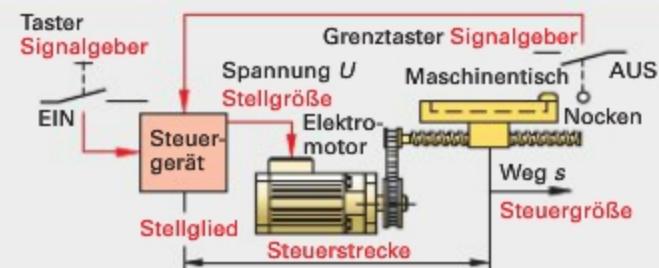
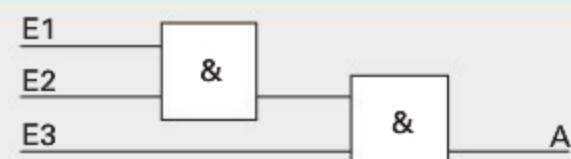


## 8 Automatisierungstechnik

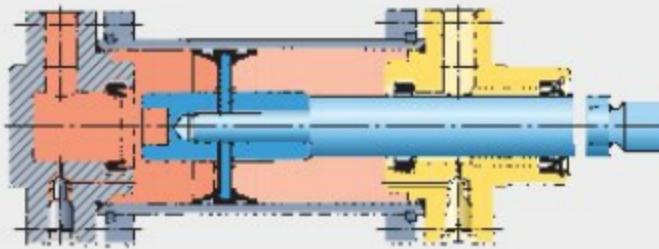
<b>8.1 Steuern und Regeln .....</b>	<b>477</b>
Grundlagen der Steuerungstechnik .....	477
Grundlagen der Regelungstechnik .....	479
Reglerarten .....	480
Unstetige Regler .....	480
Stetige Regler .....	480



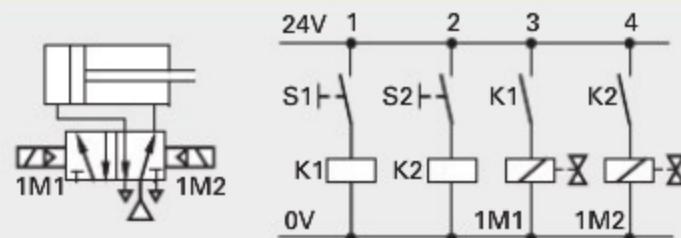
<b>8.2 Grundlagen und Grundelemente von Steuerungen .....</b>	<b>483</b>
Arbeitsweise von Steuerungen .....	483
Steuerungskomponenten .....	484



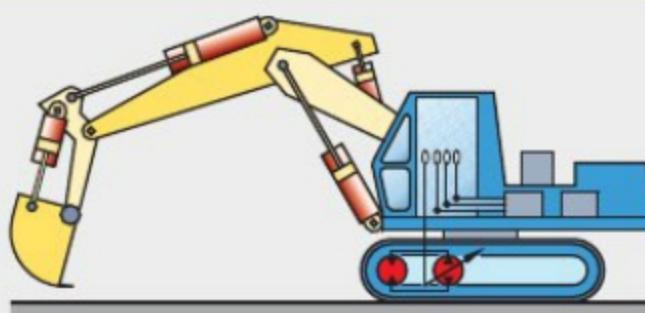
<b>8.3 Pneumatische Steuerungen .....</b>	<b>489</b>
Baugruppen pneumatischer Anlagen .....	489
Bauelemente der Pneumatik .....	490
Schaltpläne pneumatischer Steuerungen .....	499
Systematischer Schaltplanentwurf .....	500
GRAFCET .....	501
Beispiele pneumatischer Steuerungen .....	505
Vakuumtechnik .....	507



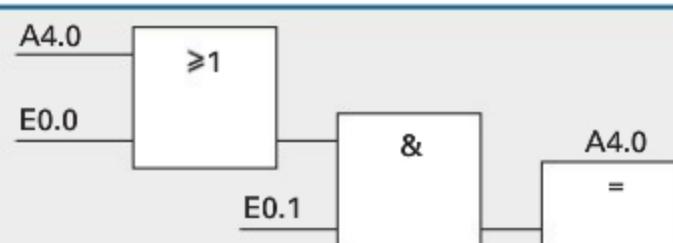
<b>8.4 Elektropneumatische Steuerungen .....</b>	<b>509</b>
Bauelemente elektrischer Kontaktsteuerungen .....	509
Signalelemente – Sensoren .....	512
Verdrahtung mit Klemmenleiste .....	517
Beispiele für elektropneumatische Steuerungen .....	518
Ventilinseln .....	523



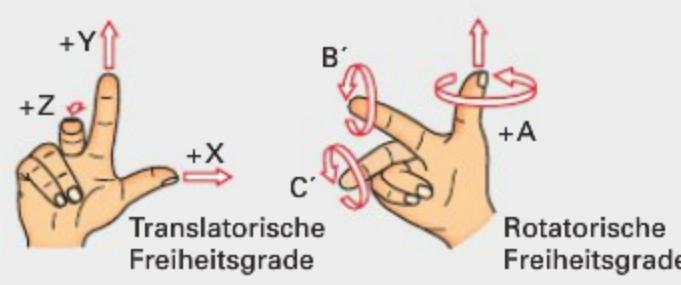
<b>8.5 Hydraulische Steuerungen .....</b>	<b>524</b>
Energieversorgung und Druckmittel- aufbereitung .....	525
Arbeitselemente und Hydrospeicher .....	527
Hydraulikventile .....	531
Proportionalhydraulik .....	535
Hydraulikleitungen und Zubehör .....	537
Beispiele für hydraulische Schaltungen .....	539



<b>8.6 Speicherprogrammierbare Steuerungen .....</b>	<b>542</b>
Speicherprogrammierbare Steuerung als Kleinststeuerung .....	542
Speicherprogrammierbare Steuerung als modulares Automatisierungssystem .....	545



<b>8.7 Handhabungstechnik in der Automation .....</b>	<b>554</b>
Handhabungssystemtechnik .....	554
Kinematik und Bauarten von Industrierobotern .....	555
Programmierung von Industrierobotern .....	557
Bewegungsarten von Industrierobotern .....	559
Sicherheit beim Einsatz von Handhabungs- systemen .....	561



<b>8.8 Practice your English .....</b>	<b>562</b>
--	------------



## 8 Automatisierungstechnik

### 8.1 Steuern und Regeln

Maschinen und Anlagen werden mithilfe der Steuerungs- und Regelungstechnik automatisiert. Wird z.B. der Antriebsmotor für die Arbeitsspindel einer Drehmaschine auf die Drehzahl 1000/min geschaltet, so bezeichnet man diesen Vorgang als **Steuern**. Beim **Regeln** dagegen wird der Istwert der Drehzahl gemessen, mit dem vorgegebenen Sollwert verglichen und bei Abweichungen korrigiert.

#### 8.1.1 Grundlagen der Steuerungstechnik

##### Steuerungen arbeiten nach dem E-V-A-Prinzip

- Eingabe** der Signale z.B. durch Taster, Druckschalter und Sensoren
- Verarbeitung** der Signale z.B. durch Verknüpfen in einem Relais
- Ausgabe** der Signale z.B. an einen Antriebsmotor

Beim Antrieb des Maschinentisches (Bild 1) wird der Elektromotor durch einen Taster über ein Steuergerät eingeschaltet und treibt die Spindel an. Der Maschinentisch fährt aus, bis der Nocken den Grenztaster erreicht und ein AUS-Signal auslöst. Eine Abweichung vom eingestellten Verfahrenweg infolge einer Störung wird nicht erfasst und korrigiert. Dieses Ein- und Ausschalten nennt man **Steuern**.

##### Grundbegriffe

Die Elemente einer Steuerung werden durch genormte Begriffe bezeichnet (Bild 1):

**Signalgeber** ist der EIN-Taster, das Steuergerät das **Stellglied**, die elektrische Spannung  $U$ , mit welcher der Elektromotor angesteuert wird, die **Stellgröße**. Der Weg  $s$  des Maschinentisches wird als **Steuergröße** bezeichnet. Die Baueinheiten der Maschine, welche durch die Signalgabe beeinflusst werden, nennt man **Steuerstrecke**.

Die Gesamtanlage, kurz **Steuerung** genannt, kann vereinfacht durch einen Blockschaltplan dargestellt werden, in dem die einzelnen Elemente der Steuerung als Rechteckblöcke gezeichnet sind (Bild 1). Der Signalfluss zwischen den Blöcken wird durch **Wirklinien** dargestellt. Eine Rückwirkung von der Steuergröße auf die Stellgröße findet nicht statt. Deshalb spricht man von einer **Steuerkette** oder von einem offenen Wirkungsablauf.

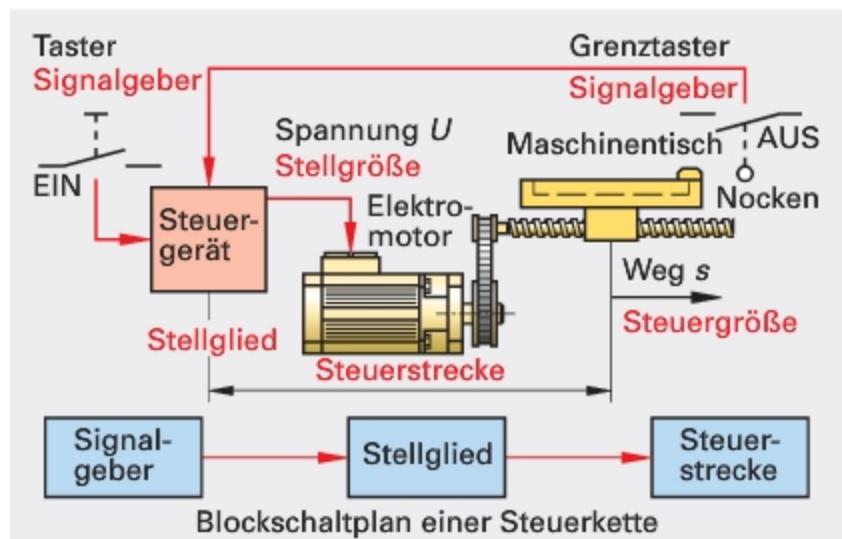


Bild 1: Beispiel einer Steuerung

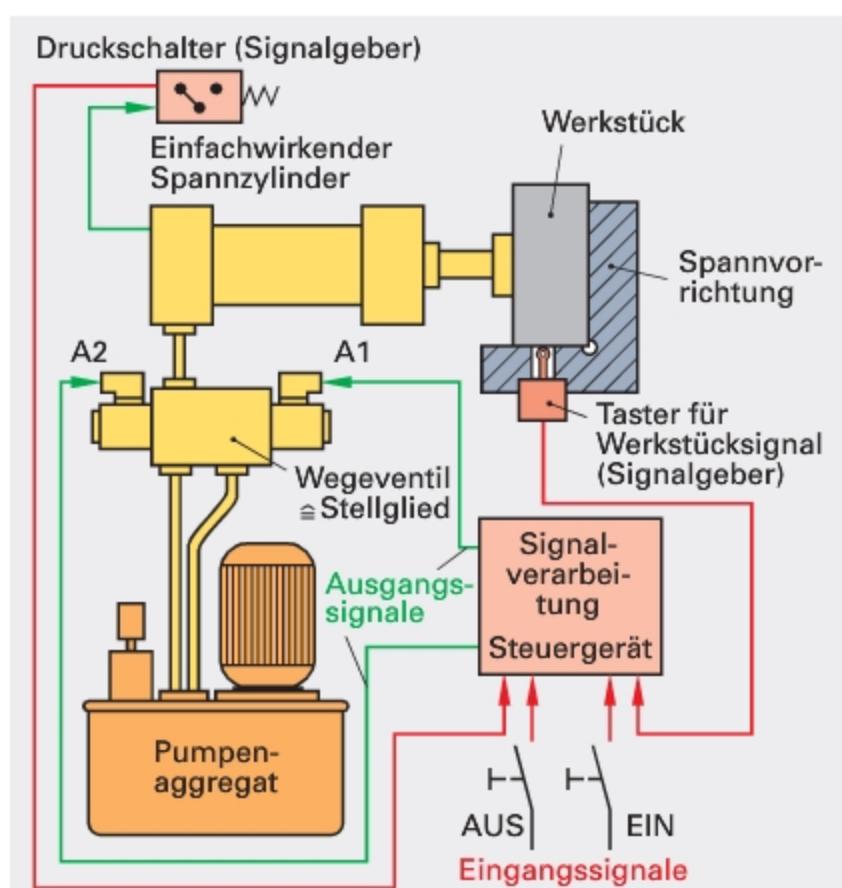


Bild 2: Hydraulische Spanneinrichtung

- Beim Steuern wird eine Abweichung der Istgröße von der Sollgröße nicht korrigiert.

##### Beispiel einer Steuerung (Bild 2)

Der Kolben des Spannzylinders darf erst ausfahren, wenn sich ein Werkstück in der Vorrichtung befindet UND der EIN-Taster gedrückt ist. Die Verknüpfung beider Eingangssignale schaltet das Wegeventil auf Zylindervorlauf (Seite 486). Ist der Spanndruck erreicht, gibt der Druckschalter das Signal für die Werkstückbearbeitung. Durch den AUS-Taster und das Signal A2 wird der Zylinder zurückgesteuert.

## ■ Steuerungsarten

Steuerungen kann man nach der Signalverarbeitung und nach der Programmierung unterscheiden.

### Einteilung nach der Art der Signalverarbeitung

**Verknüpfungssteuerungen.** Um den Vorschubmotor des Maschinentisches einzuschalten (A1), muss das Schutzgitter zu (S1), der Tisch in Endlage (S2) und der Taster (S3) betätigt sein (**Bild 1**). Es müssen also drei Eingangssignale UND-verknüpft werden, um das Ausgangssignal A1 zu erhalten.

Bei Verknüpfungssteuerungen wird eine Schaltbedingung nur erfüllt, wenn Signale logisch miteinander verknüpft sind.

**Ablaufsteuerungen.** Bei Ablaufsteuerungen werden Bewegungsvorgänge schrittweise ausgelöst. Bei **zeitabhängigen Ablaufsteuerungen** erfolgt die Signalgabe z. B. durch ein Nockenschaltwerk (**Bild 2**), ein Zeitrelais oder einen Taktgeber.

Bei **prozessabhängigen Ablaufsteuerungen** beginnt ein nachfolgender Arbeitsschritt erst, wenn der vorhergehende abgeschlossen ist (**Bild 3**). Nach dem Start durch den Tastschalter S0 fährt der Maschinentisch in Arbeitsstellung. Dort gibt der Grenztaster S1 das Signal für den Eilgang der Bohreinheit. Anschließend löst S2 das Signal für den Arbeitsvorschub aus usw.

Erfolgt bei zeitabhängigen Ablaufsteuerungen ein Arbeitsschritt fehlerhaft oder gar nicht, so wird der nachfolgende trotzdem ausgeführt. Dies kann zu Störungen führen. Prozessabhängige Ablaufsteuerungen sind darum sicherer als zeitabhängige.

Prozessabhängige Ablaufsteuerungen werden **Wegplansteuerungen** genannt, wenn die Arbeitsschritte den abgefahrenen Wegen z. B. eines Maschinentisches entsprechen (**Bild 3**).

### Einteilung nach der Art der Programmierung

**Verbindungsprogrammierte Steuerungen.** In der pneumatischen Steuerung (**Bild 4**) sind die Bauelemente durch Leitungen nach einem Schaltplan miteinander verbunden. Bei einer Änderung des Ablaufs der Steuerung müssen die Leitungen neu verlegt werden.

Bei verbindungsprogrammierten Steuerungen ist der Programmablauf durch die Bauteile und deren Verbindung fest vorgegeben.

**Speicherprogrammierte Steuerungen (SPS).** Bei speicherprogrammierten Steuerungen (**Bild 4**) wird der Steuerungsablauf durch ein Programm festgelegt (Seite 545).

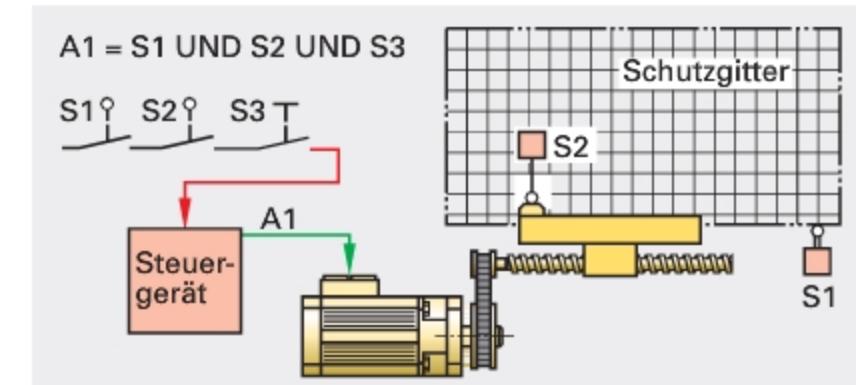


Bild 1: Verknüpfungssteuerung

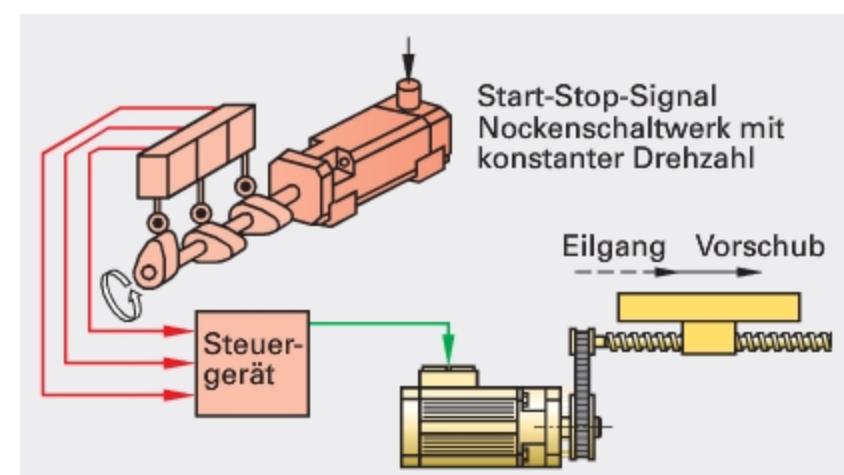


Bild 2: Zeitabhängige Ablaufsteuerung

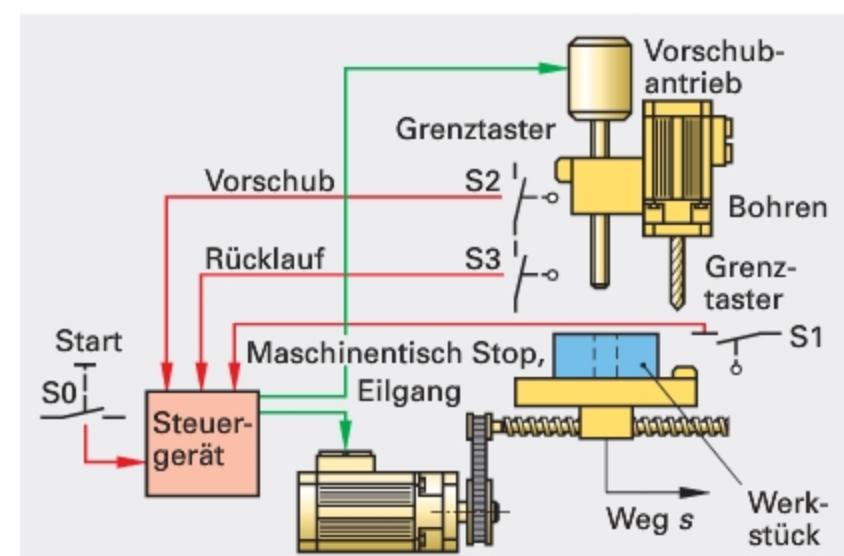


Bild 3: Prozessabhängige Ablaufsteuerung

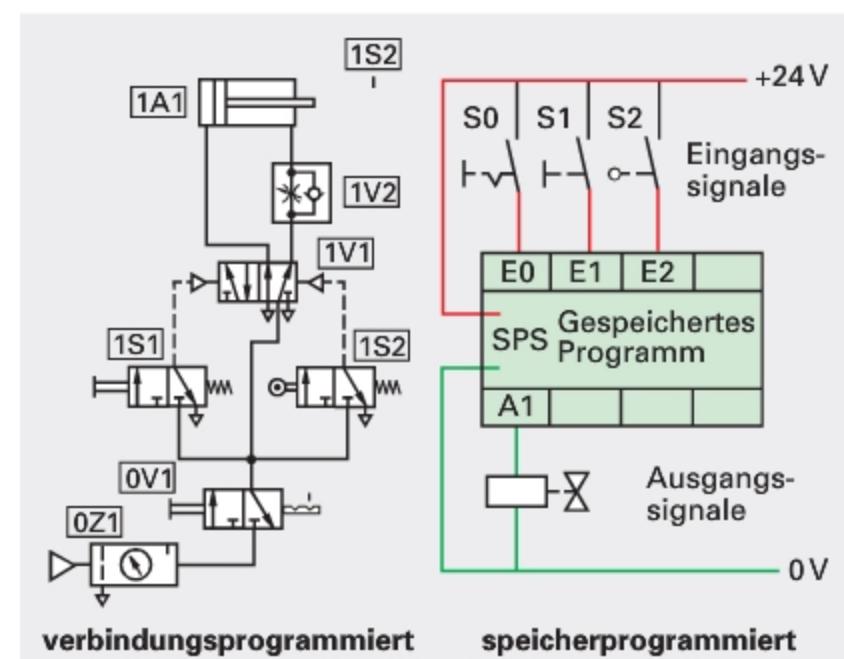


Bild 4: Verbindungs- und speicherprogrammierte Steuerungen



## 8.1.2 Grundlagen der Regelungstechnik

Mit Regelungseinrichtungen werden in der Technik Vorgänge automatisiert. Die Aufgabe der Regleinrichtungen ist es, vorgegebene Werte wie z. B. Drehzahlen, Positionen, Geschwindigkeiten, Temperaturen usw. zu erreichen oder einzuhalten.

**Festwertregelung.** Muss ein vorgegebener Wert konstant gehalten werden, z. B. die Drehzahl beim Drehen, so bezeichnet man dies als Festwertregelung.

**Folgeregelung.** Wird das Werkzeug einem laufend vorausberechneten Wert nachgeführt, z. B. dem Durchmesser beim Konturdrehen, so spricht man von einer Folgeregelung.

### ■ Beispiel: Drehzahlregelung an einer CNC-Drehmaschine (Bild 1)

Die Drehzahl der Arbeitsspindel (**Regelgröße**) wird z. B. digital durch einen Tachogenerator gemessen und an der Vergleichsstelle fortlaufend mit dem Sollwert der Drehzahl (**Führungsgröße**) verglichen. Bei einer Abweichung z. B. durch schwankende Schnittkraft (**Störgröße**) regelt der Regler die Drehzahl nach und gleicht sie dem Sollwert an.

Eine Regelung bildet durch den fortlaufenden Vergleich des Istwertes der Regelgröße mit dem Sollwert immer einen geschlossenen Kreislauf. Deshalb spricht man von einem Regelkreis (**Bild 2**).

Jede Regelung ist durch drei Vorgänge gekennzeichnet:

- **Messen** der Regelgröße
- **Vergleichen** mit der Führungsgröße
- **Angleichen** durch Nachstellen

Der Regler und die Nachstelleinrichtung bilden zusammen die **Regeleinrichtung**. Die durch die Regeleinrichtung beeinflusste Einheit wird als **Regelstrecke** bezeichnet.

### ■ Beispiel einer Lageregelung (Bild 3)

Jede CNC-Maschine besitzt außer der Drehzahlregelung auch eine Lageregelung, um das Werkzeug oder den Maschinentisch dem vom Programm vorgegebenen Sollwert nachführen zu können (Seite 565). Die Regelstrecke des Lagerregelkreises (Bild 3) umfasst den Antriebsmotor, den Kugelgewindetrieb, den Maschinentisch und die Messeinrichtung.

Die Position des Maschinentisches wird fortlaufend gemessen und mit den Sollwerten des Programmes verglichen. Weicht der Istwert vom Sollwert ab, wird der Maschinentisch solange bewegt, bis der Sollwert erreicht ist.

### Beispiele für Regelungsvorgänge

- Regelung der Drehzahl beim Plandrehen
- Geschwindigkeitsregelung beim Kfz (Tempomat)
- Regelung der Temperatur im Härteofen
- Druckregelung in Pneumatikanlagen
- Abstandsregelung der Düse beim Laserschneiden

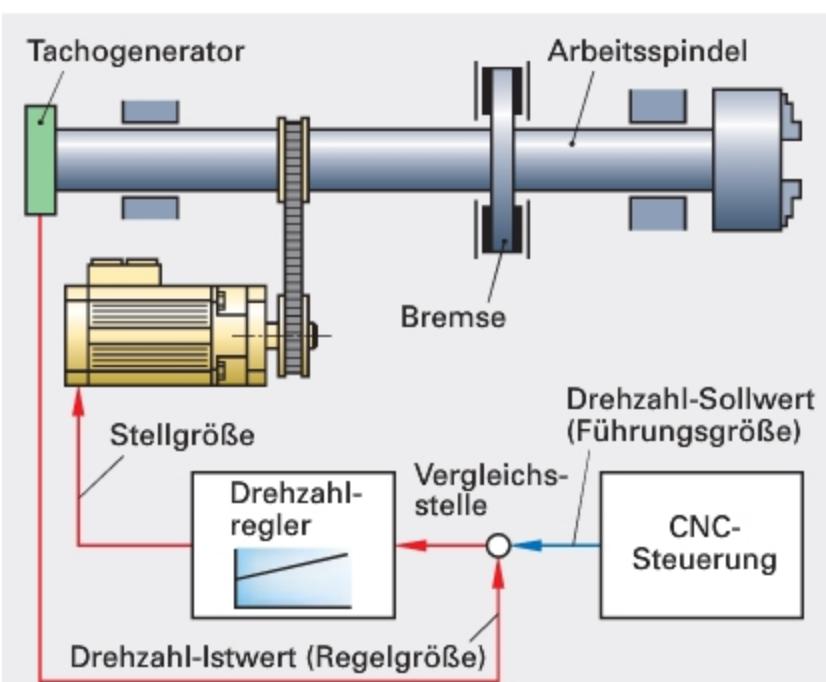


Bild 1: Drehzahlregelung beim Drehen

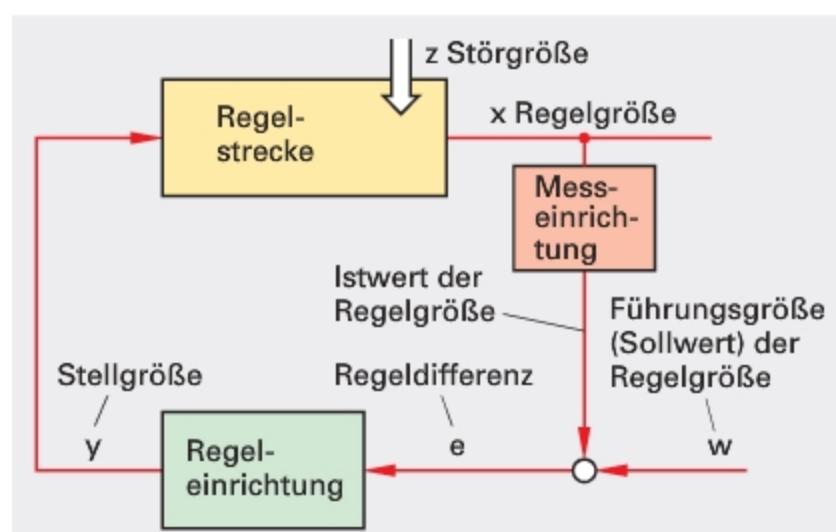


Bild 2: Blockschaltbild eines Regelkreises

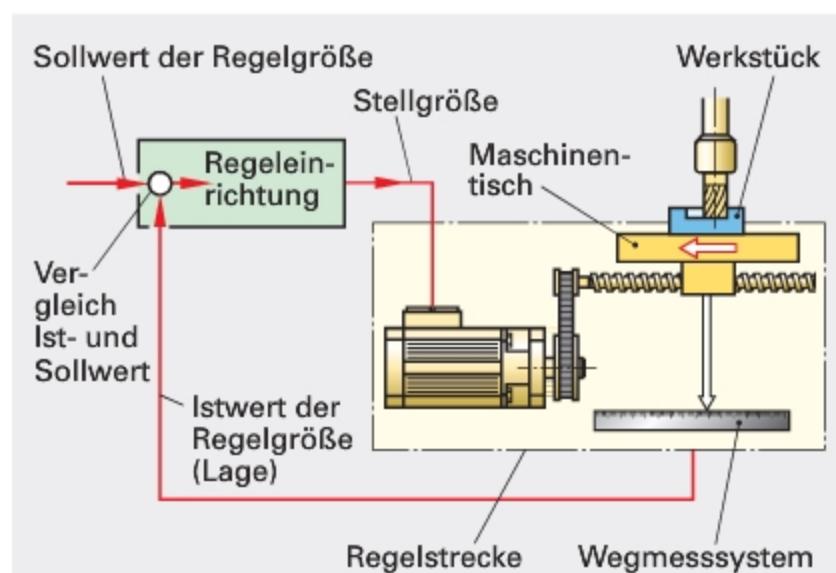


Bild 3: Lagerregelkreis eines Vorschubantriebes

## ■ Reglerarten

Nach ihrer Wirkungsweise unterscheidet man unstetige und stetige Regler.

### Unstetige Regler

Ein unstetiger Regler besitzt zwei oder mehrere Schaltstellungen. Er verändert die Stellgröße unstetig durch Schalten in Stufen. Besitzt der Regler nur zwei Schaltstellungen EIN und AUS, so wird er auch Zweipunktregler genannt.

Zweipunktregler werden z.B. als Bimetallregler in Temperaturregelkreisen eingesetzt (**Bild 1**). Beim Einschalten der Ofenheizung ist der Kontakt der Bimetallfeder zunächst geschlossen. Bei Erwärmung durch die Heizung biegt sich die Bimetallfeder auf und öffnet den Kontakt (obere Grenztemperatur). Erst wenn die Temperatur durch die einsetzende Abkühlung wieder unter den unteren Grenzwert abgesunken ist, schließt der Kontakt wieder und die Heizung setzt erneut ein.

Der Unterschied zwischen Einschalt- und Ausschalttemperatur ist die **Schaltdifferenz** des Zweipunktreglers. Die Temperatur im Ofen stellt sich durch die verzögerte Wärmeleitung auf einen Wert zwischen den beiden Grenztemperaturen ein (**Bild 2**).

### Stetige Regler

Stetige Regler erfassen die Regelgröße  $x$  stufenlos (stetig) und ändern dann die Stellgröße  $y$  ebenfalls stufenlos innerhalb des Stellbereichs (**Bild 3**). Sie können die Regelgröße, z.B. den Füllstand eines Wasserbehälters, genauer einhalten als unstetige Regler.

Um die Eigenschaften eines stetigen Reglers untersuchen zu können, ändert man das Eingangssignal  $x$  sprunghaft und beobachtet, wie das Ausgangssignal  $y$  darauf reagiert (**Bild 4**). Die Art, wie sich das Ausgangssignal während der Beobachtungszeit ändert, nennt man die **Übergangsfunktion** oder die **Sprungantwort** des Reglers. Bei den stetigen Reglern unterscheidet man P-Regler, I-Regler, PI-Regler, D-Regler und PID-Regler.

**P-Regler.** Erhöht sich z.B. infolge einer Störung der Wasserzulauf (Störgröße) im Zulaufrohr, steigt der Füllstand (**Bild 3**). Der mitsteigende Schwimmer betätigt über einen Hebel das Ventil, der Zulauf wird dadurch gedrosselt. Die Änderung der Ventilstellung erfolgt im Verhältnis der Hebelübersetzung. Die Sprungantwort des Reglers ist also der Änderung des Eingangssignals **proportional** (**Bild 4**).

Das Ventil im Zulaufrohr muss so weit geschlossen werden, dass trotz höheren Zuflusses die Zulaufmenge zum Behälter gleich bleibt. Dazu ist aber ein höherer Schwimmerstand und somit auch Füllstand erforderlich. Der **P-Regler** hat also eine bleibende Abweichung vom Sollwert.

