Element erforderlich, das unterschiedliche Zustände annehmen kann.
- Eine elementare Schaltung, die zwei Zustände annehmen kann, ist das **RS-Flip-Flop**:



Wahrheitstabelle			
S	R	Q	$\bar{Q}$
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	keine Änderung	
0	0	unerlaubter Zustand	

Automatentabelle		
	S	R
Z1 (Q=1)	---	Z2
Z2 (Q=0)	Z1	---
<ul style="list-style-type: none"> <li>• S=1 bewirkt Zustand 1 (Q=1)</li> <li>• R=1 bewirkt Zustand 2 (Q=0)</li> </ul>		



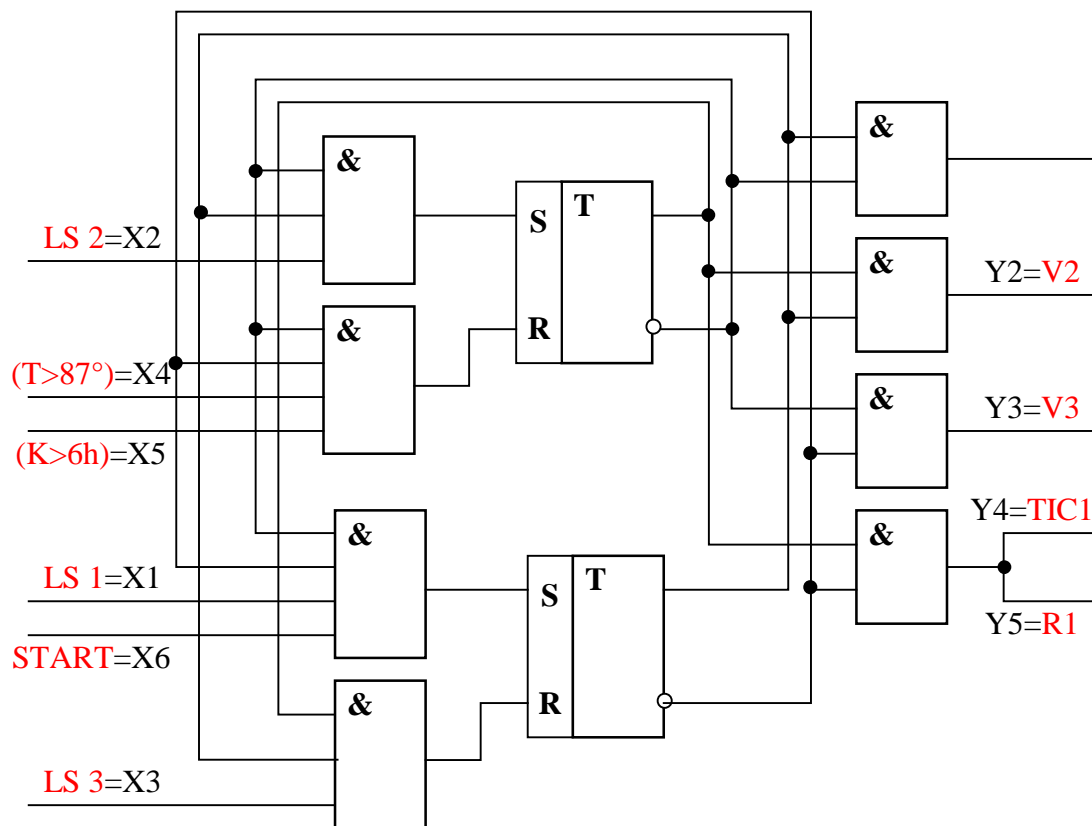
## 2.6 Verbindungsprogrammierte und speicherprogrammierbare Binärsteuereinrichtungen

### Verbindungsprogrammierte Steuereinrichtung:

#### Kennzeichen:

- Die einzelnen Funktionsmodule sind durch **elektrische Leitungen** miteinander verbunden.  
⇒ Name: verbindungsprogrammiert

Beispiel: Logikplan für den Chargenmischer (s. Abschn. 2.4.2)