**Proportionalregler (P-Regler)** reagieren schnell auf Signaländerungen, besitzen aber eine bleibende Regelabweichung.

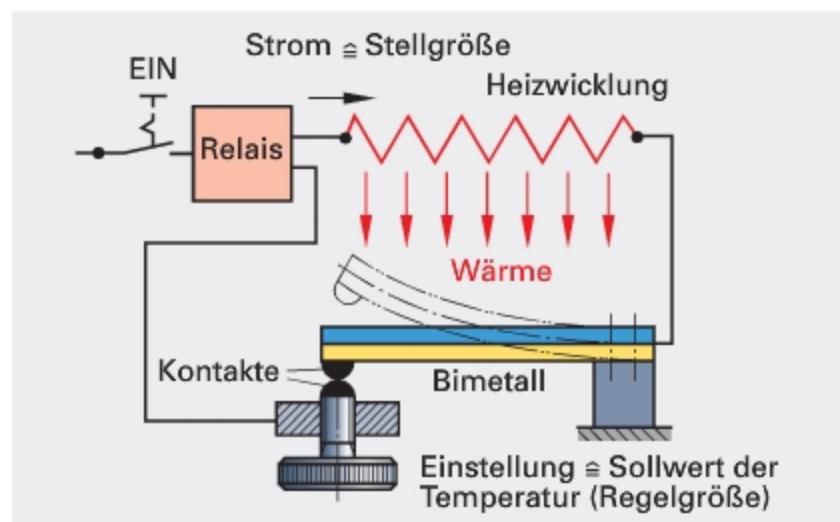


Bild 1: Unstetiger Regler einer Ofenheizung

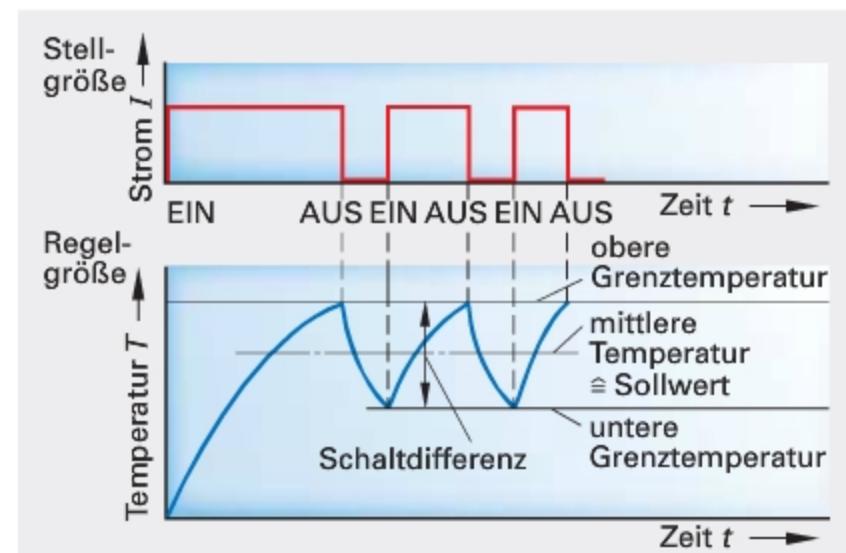


Bild 2: Regelverhalten eines Zweipunktreglers

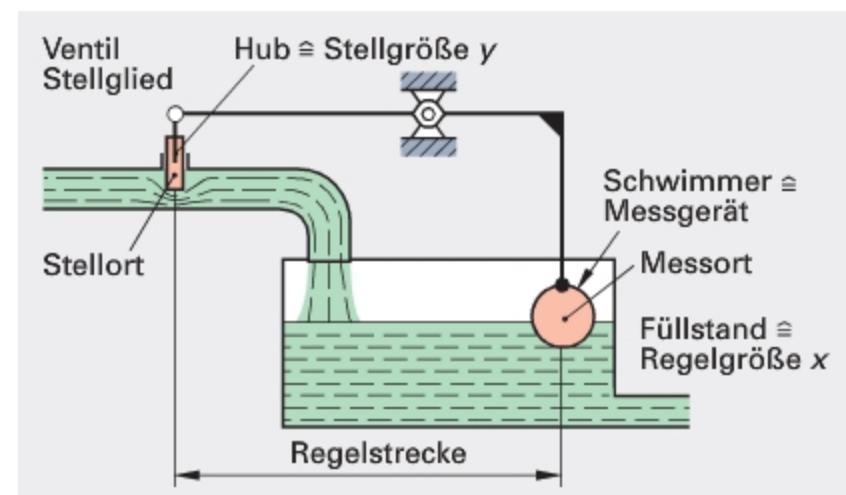


Bild 3: Stetiger Regler

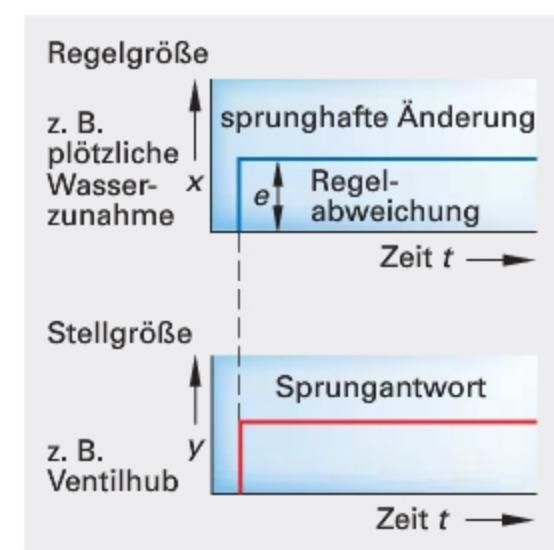


Bild 4: P-Verhalten



**I-Regler.** Beim **Integralregler** (I-Regler) bewirkt eine sprunghafte Änderung der Regelgröße eine Änderung der Geschwindigkeit der Stellgröße (**Bild 1**). Je größer die Regelabweichung ( $e_2, e_1$ ) am Eingang des I-Reglers ist, desto schneller wird das Stellglied verstellt (Kennlinien 1 und 2).

Der Füllstand eines Behälters wird durch einen I-Regler konstant gehalten (**Bild 2**). Hat der Füllstand seinen Sollwert erreicht, ist der Spannungsabgriff am Potenziometer gleich null. Der Motor steht still. Senkt sich der Schwimmer, erhält der Motor Spannung. Diese wird umso größer, je mehr sich der Füllstand absenkt. Der Motor dreht sich entsprechend der größeren Absenkung schneller. Somit öffnet sich auch das Ventil schneller. Die Verstellgeschwindigkeit des Ventils ist also direkt abhängig von der Regelabweichung des Schwimmers. Die Spannungsrichtung wechselt, wenn sich der Schwimmer wieder hebt. Dadurch ändert sich die Drehrichtung des Motors. Das Ventil schließt sich. Der Sollwert wird ohne bleibende Regelabweichung wieder erreicht.

**I-Regler** sind langsamer als P-Regler, beseitigen aber die Regelabweichung vollständig.

**PI-Regler.** Beim **PI-Regler** werden ein P-Regler und ein I-Regler parallel geschaltet. Der PI-Regler verbindet dadurch den Vorteil des P-Reglers, die schnelle Regelung, mit dem Vorteil des I-Reglers, der keine bleibende Regelabweichung zulässt. Er wird z. B. bei der Lage Regelung für die Positionierung des Maschinenteiles bei NC-Maschinen eingesetzt.

**D-Regler.** Beim **differenzierend** wirkenden Regler (D-Regler) ändert sich bei einer sehr schnellen Regelabweichung  $e$  die Stellgröße  $y$  kurzzeitig und kehrt dann wieder auf ihren ursprünglichen Wert zurück (**Bild 3**). Die Änderung der Stellgröße ist umso größer, je schneller die Abweichung erfolgt. Da der **D-Regler** nur kurzzeitig die Stellgröße ändert, gleicht er eine konstante Regelabweichung nicht aus. Er kann nur zusammen mit einem P-, I- oder PI-Regler eingesetzt werden.

Der **differenzierende Anteil** (D-Anteil) eines Reglers beschleunigt die Stellgröße und bewirkt ein sehr schnelles Eingreifen.

**PID-Regler.** **PID-Regler** wirken noch schneller als PI-Regler. Nach einem sprunghaft veränderten Eingangssignal (**Bild 4**) wird durch den D-Einfluss die Stellgröße kurzzeitig verändert (P1). Da nun der P-Anteil des Reglers eine der Regelabweichung proportionale, sehr schnelle Verstellung der Stellgröße bewirkt, kehrt diese nicht wieder auf den ursprünglichen Wert zurück (P2). Zum neuen Wert der Stellgröße wird nun der I-Anteil des Reglers addiert. Damit geht die Regelabweichung wieder auf null zurück.

Mit einem PID-Regler lässt sich z. B. die Drehzahl eines Gleichstrommotors regeln. Dadurch bleibt die Drehzahl des Motors auch bei unterschiedlicher Belastung konstant.

Der **PID-Regler** verbindet die Vorteile des P-, I- und D-Reglers. Er reagiert schnell und hebt die Regelabweichung völlig auf.

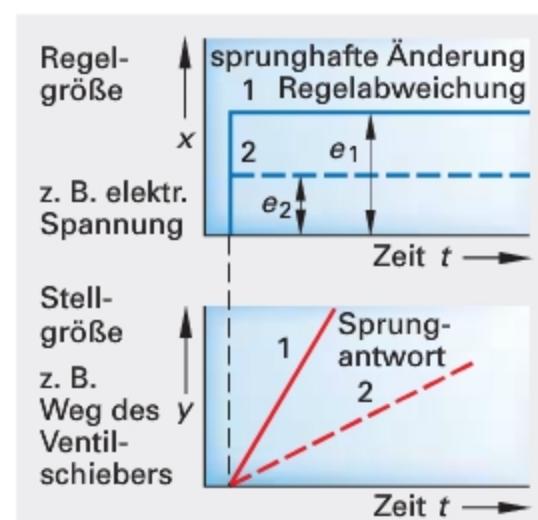


Bild 1: I-Verhalten

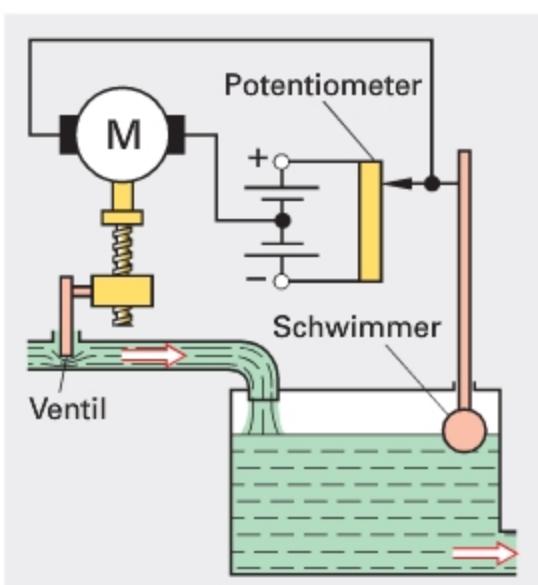


Bild 2: I-Regler

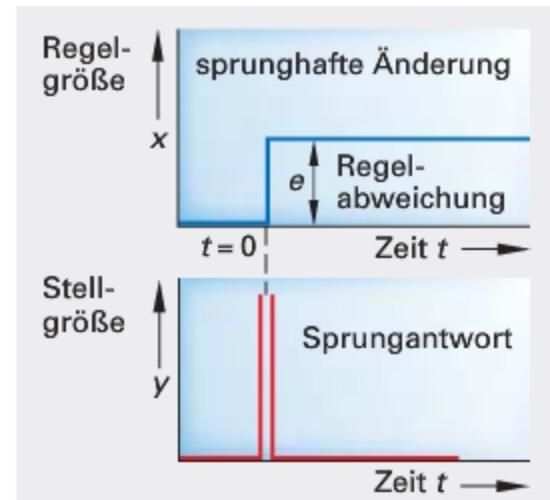


Bild 3: D-Verhalten

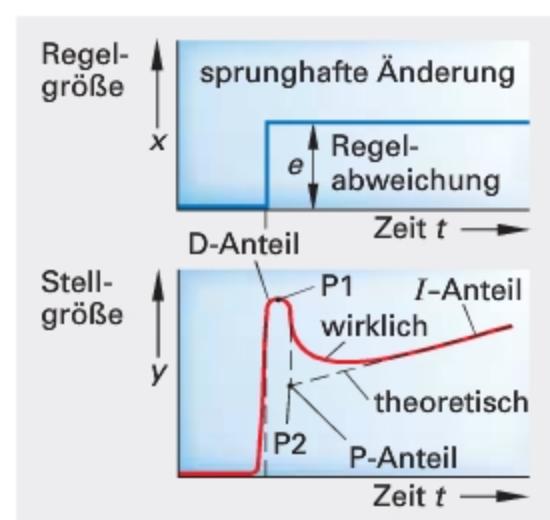
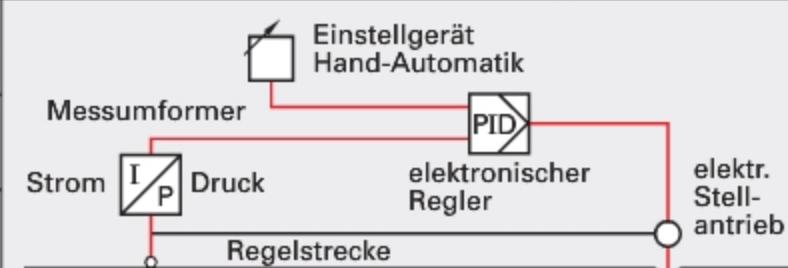


Bild 4: PID-Verhalten

Für die Darstellung wichtiger Teile des Regelkreises werden genormte Bildzeichen verwendet (**Tabelle 1**).

**Tabelle 1: Bildzeichen der Steuerungs- und Regelungstechnik**

Bildzeichen	Bedeutung	Bildzeichen	Bedeutung	Beispiel: Druckregelung
—	Messort, Fühler	I/P	Signal- oder Messumformer	
▽	Stellglied, Stellort	□/△	Regler, allgemein	
○	Stellantrieb, allgemein	□	Einsteller, allgemein	



## ■ Elektrische Regler

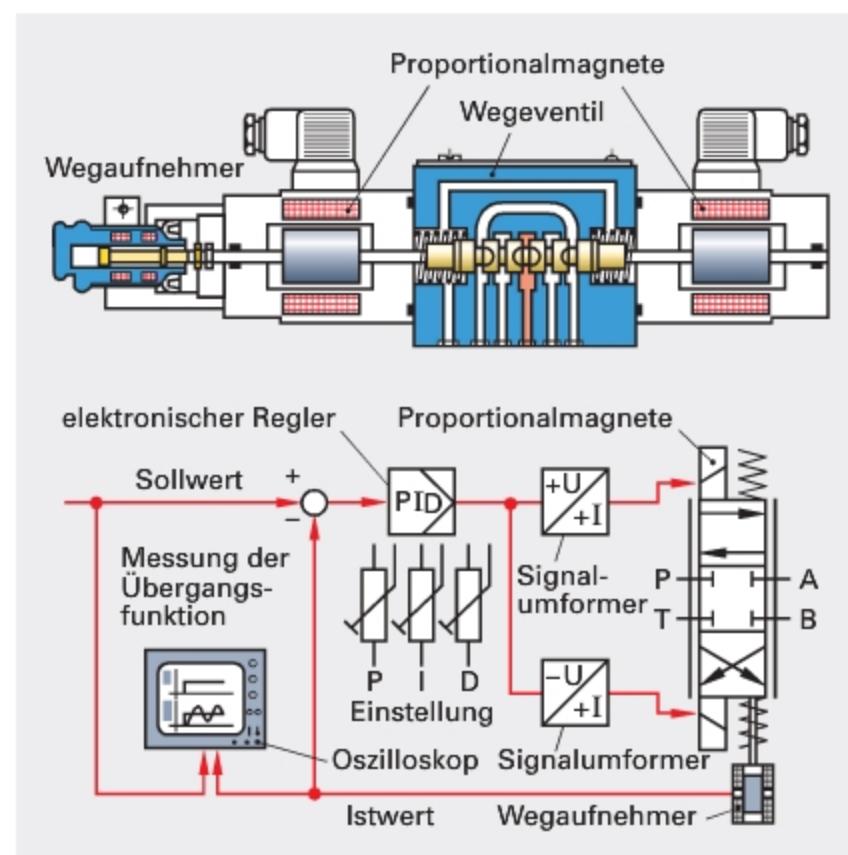
In der Regelungstechnik wird die Signalverarbeitung fast ausschließlich mit elektronischen Reglern ausgeführt.

### Beispiel: Proportionalventil mit PID-Regler

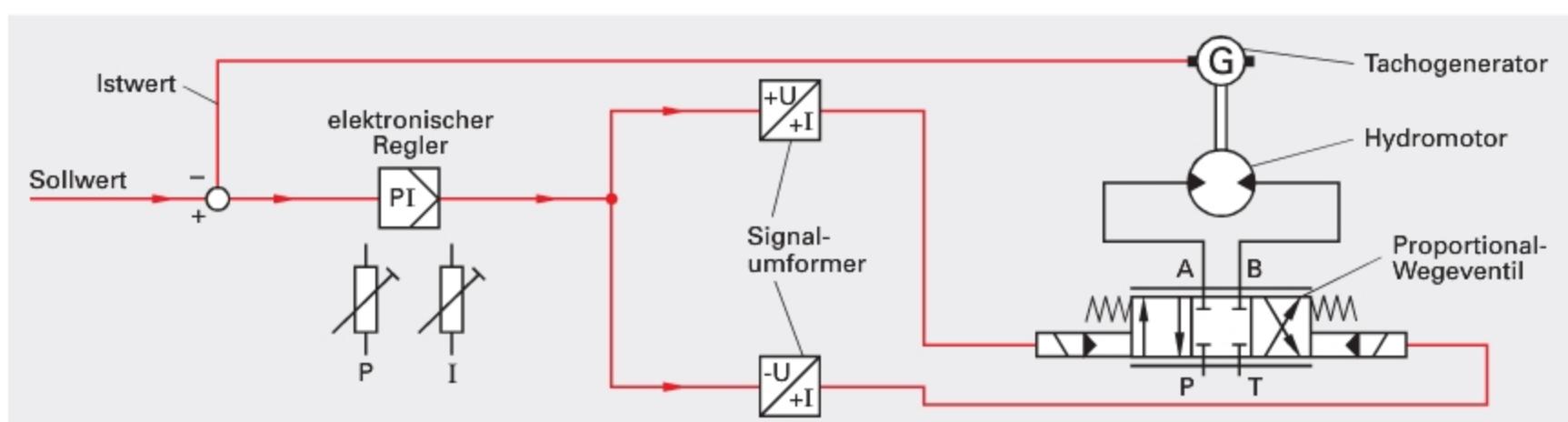
Mit Proportionalventilen wird z.B. die Geschwindigkeit von Hydraulikzylindern stufenlos eingestellt (**Bild 1**). Sie besitzen einen Wegaufnehmer, der den Ventilhub elektrisch misst und in einen Steuerstrom umsetzt. Dieser wird über einen PID-Regler dem Sollwert nachgeregt und den Proportionalmagneten zugeführt (Seite 536).

### Beispiel: Drehzahlregelung eines Hydromotors

Die Extruderwelle einer Spritzgießmaschine wird durch einen Hydromotor angetrieben. Um die Drehzahl des Motors konstant zu halten, wird ein PI-Regler eingesetzt (**Bild 2**). Stellglied ist ein Proportionalventil. Ein Tachogenerator liefert den Istwert der Drehzahl. Sinkt die Drehzahl, wird über den PI-Regler der Durchfluss des Ventils verstellt. Dies bewirkt eine Änderung der Drehzahl.



**Bild 1: Proportional-Wegeventil mit PID-Regler**



**Bild 2: Drehzahlregelung eines Hydromotors**

## Wiederholung und Vertiefung

- 1 Welche Eigenschaften hat eine Verknüpfungssteuerung?
- 2 Wodurch unterscheiden sich die beiden Arten der Ablaufsteuerungen voneinander?
- 3 Wie unterscheidet sich eine verbindungsprogrammierte Steuerung von einer speicherprogrammierten Steuerung?
- 4 Wie unterscheiden sich unstetige und stetige Regler?
- 5 Welche Eigenschaften hat ein P- bzw. I-Regler?
- 6 Was bewirkt der D-Anteil bei einem stetigen Regler?
- 7 Nennen Sie zwei Anwendungsbeispiele von PID-Reglern.

## 8.2 Grundlagen und Grundelemente von Steuerungen

Die Funktion von Maschinen, Geräten und ganzen Anlagen wird durch ihre Steuerungen bestimmt. Die Steuerungen bestehen aus Signalgebern, Steuerelementen, Schaltgeräten und Antriebselementen (Aktoren). Diese Bauelemente können elektrisch, hydraulisch, pneumatisch oder mechanisch betrieben sein. Der grundsätzliche Aufbau und die Funktion der Steuerungen kann aber unabhängig von der Betriebsart einheitlich dargestellt werden.

### 8.2.1 Arbeitsweise von Steuerungen

Steuerungen nehmen die von den Signalgebern kommenden Signale auf, „verarbeiten“ sie in den eigentlichen Steuerelementen und geben danach Schaltbefehle an die Schaltgeräte aus. Die von den Schaltgeräten gesteuerten Antriebselemente führen dann die Bewegung an den Maschinen aus.

#### Beispiel einer Steuerung:

##### Sortiereinrichtung für Werkstücke (Bild 1)

**Aufgabe.** Lange Werkstücke (W1) und kurze Werkstücke (W2) werden auf einem Förderband einer Sortiereinrichtung zugeführt und sollen dort sortiert werden.

**Sortievorgang.** In der Sortiereinrichtung laufen die Werkstücke an drei Sensoren B1, B2 und B3 vorbei. Die langen Werkstücke überdecken dabei kurzzeitig alle drei Sensoren, die kurzen Werkstücke kurzzeitig nur den mittleren Sensor allein. Die Signale der Sensoren werden in der Steuerung miteinander verknüpft (Seite 486) und das Ergebnis als Schaltbefehl an das 5/2-Wegeventil ausgegeben. Dieses steuert den Pneumatikzylinder. Bei langen Werkstücken zieht der Zylinder die Weiche nach links. Sie bleibt so lange in dieser Stellung, bis wieder ein kurzes Werkstück von den Sensoren erfasst wird. Erst dann schiebt der Zylinder die Weiche nach rechts. Auch diese Stellung wird bis zum nächsten langen Werkstück beibehalten.

#### Baugruppen von Steuerungen

Steuerungen kann man in den eigentlichen Steuerteil und in den Energieteil gliedern (**Bild 2**). Steuer- und Energieteil sind durch Schnittstellen verbunden. Die im Steuerteil aufgenommenen und verarbeiteten Signale werden über die Schnittstelle an den Energieteil weitergegeben, in dem die Schaltgeräte die Antriebselemente steuern.

Um die Steuerung möglichst klein zu halten, wird der Steuerteil oft mit kleinerer Spannung oder geringerem Druck als der Energieteil betrieben. An der Schnittstelle müssen dann die Ausgangssignale des Steuerteiles verstärkt werden.

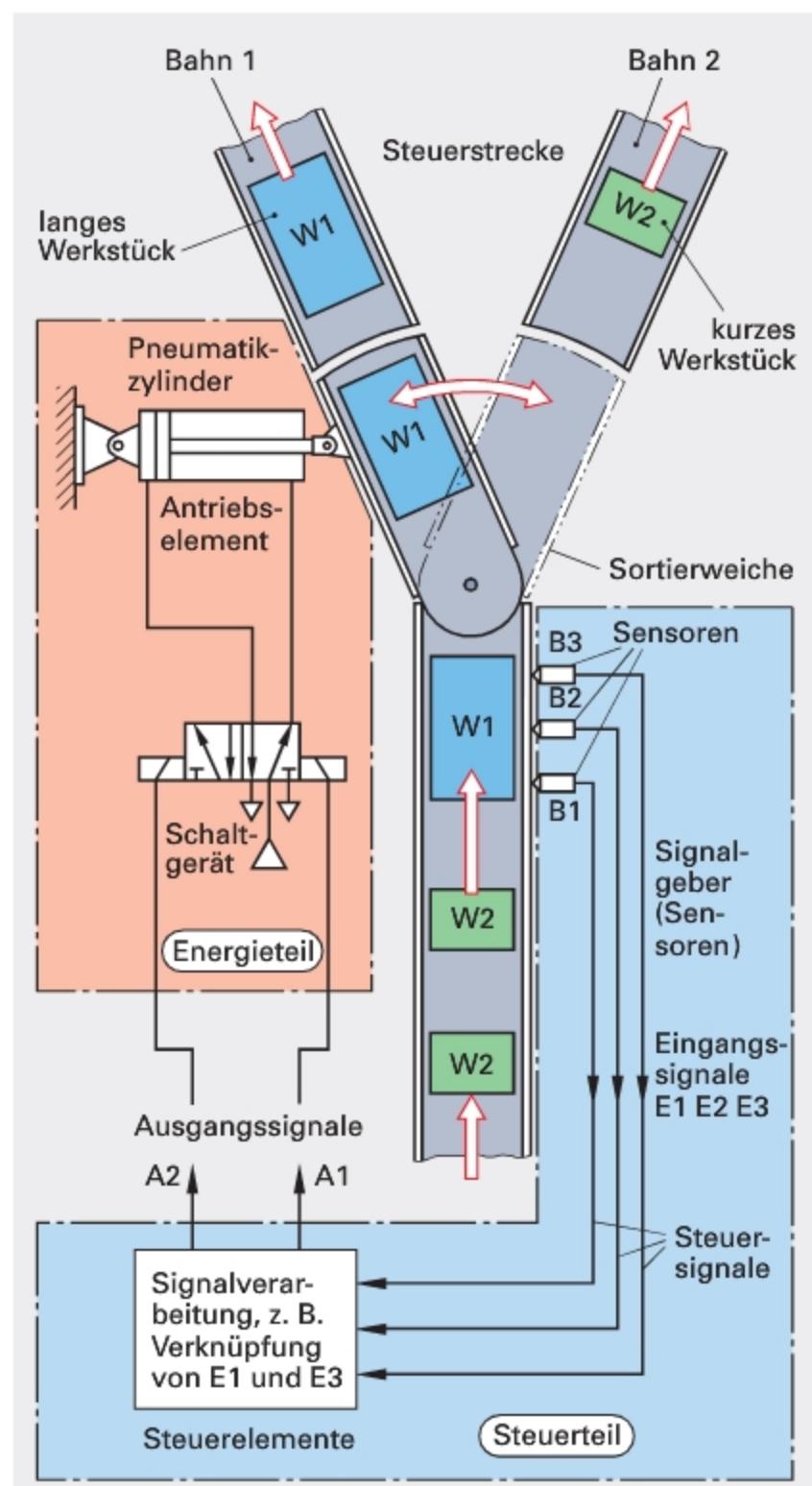


Bild 1: Steuerung einer Sortiereinrichtung

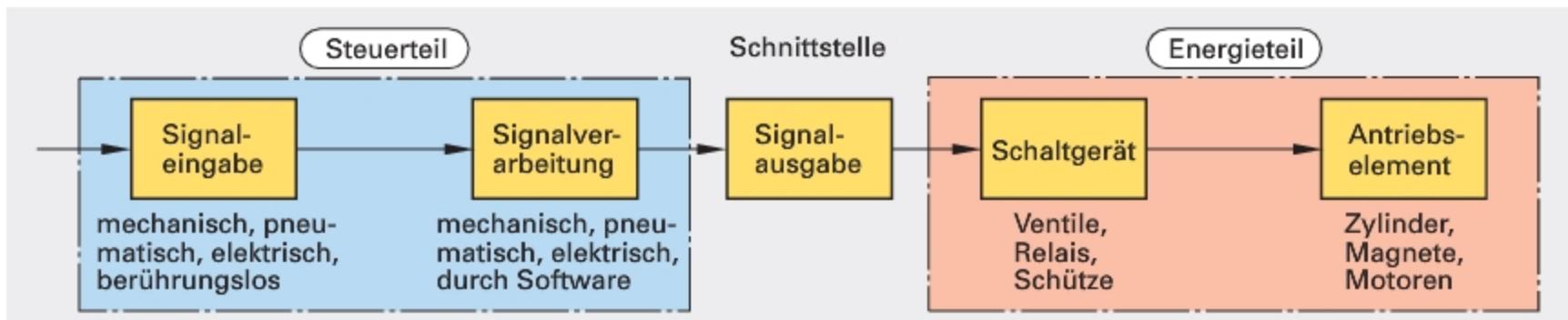


Bild 2: Baugruppen von Steuerungen

## 8.2.2 Steuerungskomponenten

Steuerungen bestehen aus **Signalgebern**, z.B. Schaltern und Sensoren, **Steuerelementen**, z.B. Relais und Mikroprozessoren, **Stellelementen**, z.B. monostabile oder bistabile Ventile, sowie **Antriebselementen**, z.B. Zylinder, Schütze und Motoren (**Tabelle 1**).

**Tabelle 1: Aufbau einer Steuerung (EVA-Prinzip)**

Steuerungskomponenten	Bauelemente
Signalgeber (Signal – Eingabe)	Schalter, Taster, Sensoren
Steuerelemente (Signal – Verarbeitung)	Zweidruckventile, Wechselventile, Relais
Antriebselemente (Signal – Ausgabe)	Zylinder, Greifer, Verdichter, Pumpen, Schütze, Motoren

Die in Steuerungen eingesetzten Bauelemente können nach der Art des Signaleingangs und der Signalverarbeitung in drei Kategorien eingeteilt werden (**Tabelle 2**).

**Tabelle 2: Bauelemente der Signalverarbeitung einer Steuerung**

Steuerungsarten	Bauelemente
Analoge Steuerung	Stetigventile, stufenlose Getriebe, analoge Sensoren
Digitale Steuerung	Wegmesssysteme, Mikroprozessoren, digitale Sensoren
Binäre Steuerung	Tastschalter und Stellschalter; Wegeventile; binäre Näherungsschalter

### 8.2.2.1 Signalarten – Signalformen

Die Signale, die von Schaltern und Sensoren abgegeben werden und den Steuerungsablauf beeinflussen, haben unterschiedliche **Signalformen**. Man unterscheidet **analoge**, **digitale** und **binäre Signale**.

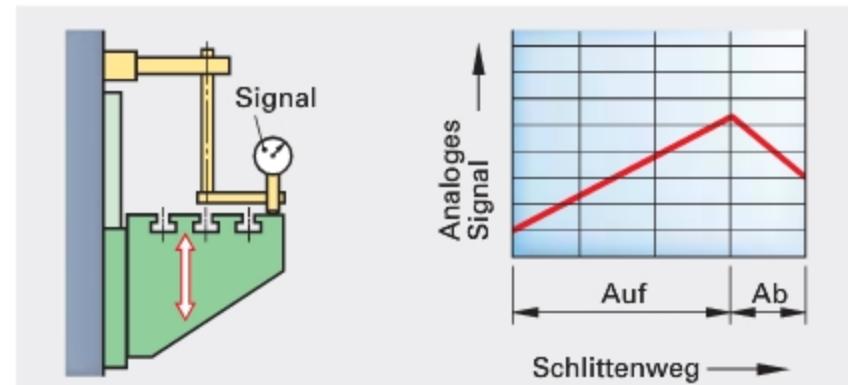
**Analoge (kontinuierliche) Signale** ändern sich stetig mit der Eingangsgröße (**Bild 1**). Je größer z.B. der Weg des Schlittens (Eingangsgröße) und damit des Messbolzens der Messuhr ist, desto größer ist der Drehwinkel des Zeigers der Messuhr (Ausgangsgröße). Pneumatische Messtaster (Seite 34) oder analoge Sensoren (Seite 513) geben analoge Ausgangssignale ab.

Analoge Signale können beliebige Werte annehmen.

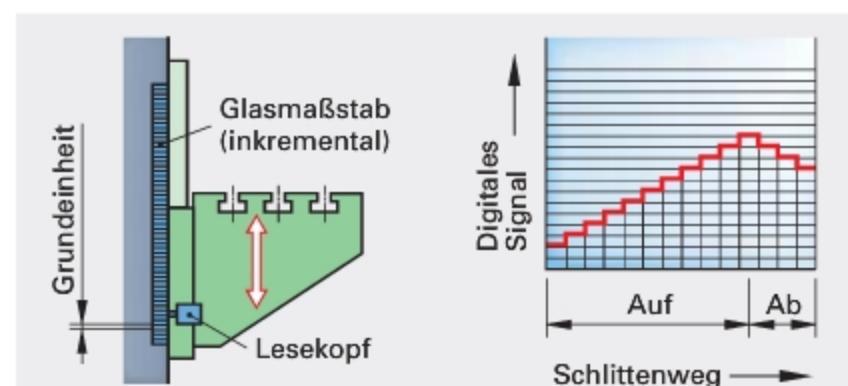
**Digitale (diskrete) Signale** bestehen aus einer endlichen Anzahl von gestuften Werten (**Bild 2**). So besteht z.B. bei CNC-Maschinen das digitale Signal für einen 10 mm langen Weg aus 10000 Impulsen am Glasmaßstab der Wegmesseinrichtung. Werden digitale Signale benötigt, so werden die analogen Signale in einem Analog-Digitalwandler in digitale Signale gewandelt.

Alle Zählvorgänge ergeben diskrete Werte.

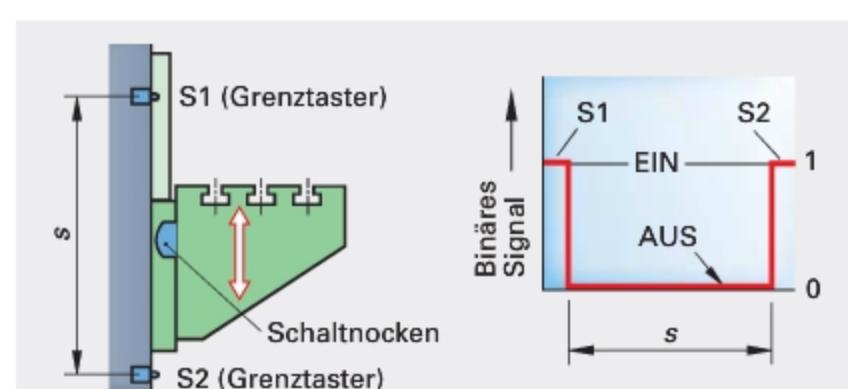
**Binäre (zweiwertige) Signale** nehmen nur zwei Werte bzw. Zustände an (**Bild 3**). Diese zwei Werte können mit 0 und 1 oder AUS und EIN bezeichnet werden. Die beiden Grenztaster S1 und S2 (**Bild 3**) geben beim Überfahren durch den Schaltnocken ein Signal ab, sodass der Vorschubmotor stillgesetzt wird.



**Bild 1: Analoges Signal**



**Bild 2: Digitales Signal**



**Bild 3: Binäres Signal**

Bei statischen Elementen (Schalter) wird der Signalzustand bei Betätigung sprunghaft hergestellt. Probleme können bei dynamischen Signalgliedern (z.B. Transistoren) auftreten, denn hier fehlt das Kippverhalten. Durch Restströme oder Restspannungen bzw. Spannungsschwankungen können Fehlsignale entstehen. Deshalb wird vom Hersteller (z.B. einer SPS) ein High-Bereich bzw. ein Low-Bereich definiert (**Bild 1**). Würde der Signalpegel im Sicherheitsbereich anliegen, so könnte es zu Fehlschaltungen kommen. Deshalb sind die Signalgeber z.B. mit einem Schnappmechanismus (Seite 509) versehen.

**Binärsignale** stellen die kleinste Einheit der Information dar, die abgeleitet von **binary digit** als **bit** bezeichnet wird.

Stellt man sich die Signalarten als geometrische Gebilde dar, so entspricht das Analogsignal einer Kugel, das Digitalsignal einem Würfel und das Binärsignal einer Münze (**Bild 2**).

### 8.2.2.2 Bauarten von Signalgebern

Signalgeber werden unterschieden in **mechanische Positionsschalter** (Grenztaster) und **Sensoren** (**Bild 3**).

#### Mechanische Positionsschalter

##### Schalter

Mit Schaltern werden vor allem Bewegungsabläufe und Arbeitsvorgänge an Maschinen gestartet und gestoppt. Sie sind binär arbeitende Bauteile. Schalter werden von Hand, mechanisch, z.B. durch Schaltnocken, elektromagnetisch oder durch Luft- bzw. Oldruck betätigt.

**Tastschalter** geben nur während der Betätigung ein Signal ab. Auch pneumatische oder hydraulische Wegeventile können als Tastschalter verwendet werden (**Bild 4**).

**Stellschalter** rasten bei Betätigung ein und geben dann ein Dauersignal ab.

**NOT-AUS-Schalter** sind Stellschalter mit einer pilzförmigen roten Betätigungsdeckel. Nach der Betätigung rastet der Schalter ein und darf erst nach der Behebung der Gefahr wieder entriegelt werden.

Tastschalter geben nur ein kurzes Signal, Stellschalter geben ein Dauersignal ab.

Elektrische Schalter (Seite 509) können mit mehreren Kontaktpaaren ausgestattet sein, z.B. je einem Öffner und einem Schließer oder einem Wechsler. Grenztaster werden durch Nocken in den Grenzstellungen einer Baueinheit betätigt. Sie müssen so eingebaut werden, dass sie „schleifend“ angefahren werden (**Bild 5**), um Schäden zu vermeiden.

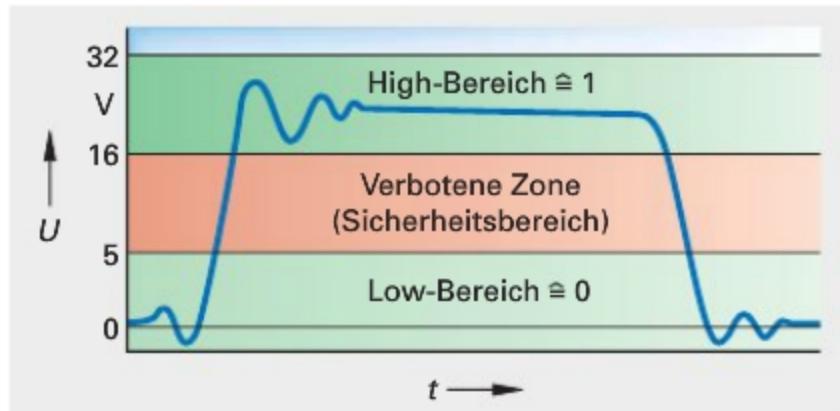


Bild 1: 0-1-Signal am Eingang einer SPS



Bild 2: Signaldarstellungen

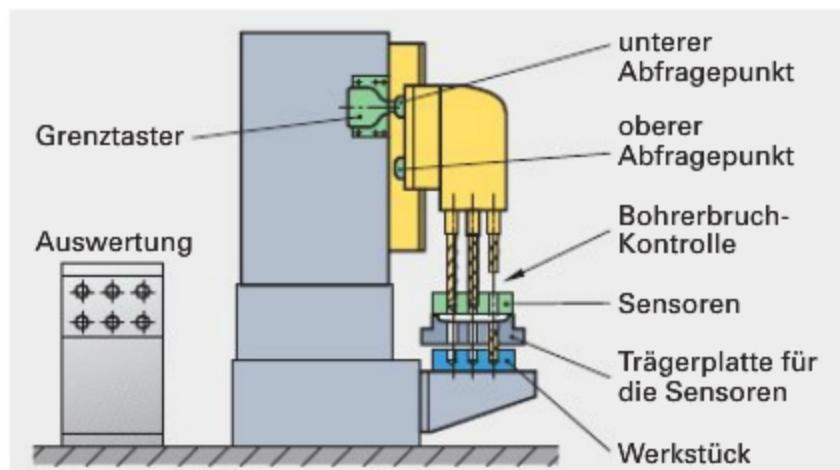


Bild 3: Signalgeber in der Steuerungstechnik

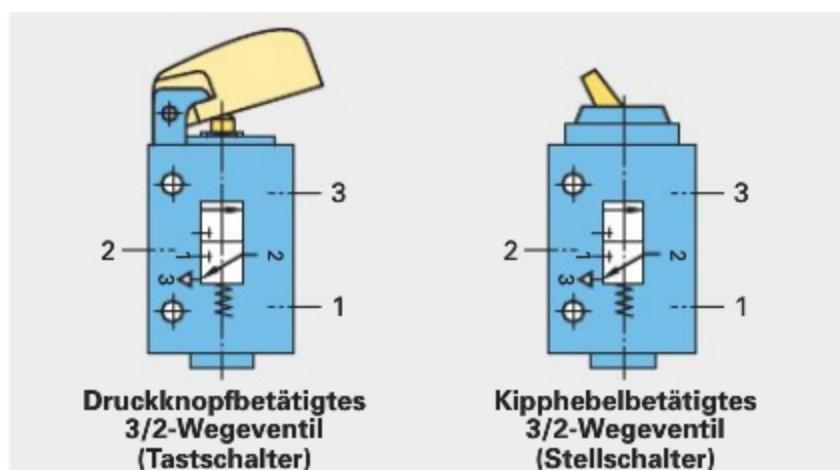


Bild 4: Pneumatische Ventile als Tast- und Stellschalter

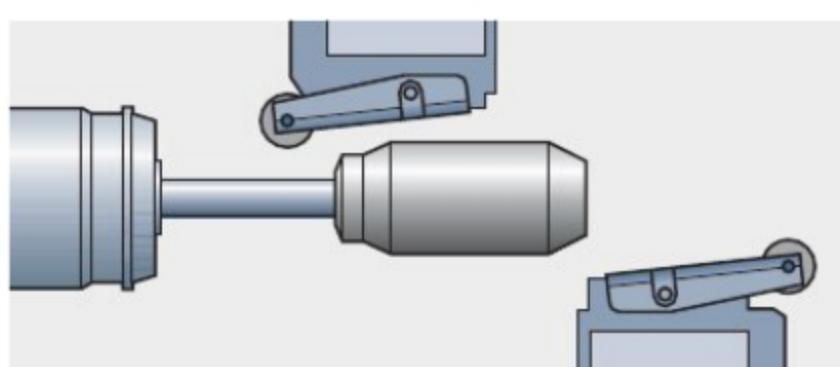


Bild 5: Korrekte Betätigung eines Grenztasters

### 8.2.2.3 Steuerelemente

Die von den Signalgebern kommenden Signale werden durch die Steuerelemente „verarbeitet“ und das Ergebnis an die Schaltgeräte ausgegeben.

#### Zur Signalverarbeitung gehören

- die **Verknüpfung** der Eingangssignale
- die **Verzögerung** von Ausgangssignalen
- das **Speichern** von Signalverknüpfungen
- die **Vervielfältigung** von Signalen

Die Signalverarbeitung erfolgt durch Geräte (Hardware) oder durch Programme (Software). Die Hardware kann aus mechanischen, pneumatischen, hydraulischen, elektrischen und elektronischen Geräten bestehen. Software wird in SPS-, CNC- und Prozesssteuerungen eingesetzt.

**Beispiel:** Bei der Steuerung der Sortierweiche (**Bild 1, Seite 483**) wird die Weiche durch den Pneumatikzylinder nach links geschwenkt, wenn bei langen Werkstücken die drei Eingangssignale E1, E2 und E3 gleichzeitig vorhanden sind. Wie müssen diese Signale miteinander verknüpft werden?

**Lösung:** Die drei Signale können z. B. durch zwei Zweidruckventile pneumatisch miteinander verknüpft werden (**Bild 1**).

### 8.2.2.4 Die Verknüpfung von Signalen

Alle Signalverknüpfungen werden mit den Grundfunktionen UND, ODER und NEGATION verwirklicht. Die Verknüpfungen können durch Funktionsgleichungen (Schaltalgebra), Wertetabellen, Logikpläne, Programme und Schaltpläne dargestellt werden (folgende Seite und **Tabelle 1**).

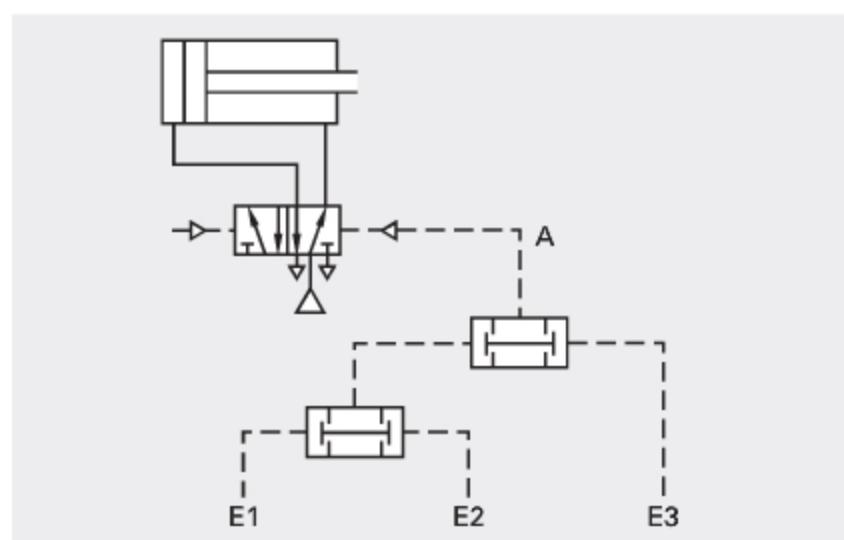
#### ■ UND-Verknüpfung

Bei UND-Verknüpfungen erhält man das Ausgangssignal A nur, wenn die beiden Eingangssignale E1 und E2 gleichzeitig vorhanden sind (Tabelle 1). UND-Verknüpfungen können z.B. durch pneumatische Zweidruckventile oder durch zwei in Reihe geschaltete Schließerkontakte verwirklicht werden.

**Beispiel:** Ein hydraulischer Spannstock (**Bild 2**) darf erst schließen (A = 1), wenn die beiden Tastschalter gleichzeitig gedrückt werden (E1 = 1, E2 = 1). Wie müssen die Eingangssignale miteinander verknüpft werden?

**Lösung:** E1 und E2 werden durch die UND-Funktion verknüpft (Tabelle 1). Sind E1 = 1 UND E2 = 1, erhält man das Ausgangssignal A. Der Spannzylinder fährt aus.

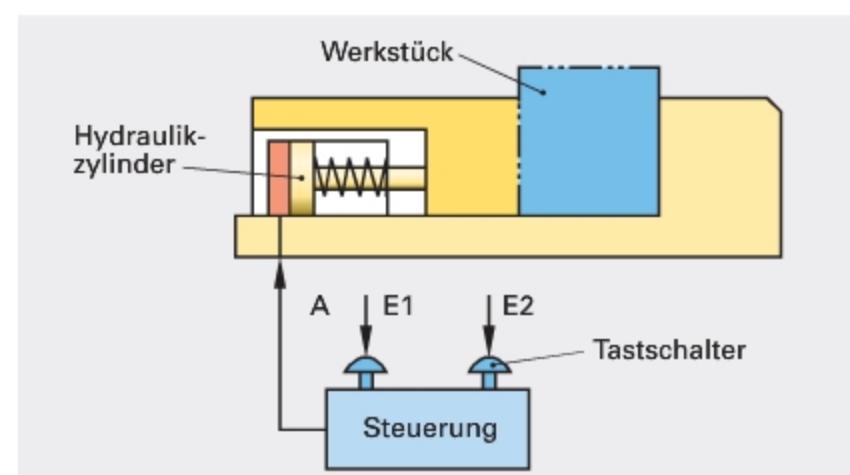
**UND-Verknüpfungen** liefern an ihrem Ausgang ein Signal (A = 1), wenn an beiden Eingängen gleichzeitig ein Signal (E1 = 1 UND E2 = 1) anliegt.



**Bild 1:** Pneumatische UND-Verknüpfung von drei Eingangssignalen

**Tabelle 1: UND-Verknüpfung**

Schaltalgebra	Wertetabelle	Logikplan															
Funktionsgleichung																	
$E1 \wedge E2 = A$	<table border="1"> <tr> <td>E2</td><td>E1</td><td>A</td></tr> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr> <td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr> <td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr> <td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	E2	E1	A	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	2 Eingangssignale E1      E2      &      A
E2	E1	A															
0	0	0															
0	1	0															
1	0	0															
1	1	1															
$\wedge$ Zeichen für UND-Verknüpfung																	
Pneumatischer Schaltplan	Relais-Schaltung	SPS-Funktionsplan															
mit Wegeventilen: 		Allgemein   SPS E1   E0.0 E2   E0.1 A   A0.0 E0.0   E0.1   &   A0.0															
mit Zweidruckventil: 																	



**Bild 2:** Vereinfachte Zweihandbedienung



## Darstellung von Signalverknüpfungen

Die **Schaltalgebra** kann benutzt werden, um Steuerungen zu entwerfen oder zu vereinfachen. Die Verknüpfungen werden dabei durch **Funktionsgleichungen** beschrieben.

In **Wertetabellen** wird zu allen möglichen Kombinationen der Eingangssignale E1, E2 ... die sich durch die Verknüpfung ergebende Ausgangsgröße A dargestellt. Bei 3 Eingangsgrößen ergeben sich  $2^3 = 8$ , bei 4 Eingangsgrößen  $2^4 = 16$  Kombinationsmöglichkeiten. Zur Vereinfachung werden oft nur die Kombinationen aufgeführt, welche die Ausgangsgröße A = 1 ergeben.

Im **Logikplan** werden die Verknüpfungen mit genormten Symbolen dargestellt. Sie werden von links nach rechts aufgebaut und gelesen.

Die logischen Verknüpfungen können auch durch **Programme**, z.B. Anweisungslisten, beschrieben werden. Diese Programme werden in besonderen oder in allgemeinen Programmiersprachen geschrieben. Die Ausgangssignale werden an die zu steuernden Geräte ausgegeben.

**Beispiel:** Die Steuerung für die linke Stellung der Sortierweiche (**Bild 1, Seite 483**) soll durch einen Logikplan und durch eine Wertetabelle beschrieben werden.

**Lösung:** Lange Werkstücke überdecken kurzfristig alle drei Sensoren gleichzeitig. Dadurch erhält man: E1 = 1 UND E2 = 1 UND E3 = 1. Nur bei dieser Kombination darf das Ausgangssignal A = 1 werden (**Bild 1**).

## ODER-Verknüpfung

Bei der ODER-Verknüpfung wird das Ausgangssignal A = 1, wenn entweder das Eingangssignal E1 = 1 oder das Eingangssignal E2 = 1 oder beide Eingangssignale 1 sind (**Tabelle 1**). Die ODER-Verknüpfung kann z.B. durch ein Wechselventil oder durch parallel geschaltete Schließerkontakte verwirklicht werden.

**Beispiel:** Ein Förderband kann durch je einen Tastschalter an den beiden Enden des Bandes oder vom Leitstand aus stillgesetzt werden. Die Verknüpfung soll durch Logikplan und Wertetabelle dargestellt werden.

**Lösung:** Wenn mindestens eines der drei Eingangssignale E1 ODER E2 ODER E3 vorhanden ist, wird das Ausgangssignal A = 1 (**Bild 2**).

Logikplan	Wertetabelle
E1	E3
E2	E2
E3	E1
	A
Kurzform	
E1	
E2	
E3	
	A

Bild 1: UND-Verknüpfung von 3 Eingangssignalen

## Tabelle 1: ODER-Verknüpfung

Schaltalgebra	Wertetabelle	Logikplan															
Funktionsgleichung																	
$E1 \vee E2 = A$	<table border="1"> <tr> <td>E2</td><td>E1</td><td>A</td></tr> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr> <td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr> <td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr> <td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	E2	E1	A	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	2 Eingangssignale
E2	E1	A															
0	0	0															
0	1	1															
1	0	1															
1	1	1															
(E1 ODER E2 ist gleich A)																	
V Zeichen für ODER-Verknüpfung																	
Pneumatischer Schaltplan	Relais-Schaltung	SPS-Funktionsplan															
mit Wegeventilen:		Allgemein   SPS															
		<table border="1"> <tr> <td>E1</td><td>E0.0</td></tr> <tr> <td>E2</td><td>E0.1</td></tr> <tr> <td>A</td><td>A0.0</td></tr> </table>	E1	E0.0	E2	E0.1	A	A0.0									
E1	E0.0																
E2	E0.1																
A	A0.0																
mit Wechselventil:																	

Logikplan	Wertetabelle
E1	E3
E2	E2
E3	E1
	A
Kurzform	
E1	
E2	
E3	
	A

Bild 2: ODER-Verknüpfung von 3 Eingangssignalen

**ODER-Verknüpfungen** liefern an ihrem Ausgang ein Signal A = 1, wenn an einem der Eingänge oder an allen Eingängen ein Signal (E1 = 1 ODER E2 = 1) ansteht.

## NICHT-Verknüpfung

Die NICHT-Verknüpfung kehrt das Eingangssignal  $E_1$  um. Das Ausgangssignal  $A$  ist „1“, wenn das Eingangssignal  $E_1 = 0$  ist und umgekehrt (**Tabelle 1**). Die NICHT-Verknüpfung wird deshalb auch als NEGATION (Verneinung) bezeichnet. Sie kann z.B. durch ein 3/2-Wegeventil mit Durchgangs-Nullstellung oder durch ein Relais mit einem Öffnerkontakt verwirklicht werden.

**Beispiel:** Eine Meldeleuchte soll eingeschaltet werden, wenn eine elektrische Leitung bricht. Die NICHT-Funktion soll mithilfe eines Relais verwirklicht werden.

**Lösung:** **Stromlaufplan.** Wenn die Leitung im Strompfad 1 unterbrochen wird, fällt das Relais ab. Der Öffnerkontakt im Strompfad 2 schließt und schaltet die Meldeleuchte ein (**Bild 1**).

Die NICHT-Funktion kehrt Eingangssignale um. Aus einem „1“-Signal am Eingang wird ein „0“-Signal am Ausgang und aus einem „0“-Signal am Eingang ein „1“-Signal am Ausgang.

## Verknüpfung mehrerer Grundfunktionen

Bei Steuerungen werden oft viele Grundfunktionen miteinander verknüpft. Die Verknüpfungen können auch hier durch Logikpläne und Wertetabellen übersichtlich dargestellt werden. Die Logikpläne können an Rechnern mit geeigneter Software erstellt und durch grafische Simulation getestet werden.

**Beispiel:** Bei der Sortierweiche (**Bild 1, Seite 483**) sollen die Verknüpfungen für folgende Betätigungen dargestellt werden:

- Schwenken auf Bahn 1, wenn ein langes Werkstück an den Sensoren vorbeiläuft ( $A_1 = 1$ )
- Schwenken auf Bahn 2, wenn ein kurzes Werkstück vorbeiläuft ( $A_2 = 1$ )

**Lösung:** Die Eingangssignale  $E_1$ ,  $E_2$  und  $E_3$  werden folgendermaßen verknüpft (**Bild 2**):

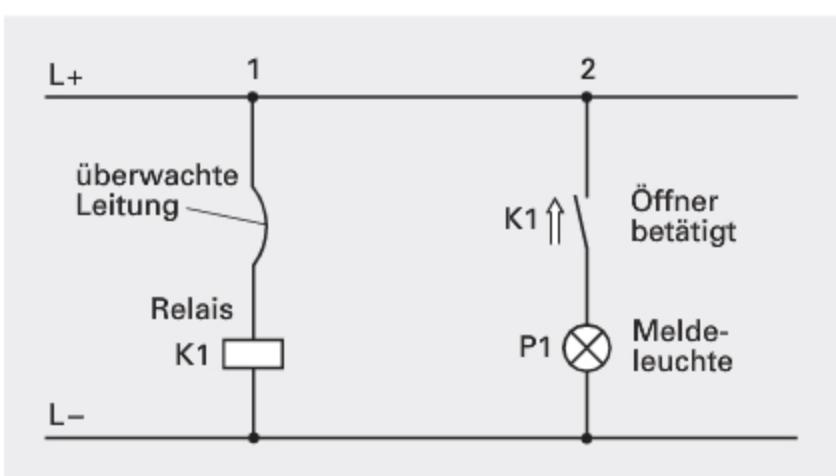
- $E_1 \text{ UND } E_2 \text{ UND } E_3 = A_1$
- $\overline{E_1} \text{ UND } E_2 \text{ UND } \overline{E_3} = A_2$

### 8.2.2.5 Schaltgeräte und Antriebselemente

Die Ausgangssignale der Steuerelemente werden an die Schaltgeräte ausgegeben. Dazu gehören die Ventile, die Zylinder steuern, und Relais sowie Schütze, die Elektromotoren zu- und abschalten. Die Antriebselemente („Aktoren“) wie Zylinder, Motoren, Heizgeräte, Bildschirme oder Drucker führen dann als letztes Glied der Steuerkette die von der Steuerung vorgegebenen Schritte aus.

**Tabelle 1: NICHT-Verknüpfung**

Schaltalgebra	Wertetabelle	Logikplan						
Funktionsgleichung $\overline{E_1} = A$		$E_1 \rightarrow 1 \rightarrow A$						
E1 nicht ist gleich A oder $E_1 = \overline{A}$	<table border="1"> <tr> <td>E1</td><td>A</td></tr> <tr> <td>0</td><td>1</td></tr> <tr> <td>1</td><td>0</td></tr> </table>	E1	A	0	1	1	0	$E_1 \rightarrow 1 \rightarrow A$ oder $E_1 \rightarrow 1 \circ \rightarrow A$
E1	A							
0	1							
1	0							
Pneumatischer Schaltplan	Relais-Schaltung	SPS-Funktionsplan						
Wegeventil		<table border="1"> <tr> <td>Allgemein</td><td>SPS</td></tr> <tr> <td>E1</td><td>E0.0</td></tr> <tr> <td>A</td><td>A0.0</td></tr> </table> $E_0.0 \rightarrow 1 \rightarrow A_0.0$ oder $E_0.0 \rightarrow 1 \circ \rightarrow A_0.0$	Allgemein	SPS	E1	E0.0	A	A0.0
Allgemein	SPS							
E1	E0.0							
A	A0.0							



**Bild 1: NICHT-Funktion bei der Überwachung einer elektrischen Leitung**

Logikplan			Wertetabelle								
E3	E2	E1	&		A1		E3	E2	E1	A1	A2
.	.	.	.	.	.	.	0	0	0	0	0
.	.	.	.	.	.	.	0	0	1	0	0
.	.	.	.	.	.	.	0	1	0	0	1
.	.	.	.	.	.	.	0	1	1	0	0
.	.	.	.	.	.	.	1	0	0	0	0
.	.	.	.	.	.	.	1	0	1	0	0
.	.	.	.	.	.	.	1	1	0	0	0
.	.	.	.	.	.	.	1	1	1	1	0

**Bild 2: Logikplan und Wertetabelle für die Steuerung der Sortierweiche**



## 8.3 Pneumatische Steuerungen

Unter Pneumatik versteht man die Lehre vom Verhalten der Gase, insbesondere der Luft. In der Technik umfasst die Pneumatik vor allem die Erzeugung der Druckluft und ihre Nutzung zur Steuerung und zum Antrieb von Maschinen. Pneumatische Steuerungen werden z.B. in Türschließanlagen von Schienenfahrzeugen und Kraftfahrzeugen, bei Verpackungsmaschinen, in Handhabungssystemen und in Montagewerkzeugen eingesetzt.

### 8.3.1 Baugruppen pneumatischer Anlagen

Pneumatikanlagen können in drei Baugruppen gegliedert werden (**Bild 1**).

- **Drucklifterzeugung** mit Verdichter, Kühler, Trockner und Druckluftbehälter
- **Druckluftaufbereitung**, bestehend aus Filter, Druckbegrenzungsventil, Öler und Hauptventil
- **Pneumatische Steuerung** mit Wege-, Sperr- und Stromventilen, Zeitbausteinen sowie Pneumatikzylindern und Druckluftmotoren.

Pneumatikanlagen und ihre Bauelemente werden bildlich oder mit Schaltplänen dargestellt. Bei den Schaltplänen werden dazu international genormte Symbole verwendet. Sie vereinfachen den Entwurf, das Verstehen der Funktion, die Montage und die Fehlersuche bei pneumatischen Steuerungen wesentlich und sind weltweit verständlich.

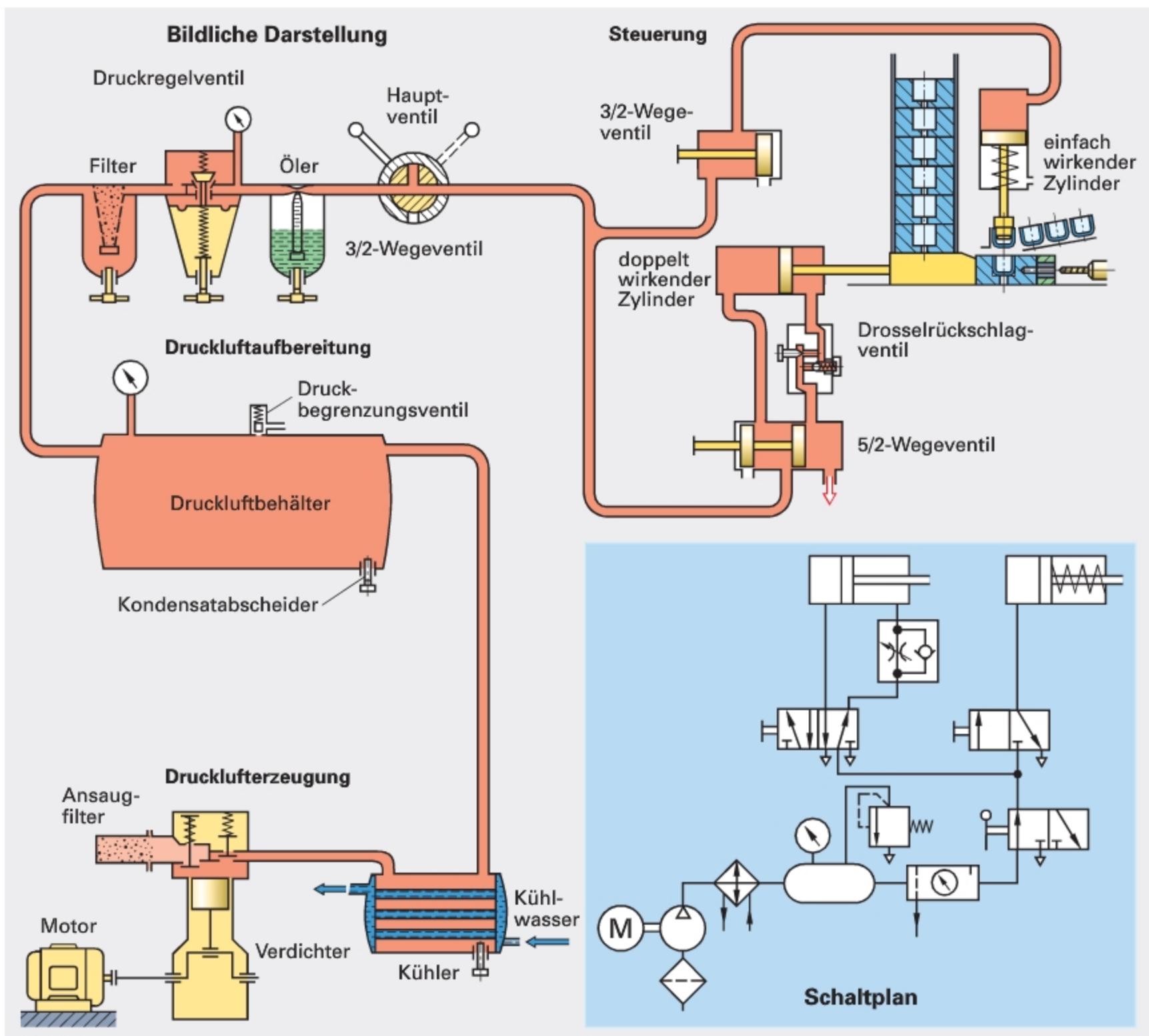


Bild 1: Bildliche Darstellung und Schaltplan einer Pneumatikanlage

## 8.3.2 Bauelemente der Pneumatik

### 8.3.2.1 Druckluftanlage

#### ■ Druckeinheiten und Druckarten

Drückt ein Kolben der Fläche  $A$  mit der Kraft  $F$  auf eine eingeschlossene Luftmenge, entsteht dort der Überdruck  $p_e$  (**Bild 1**).

#### Druck

$$p_e = \frac{F}{A}$$

Die Einheiten des Druckes sind das Pascal (Pa) und das Bar (bar):

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,00001 \text{ bar}; \quad 1 \text{ bar} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

**Beispiel:** Zylinder (Bild 1) mit  $F = 4 \text{ kN}$ ,  $A = 78,5 \text{ cm}^2$ . Welcher Überdruck  $p_e$  entsteht?

$$\text{Lösung: } p_e = \frac{F}{A} = \frac{4000 \text{ N}}{78,5 \text{ cm}^2} = 51 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 5,1 \text{ bar}$$

Der Überdruck  $p_e$  ist die Differenz zwischen dem absoluten Druck  $p_{abs}$  und dem herrschenden Luftdruck  $p_{amb}$ . Er kann positiv oder negativ sein (**Bild 2**). Der negative Überdruck wird oft als „Unterdruck“ bezeichnet.

#### Überdruck

$$p_e = p_{abs} - p_{amb}$$

**Beispiel:** Eine pneumatische Presse wird mit einem absoluten Druck von  $p_{abs} = 7 \text{ bar}$  betrieben (**Bild 3**). Bei einem Luftdruck  $p_{amb} = 1 \text{ bar}$  stehen für die Presskraft somit  $p_e = p_{abs} - p_{amb} = 7 \text{ bar} - 1 \text{ bar} = 6 \text{ bar}$  zur Verfügung.

Manometer zeigen meist den Überdruck an.

#### ■ Erzeugen der Druckluft

Druckluft wird mit Kolbenverdichtern, Membranverdichtern oder Schraubenverdichtern erzeugt (**Bild 4**). Sie saugen Luft durch das Ansaugfilter an, verdichten sie und drücken sie über den Kühler in den Druckluftbehälter (**Bild 1, folgende Seite**).

Die sich beim Verdichten erwärmende Luft wird im Kühler gekühlt. Das entstehende Kondenswasser wird abgeschieden. Druckluft mit sehr geringer Restfeuchtigkeit erhält man durch Abkühlen der Druckluft auf  $4^\circ\text{C}$  (Kältetrocknung).

Ist der maximale Druck im Druckluftbehälter erreicht, wird die Zufuhr weiterer Druckluft ausgesetzt. Dazu wird der Antriebsmotor des Verdichters stillgesetzt (Aussetzregelung) oder es werden die Ansaugventile offen gehalten, während der Antriebsmotor weiterläuft (Entlastungsregelung).

#### Aufgaben der Druckluftbehälter

- Speichern und Kühlung der Druckluft
- Abscheiden restlicher Luftfeuchtigkeit
- Ausgleich von Druckschwankungen

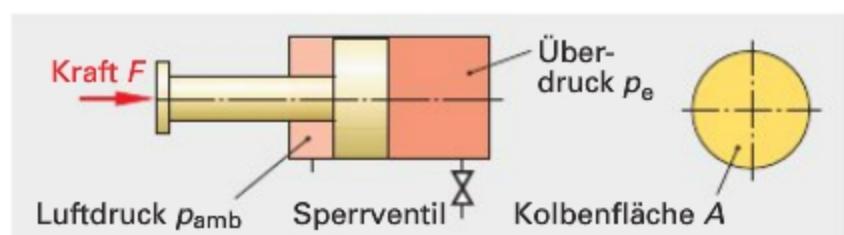


Bild 1: Entstehung des Druckes

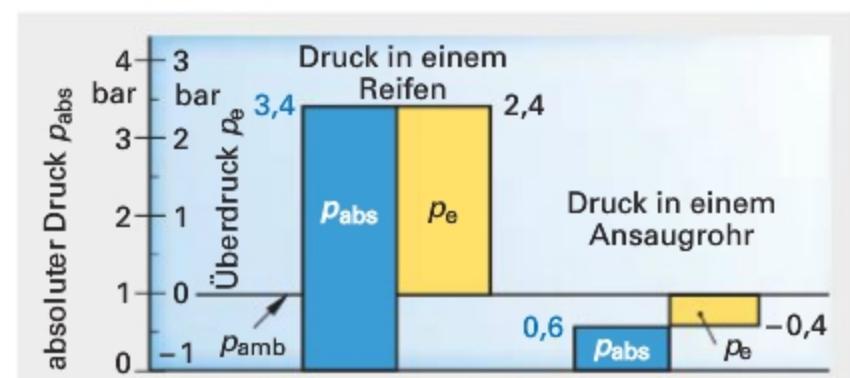


Bild 2: Absoluter Druck und Überdruck

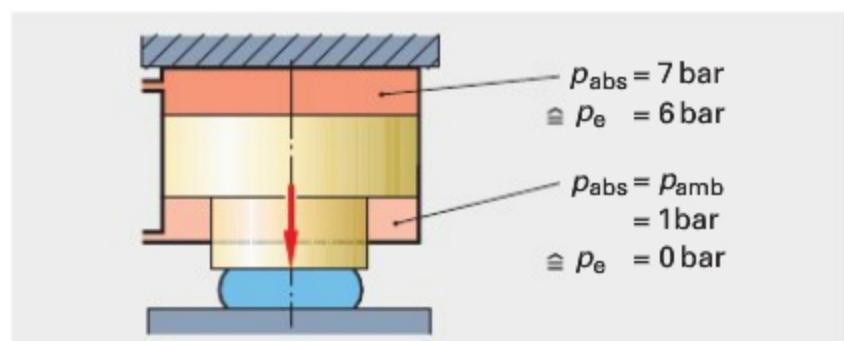


Bild 3: Drücke bei einer pneumatischen Presse

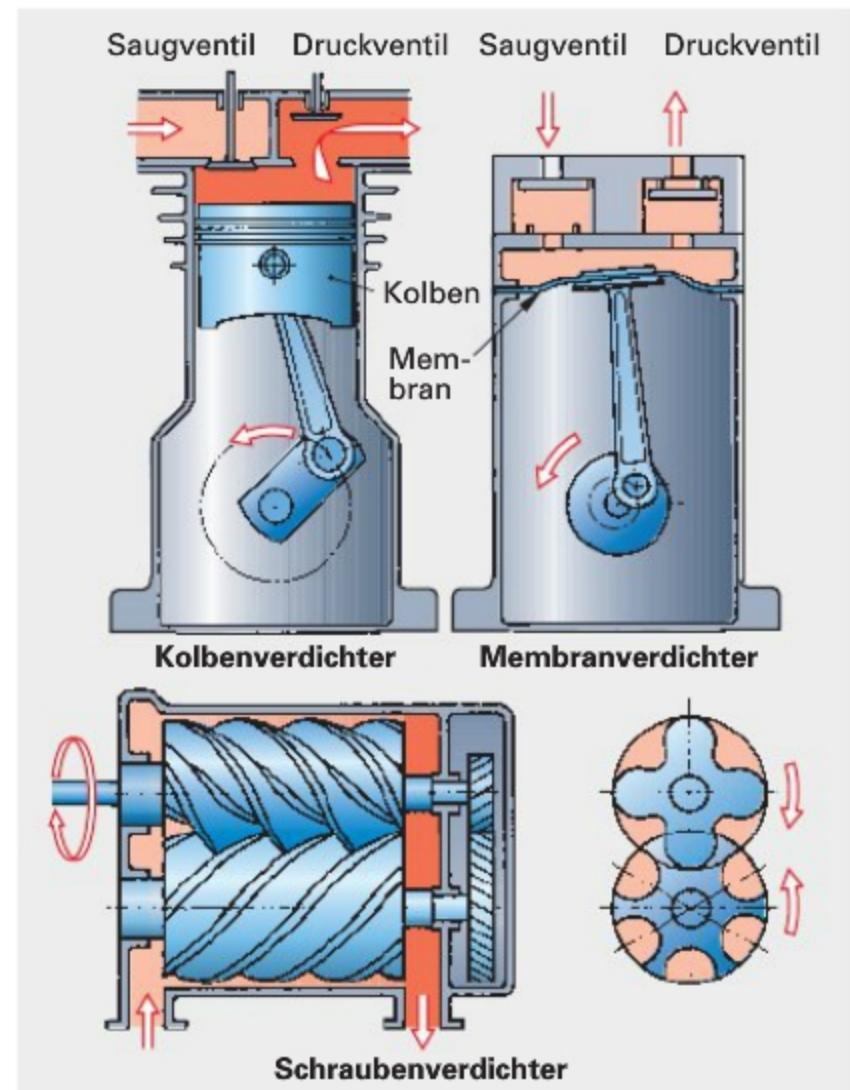


Bild 4: Bauarten von Verdichtern

## Verteilung und Aufbereitung der Druckluft

Die Druckluft wird vom Druckbehälter über Rohrleitungen den Entnahmestellen zugeführt (Bild 1).