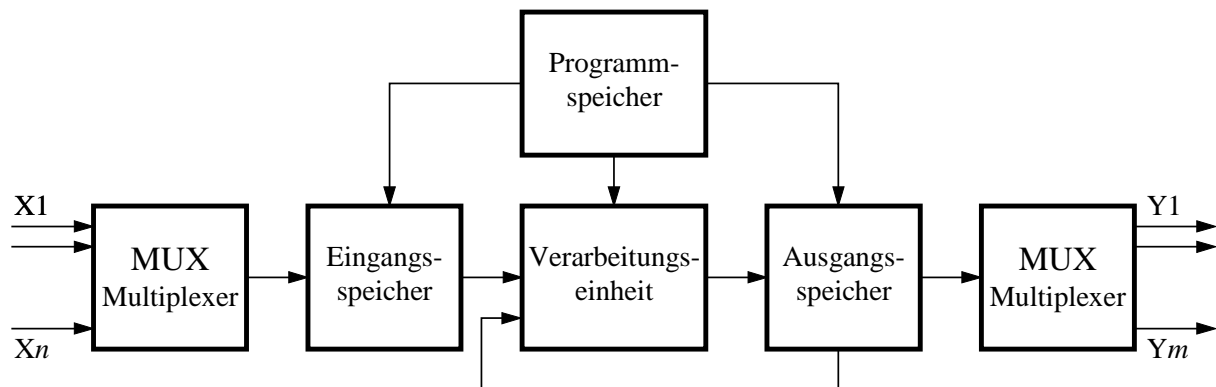
## Speicherprogrammierbare Steuereinrichtung (SPS):

### **Kennzeichen:**

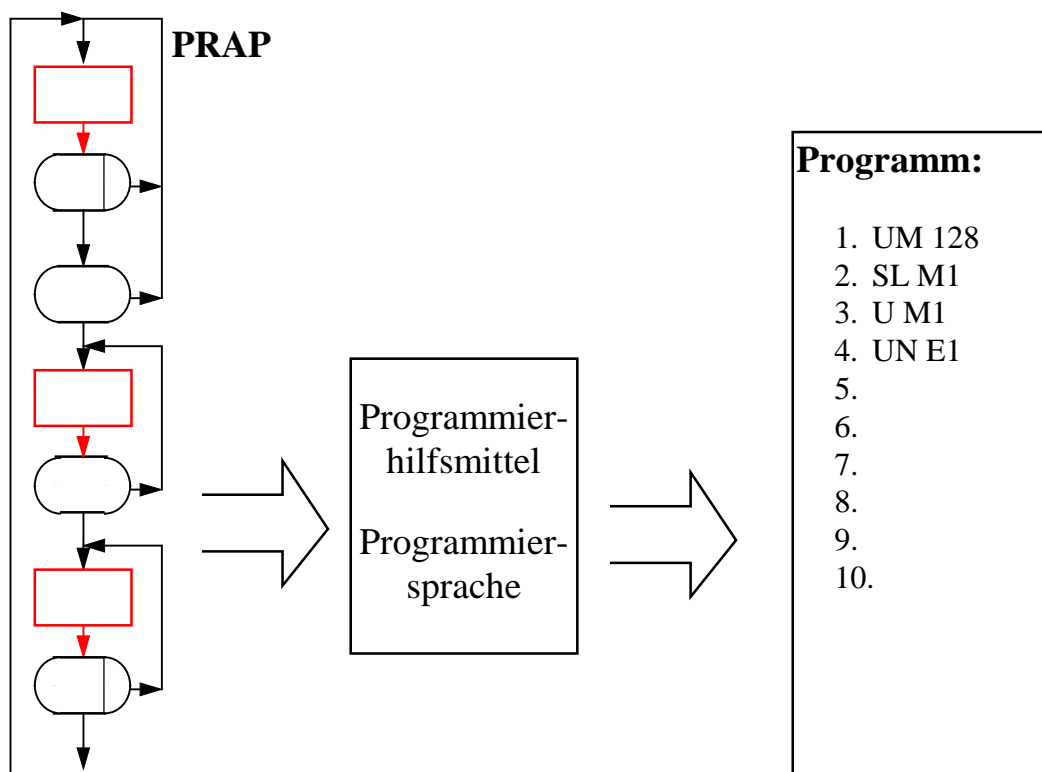
- Die (binären) Eingangssignale werden in einem Rechenwerk zur Bildung der Ausgangssignale verarbeitet.
- Das Rechenwerk wird durch ein Programm gesteuert, das in einem Speicher abgelegt ist.

⇒ Name: speicherprogrammierbar

### **Struktur einer speicherprogrammierbaren Steuerung:**



Das **Programm** für die Steuereinrichtung kann mit Hilfe spezieller Programmierhilfsmittel direkt aus dem **Prozeßablaufplan (PRAP)** abgeleitet werden:



### **Vorteile der SPS:**

- geringerer schaltungstechnischer Aufwand durch Einsatz von Standard-(Mikro)Rechnern
- hohe Flexibilität durch Einsatz der Programmierertechnik