### Forderungen an das Druckluftnetz

- Das Druckluftnetz ist als Ringleitung anzulegen, um die Versorgung auch bei Reparaturen zu gewährleisten.
- Die Leitungsquerschnitte sind so groß zu wählen, dass nicht mehr als 0,2 bar Druckverlust entsteht.
- Die Leitungen sind mit Gefälle zu verlegen, damit das Kondenswasser abgelassen werden kann.

Vor den Zylindern und Ventilen einer Pneumatiksteuerung ist die Aufbereitungseinheit (Wartungseinheit) eingebaut (Bild 2). Sie besteht aus Druckluftfilter, Druckregelventil und Druckluftöler. Der Filter reinigt die Druckluft von restlichen Verunreinigungen. Das Druckregelventil hält den Druck in der Steuerung konstant. Der Öler mischt der Druckluft fein zerstäubtes Öl bei, um bewegte Bauteile zu schmieren und Korrosion zu verhindern.

Viele pneumatische Steuerungen, z. B. in der Computer- und Nahrungsmittelindustrie, benötigen ölfreie und hochreine Druckluft. Bei diesen Steuerungen entfällt der Öler. Auch bei anderen Anwendungen wird zunehmend ölfreie Druckluft verwendet, um Mitarbeiter und Umwelt vor ölhaltiger Abluft zu schützen.

### 8.3.2.2 Pneumatische Arbeitselemente

#### Druckluftzylinder

Die Druckluftzylinder führen hin- und hergehende Bewegungen aus. Man unterscheidet einfachwirkende und doppeltwirkende Zylinder.

Beim **einfachwirkenden Zylinder** verschiebt die Druckluft den Kolben nur in eine Richtung (Bild 3). Eine eingebaute Feder holt den Kolben in seine Ausgangslage zurück.

Bei **doppeltwirkenden Zylindern** wird der Kolben in beiden Richtungen durch Druckluft bewegt (Bild 4). Zylinder mit eingebauter Endlagendämpfung bremsen den Kolben am Ende des Hubes ab. Die vom Kolben verdrängte Druckluft kann nicht mehr durch die große Mittelbohrung entweichen, weil diese durch den Dämpfungszapfen gesperrt wird. Sie muss jetzt den engen Drosselspalt durchströmen und baut dadurch einen Gegendruck auf. Der Kolben wird elastisch abgebremst und fährt mit verminderter Geschwindigkeit in seine Endlage ein. Die Geschwindigkeit lässt sich durch Verändern des Drosselspaltes einstellen.

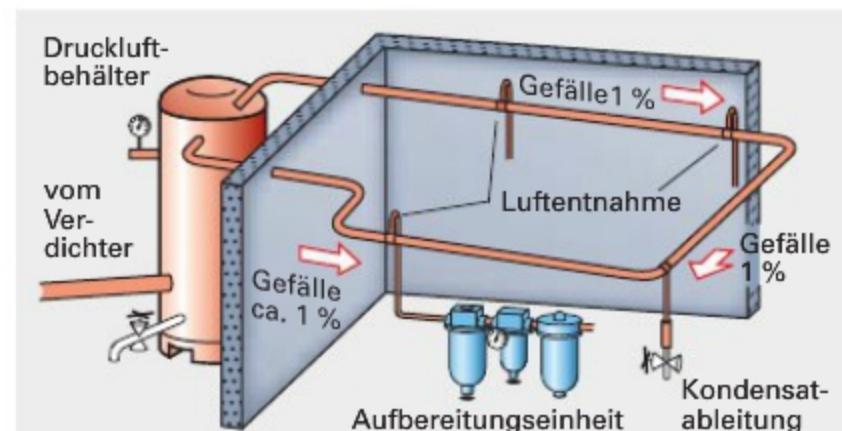


Bild 1: Druckluftverteilung

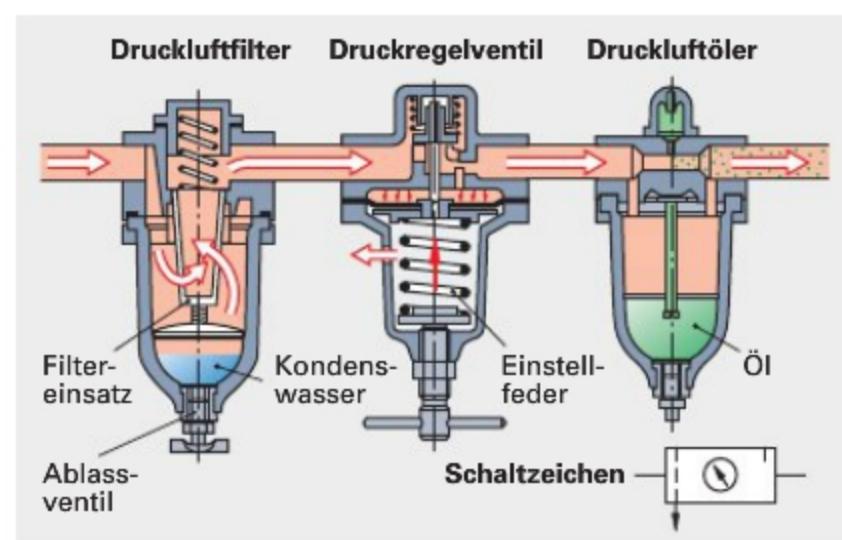


Bild 2: Aufbereitungseinheit

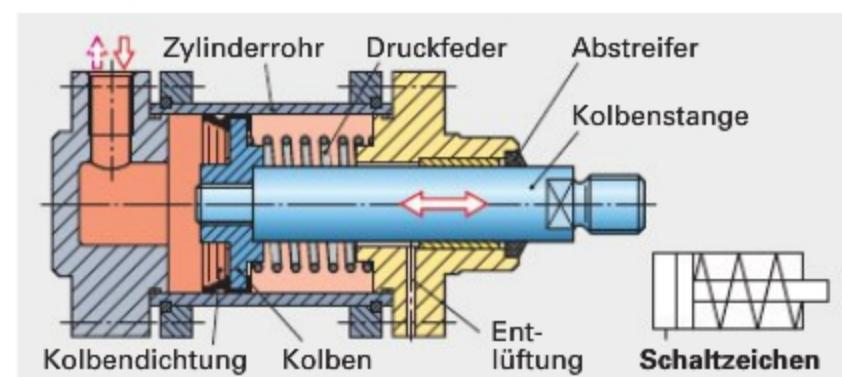


Bild 3: Einfachwirkender Zylinder

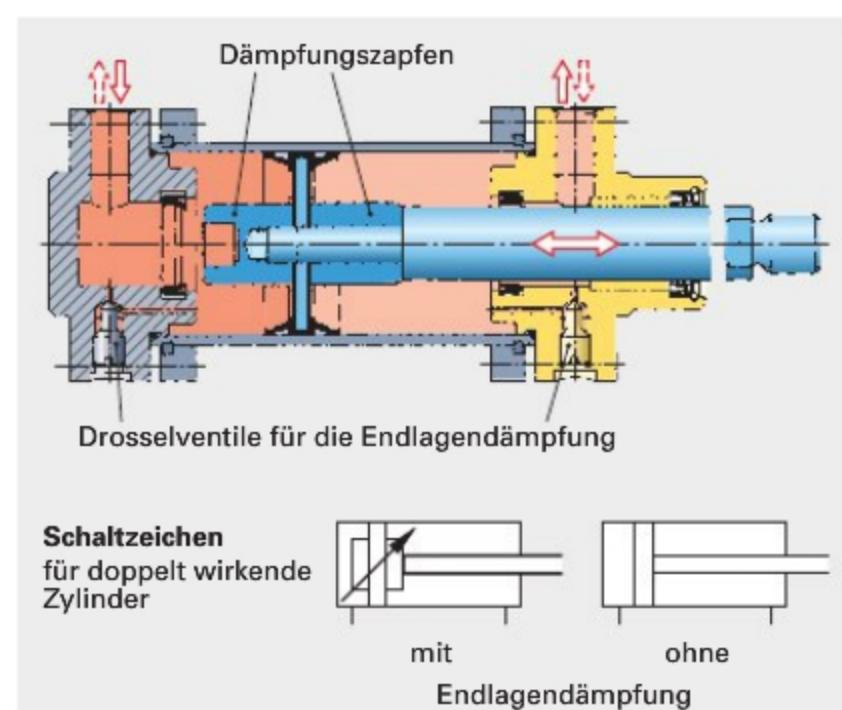


Bild 4: Doppeltwirkender Zylinder mit beidseitiger einstellbarer Endlagendämpfung

Druckluftzylinder werden, wie alle pneumatischen Bauelemente, in den Schaltplänen durch Schaltzeichen dargestellt (**Bilder 3 und 4, vorherige Seite**).

Die Endlagen der Kolben können auch berührungslos abgetastet werden. Dazu haben die Kolben einen ringförmigen Dauermagneten und auf dem Zylinderrohr sitzen berührungslos betätigte Schalter (**Bild 3, Seite 515**). Fährt der Kolben unter diese Schalter, wird ein Kontakt geschlossen und ein elektrisches Signal ausgelöst. Der Schaltzustand der Kontakte wird durch eine Diode angezeigt.

### Kolbenstangenlose Zylinder

Pneumatikzylinder werden mit Kolbenstangen oder kolbenstangenlos hergestellt.

Kolbenstangenlose Zylinder benötigen weniger Platz als Zylinder mit Kolbenstange (**Bild 1**). Beim kolbenstangenlosen Zylinder mit direktem Antrieb wird der Kolben über eine Kraftbrücke durch das geschlitzte Zylinderrohr mit dem Mitnehmer verbunden (**Bild 2**). Der Schlitz im Zylinderrohr wird innen durch ein Stahlband abgedichtet und durch ein zweites Band von außen vor Verschmutzung geschützt. Bei anderen Bauarten wird ein Seil oder Band am Kolben befestigt, das durch die Zylinderdeckel geführt und umgelenkt wird (**Bild 2**). Der Mitnehmer wird bei allen Bauarten auch als Laufschlitten ausgeführt, der auf dem Zylinderrohr läuft und durch Kräfte belastet werden kann.

### Kolbenkräfte bei Zylindern

Die wirksame Kolbenkraft  $F$  erhält man als Differenz zwischen der theoretischen Kolbenkraft  $F_{th} = p_e \cdot A$  und den Reibungskräften  $F_R$ , die am Kolben und an der Kolbenstangenführung wirken (**Bild 3**).

Die Reibungskräfte werden durch den Wirkungsgrad  $\eta$  des Zylinders berücksichtigt.

#### Wirksame Kolbenkraft

$$F = F_{th} - F_R$$

$$F = F_{th} \cdot \eta$$

$$F = p_e \cdot A \cdot \eta$$

Die wirksame Kolbenkraft bei Zylindern mit einseitiger Kolbenstange ist beim Einfahren kleiner als beim Ausfahren, weil die wirksame Kolbenfläche um die Fläche der Kolbenstange geringer ist.

**Beispiel:** Pneumatikzylinder (**Bild 4**)

**Wirksame Kolbenkraft beim Ausfahren:**

$$F = p_e \cdot A \cdot \eta =$$

$$= 60 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ cm})^2}{4} \cdot 0,90 = 4241 \text{ N}$$

**Wirksame Kolbenkraft beim Einfahren:**

$$F = p_e \cdot A \cdot \eta =$$

$$= 60 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{\pi \cdot (10^2 - 2,5^2) \text{ cm}^2}{4} \cdot 0,85 = 3755 \text{ N}$$

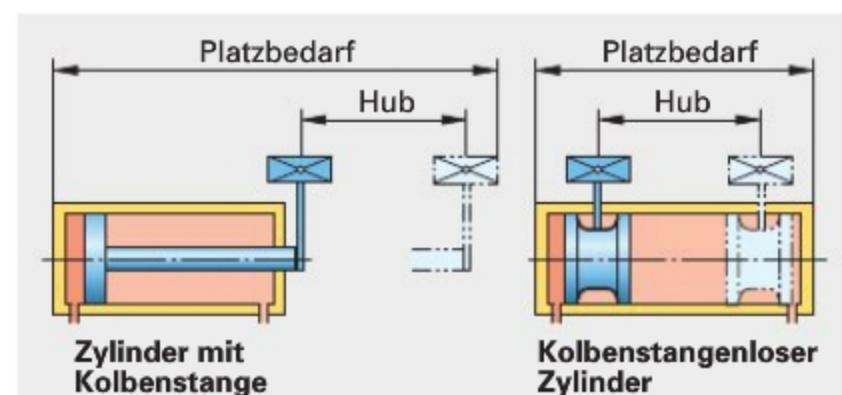


Bild 1: Platzbedarf von Zylindern

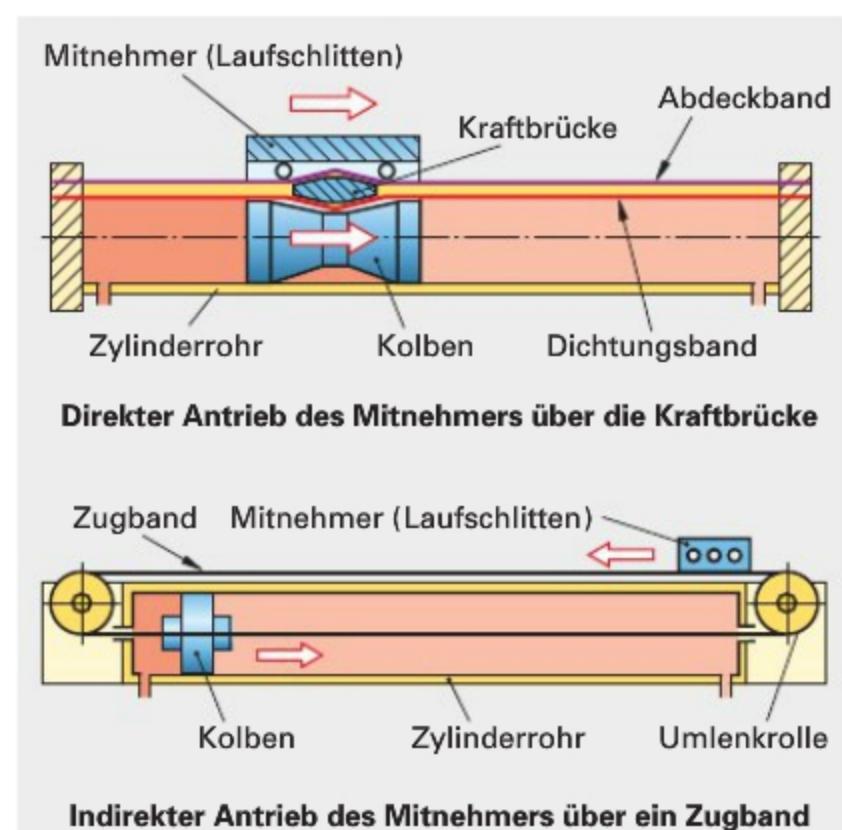


Bild 2: Bauarten kolbenstangenloser Zylinder

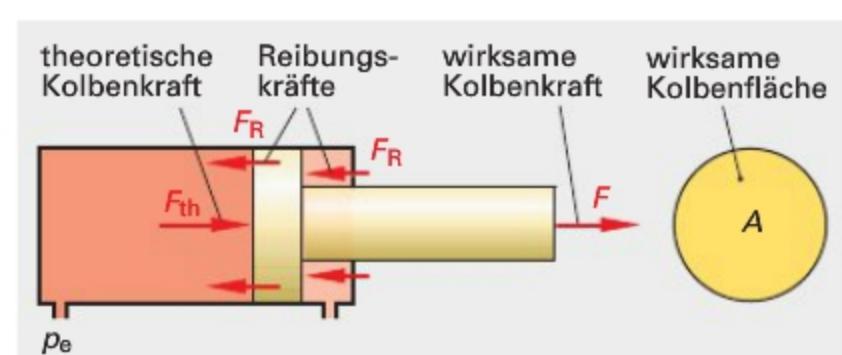


Bild 3: Kolbenkräfte bei Zylindern

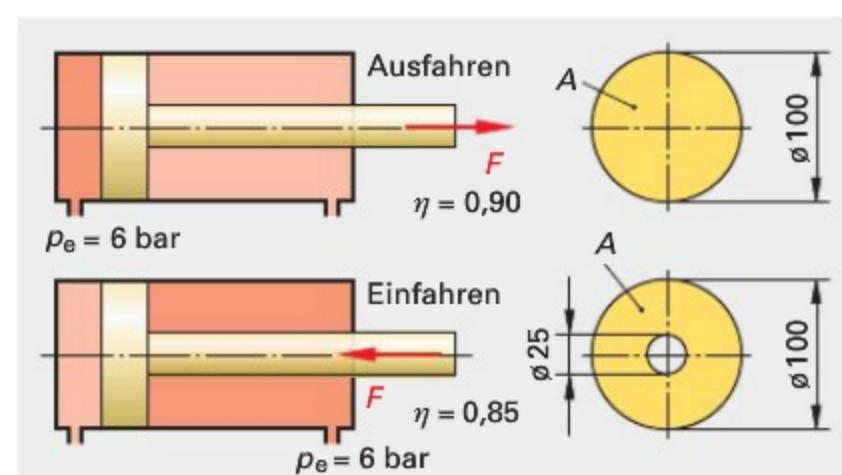
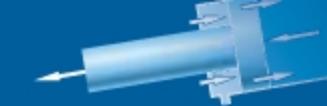


Bild 4: Kolbenkräfte beim Ausfahren und Einfahren



## ■ Druckluftmotoren

Druckluftmotoren treiben Schrauber, Handschleifgeräte, Hebezeuge und andere Maschinen mit drehender Arbeitsbewegung an. Sie werden als **Lamellen-, Kolben- und Zahnradmotoren** gebaut.

**Druckluft-Lamellenmotoren** bestehen aus dem Gehäuse mit zylindrischer Bohrung und dem Rotor mit den Lamellen, die den sichelförmigen Arbeitsraum in mehrere Druckkammern unterteilen (Bild 1). Die durch die Druckluftzuführung einströmende Druckluft dreht den exzentrisch gelagerten Rotor über die in Schlitten radial verschiebbaren Lamellen. Da sich die Druckkammern bei der Drehung vergrößern, entspannt sich die Druckluft und strömt dann durch den Auslass ins Freie. Das abgegebene Drehmoment des Motors hängt vom Druck der Luft und von der beaufschlagten Fläche der Lamellen ab. Druckluftmotoren für zwei Drehrichtungen besitzen zwei Druckluftanschlüsse, die je nach der gewünschten Drehrichtung des Motors abwechselnd über ein 4/2-Wegeventil mit Druckluft versorgt werden.

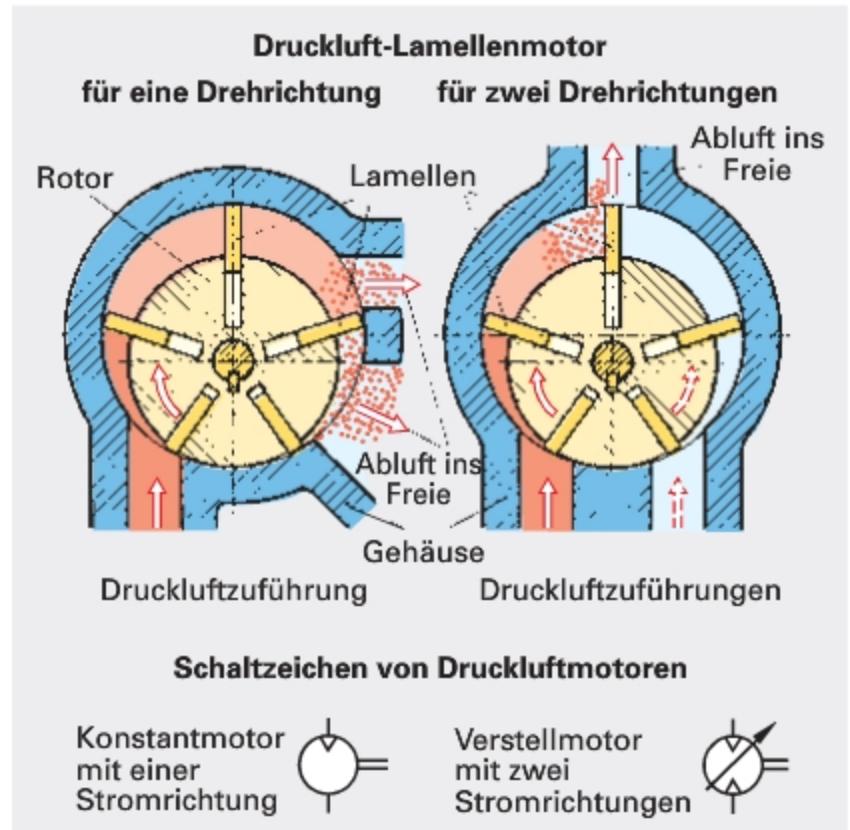


Bild 1: Druckluft-Lamellenmotor

## ■ Beispiel für die Anwendung pneumatischer Arbeitselemente

In der automatischen Montage- und Bearbeitungsmaschine (Bild 2) werden durch den doppeltwirkenden **Zylinder 1A1** Gehäuse aus einem Fallmagazin gegen einen Anschlag geschoben und gespannt. Anschließend werden Buchsen, die von einem Schwingförderer zugeführt werden, durch den einfachwirkenden **Zylinder 2A1** eingepresst. Danach wird mit einer Bohrvorschubspindel die fehlende seitliche Bohrung gebohrt. Die Vorschubbewegung der Bohrspindel erfolgt durch einen doppeltwirkenden **Pneumatikzylinder 3A1**, der Drehantrieb durch einen Druckluft-Lamellenmotor. Der waagrechte **Zylinder 4A1**, der hinter der Spannstelle liegt, schiebt das fertige Werkstück aus der Maschine. Der Ablauf der Bewegungen kann in einem GRAFCET dargestellt werden (Seite 501).

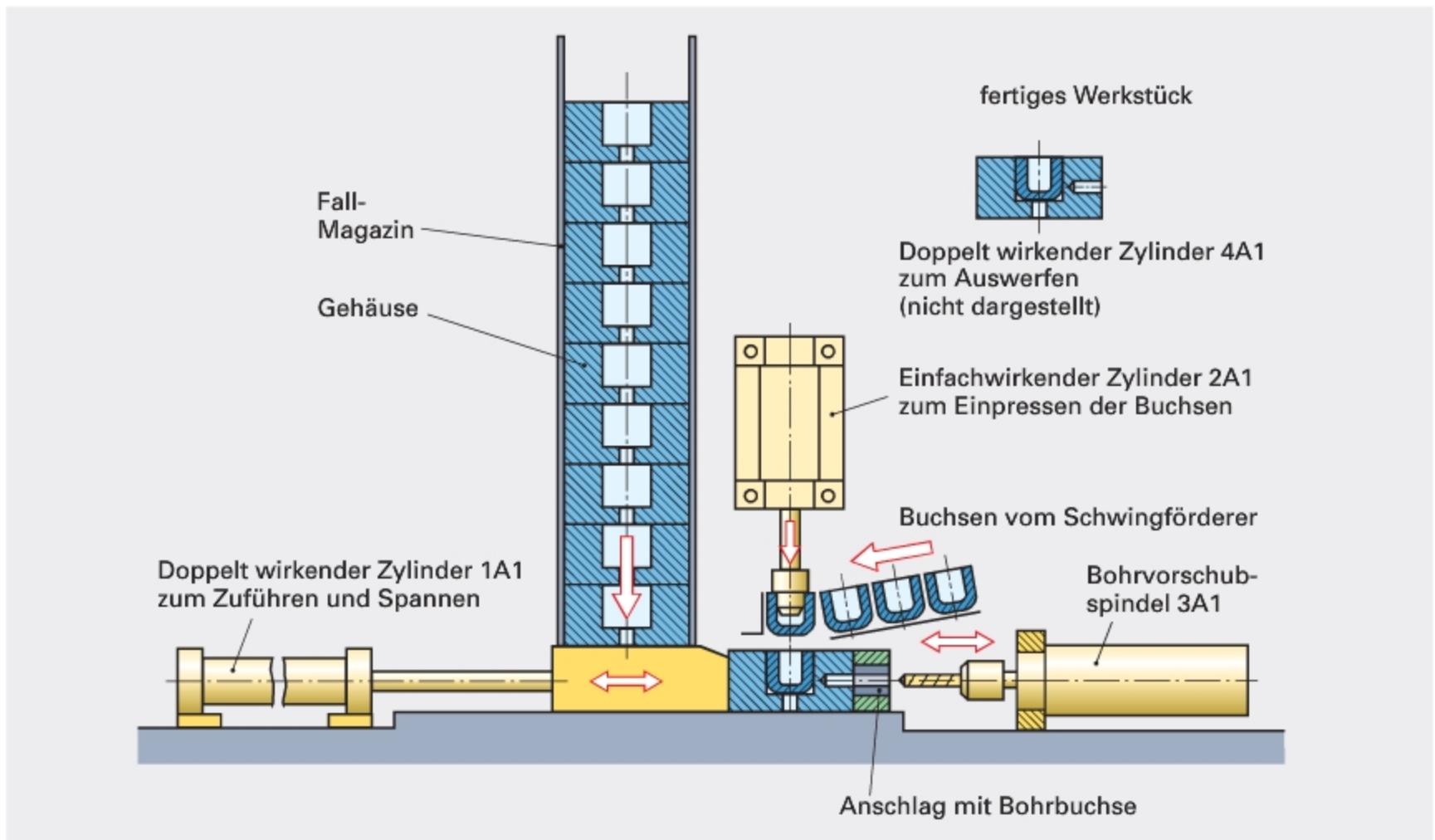


Bild 2: Automatische Montage- und Bearbeitungsmaschine

### 8.3.2.3 Ventile

Bei den Ventilen unterscheidet man nach der Funktion Wege-, Sperr-, Strom- und Druckventile.

#### Wegeventile

Wegeventile bestimmen Start, Stopp und Durchflussrichtung der Druckluft. Mit ihnen werden deshalb die Bewegungen von Zylindern und Druckluftmotoren sowie die Schaltstellungen anderer Wegeventile gesteuert.

**Funktion (Bild 1).** Die unterschiedlichen Verbindungen (Wege) zwischen den Anschlüssen eines Wegeventils werden durch Verschieben des Steuerkolbens hergestellt. In der Schaltstellung a wird die Druckluft vom Druckanschluss 1 zur linken Arbeitsleitung 4 geleitet. Der Kolben des Zylinders fährt aus. Die vom Kolben im rechten Zylinder Raum verdrängte Luft entweicht über die Arbeitsleitung 2 des Wegeventils zur Entlüftung 3.

In der Schaltstellung b des Wegeventils strömt die Druckluft von 1 nach 2 und von dort in den rechten Zylinder Raum. Die aus dem linken Zylinder Raum verdrängte Luft entweicht von 4 nach 5. Der Kolben fährt ein.

**Bezeichnung.** Wegeventile werden nach der Anzahl ihrer Anschlüsse und nach der Anzahl ihrer Schaltstellen bezeichnet. Das in Bild 1 gezeigte Wegeventil hat 5 Anschlüsse (1, 2, 3, 4, 5) und 2 Schaltstellungen (a und b). Es ist demnach ein 5/2-Wegeventil.

**Schaltzeichen.** Wegeventile werden durch normierte Schaltzeichen dargestellt (Bild 2). Diese bestehen aus aneinander gefügten Rechtecken, den Anschlüssen und den Betätigungen. Jedes Rechteck stellt eine Schaltstellung dar. Die Anschlussleitungen gehen von dem Rechteck aus, das die Ruhestellung symbolisiert.

**Betätigungsarten.** Wegeventile können von Hand, mit dem Fuß, mechanisch, elektromagnetisch, durch Druck oder durch Kombination von zwei Betätigungsarten geschaltet werden (Bild 3). Die Symbole der Betätigungen werden links und rechts an die Rechtecke des Schaltzeichens gezeichnet. Die linke Betätigung bewirkt die linke Schaltstellung, die rechte Betätigung die rechte Schaltstellung des Wegeventils (Bild 2).

**Bezeichnung der Anschlüsse.** Bei pneumatischen Wegeventilen werden der Druckanschluss, die Entlüftungsanschlüsse und die Anschlüsse der Arbeitsleitungen mit Zahlen (Bild 1), die Anschlüsse hydraulischer Wegeventile dagegen mit Buchstaben bezeichnet (Bilder 2 und 3, Seite 531).

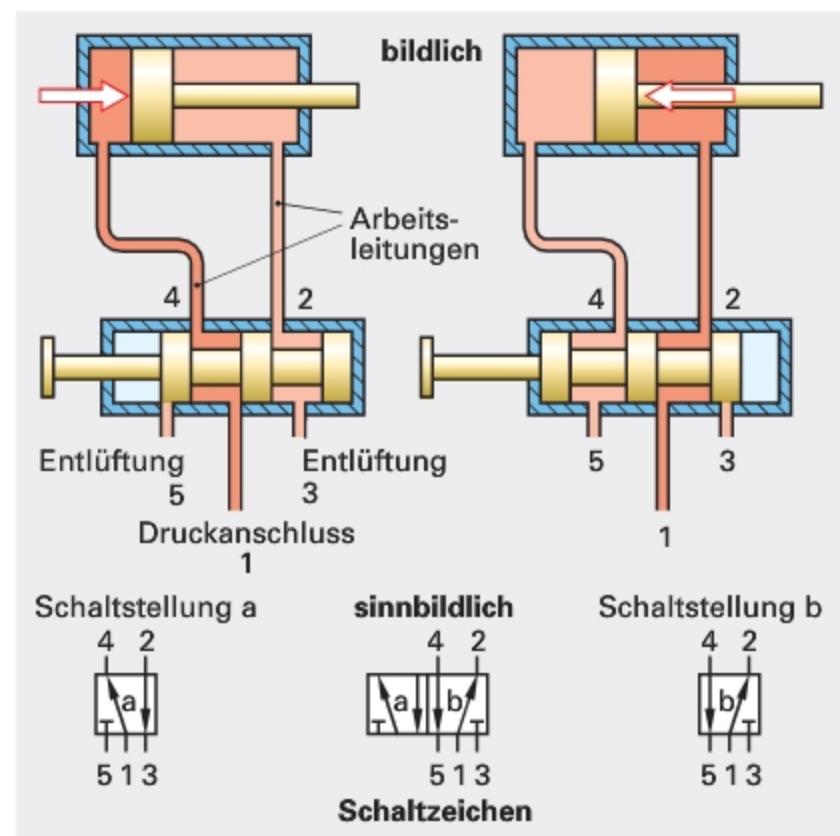


Bild 1: Darstellung von Wegeventilen

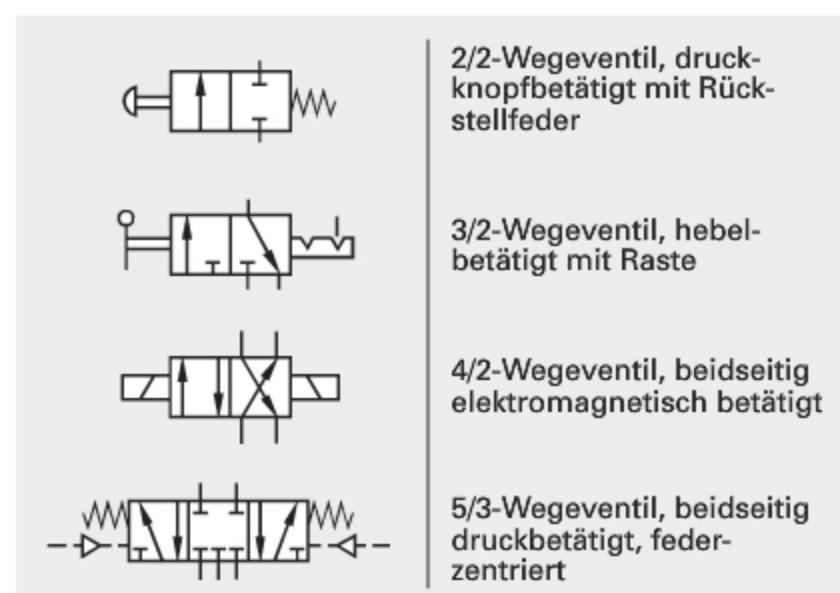


Bild 2: Schaltzeichen von Wegeventilen

von Hand, mit dem Fuß	mechanisch
	allgemein
	Druckknopf
	Hebel
	Pedal
durch Druck	elektrisch
	direkt
	indirekt über Vorsteuerstufe
	Elektromagnet
	2stufige Betätigung
	Elektromagnet und Druckluftvorsteuerung

Bild 3: Betätigungsarten von Ventilen

**Direkte Steuerung mit Wegeventilen.** In nicht automatisierten Maschinen wird die Bewegung pneumatischer Zylinder und Motoren durch hand- oder pedalbetätigtes Ventile „direkt“ ausgelöst. Bei einem Druckluftschrauber z. B. sitzt das 3/2-Wegeventil im Gehäuse und wird durch die Drucktaste geöffnet und geschlossen (**Bild 1**). In der Schaltstellung „a“ erhält der Druckluftmotor Luft. Die Schraubspindel dreht sich. Wird der Handhebel des Ventils losgelassen, drückt die Feder das Ventil in die Stellung „b“. Die Luftzufuhr zum Motor wird gesperrt.

**Indirekte Steuerung mit Wegeventilen.** Müssen die Bewegungen von Zylindern selbsttätig erfolgen, werden die Wegeventile zur Steuerung der Zylinder nicht mehr von Hand betätigt. Die Umsteuerung erfolgt durch Signale weiterer Wegeventile oder Sensoren. Der Zylinder zum Einpressen von Stiften z. B. fährt von selbst zurück, wenn er in der vorderen Endlage das 3/2-Wegeventil 1S2 betätigt (**Bild 2**).

## ■ Sperrventile

Sperrventile verhindern den Durchfluss der Luft in einer Richtung.

Das Sperrelement wird von der Druckluft so verschoben, dass immer ein Anschluss nach außen gesperrt wird.

**Rückschlagventile** lassen die Luft von A nach B durchströmen, sperren aber den Durchfluss in der Sperrrichtung von B nach A (**Bild 3**).

**Wechselventile** besitzen zwei wechselseitig sperrbare Anschlüsse P1 und P2 sowie einen Ausgang A (**Bild 4**). Wird entweder der Eingang P1 oder der Eingang P2 mit Druckluft beaufschlagt, sperrt das Sperrelement den nicht beaufschlagten Eingang ab und die Druckluft gelangt zum Anschluss A. Ein Wechselventil wirkt als logische **ODER-Verknüpfung**.

Mit Wechselventilen kann z. B. ein doppeltwirkender Zylinder von zwei räumlich getrennten Stellen aus gesteuert werden (**Bild 5**). Der kolbenstangenlose Zylinder 1A1 betätigt die Schiebetür zum Arbeitsraum einer Drehmaschine. Mit den beiden Wegeventilen 1S1 oder 1S2 wird das Ventil 1V3 in die Stellung „a“ geschaltet und die Schiebetür damit geöffnet. Mit den Ventilen 1S3 oder 1S4 wird sie wieder geschlossen.



Bild 1: Direkte Steuerung eines Druckluftmotors

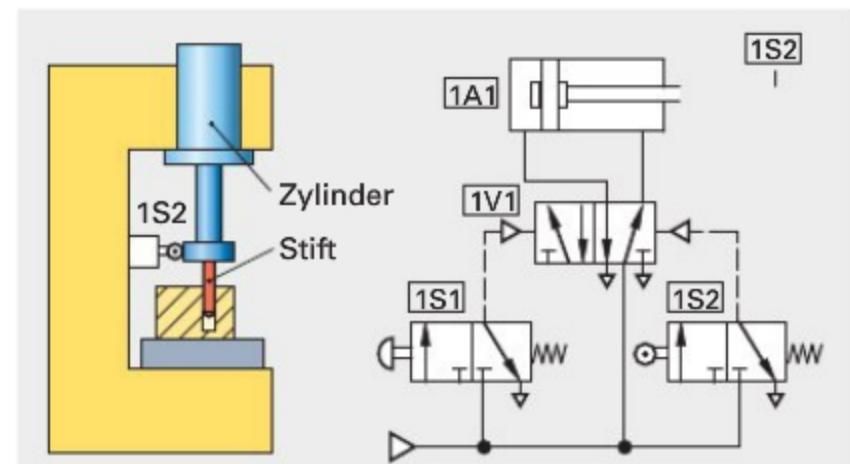


Bild 2: Indirekte Steuerung eines Druckluftzylinders

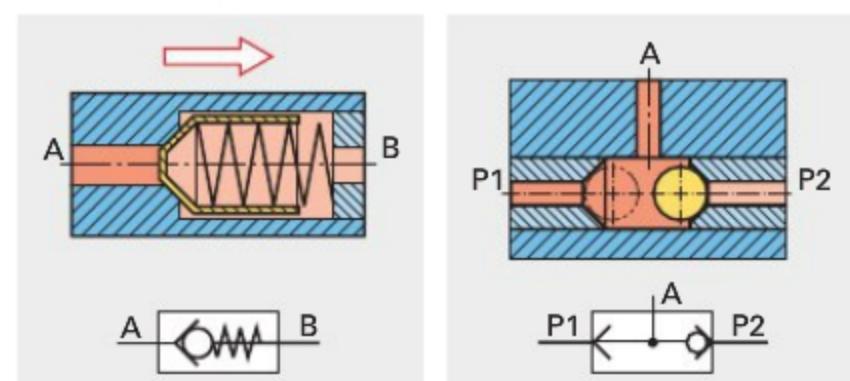


Bild 3: Rückschlagventil

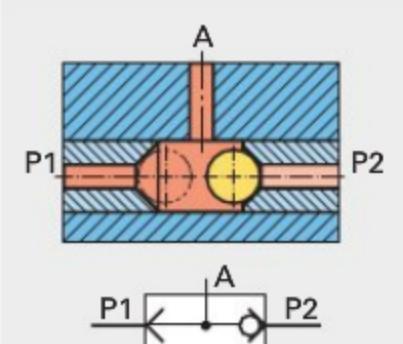


Bild 4: Wechselventil

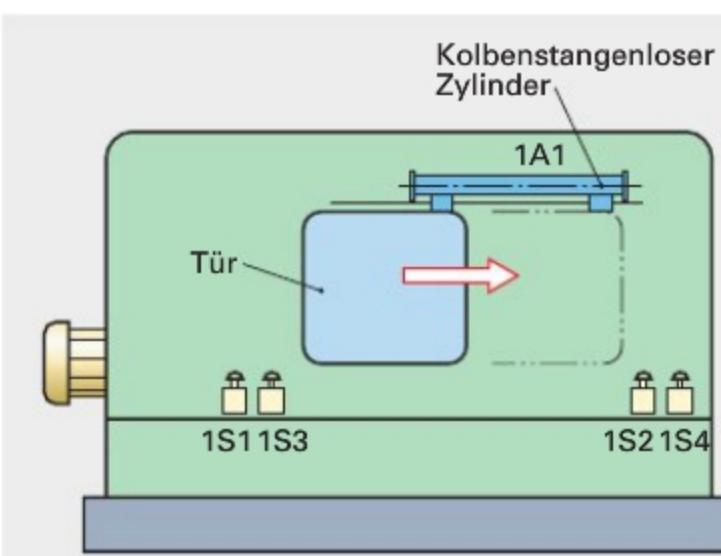
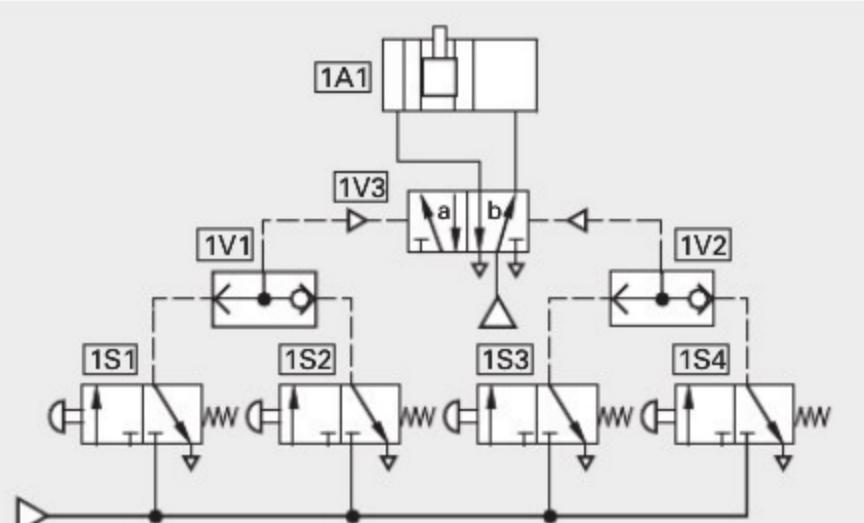


Bild 5: Steuerung einer Schiebetür von zwei Stellen aus



**Schnellentlüftungsventile** werden direkt an den Zylinder angebaut. Sie leiten die aus dem Zylinder beim Rückhub ausströmende Luft nicht über das Wegeventil zurück, sondern unmittelbar ins Freie (**Bild 1**). Durch den kürzeren Weg werden der Strömungswiderstand der Abluft verringert und die Rücklaufgeschwindigkeit des Kolbens erhöht.

Schnellentlüftungsventile werden z. B. an pneumatisch betätigten Kupplungen angebaut, die sehr schnell schalten sollen.

**Zweidruckventile** besitzen zwei Eingänge P1 und P2 sowie einen Ausgang A (**Bild 2**). Wird nur einer der beiden Eingänge mit Druckluft beaufschlagt, sperrt das Sperrelement die Verbindung zum Ausgang A. Erst wenn an den Eingängen P1 **und** P2 Druckluft ansteht, ist Durchfluss zum Ausgang A möglich. Zweidruckventile verknüpfen somit zwei Eingangssignale zu einem Ausgangssignal (**UND-Verknüpfung**).

Sie werden z. B. bei Steuerungen mit Zweihandbedienung und Sicherheitsschaltungen (**Bild 3**) eingesetzt. Der Zylinder 1A1 der Presse fährt erst aus, wenn das Schutzgitter beim Schließen das Wegeventil 1S3 betätigt **und** das Startventil 1S1 gedrückt wird. Bei Zweihandsteuerungen an unfallgefährlichen Maschinen müssen die beiden mit den Händen ausgelösten Signale gleichzeitig erfolgen und vor jedem neuen Hub des Zylinders ganz gelöscht sein.

## ■ Stromventile

Mit Stromventilen wird die Größe des durch eine Leitung fließenden Druckluftstromes eingestellt. Es gibt Drosselventile und Drosselrückschlagventile. Sie können in die zum Zylinder führende Leitung (Zuluftdrosselung) oder in die vom Zylinder kommende Leitung (Abluftdrosselung) eingebaut werden.

**Drosselventile** haben eine konstante oder eine einstellbare Engstelle (Drossel), welche den Durchfluss der Luftmenge beeinflusst (**Bild 4**).

**Drosselrückschlagventile** werden von der Druckluft in einer Richtung frei durchströmt, während der Durchfluss in der Gegenrichtung gedrosselt wird (**Bild 5**). Das Drosselrückschlagventil wird meist in die Arbeitsleitung auf der Kolbenstangenseite eingebaut, wenn die Ausfahrgeschwindigkeit des Kolbens eingestellt werden soll (**Abluftdrosselung**). Durch den Strömungswiderstand des Drosselrückschlagventils baut sich ein Gegendruck auf. Der Kolben wird „eingespannt“ und fährt dadurch gleichmäßiger aus.

So können z. B. bei dem pneumatischen Greifer eines Roboters die Schließ- und die Öffnungs geschwindigkeit mit den eingeschraubten Drossel ventilen eingestellt werden (**Bild 6**).

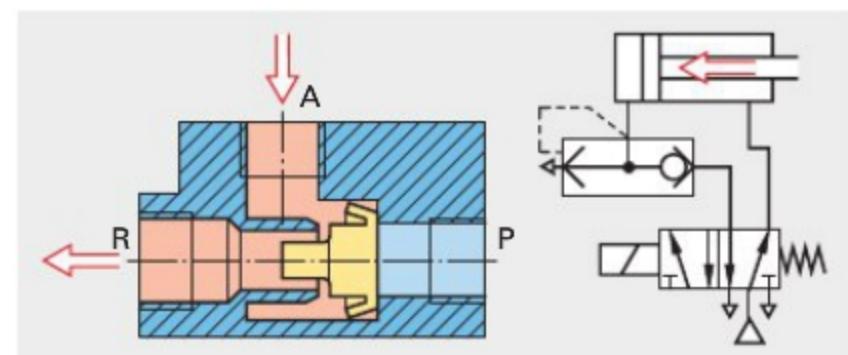


Bild 1: Schnellentlüftungsventil

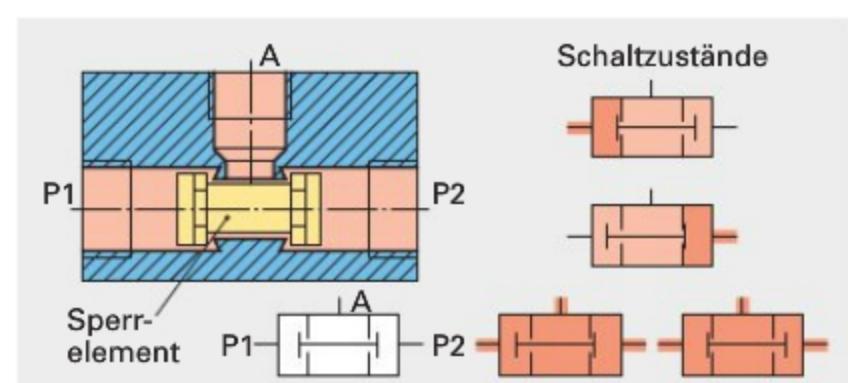


Bild 2: Zweidruckventil

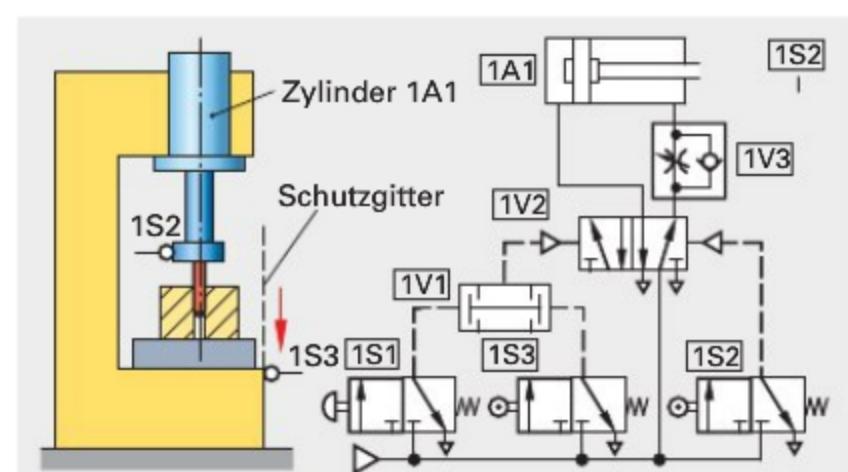


Bild 3: UND-Verknüpfung

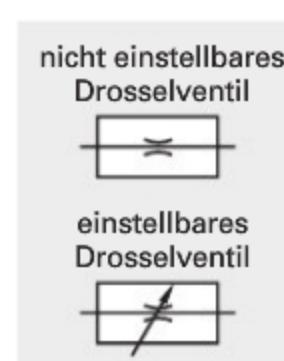


Bild 4: Drosselventile

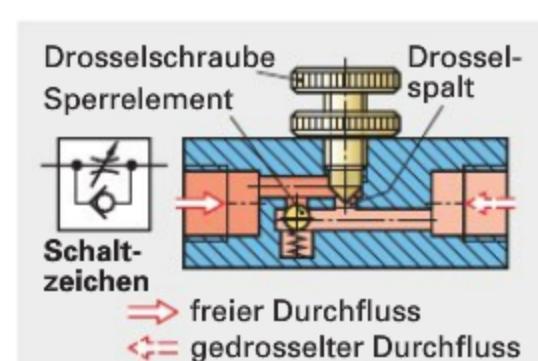


Bild 5: Drosselrückschlagventil

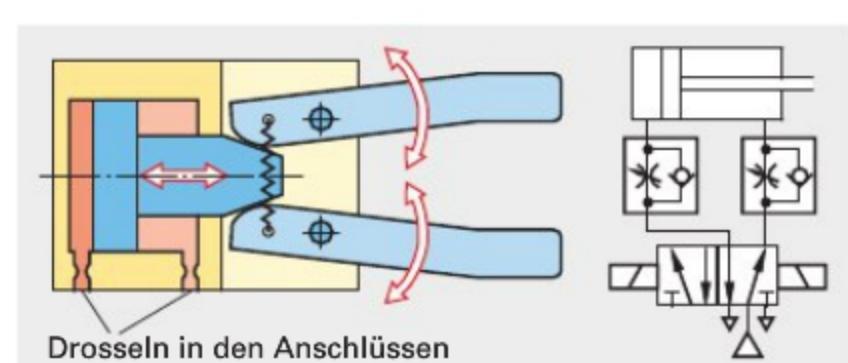


Bild 6: Pneumatischer Greifer mit Drosseln



### 8.3.2.4 Zeitelemente in der Pneumatik

Ventile, die ein Ausgangssignal erst nach einer eingestellten Zeit (zeitverzögert) weiterleiten, werden als Verzögerungsventile bezeichnet (**Bild 1**).

Das Zeitverzögerungsventil setzt sich aus einem 3/2-Wegeventil (in Sperrnullstellung oder Durchflussnullstellung), einem Drosselrückschlagventil und einem kleinen Luftspeicher zusammen, die zu einer Baugruppe zusammengefasst sind.

#### ■ Zeitelement als Einschaltverzögerung

Die Einschaltverzögerung gibt das Eingangssignal verzögert weiter, sodass das Ausgangssignal erst nach der eingestellten Zeit ansteht (**Bild 3**).

Die Zeitverzögerung wird am verstellbaren Durchflussquerschnitt am Drosselrückschlagventil eingestellt (**Bild 1**). Wird dann am Steueranschluss 12 Druck angelegt (1-Signal), so muss die Druckluft durch das Drosselventil und füllt den Luftspeicher. Im Luftspeicher baut sich Druck auf, der den Steuerkolben des 3/2-Wegevents belastet. Ist die aus dem Druck resultierende Kraft größer als die Vorspannkraft der Feder am Steuerkolben, schaltet das 3/2-Wegeventil und die Druckluft fließt von 1 nach 2. Die Verzögerungszeit ist die Zeit zum Druckaufbau. Fällt am Steueranschluss 12 die Druckluft ab, so drückt die Feder den Steuerkolben sofort wieder in die Ruhestellung, denn die Steuerluft entweicht über das Rückschlagventil.

**Beispiel:** Ein doppelt wirkender Zylinder soll nach Betätigung eines Signalelements ausfahren und nach 20 Sekunden wieder automatisch zurückfahren.

**Lösung:** Bei der Steuerung (**Bild 2**) erhält das Zeitverzögerungsventil 1V1 seine Steuerluft aus der Arbeitsleitung 4 des 5/2 Wegevents, wenn dieses von 1S1 auf Stellung a geschaltet wird. Nach Ablauf der Verzögerungszeit  $t = 20 \text{ s}$  wird 1V2 von 1A1 wieder zurückgeschaltet, 1A fährt ein.

#### ■ Zeitelement als Ausschaltverzögerung

Die Ausschaltverzögerung gibt das Eingangssignal sofort weiter, schaltet es jedoch erst nach einer eingestellten Zeit ab (**Bild 4**). Dieses Zeitverhalten wird durch die Umkehrung der Durchflussrichtung erreicht. Die Zeitverzögerung wird am verstellbaren Durchflussquerschnitt am Drosselrückschlagventil eingestellt. Wird am Steueranschluss 12 Druck angelegt, so strömt die Druckluft ungedrosselt durch das Rückschlagventil und schaltet das 3/2-Wegeventil und die Druckluft fließt von 1 nach 2. Verschwindet am Steueranschluss 12 das 1-Signal, so kann die Feder das Ventil nicht sofort in Sperrstellung schalten, da die Luft zwischen dem 3/2-Wegeventil und Drosselrückschlagventil über die Drossel abgeleitet wird. Die Verzögerungszeit ist die Zeit des Druckabbaus über die Drossel.

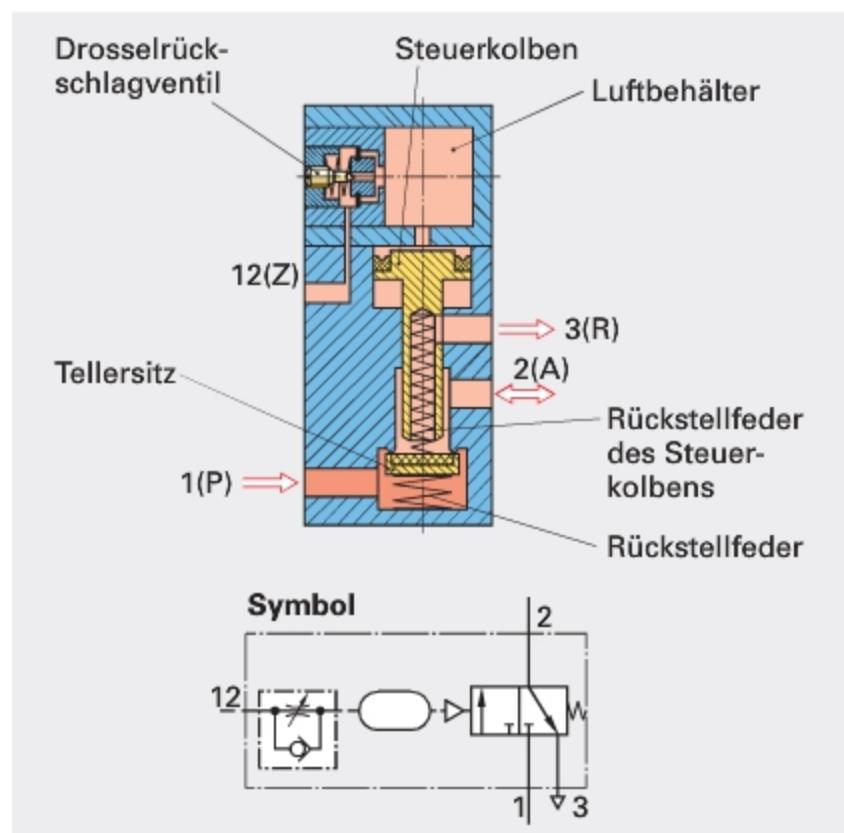


Bild 1: Zeitverzögerungsventil

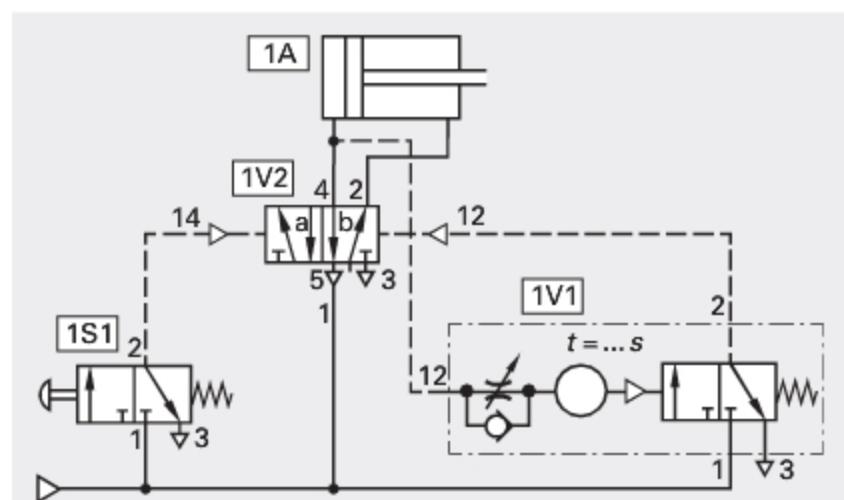


Bild 2: Zeitabhängige Steuerung

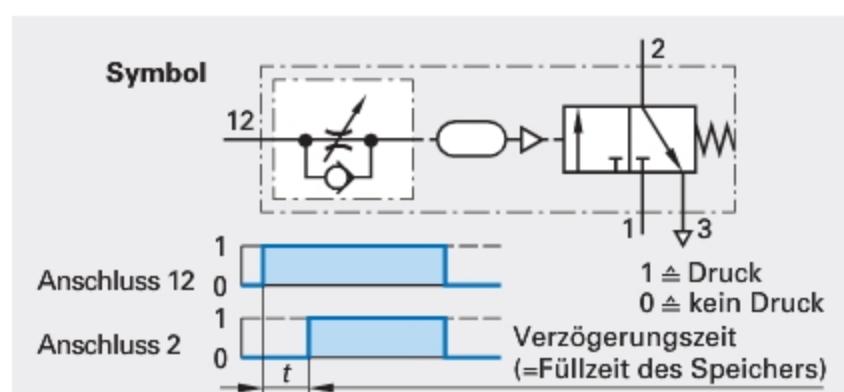


Bild 3: Zeitdiagramm der Einschaltverzögerung

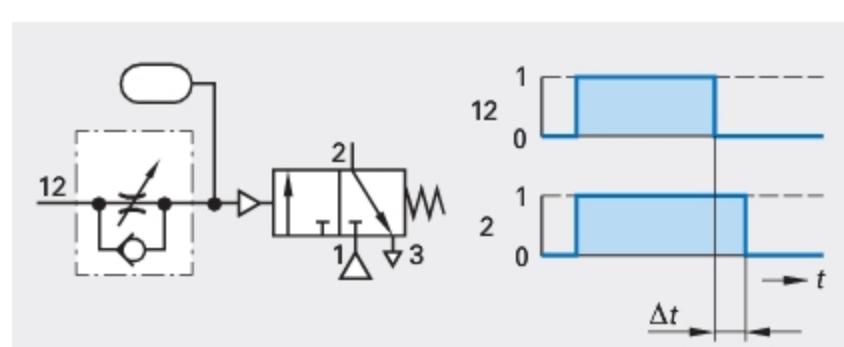


Bild 4: Zeitdiagramm der Ausschaltverzögerung

## ■ Druckventile

**Druckbegrenzungsventile** sichern Druckbehälter, Leitungen und Bauelemente gegen unzulässig hohe Druck (Bild 1). Sie sind in der Ruhestellung geschlossen. Das Sperrelement öffnet die Entlüftung ins Freie, wenn die von der Druckluft auf das Sperr-element ausgeübte Kraft größer wird als die eingestellte Federkraft.

**Druckregelventile** halten den Druck in der Pneumatikanlage konstant. Sie sind in der Ruhestellung offen. Die Regelung des Druckes erfolgt über eine Membrane, auf die von oben der Arbeitsdruck und von unten die Kraft der Einstellfeder wirken (Bild 2). Sinkt der Arbeitsdruck, weil Luft zu den Zylindern strömt, dann drückt die Feder über Membrane und Stift den Ventilteller nach oben. Dadurch kann Druckluft durch den Ringspalt so lange in die Arbeitsleitung strömen, bis der steigende Arbeitsdruck die Membrane in die Ausgangslage gedrückt hat. Steigt dagegen der Druck in der Arbeitsleitung z.B. durch Erwärmung an, hebt die Membran vom Stift ab und Luft kann von der Arbeitsleitung über die Entlüftungsbohrung im Gehäuse ins Freie entweichen.

### 8.3.2.5 Eigenschaften der Pneumatik

Pneumatische Steuerungen werden wegen der besonderen Vorteile der Pneumatik und durch das Zusammenwirken mit elektrischen und elektronischen Komponenten vielfältig eingesetzt (Seite 518).

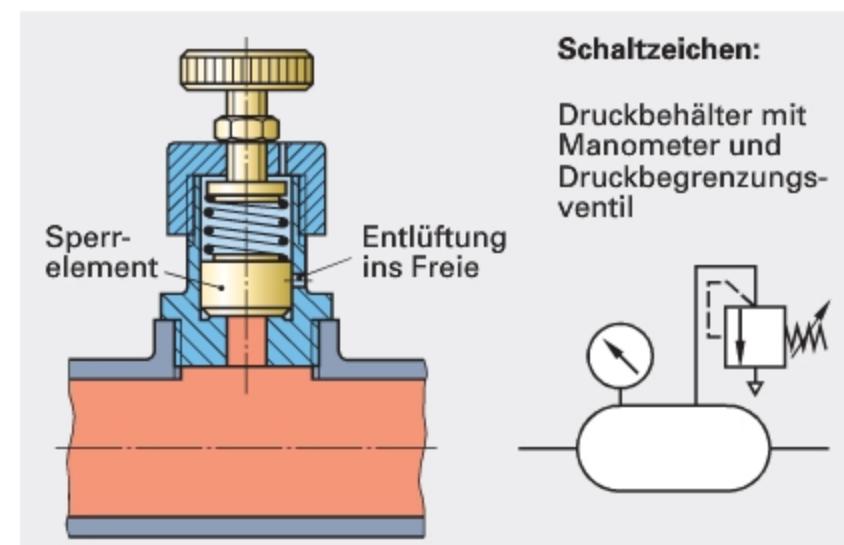


Bild 1: Druckbegrenzungsventil

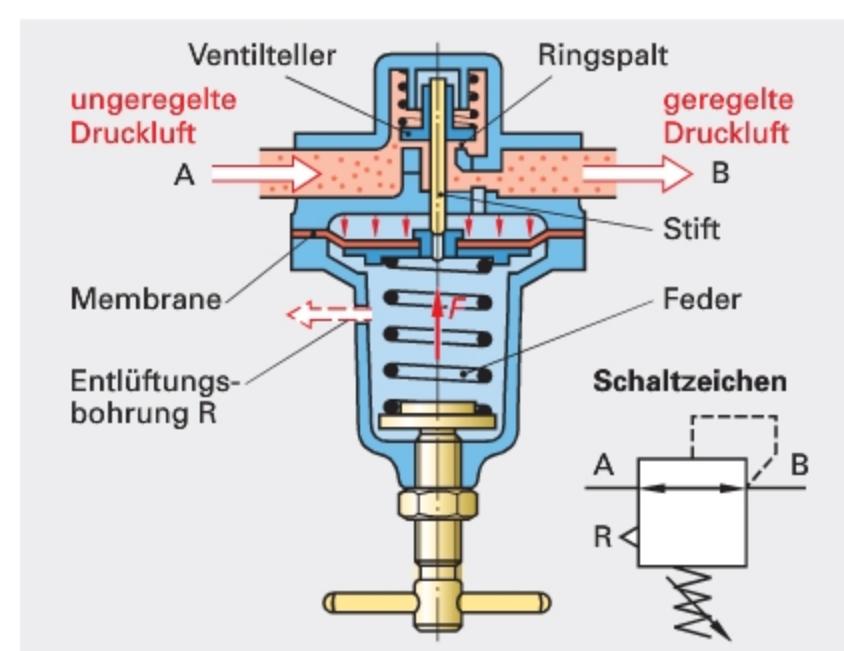


Bild 2: Druckregelventil

#### Vorteile der Pneumatik

- Kräfte und Geschwindigkeiten der Zylinder sind stufenlos einstellbar.
- Zylinder und Druckluftmotoren erreichen hohe Geschwindigkeiten und Drehzahlen.
- Druckluftgeräte können ohne Schaden bis zum Stillstand überlastet werden.
- Druckluft ist in Druckbehältern speicherbar.

#### Nachteile der Pneumatik

- Große Kolbenkräfte sind nicht erreichbar, da der Betriebsdruck meist weniger als 10 bar beträgt.
- Gleichförmige Kolbengeschwindigkeiten sind nicht möglich (Kompressibilität der Luft).
- Ohne Festanschläge können mit Zylindern keine genauen Stellungen angefahren werden.
- Ausströmende Druckluft verursacht Lärm.

#### Wiederholung und Vertiefung

- 1 Welche Vorteile hat die Pneumatik?
- 2 Welche Anforderungen werden an das Druckluftnetz gestellt?
- 3 Wozu braucht man Aufbereitungseinheiten?
- 4 Bei welchen pneumatischen Steuerungen wird mit ölfreier Druckluft gearbeitet?
- 5 Welchen Vorteil haben kolbenstangenlose Zylinder?
- 6 Mit welchen Bauelementen kann die Geschwindigkeit von Zylindern eingestellt werden?

- 7 Skizzieren Sie das Schaltzeichen eines 5/3-Wegventiles, bei dem in der Mittelstellung alle Anschlüsse gesperrt sind und das durch einen Hebel betätigt wird.
- 8 Welche Signalverknüpfung ist mit Wechselventilen möglich?
- 9 Warum bezeichnet man die Funktion von Zweidruckventilen auch als „UND“-Verknüpfung?
- 10 Welche Aufgaben haben Druckbegrenzungsventile und Druckregelventile?



### 8.3.3 Schaltpläne pneumatischer Steuerungen

#### Aufbau von Schaltplänen

Pneumatische Steuerungen werden in Schaltkreise gegliedert (Bild 1). Schaltkreise fassen Bauteile mit zusammenhängenden Funktionen zusammen. In jedem Schaltkreis werden die Bauteile von unten nach oben in Richtung des Energieflusses angeordnet und so die Kennzeichnung angebracht.

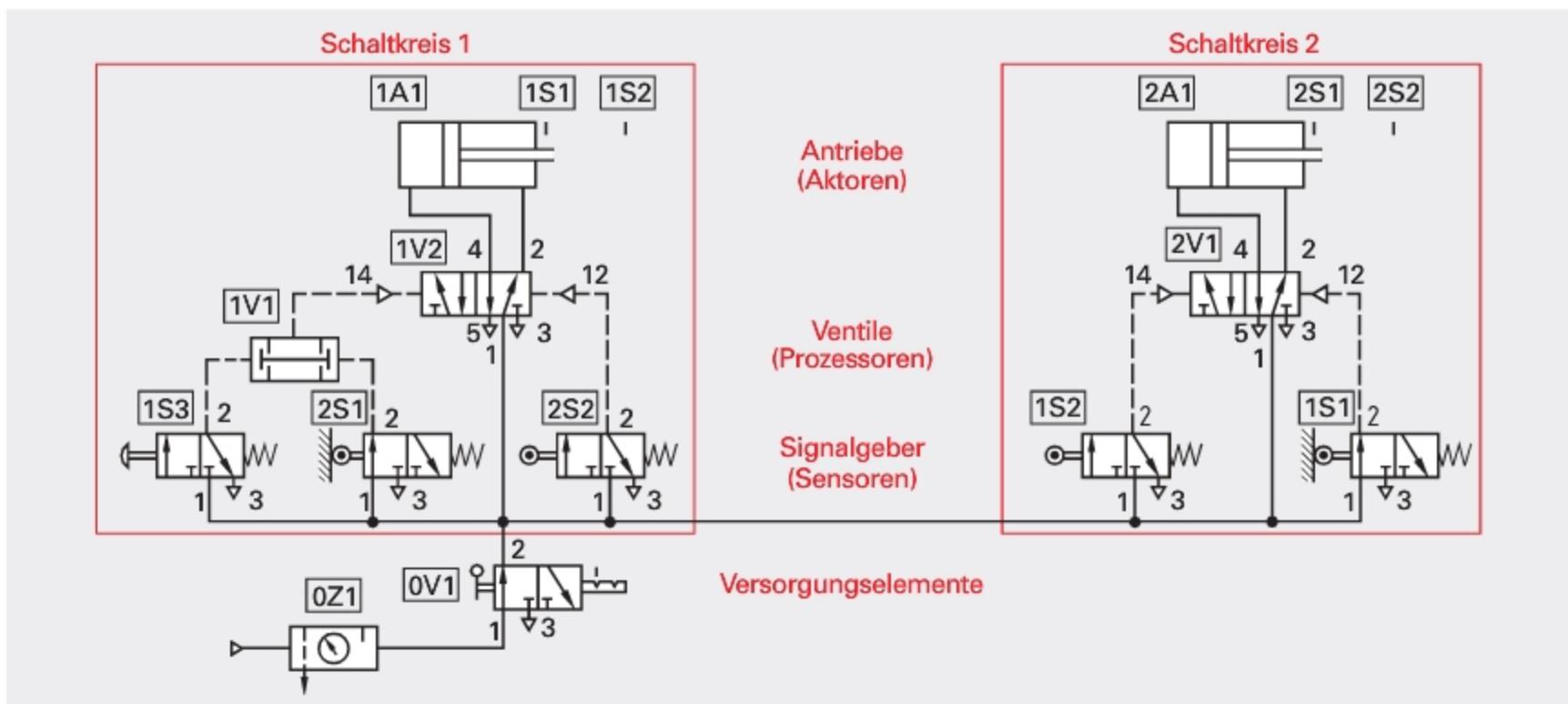


Bild 1: Aufbau pneumatischer Schaltpläne am Beispiel einer Hubeinrichtung

#### Bezeichnung der Bauteile

Die Bezeichnung der Bauelemente in Schaltplänen wird nach einem in DIN ISO 1219-2 genormten Schlüssel festgelegt. Die vollständige Bezeichnung eines Bauteiles umfasst vier Positionen (Bild 2):

- Anlagen-Nummer      • Schaltkreisnummer
- Kennbuchstabe des Bauteiles (**Tabelle 1**)
- Bauteil-Nummer

Die Anlagen-Nummer wird weggelassen, wenn der Schaltplan eindeutig einer Maschine zugeordnet werden kann.

Die Bauteil-Nummern sind Zählnummern gleichartiger Bauelemente innerhalb eines Schaltkreises. Bei Signalgebern für die Endlagenabfrage eines Zylinderkolbens, wird im Buch für die hintere Endlage die Zählnummer „1“, für die vordere Endlage der Kolbenstange die Zählnummer „2“ verwendet.

Beispiel eines Kennzeichnungs-Schlüssels

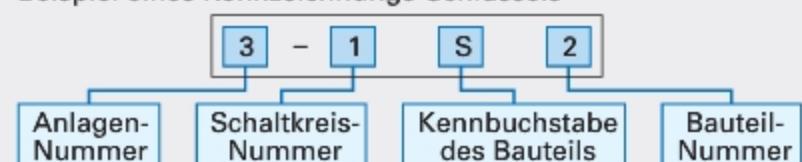


Bild 2: Kennzeichnungsschlüssel

Tabelle 1: Kennbuchstaben der Bauteile

A	Antriebe, Aktoren (Zylinder ...)
M	Antriebsmotoren (Elektromotoren)
P	Pumpen und Kompressoren
S	Signalgeber
V	Ventile
Z	Alle anderen Bauteile

Tabelle 2: Beispiele für die Bezeichnung von Bauteilen in Schaltplänen

Bezeichnung	Schaltkreis Nr.	Bauteilart	Zählnummer	Anmerkungen
2A1	2	Zylinder	1	Bei nur einem Zylinder im Schaltkreis kann Zählnummer entfallen
1V1	1	Ventil	1	Zählnummer „1“ wird oft dem Stellventil des Zylinders reserviert
2S1	2	Signalgeber	1	Zählnummer „1“ für hintere Endlage des Kolbens (nicht genormt)
2S2	2	Signalgeber	2	Zählnummer „2“ für vordere Endlage des Kolbens (nicht genormt)
1S3	1	Signalgeber	3	Startventil; Zählnummer „3“, da „1“ und „2“ schon belegt
0Z1	(0)	Wartungseinheit	1	„0“ kennzeichnet die Bauteile vor den eigentlichen Schaltkreisen

### 8.3.4 Systematischer Schaltplanentwurf

Sollen Schaltpläne oder Programme der Automatisierungstechnik systematisch entworfen und geplant werden, so stehen unterschiedliche Werkzeuge für verschiedene Steuerungsarten zur Verfügung. Für Verknüpfungssteuerungen (kombinatorische Schaltungen) werden vor allem Funktionstabellen verwendet (**Tabelle 1**). Mit ihnen können die Zusammenhänge zwischen den Ein- und Ausgangsvariablen dargestellt werden.

Automatisierungsaufgaben, bei denen unterscheidbare Aktionen in einer prozess- oder zeitgesteuerten Reihenfolge hintereinander oder auch parallel ablaufen werden mit der Entwurfssprache GRAFCET (DIN EN 60848) systematisch beschrieben.

#### Schaltplanentwurf für eine Verknüpfungssteuerung (kombinatorische Steuerung)

Eine Schwenktür mit Zylinderantrieb soll von zwei Seiten aus mit einem Schalter geöffnet und geschlossen werden (**Bild 1**). Außerdem soll die Tür von einer Seite geöffnet und von der anderen Seite aus geschlossen werden können.

Zur Schaltplanerstellung wird zunächst eine Funktionstabelle erstellt (Seite 486):

	E2	E1	A
	1S2	1S1	14
1	0	0	0
2	0	1	1
3	1	0	1
4	1	1	0

Es ergeben sich die Funktionsgleichungen:  
 $A = (E1 \wedge \overline{E2}) \vee (\overline{E1} \wedge E2)$   
oder:  
 $14 = (1S1 \wedge \overline{1S2}) \vee (\overline{1S1} \wedge 1S2)$

Die Umsetzung der Funktionsgleichung erfolgt in einem Funktions- oder Logikplan (**Bild 2**).

Der pneumatische Schaltplan setzt die logischen Grund- und Verknüpfungselemente aus dem Funktionsplan (Boolesche Algebra) mit Pneumatikbauteilen um (**Bild 3**).

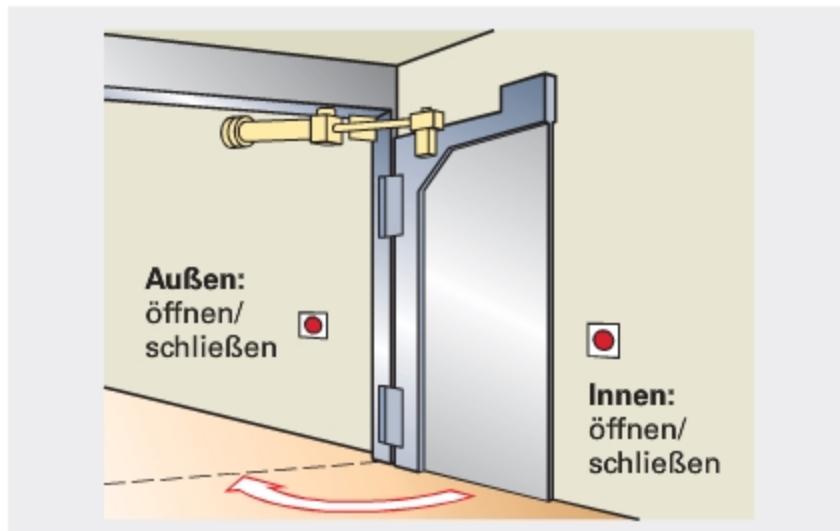
Die Lösung der Schaltung wird als Exklusiv-Oder-Verknüpfung oder Wechselschaltung (X-OR-Verknüpfung) bezeichnet. In gleicher Weise könnte man in der Elektropneumatik oder bei SPS-Steuerungen vorgehen.

#### Schaltplanentwurf für eine Ablaufsteuerung (sequentielle Steuerung)

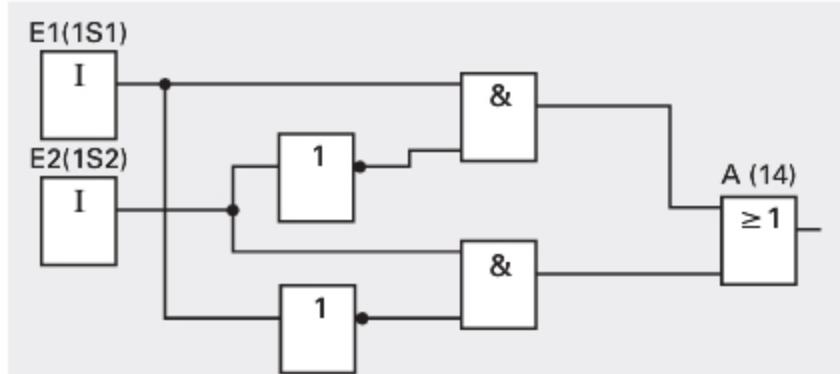
Eine Reihe von Steuerungsaufgaben lassen sich über logische Verknüpfungselemente nicht lösen. Immer wenn eine bestimmte Aktion an vorherige Schritte geknüpft wird und darauf eine weitere Aktion folgt, wird zum Entwerfen des Ablaufs auf GRAFCET (DIN EN 60848) zurückgegriffen.

**Tabelle 1: Steuerungsarten**

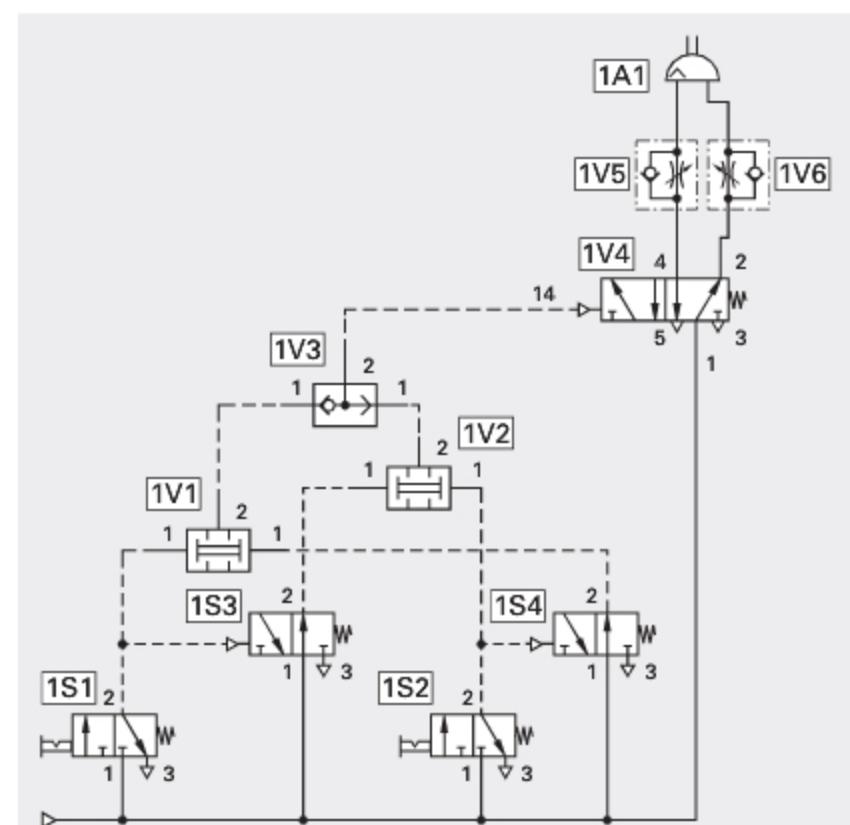
Verknüpfungssteuerungen (kombinatorische Steuerungen)	Ablaufsteuerungen (sequentielle Steuerungen)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Funktionstabelle</li> <li>Funktionsgleichung</li> <li>Funktionsplan (Logikplan)</li> </ul>	GRAFCET (DIN EN 60848)



**Bild 1: Schwenktür mit Zylinderantrieb**



**Bild 2: Funktionsplan (Logikplan)**



**Bild 3: Pneumatischer Schaltplan —  
Türöffnung und Schließung**



**GRAFCET (GRAphe Fonctionnel de Commande Etape Transition)** ist die Darstellung einer Steuerungsfunktion mit Schritten und Weiterschaltbedingungen. Mit GRAFCET können lediglich Ablaufsteuerungen dargestellt werden, die nach dem Prinzip der löschenenden Taktkette umgesetzt werden.

GRAFCET ist nach EN 60848:2002-12 in Europa gültig und löst als grafische Beschreibungssprache den Funktionsplan nach der deutschen Norm DIN 40719-6 ab. Er ersetzt ferner das Funktions- bzw. Weg-Schritt-Diagramm.

Komplexere Aufgabenstellungen werden durch mehrere miteinander verknüpfte Grafcets (Teil-Grafcets) beschrieben: Mit GRAFCET ist es möglich, eine Steuerung geräteneutral zu beschreiben oder eine bestimmte Steuerungsart, z.B. eine pneumatische oder elektropneumatische Ausführung, zu berücksichtigen (**Bild 1**).

## Aufbau und Grundprinzipien von GRAFCETs

Ein GRAFCET besitzt im **Strukturteil** die Elemente Schritt und Transition, im **Wirkungsteil** die Aktionen (**Bild 2**). Schritte und Transitionen eines GRAFCET wechseln sich ständig ab. Bei linearen Abläufen ist immer nur ein Schritt aktiv, der beliebig viele Aktionen auslösen kann. In einem GRAFCET können an beliebigen Stellen Kommentare mit Anführungszeichen eingefügt werden.

Neben linearen Abläufen sind auch alternative oder parallele Verzweigungen möglich. Hier können auch mehrere Schritte aktiv sein. GRAFCETs können hierarchisch strukturiert werden, z.B. in Teil-GRAFCETs für Betriebsartenfunktionen (Automatik-, Tippbetrieb usw.). Man verwendet dabei z.B. Makroschritte (in Bild 2 den Makroschritt M3).

## Strukturteil (Bild 3)

### Startschritt

Der Start- bzw. Initialisierungsschritt gibt die Ausgangsstellung einer Steuerung an. Er erhält die Nummer 0 in einem doppelten Rahmen. Damit wird der Ablauf in Gang gesetzt.

### Schritt

Jeder weitere Schritt wird meist mit einer Zahl in einem einfachen Rahmen bezeichnet. Der Zustand eines Schrittes kann durch seine Schrittvariable X (Wert 1 oder 0) abgefragt werden.

### Transition

Als Transition (Übergang) zwischen zwei Schritten wird die Bedingung für die Einleitung des nächsten Schrittes neben einer waagrechten Linie angegeben. Links (in Klammern) steht der Name der Transition, rechts die Übergangsbedingung als Text oder Boole'scher Ausdruck.

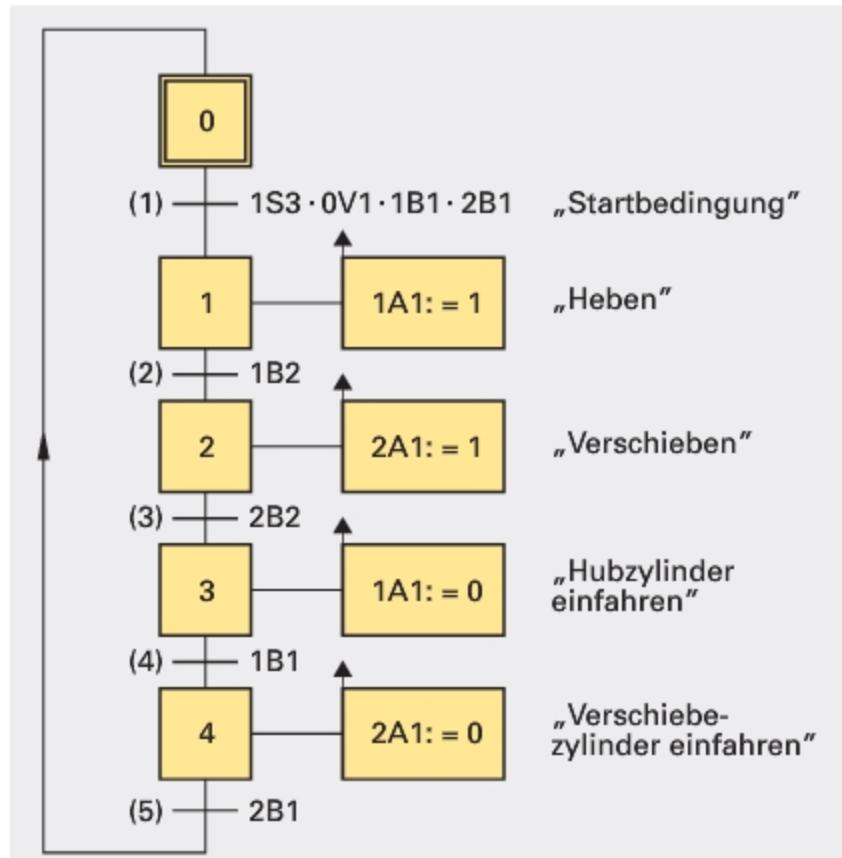


Bild 1: Beispiel eines GRAFCET

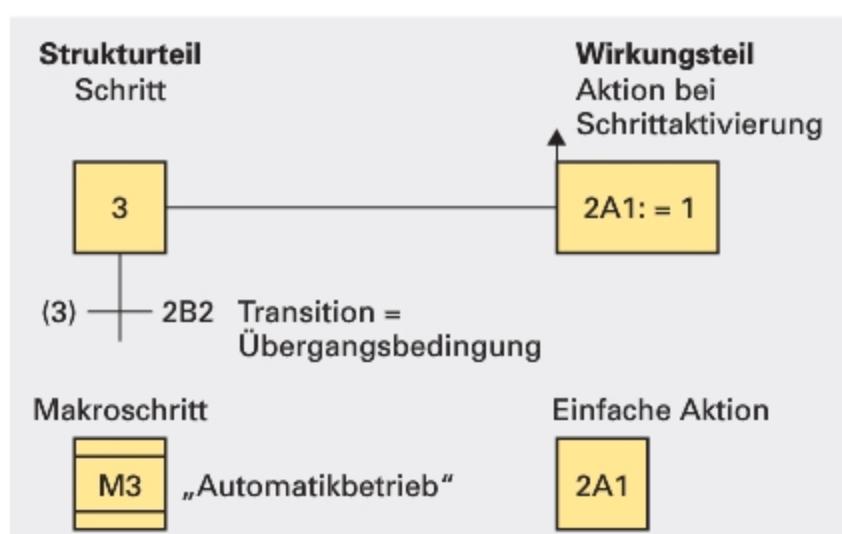


Bild 2: Elemente eines GRAFCET

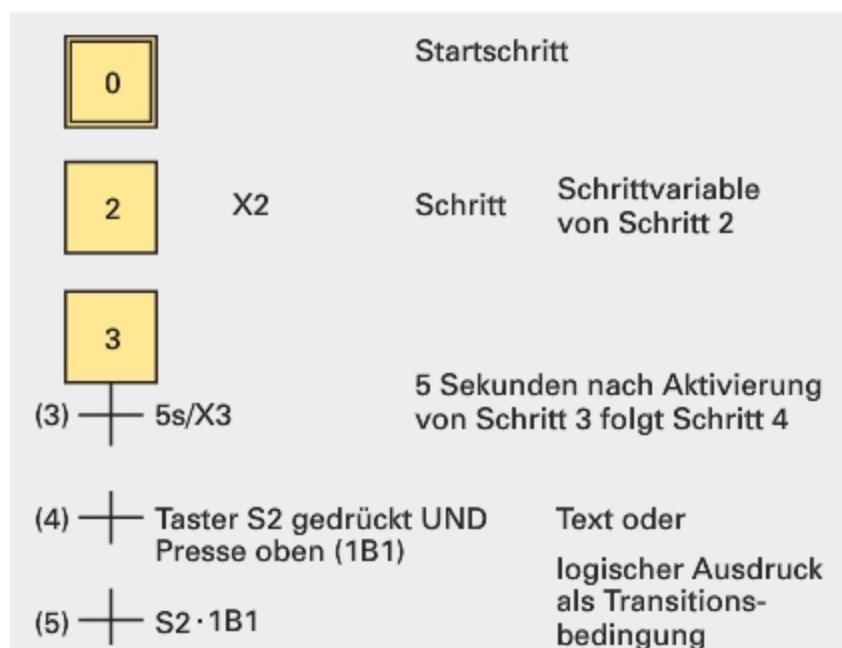


Bild 3: Beispiele zum Strukturteil

## ■ Wirkungsteil

Jedem Ablaufschritt werden eine oder mehrere Aktionen zugeordnet. Ist der Schritt aktiv, werden diese Aktionen ausgeführt. Eine Aktion wird als Rechteck dargestellt, Schrittsymbol und Aktionsfeld stehen auf gleicher Höhe. Bei mehreren Aktionen sind unterschiedliche Darstellungen zulässig (**Bild 1**). Die Reihenfolge der Aktionen stellt keine zeitliche Reihenfolge dar.

Man unterscheidet **kontinuierlich** und **speichernd** wirkende Aktionen.

### • Kontinuierlich wirkende Aktionen

Kontinuierlich wirkende Aktionen werden über eine bestimmte Zeit ausgeführt. Dann wird die Aktion automatisch zurückgenommen.

Solange ein Schritt aktiv ist, erhält die Variable den Wert 1, ist er nicht mehr aktiv, wird ihr der Wert 0 zugewiesen.

Im Aktionsfeld kann ein Text in Befehls- oder hinweisender Form oder der Name einer Variablen stehen (**Bild 2**). Bei technologieneutraler Planung kann die Bezeichnung des Antriebs (2A1), bei einer pneumatischen Steuerung die Anschlussbezeichnung des Ventils (2V1-14) und bei einer elektropneumatischen Steuerung die Magnetspule (2M1) angegeben werden. Die abgebildeten Aktionen zu Schritt 4 beschreiben das gleiche Verhalten: Solange Schritt 4 aktiv ist, wird ein Antrieb angesteuert.

Neben der Schrittaktivierung können zusätzlich **Zuweisungsbedingungen** (B8, 3s/B9 etc.) erforderlich sein, bevor eine Aktion ausgeführt werden kann.

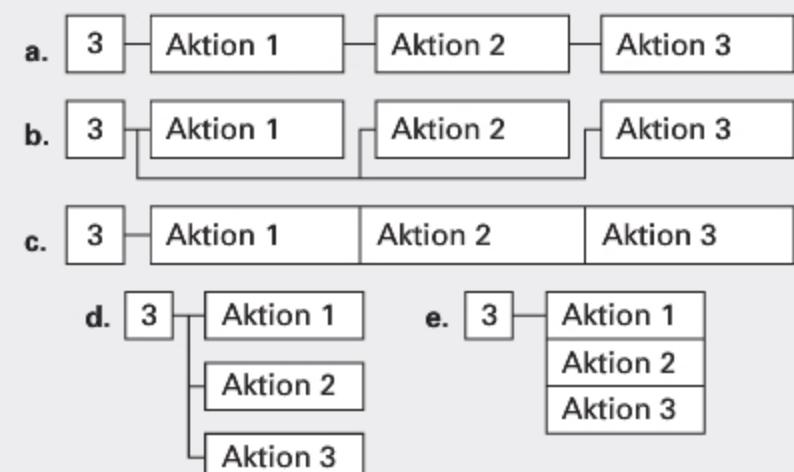
### • Speichernd wirkende Aktionen

Speichernd wirkende Aktionen werden in einem bestimmten Ablaufschritt auf logisch „1“ gesetzt und zu einem späteren Zeitpunkt in einem weiteren Schritt auf logisch „0“ zurückgesetzt.

Der Wert einer Variablen bleibt so lange gespeichert ( $3M1 := 1$ ), bis er durch eine andere Aktion verändert wird ( $3M1 := 0$ ).

Der Wert einer Variablen kann sich bei Aktivierung ( $\uparrow$ ) oder bei Deaktivierung eines Schrittes ( $\downarrow$  – nur mit SPS möglich) ändern (**Bild 3**).

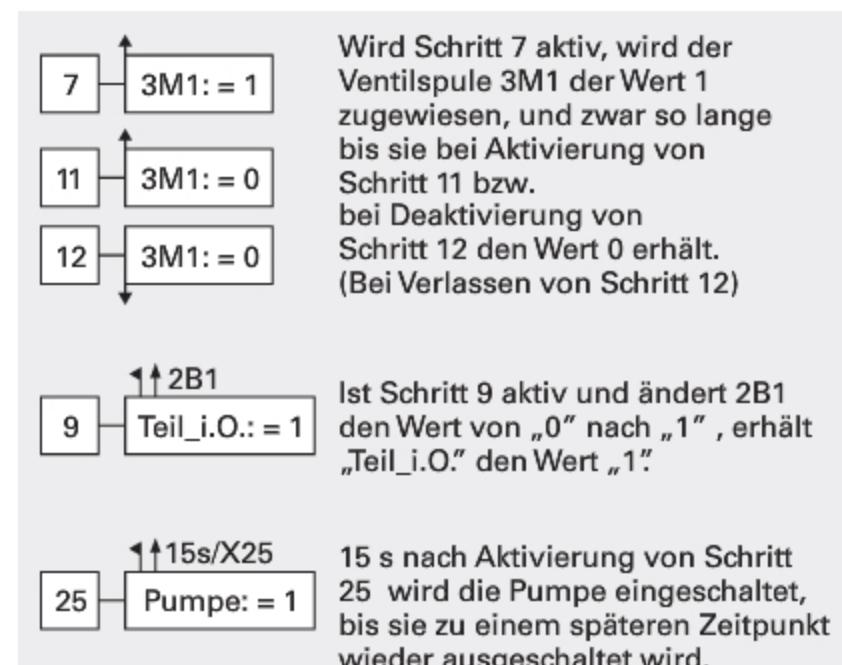
Der seitwärts weisende Pfeil („Fähnchen“) zeigt an, dass eine Aktion erst nach dem Eintreten eines **Ereignisses** speichernd ausgeführt wird. Im Schritt 9 taucht vor der Variablen 2B1 ein Pfeil auf. Hier wird der Signalwechsel von „0“ auf „1“ als Ereignis interpretiert, man spricht von einer positiven Flanke.



**Bild 1:** Darstellung von Aktionen



**Bild 2:** Beispiele für kontinuierlich wirkende Aktionen



**Bild 3:** Beispiele für speichernd wirkende Aktionen



### Beispiel: Hubeinrichtung

Das **Technologieschema** (Lageplan) zeigt in einer übersichtlichen Skizze die Anordnung der verwendeten Bauteile und lässt den Ablauf erkennen: Werkstücke werden durch den Hubzylinder 1A1 angehoben und in der oberen Endlage durch den Verschiebezylinder 2A1 auf eine Rollenbahn geschoben. Danach kehren beide Zylinder in die Ausgangsstellung zurück (**Bild 1**).

Der Bewegungsablauf lässt sich in Kurzschreibweise wie folgt angeben (+ = aus-, - = einfahren):

**1A1+ 2A1+ 1A1- 2A1-**

**GRAFCET** lässt unterschiedliche Darstellungen zu. Während der GRAFCET-Plan nach **Bild 1, Seite 501**, den Ablauf der Hubeinrichtung auf der Aktorebene beschreibt, ist der GRAFCET nach **Bild 2** für eine pneumatische Steuerung mit bistabilen Stellelementen (5/2-Impulsventilen) mit kontinuierlich wirkenden Aktionen erstellt.

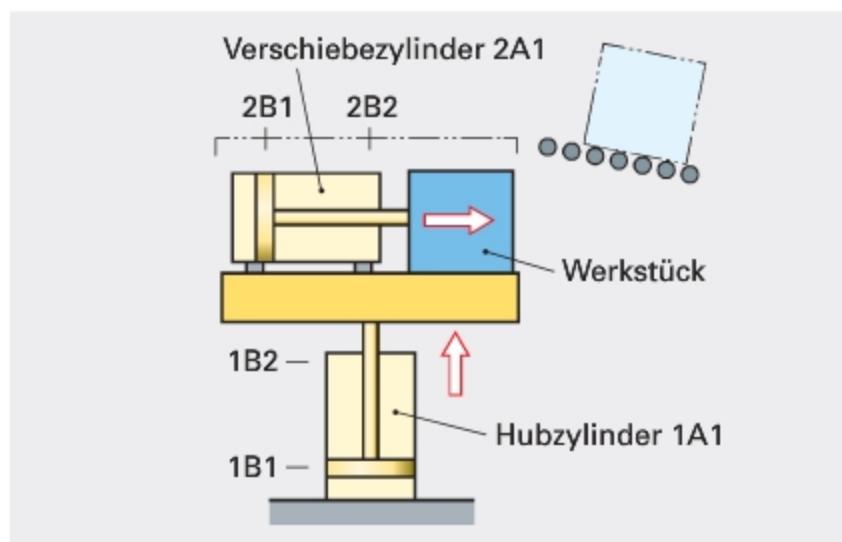
Der Steuerungsablauf ist in 5 Ablaufschritte gegliedert. Der Startschritt 0 kennzeichnet die Ausgangsstellung der Steuerung unmittelbar nach dem Einschalten. An den Übergängen zwischen den Schritten sind die Bedingungen aufgeführt, die für das Weiterschalten der Steuerung notwendig sind. Schritt „1“ z.B. wird erst ausgeführt, wenn

- der Starttaster 1S3 gedrückt wird,
- das Hauptventil 0V1 in Schaltstellung „a“ steht,
- der pneumatische Näherungsschalter 1B1 durch den Zylinder 1A1 betätigt ist
- und der pneumatische Näherungsschalter 2B1 durch den Zylinder 2A1 betätigt ist.

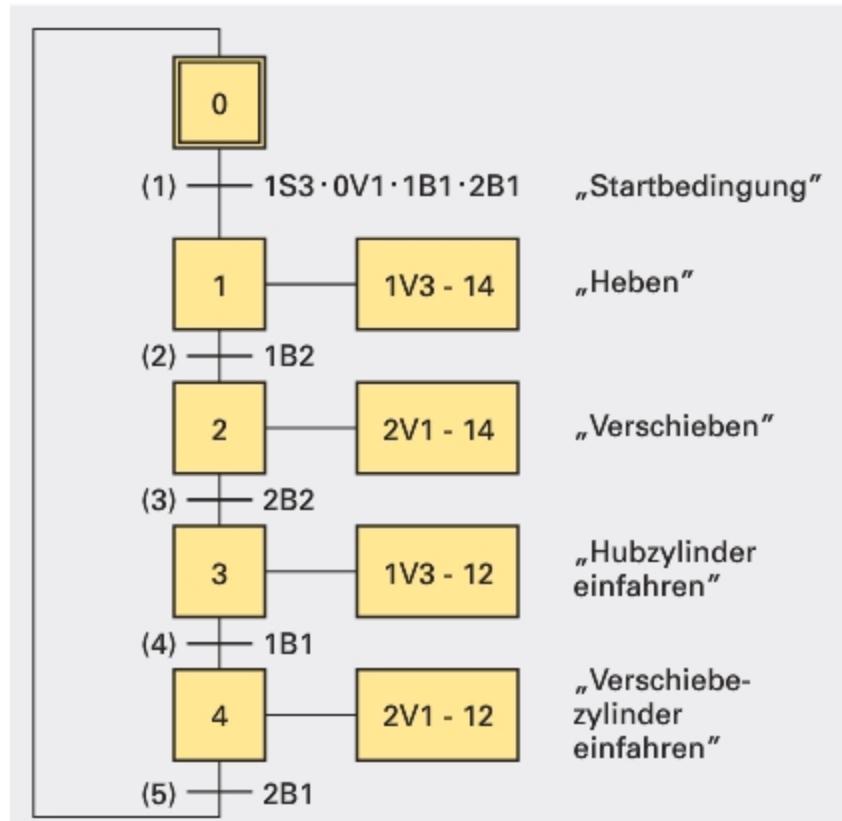
**Schaltpläne** zeigen die Funktion einer Steuerung in der gewählten Technik, z.B. Pneumatik, und die Verbindung der einzelnen Elemente der Steuerung untereinander (**Bild 3**). Die Bauteile eines Schaltplans werden nicht nach ihrer Lage, sondern entsprechend ihrer Funktion übersichtlich in den Funktionsebenen Versorgungs-, Signal-, Verknüpfungs-, Stell- und Antriebselemente (von unten nach oben) angeordnet.

### Wiederholung und Vertiefung

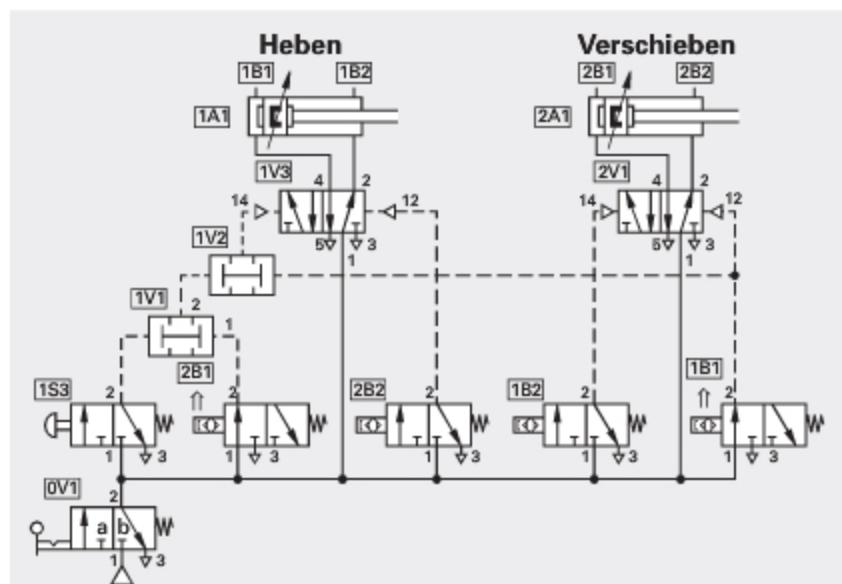
- 1 Wodurch unterscheidet sich eine kontinuierliche Aktion von einer gespeicherten Aktion?
- 2 Erklären Sie den Begriff „Schrittvariable X3“.
- 3 Wie werden Zeitverzögerungen im Grafset dargestellt?
- 4 Erstellen Sie für die Hubvorrichtung (Bild 3) einen GRAFCET mit speichernd wirkenden Aktionen.
- 5 Stellen Sie für den Logikplan (**Bild 4**) eine vollständige Funktionstabelle auf.



**Bild 1: Technologieschema der Hubeinrichtung**



**Bild 2: GRAFCET der Hubeinrichtung**



**Bild 3: Pneumatik-Schaltplan der Hubeinrichtung**



**Bild 4: Logikplan**

### 8.3.5 Beispiele pneumatischer Steuerungen

#### ■ Beispiel für die Steuerung eines Verschlussautomaten (kombinatorische Steuerung)

**Technologieschema und Aufgabenbeschreibung:**  
Es sollen Lagerbuchsen an einem Halbautomaten auf Wellenenden gepresst werden (**Bild 1**). Das Einbringen der Wellen und Aufsetzen der Sinterbuchsen soll von Hand erfolgen, der Einpressvorgang erfolgt automatisch, wenn sich der doppelt wirkende Zylinder in der hinteren Endlage (1B1) befindet, der Hauptschalter (0V1) zur Druckluftversorgung umgelegt ist und die Anlage mit einem Starttaster 1S3 in Gang gesetzt wird. Der Rückhub erfolgt lage- und druckabhängig (1B2, 1S4), wenn ein Anpressdruck von 5 bar erreicht ist.

In einer Funktionstabelle werden die Verknüpfungen der Signalelemente aufgezeigt (**Tabellen 1 und 2**). Als Stellelement wird ein 5/2-Implusventil verwendet.

So entstehen die beiden Funktionsgleichungen:

**Ausfahren:** Impuls 14 = 0V1  $\wedge$  1B1  $\wedge$  1S3

**Einfahren:** Impuls 12 = 0V1  $\wedge$  1B2  $\wedge$  1S4

Zur Lösung wird ein Druckschalter (**Bild 2**) eingesetzt. Die pneumatische Lösung zeigt die Umsetzung der beiden Funktionsgleichungen. Die UND-Verknüpfungen werden über Reihenschaltungen und Zweidruckventilen realisiert. Die Lösung enthält Details, die sich nicht aus der Schaltalgebra ableiten lassen, sondern die Funktionsfähigkeit der Anlage erhöhen sollen: einstellbare Endlagendämpfungen, Drosselrückschlagventil sowie ein Schnellentlüftungsventil (**Bild 3**), um die Nebenzeiten gering zu halten.

Eine Variation dieser Lösung zeigt **Bild 4**. Der Rückhub erfolgt nach einer am Zeitelement 1V2 eingestellten Zeit von 1s. Für die Wartungseinheit wird eine vereinfachte Darstellung angewendet.

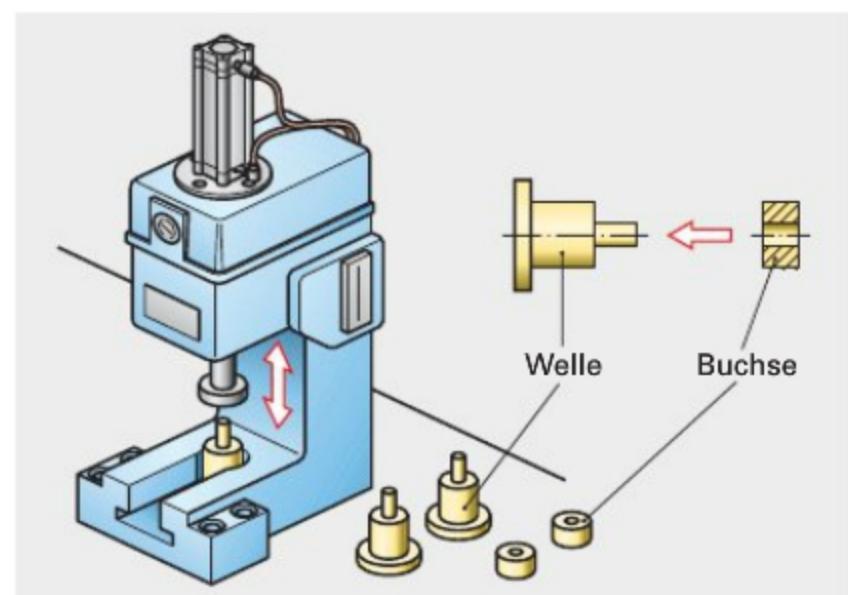


Bild 1: Aufpressen von Sinterbuchsen

Tabelle 1: Ausfahren

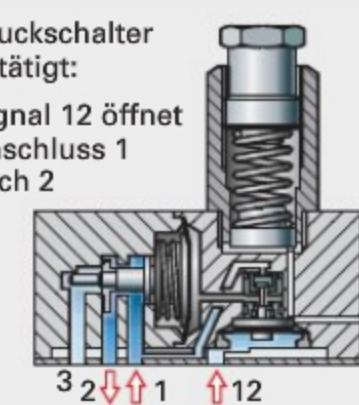
1S3	1S1	0V1	14
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Tabelle 2: Einfahren

1S4	1S2	0V1	12
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1



Druckschalter unbetätigt:  
Anschluss 1 nach 2 gesperrt



Druckschalter betätigt:  
Signal 12 öffnet Anschluss 1 nach 2

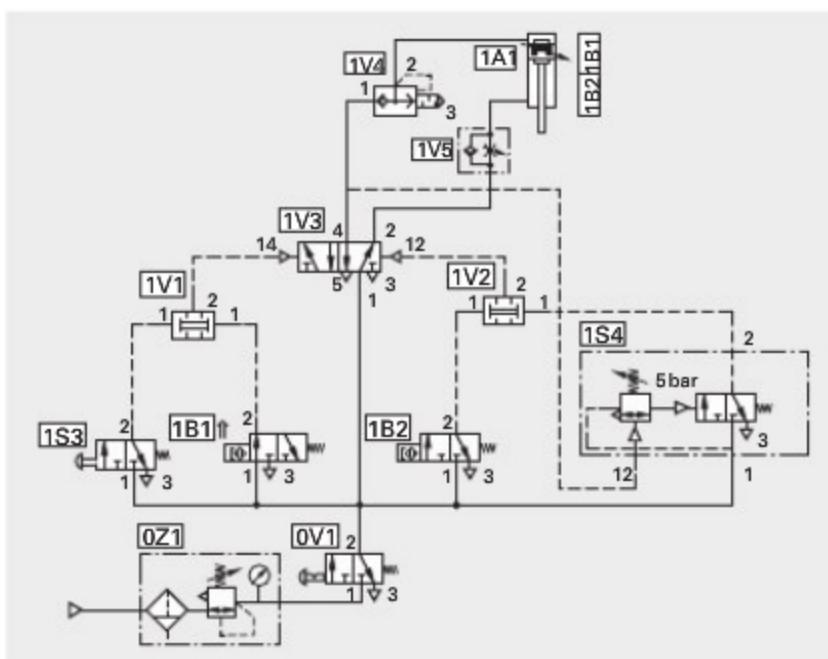


Bild 3: Pneumatische Lösung mit Druckschalter

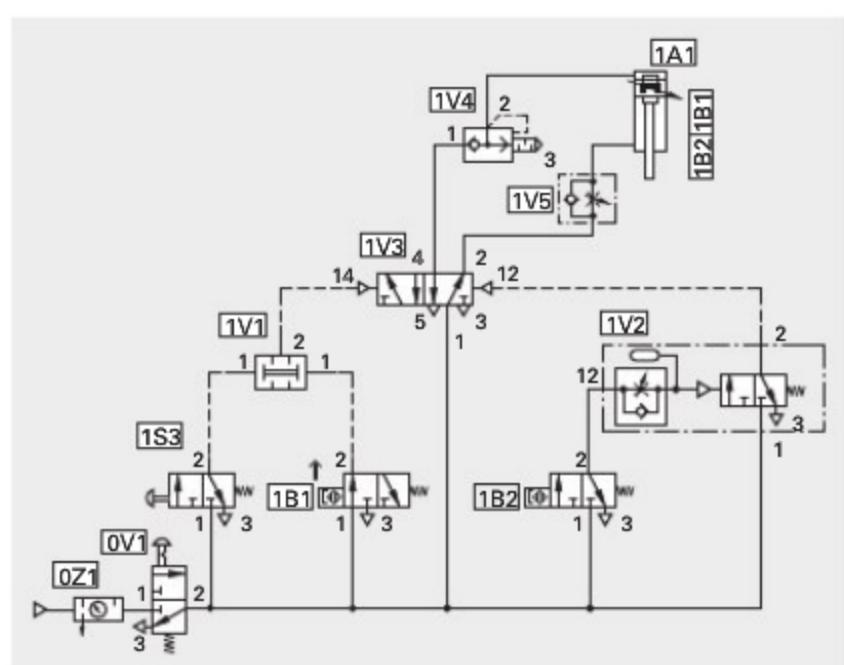


Bild 4: Pneumatische Lösung mit Zeitfunktion

## Förderanlage für Behälter

Auf einer Rollbahn ankommende Behälter sollen vereinzelt, angehoben und auf eine zweite Rollbahn geschoben werden (**Bild 1**).

Die auf der unteren Rollbahn ankommenden Behälter werden durch den Sperrzylinder 1A1 gestoppt. Nach dem Startsignal 1S3 fährt der Sperrzylinder zurück und der Behälter rollt auf die Hubplattform. Dort löst er das Signal 2S3 aus. Der Zylinder 1A1 fährt wieder in die Sperrstellung und der Hubzylinder 2A1 hebt den Behälter an. In der Endstellung wird der Verschiebezylinder 3A1 ausgelöst, der den Behälter auf die obere Rollbahn schiebt. Danach fahren die beiden Zylinder 2A1 und 3A1 zurück. Der „Zyklus“ ist abgeschlossen.

**GRAFCET (Bild 2).** Der Ablauf der Zylinderbewegungen kann im GRAFCET übersichtlich dargestellt werden.

Im **Strukturteil** können die einzelnen Schritte der Steuerung abgelesen werden. Sie wechseln ständig mit den Transitionen ab.

Im **Wirkteil** werden innerhalb des Rechteckrahmens jedem Ablaufschritt eine oder mehrere Aktionen zugeordnet.

Das Einfahren des Verschiebezylinders 3A1 ist nicht dargestellt, da, sobald die Transition (4) mit 2S4 erfüllt ist, der Zylinder 3A1 wegen der Verwendung eines 5/2-Wegeventils 3V1 mit Federrückstellung sofort wieder einfährt.

**Schaltplan (Bild 3).** Der Schaltplan zeigt die Verknüpfung aller Bauelemente einer Steuerung. Da die Bauelemente durch Schaltzeichen dargestellt werden, kann der Steuerungsablauf nur durch systematisches Überlegen nachvollzogen werden.

Das „Lesen“ von Schaltplänen muss gelernt und geübt werden. Nur dadurch können Steuerungen richtig verstanden, zusammengebaut und instand gesetzt werden.

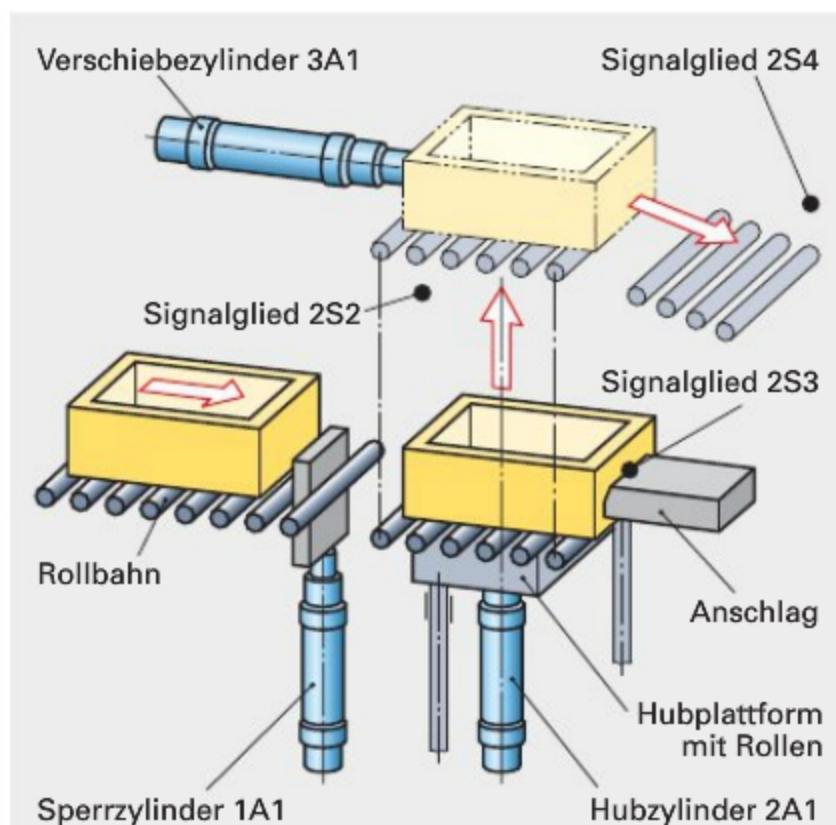


Bild 1: Technologieschema der Förderanlage

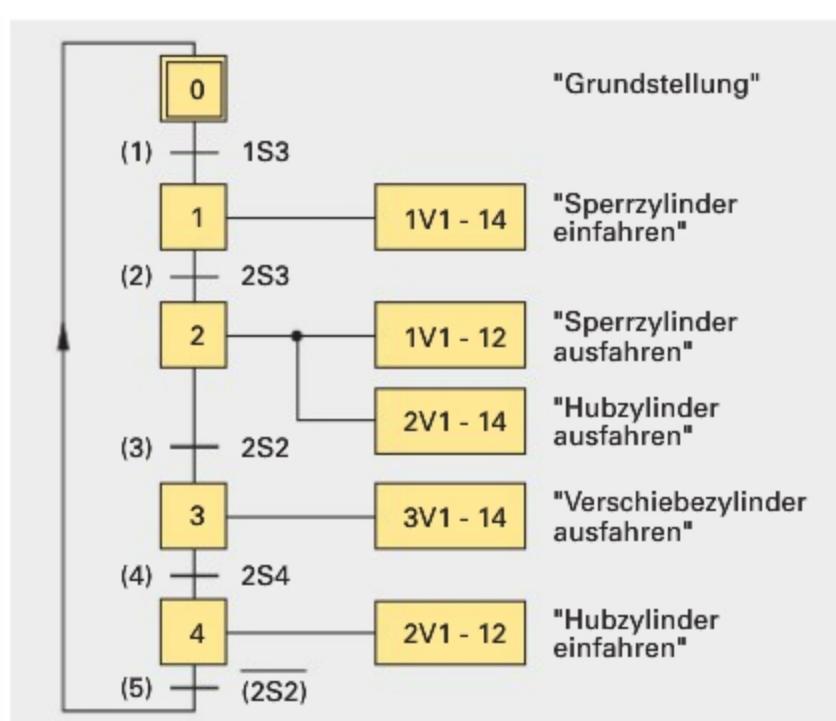


Bild 2: GRAFCET für den Ablauf an der Förderanlage

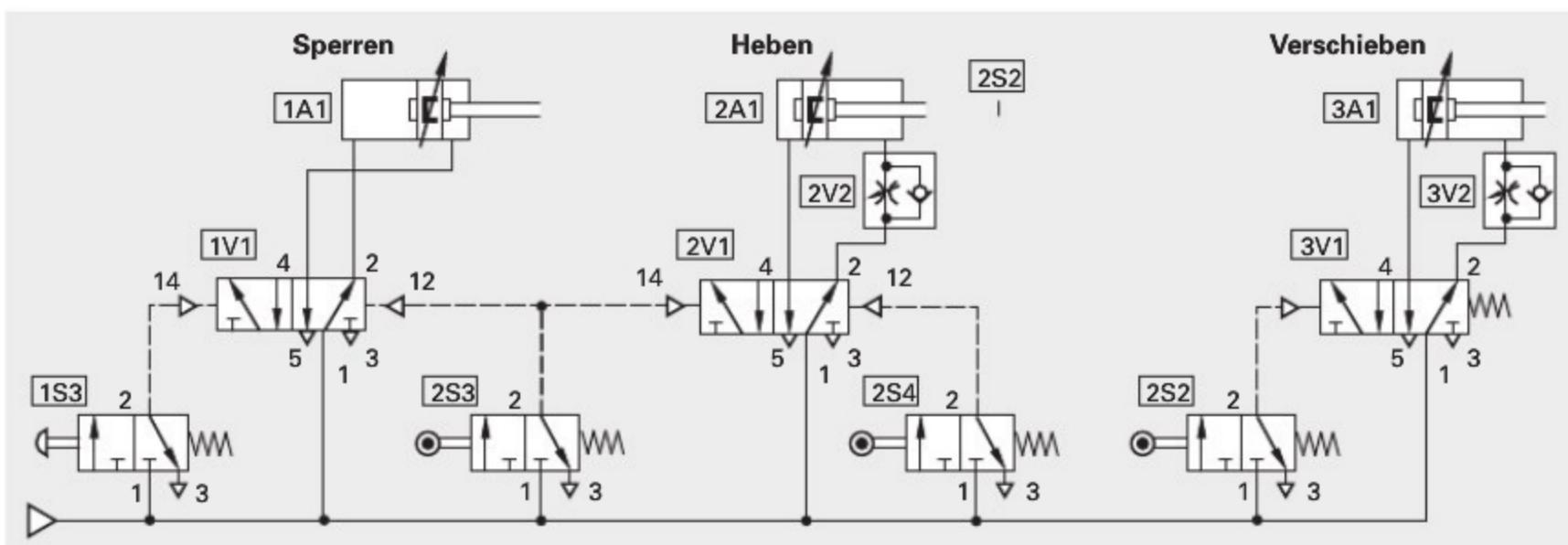


Bild 3: Pneumatischer Schaltplan der Förderanlage

## Beschickung einer Reinigungsanlage

**Technologieschema (Bild 1) und Funktionsbeschreibung.** Werkstücke müssen vor dem Galvanisieren in einem Reinigungsbad entfettet werden. Dazu werden sie in einen Korb an einem Portallader gelegt. Nach dem Startsignal transportiert der Zylinder 1A1 den Korb über das Bad. Dort wird er durch den Zylinder 2A1 in das Bad abgesenkt und wieder herausgehoben. Danach fährt der Korb in die Beladeposition zurück.

**Ablaufbeschreibung** in Gruppenschreibweise:

I 1A1+ 2A1+

Steuergruppe I

I 2A1- 1A1-

Steuergruppe II

Es zeigt sich, dass sich am Gruppenübergang von I nach II der gleiche Aktor 2A1 mit einem bistabilen Stellelement (= Impulsventil) befindet. Es muss hier mit einer Signalüberschneidung von Impuls 14 und Impuls 12 gerechnet werden. Das Gleiche gilt für das Impulsventil für den Zylinder 1A1. Ein Neustart wäre nicht möglich, da das Signal von 2B1 in der Grundstellung permanent anliegt.

**Schaltplan (Bild 2) und GRAFCET (Bild 3).** Das Signal des pneumatischen Näherungssensors 1B2, das die Absenkbewegung des Zylinders 2A1 auslöst, darf nicht mehr vorhanden sein, wenn der Zylinder 2A1 wieder hochfahren soll, sonst würden zwei Signale am Stellelement 2V2 anstehen (= Signalüberschneidung). Daher wird das Ventil 2V1 mit einer Zeitfunktion zum Abschalten nach einer Sekunde eingebaut (Seite 497). Die 2. Signalüberschneidung (letzter Schritt und Neustart) wird ebenfalls durch die Zeitfunktion 1V1 verhindert.

**Kaskadensteuerung (Bild 4).** Eine Methode, Signalüberschneidungen in der Pneumatik zu verhindern, ist der Einsatz eines Umschaltventils OV1. Es versorgt die beiden Steuerstränge I und II zu einem bestimmten Zeitpunkt mit Druckenergie, sodass nur die zum Ablauf notwendigen Signalelemente mit Druckluft versorgt werden. Die anderen Signalelemente bekommen keine Energie.

Diese Technik ist heute in der Pneumatik eher selten.



Bild 3: GRAFCET für die Reinigungsanlage

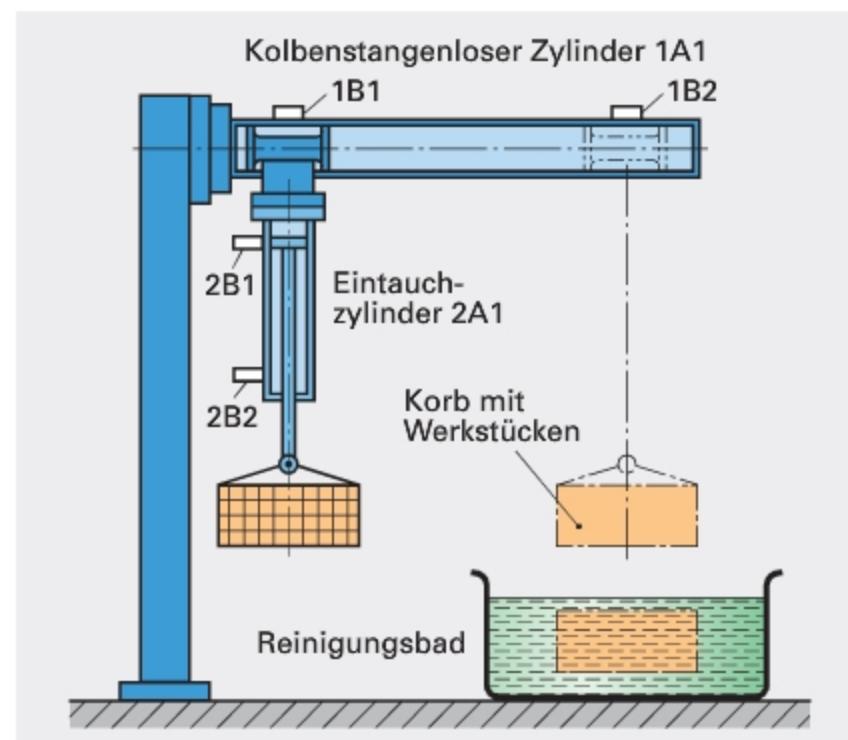


Bild 1: Technologieschema für Portallader einer Reinigungsanlage

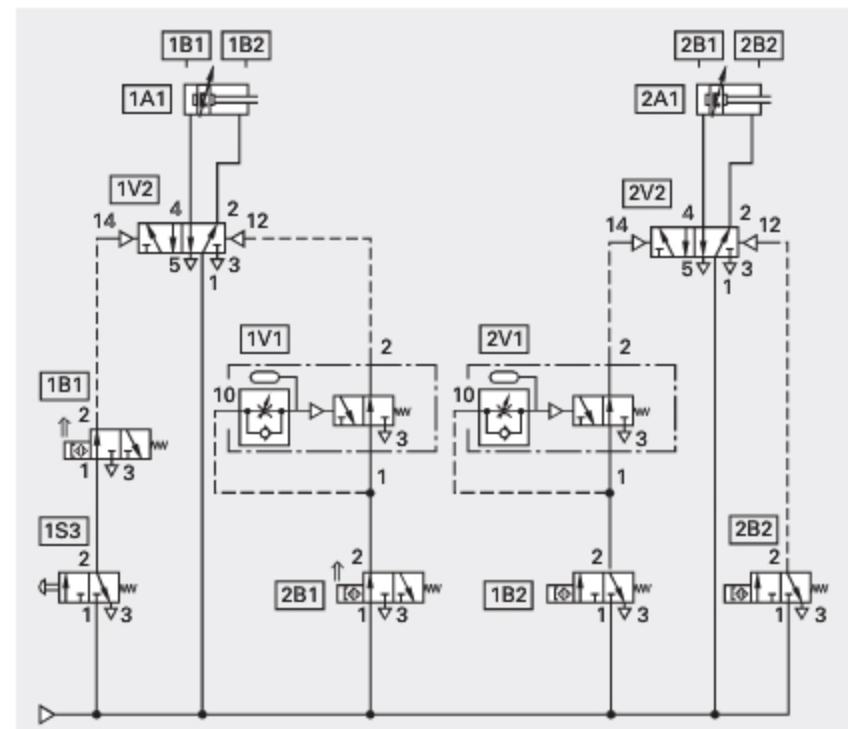


Bild 2: Steuerung mit Wegeventilen mit Rollenhebel

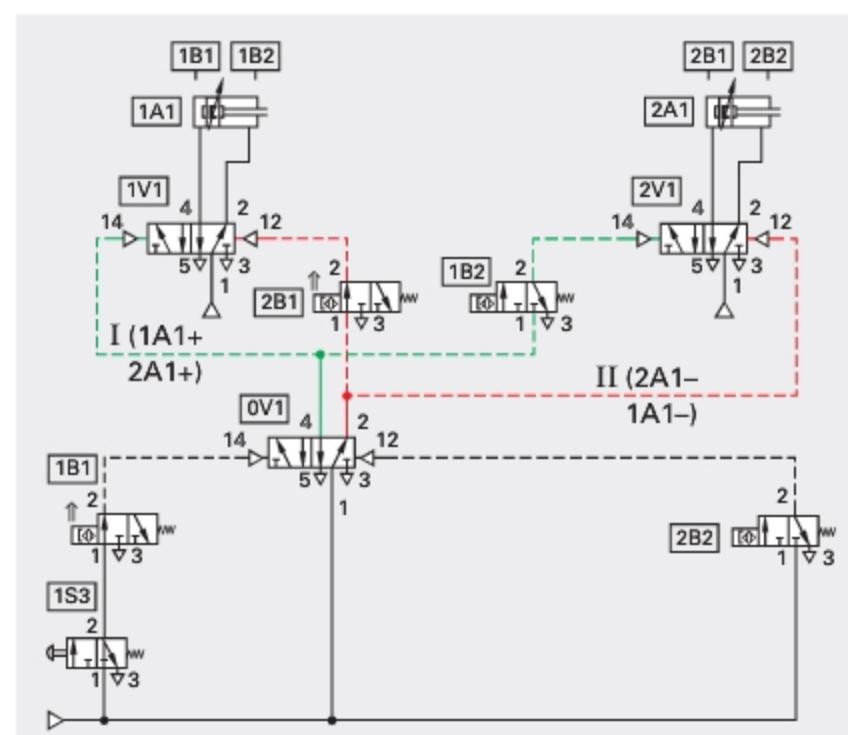
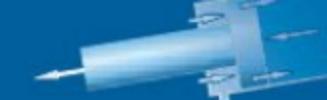


Bild 4: Kaskadensteuerung der Reinigungsanlage



### 8.3.6 Vakuumtechnik

Vakuumsysteme in der Handhabungstechnik stellen eine wichtige Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten von Pneumatik (Fluidmechanik) dar. Mit ihnen lassen sich Bauteile mit glatter bis rauer Oberfläche unterschiedlicher Werkstoffe (z.B. aus Metall, Kunststoff, Holz, Papier) sowohl mit ebenem als auch mit gekrümmten Profilen transportieren. Die Systeme bestehen aus einem Sauggreifer, entsprechenden Befestigungselementen und Verschlauchungen sowie dem eigentlichen Vakuumerzeuger (**Bild 1 und Tabelle 1**). Filter schützen diese Einheit, Druckschalter und Messkomponenten für den Unterdruck sorgen für einen sicheren Betrieb des Vakuumsystems.

#### Vakumbegriff

Man spricht von einem Vakuum oder besser vom Unterdruck, wenn in einem geschlossenen Raum der Druck geringer ist als der Umgebungsdruck. Dieser Druck beträgt auf Höhe des Meeresspiegels 1013 mbar. Pro 100 m Höhenzunahme verringert sich der Luftdruck um ca. 12,5 mbar, sodass auf 2000 m Höhe der Luftdruck nur noch 763 mbar beträgt.

Das Vakuum wird als Relativwert angegeben, d.h. der Unterdruck wird in Bezug zum Umgebungsdruck angegeben. Er hat stets ein negatives Vorzeichen, weil der Umgebungsdruck als Bezugs punkt mit 0 mbar dient (**Bild 2**).

Üblich sind die folgenden Arbeitsbereiche:

- Dichte Oberflächen (Metall, Kunststoff usw.) mit –600 mbar bis –800 mbar
- Poröse Materialien (Spanplatten, Kartonagen usw.) mit –200 mbar bis –400 mbar.

#### Vakuumerzeuger

Der Ejektor ist ein pneumatischer Vakuumerzeuger (**Bild 3**). Die Druckluft strömt von A nach B in die Venturidüse<sup>1</sup>. Nach dem Austritt aus der Düse strömt die expandierende Luft in den Schalldämpfer C. An der engsten Stelle von B entsteht ein Unterdruck. Dieser entstehende Unterdruck wird zum Absaugen von Luft in der Anschlussleitung D benutzt. Schließt man einen Sauggreifer an den Anschluss D des Vakuumerzeugers an, so wird demnach die Luft zwischen Sauggreifer und Werkstück abgesaugt, sobald er die Oberfläche berührt. Der umgebende höhere Atmosphärendruck drückt den Sauggreifer fest auf das Werkstück (**Bild 4**).

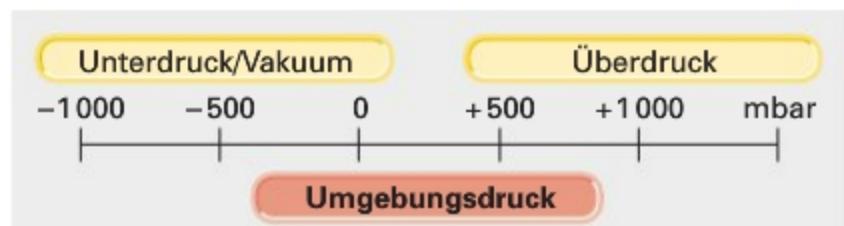
Diesen Zusammenhang beschreibt das Gesetz von Bernoulli<sup>2</sup>, nach dem ein Anstieg der Strömungsgeschwindigkeit in der Engstelle der Düse mit einem Abfall des Druckes verbunden ist.



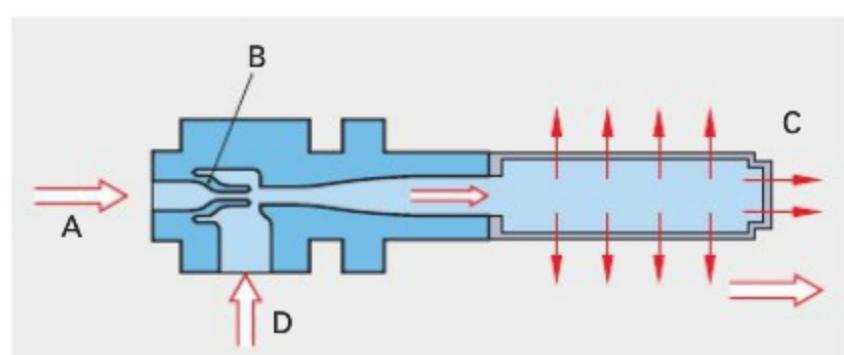
**Bild 1: Sauggreifer bei Blechteilehandlung**

**Tabelle 1: Symbole aus der Vakuumtechnik**

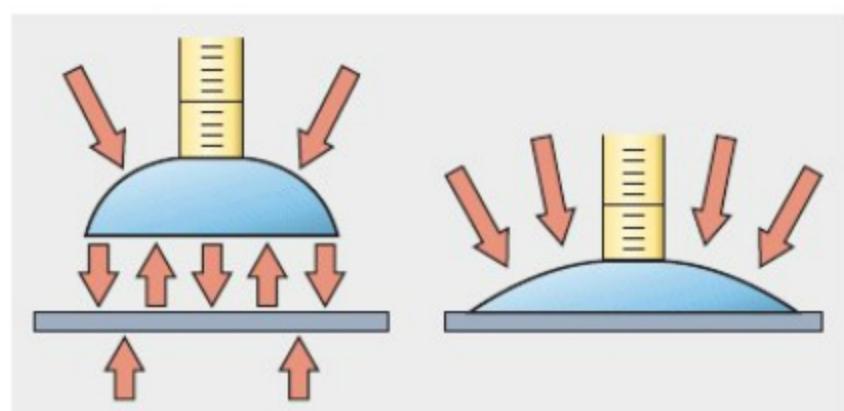
	Filter		Ejektor, einstufig
	Manometer		Ejektor, mehrstufig
	Flachsauggreifer, Einfachlippe		Schalldämpfer
	Faltenbalgsauggreifer		Vakuum-Gebläse
	Federstößel		Vakuum-Pumpe



**Bild 2: Vakuum als Relativwert  $p_e$**



**Bild 3: Funktionsprinzip eines Ejektors**



**Bild 4: Anpressung durch Atmosphärendruck**

<sup>1</sup> Giovanni Battista Venturi, ital. Physiker (1746–1822)

<sup>2</sup> Daniel Bernoulli, schweizer Physiker (1700–1782)

## Auslegung von Sauggreifern

Die Sauggreifer bestehen aus dem Saugnapf und einem Anbindungselement. Die Saugnäpfe sind als Flach- oder Balgsauger ausgeführt. Flachsauger lassen sich schnell evakuieren, da sie ein geringes inneres Volumen besitzen. Sie werden bei ebenen oder leicht gewölbten Oberflächen eingesetzt. Die Balgsauger eignen sich für unebene Flächen (Bild 1 und Tabelle 1).



Bild 1: Formen von Saugnäpfen

## Berechnung der Haltekraft

Bei der Berechnung ist die Lage des Werkstückes zu beachten: Bei horizontaler Werkstücklage ist die vertikale Kraft  $F_V$ , bei vertikaler Werkstücklage die horizontale Kraft  $F_H$  zu berechnen (Bild 2). Der Reibungskoeffizient  $\mu$  berücksichtigt die Werkstückoberfläche.

Es gelten folgende Richtwerte zur Orientierung:

- Glas, Stein, Kunststoff (trocken)  $\mu$  ca. 0,5
- Sandpapier  $\mu = 1,1$
- Feuchte, ölige Oberflächen  $\mu = 0,1-0,4$

**Beispiel:** Welche theoretische horizontale Haltekraft erzeugt ein Sauggreifer, dessen Unterdruck  $p_e = -0,6$  bar von einem Ejektor aufgebaut wird. Der Sauggreifer hat eine Fläche von  $A = 32 \text{ cm}^2$ , das Werkstück besteht aus Glas, mit einer trockenen glatten Oberfläche.

$$\text{Lösung: } F_H = F_V \cdot \mu = A \cdot p_e \cdot \mu = 32 \text{ cm}^2 \cdot (-6 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}) \cdot 0,5 = -96 \text{ N}$$

## Vakumschaltkreis mit Unterdruckabfrage

In einem Vakumschaltkreis soll der Unterdruck abgefragt werden. Bild 3 zeigt eine Schwenkvorrichtung. Am Schwenkarm ist der Sauggreifer mit Ejektor 2A1 und dem Saugnapf 2Z3 montiert. Der Vakuumfilter 2Z1 verhindert eine Störfunktion durch Staub, ein Vakuummanometer 2Z2 zeigt den Unterdruck an, der Vakuumdruckschalter 2S1 ist auf den nötigen Unterdruck eingestellt.

Tabelle 1: Saugerformen

Bauart	Vorteile	Einsatz
Flachsauger	Niedrige Bauform, minimale Ansaugzeit	Glatte bis leicht rauhe Oberflächen, Prozess mit kurzen Zykluszeiten
Balgsauger	Für unebene Flächen, Ausgleich unterschiedlicher Höhen	Karosseriebleche, Rohre, Kartonagen, empfindliche Elektronikbauteile

Haltekräfte an Sauggreifern		
$F_V = A \cdot p_e$		
$F_H = F_V \cdot \mu$		
$F_V$	theoretische vertikale Haltekraft	N
$F_H$	theoretische horizontale Haltekraft	N
A	Fläche	cm <sup>2</sup>
$p_e$	Unterdruck	N/cm <sup>2</sup>
$\mu$	Reibungskoeffizient	-

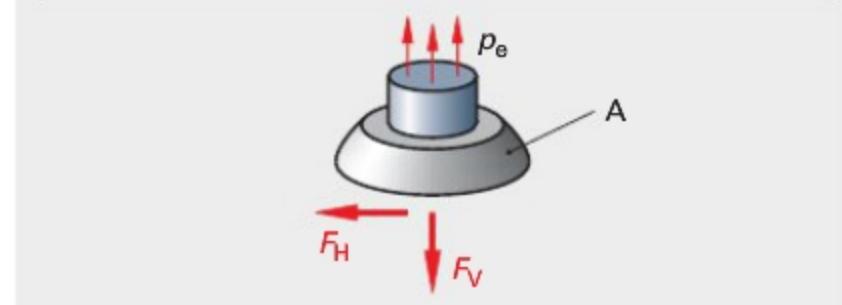


Bild 2: Haltekraft am Sauger

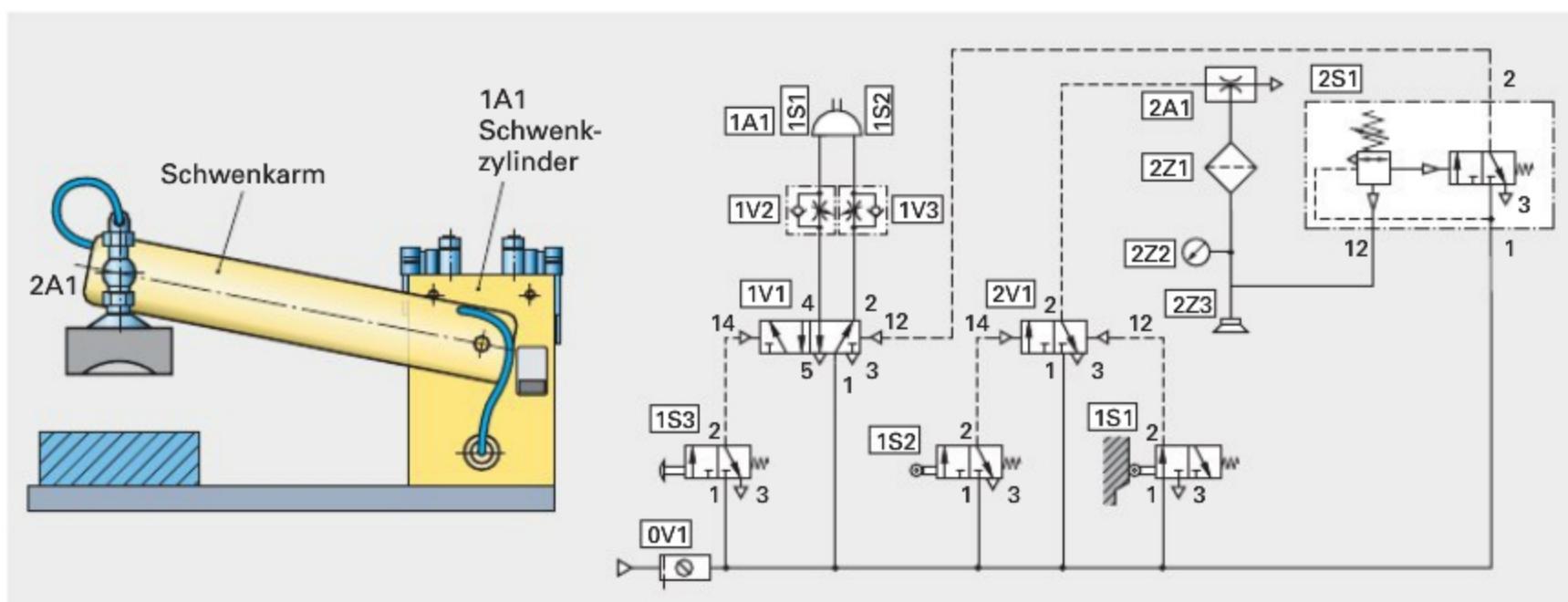


Bild 3: Vakumschaltkreis mit Vakuumdruckschalter

## 8.4 Elektropneumatische Steuerungen

In elektropneumatischen Steuerungen werden die Vorteile der Pneumatik mit den Möglichkeiten der Elektrik verknüpft. Eine Schaltung hat immer zwei Teile (**Bild 1**).

Die Pneumatik erzeugt im Leistungsteil der Schaltung die Bewegungsenergie an den Aktoren (Zylindern). Die elektrische Energie wird eingesetzt, um Signale mittels Taster oder Sensoren zu erfassen. Die elektrische Signalverarbeitung bietet den Vorteil, dass die Schaltlogik mittels Reihen- oder Parallelschaltung von Signalen realisiert wird und somit Bauteile entfallen. Weitere Vorteile sind der geringe Wartungsaufwand und die im Verhältnis kostengünstigeren elektrischen Bauteile. Die Magnetspulen 1M1 und 1M2 am 5/2-Wegeventil sind die Schnittstelle zwischen Elektrik und Pneumatik. Zu den Bauelementen elektrischer Steuerungen gehören vor allem Taster, Schalter, Sensoren, Relais und Schütze. In Schaltplänen werden sie durch Schaltzeichen dargestellt (**Tabelle 1**).

### 8.4.1 Bauelemente elektrischer Kontaktsteuerungen

Bei Kontaktsteuerungen erfolgt die Signalübertragung durch das Schalten elektrischer Kontakte entweder durch Taster und Schalter direkt oder elektromagnetisch indirekt durch Relais. Sie werden entweder von Hand oder mechanisch, z.B. über die Kolbenstange des Zylinders, betätigt. Ihre Kontakte sind so angeordnet, dass sie bei Betätigung entweder geöffnet (Öffner – NC) oder geschlossen (Schließer – NO) werden (**Bild 2**). Die Kontakte werden mit den Funktionsziffern 1–2 bei Öffnern und 3–4 bei Schließern bezeichnet. Eine Kombination von Öffner und Schließer ist der Wechsler (1–2, 1–4).

Taster werden nach dem Loslassen durch eine Feder wieder in die Ausgangsstellung zurückgedrückt, während Schalter durch Einrasten ihre Schaltstellung beibehalten. Sie speichern mechanisch das einmal kurz gesetzte Signal bis zum Entlasten.

Zu den Signalelementen gehören Grenztaster oder Druckschalter (**Bild 3**). Sie wandeln die pneumatische Druckenergie an der Steuerleitung X in ein elektrisch-mechanisches Signal um.

**Sensoren (Näherungsschalter).** Sie schalten bei Annäherung eines Maschinenteils oder Werkstückes ohne mechanische Berührung. Dazu zählen magnetische, induktive, kapazitive und optoelektronische Sensoren (Seite 514).

Sie besitzen kleine Abmessungen, sind verschleißfrei und haben hohe Schaltgeschwindigkeiten. Sie werden im Schaltplan mit „B“ bezeichnet.

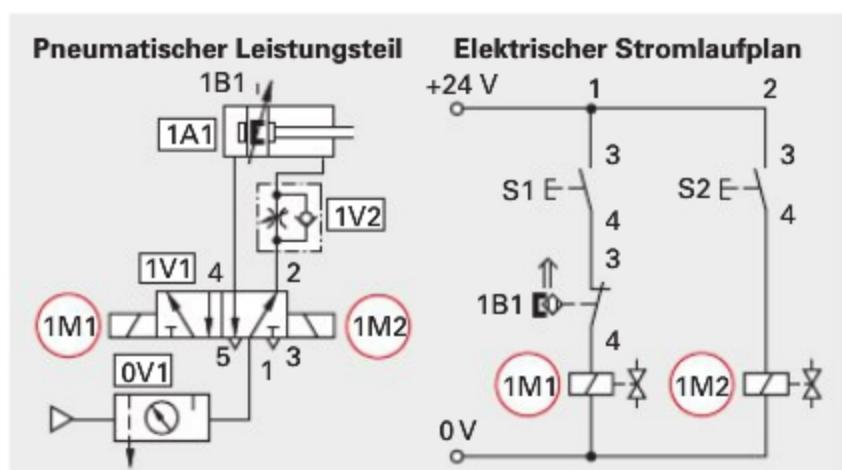


Bild 1: Direkte Schaltung in der Elektropneumatik

Tabelle 1: Elektrische Schaltzeichen

Betriebsmittel	Schaltzeichen	Betriebsmittel	Schaltzeichen
Handbetätigter Taster	+	Notausschalter rastend	⊕ ⊖
Durch Drücken betätigter Taster	E-	Näherungsschalter	◇ -
Handbetätigter Schalter mit Raste	⊤ ⊥	Induktiver Näherungsschalter	◊ -
Rollenbetätigter Taster	o-	Relais mit Wechsler	□ ⊕ ⊖
Rollentaster in Ausgangsstellung betätigter (Schließer)	↑ o-	Elektromagnetisch betätigtes Wegeventil	□ ⊕ ⊖

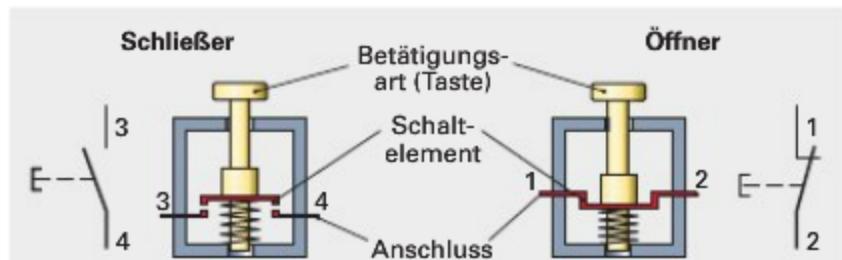


Bild 2: Elektrische Taster (Schließer/Öffner)

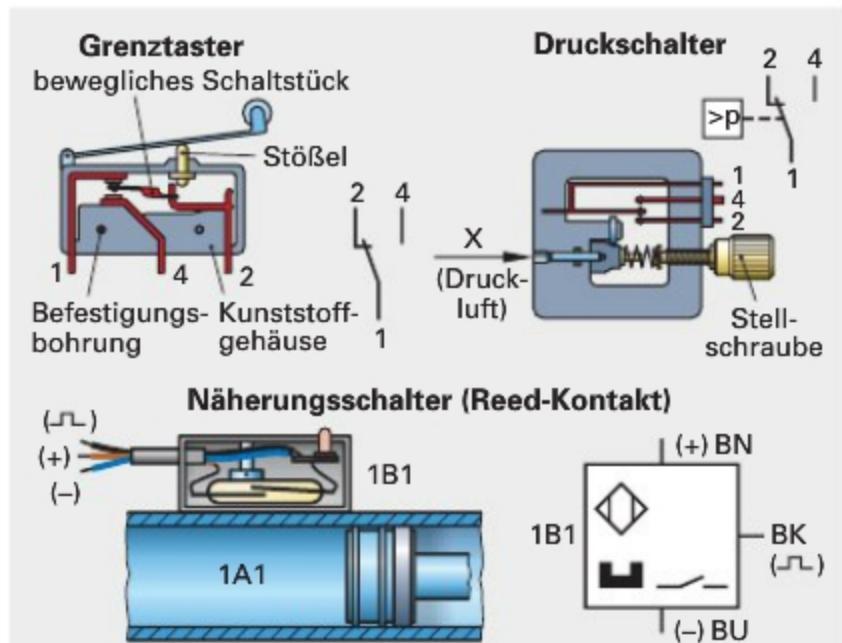


Bild 3: Signalelemente und Sensoren

**Relais und Schütze.** Schalter mit elektromagnetisch betätigten Kontakten nennt man Relais oder Schütze. Mit Relais schaltet man elektrische Leistungen bis etwa 1 kW, mit Schützen die höheren Leistungen. Relais und Schütze besitzen in der Regel mehrere Öffner und Schließer, die alle gleichzeitig betätigt werden. Sie werden vor allem zur Signalverarbeitung und Vervielfältigung verwendet (Bild 1).

### Aufgaben von Relais und Schützen:

- **Fernbetätigung** von elektrischen Geräten
- **Verstärkung** von Steuersignalen für den Hauptstromkreis
- **Vervielfachung** von Signalen durch die verschiedenen Öffner und Schließer
- **Umkehr** von Signalen durch Öffner und Schließer
- **Logische Verknüpfung** von Signalen
- **Speicherung** von Signalen durch die Selbsthalteschaltung

### Funktionsweise von Relais

Fließt ein 24-V-Gleichstrom durch die Erregerspule (Anschlüsse A1 und A2), so wird der bewegliche Anker angezogen und die Schaltkontakte durch die Schaltzunge betätigt. Dabei wird der Öffnerkontakt NC (11–12) geöffnet und die Kontaktfedern des Schließers NO (23–24) zusammengedrückt. Wird der Stromdurchfluss unterbrochen, stellt eine Feder den Anker wieder in die Ausgangsstellung zurück. Mit Relais können Stromkreise potenzialfrei geschaltet werden, d.h. die Kontakte können in Stromkreise mit unterschiedlichen Spannungen (12 V, 24 V oder 230 V ...) angeschlossen sein (Bild 2).

**Anschlussbezeichnungen an Relais (Bild 3).** Das Bauteil Relais wird im Schaltplan mit K1, die beiden Spulenanschlüsse mit A1 und A2 bezeichnet. Alle Schließer erhalten die Funktionsziffer 3 und 4, die Öffner haben die Ziffern 1 und 2.

Befinden sich mehrere Schließer oder Öffner auf einem Relais, werden diese mit Ordnungsziffern 1, 2, 3 usw. zusätzlich durchnummeriert.

Vielfach werden an Relais auch Wechsler statt einfache Schließer und Öffner eingesetzt. Dadurch werden die schaltungstechnischen Möglichkeiten größer.

In der Elektropneumatik befinden sich am Relais häufig drei Schließer und ein Öffner. Damit lassen sich ohne großen Aufwand die Einzelschritte von Ablaufsteuerungen nach einem üblichen Industriestandard aufbauen (= löschen Taktkette, siehe auch Seite 521).

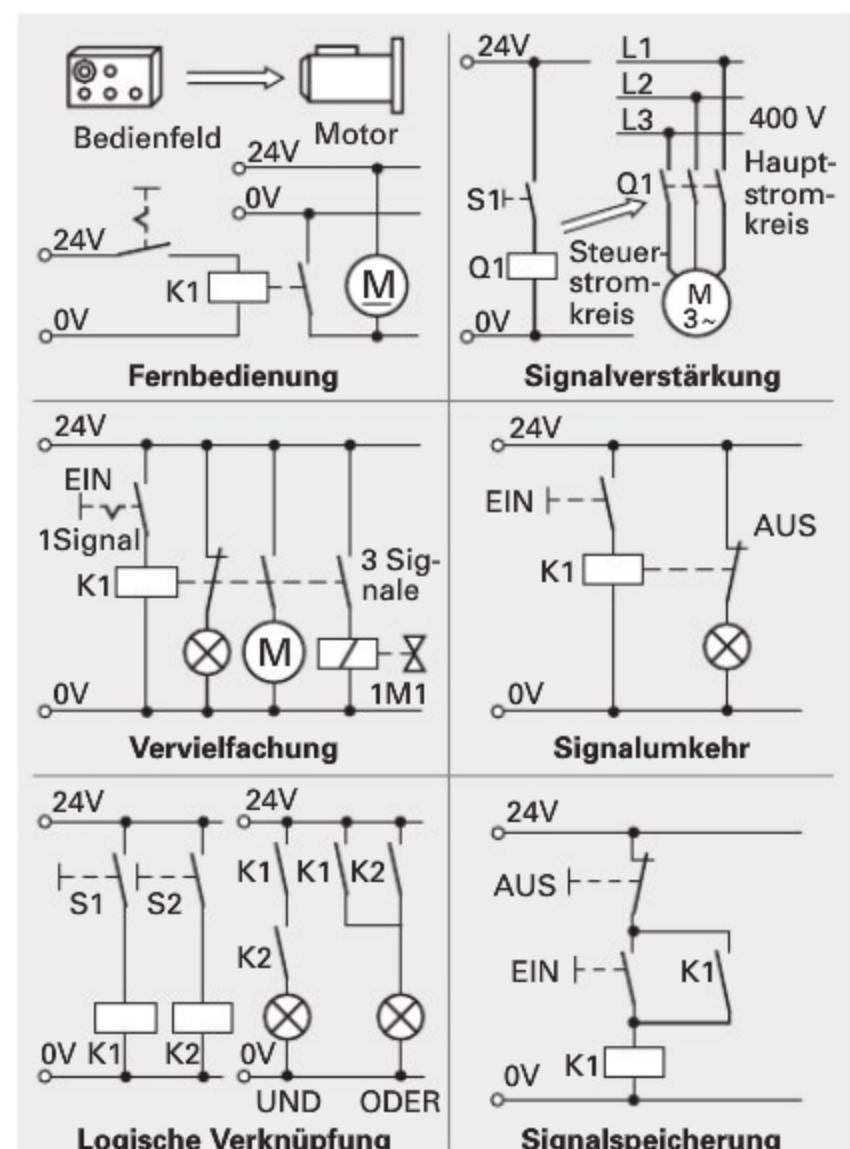


Bild 1: Grundsätzliche Aufgaben von Relais

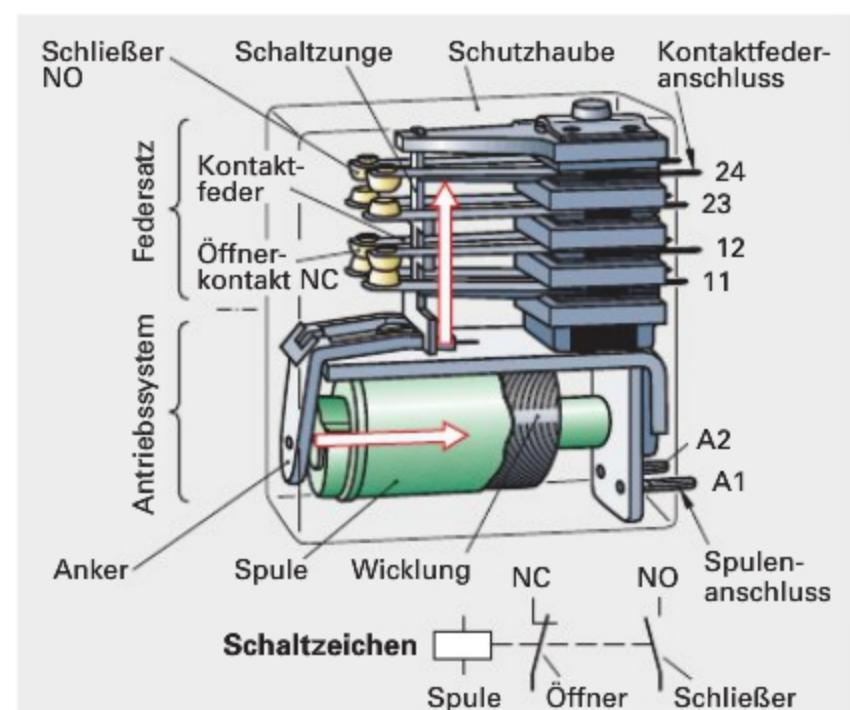


Bild 2: Relais mit Schließer- und Öffnerhilfskontakten

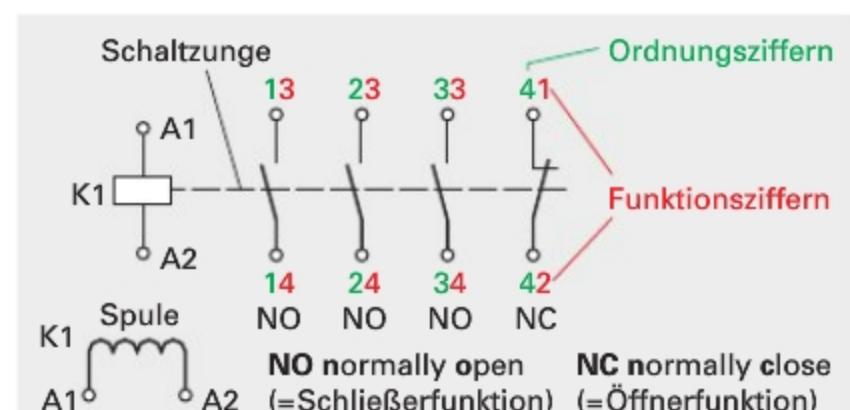


Bild 3: Anschlussbezeichnung an Relais

## ■ Zeitabhängige elektromagnetische Schalter

Zeitabhängige elektromagnetische Schalter bezeichnet man in der Steuerungstechnik als Zeitrelais (**Bild 1**). Sie besitzen einen Anschluss an eine Versorgungsspannung A1–A2 und Schließer, Öffner oder auch Wechsler, die zeitverzögert betätigt werden.

Bei den Zeitrelais in der Steuerungstechnik unterscheidet man vor allem zwischen den einschalt- oder ausschaltverzögerten Relais (**Bild 2**).

Das **einschaltverzögerte Relais** schaltet erst nach einer eingestellten Zeit „ $t$ “ den entsprechenden Schließer oder Öffner. Diese fallen sofort auf den Signalzustand „0“ zurück, wenn die Betätigung des Zeitrelais entfällt. Bei den **ausschaltverzögerten Relais** werden die Schließer und Öffner sofort betätigt. Bei Spannungsabfall an den Anschlüssen A1–A2 beginnt die Ausschaltverzögerung: Erst nach der eingestellten Zeit am Drehpotenziometer (Verstellwiderstand) fallen die Schließer und Öffner wieder in ihren Grundzustand zurück.

Die Zeitbetätigung der an der Schaltzunge betätigten Schließer und Öffner wird durch einen Halbkreis („Fallschirm“) symbolisiert. Zu beachten ist ebenfalls die vom normalen Relais unterschiedliche Funktionsbezeichnung der Schließerfunktion mit 7–8 und der Öffnerfunktion mit 5–6.

## ■ Magnetventile

Magnetventile sind elektropneumatische Wandler. Sie bestehen aus einer Magnetspule, der elektrischen Schaltkomponente und einem Pneumatikventil. Fließt durch die Magnetspule ein elektrischer Strom, wird ein elektromagnetisches Feld aufgebaut, das den Spulenanker bewegt. Dieser Spulenanker ist mit dem Ventilstößel verbunden, der den Luftdurchfluss steuert, indem er Schieber oder Ventilstößel bewegt und so die Schaltstellung verändert (**Bild 3**). Beim Schaltvorgang kann die Luft vom Druckluftanschluss 1 zur Arbeitsleitung 2 strömen. Eine Handhilfsbetätigung ermöglicht das Durchströmen ohne elektrische Energie für den Einrichtebetrieb einer Anlage.

Das 5/2-Wege-Impulsventil (**Bild 4**) ist ein typisches Stellelement mit bistabiler Schaltfunktion. Nach Abfall der elektrischen Spannung bleibt jeweils die Schaltstellung erhalten, bis es erneut angesteuert wird.

Durch die pneumatische Vorsteuerung kann die Magnetspule klein dimensioniert werden. Damit wird der Stromverbrauch geringer. Ein elektrisches Signal betätigt einen Anker, welcher das Vorsteuerventil öffnet. Der Steuerkolben wird durch die Druckluft bewegt.

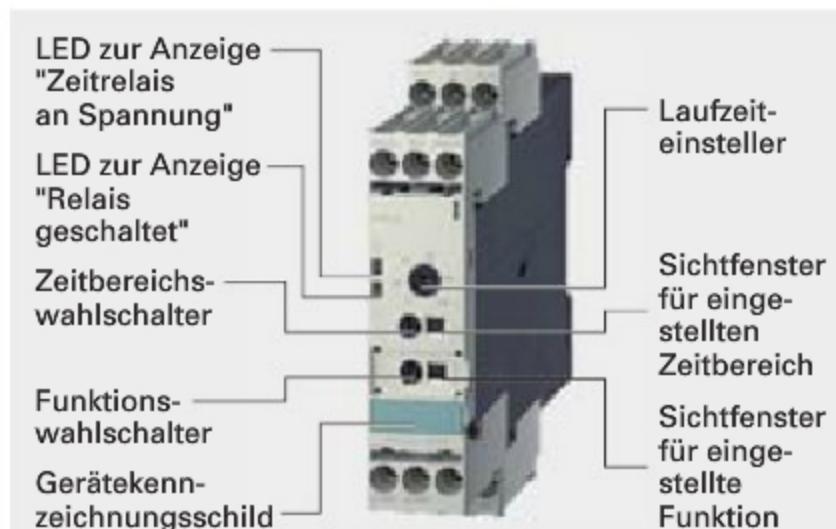


Bild 1: Zeitrelais mit unterschiedlichen Zeitfunktionen

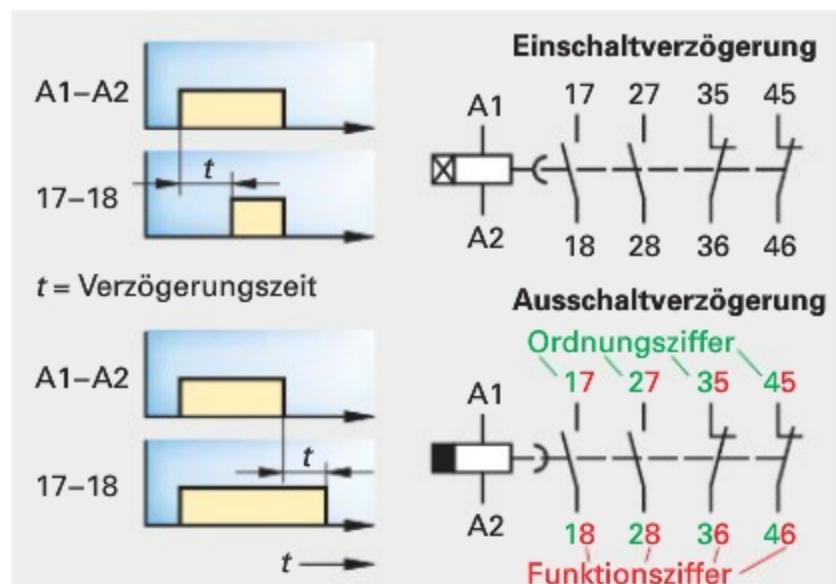


Bild 2: Einschalt- und ausschaltverzögertes Zeitrelais

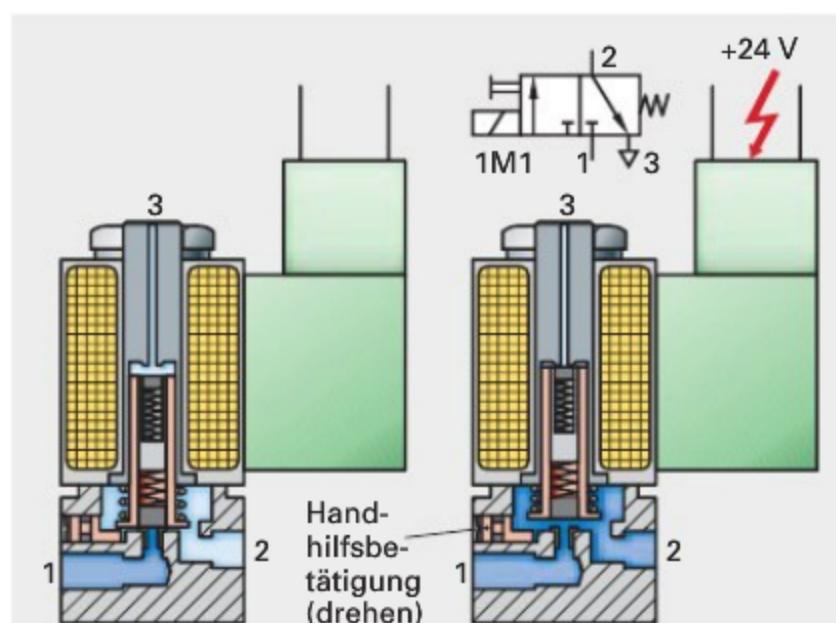


Bild 3: Elektromagnetische Betätigung von 3/2-WV

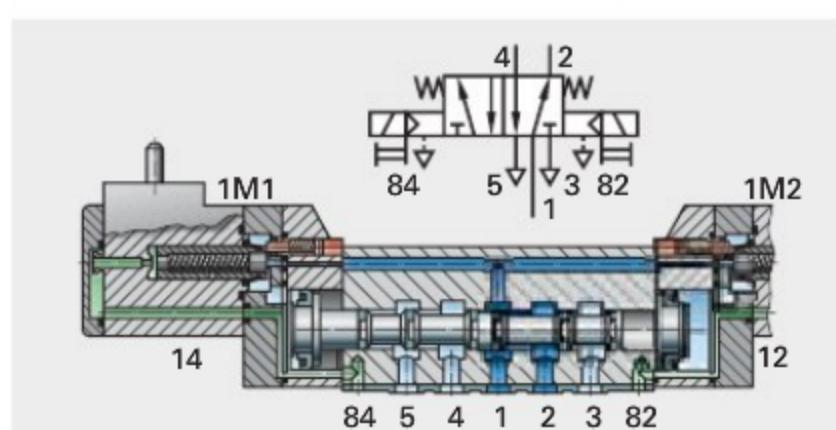


Bild 4: 5/2-Magnetimpulsventil mit Vorsteuerung

## 8.4.2 Signalelemente – Sensoren

Ein Sensor ist ein Bauteil, das physikalische Messgrößen aus einem technischen Vorgang erfasst, diese in Spannung oder Strom wandelt und weitergibt, sodass sie vom nachfolgenden Bauteil verarbeitet werden können (**Bild 1**).

Sensoren wandeln eine nichtelektrische Größe in eine elektrische Größe um.

Physikalische Messgrößen, die von Sensoren erfasst werden können, sind z.B. Druck, Kraft, Drehzahl, Geschwindigkeit, Durchfluss, Temperatur, geometrische Größen oder Stoffe verschiedener Materialien.

Sensoren arbeiten berührungslos. Sie nutzen sich deshalb nicht ab und beeinflussen die zu steuernde oder zu regelnde Größe nicht.

Nach der Wirkungsweise bei der Umwandlung von nichtelektrischen Größen in elektrische Größen unterscheidet man zwischen aktiven Sensoren und passiven Sensoren (**Bild 2**).

### Passive Sensoren

Ein Sensor wird als passiv bezeichnet, wenn zum Arbeiten eine Hilfsenergie (externe Spannungsquelle) erforderlich ist.

Passive Sensoren beinhalten Bauteile wie z.B. Kondensatoren oder Spulen, die durch Energieversorgung von außen ein elektrisches Feld oder ein magnetisches Feld aufbauen (**Bild 3**). Wird dieses Feld durch eine nichtelektrische Größe von außen gestört, so liefert der Sensor ein Ausgangssignal, das dann weiterverarbeitet wird.

Bei passiven Sensoren wird eine von außen erzeugte elektrische Größe durch eine nichtelektrische Störgröße beeinflusst.

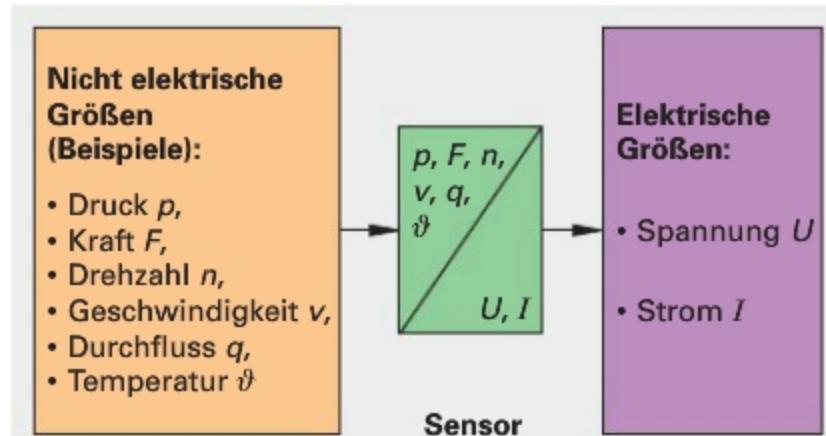
### Aktive Sensoren

Bei aktiven Sensoren ist keine Hilfsenergie erforderlich. Sie wandeln Energie von außen (z.B. mechanische, thermische, chemische Energie oder Lichtenergie) direkt in elektrische Energie um.

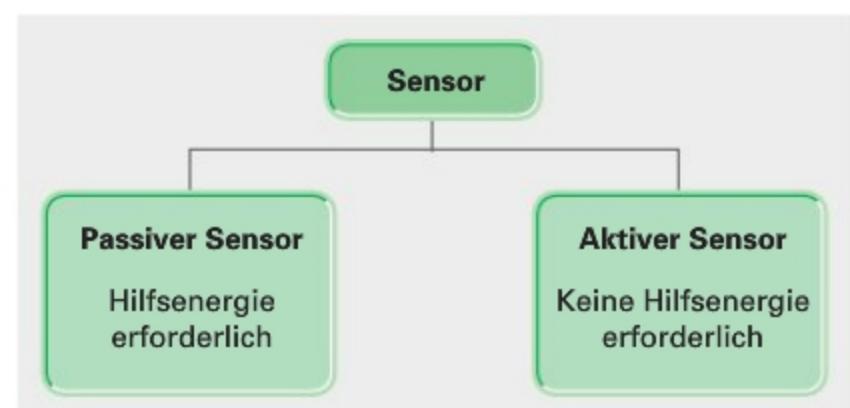
Bei aktiven Sensoren wird durch Energieumwandlung elektrische Energie erzeugt.

Thermoelemente, Fotoelemente oder piezoelektrische Elemente sind solche Spannungserzeuger.

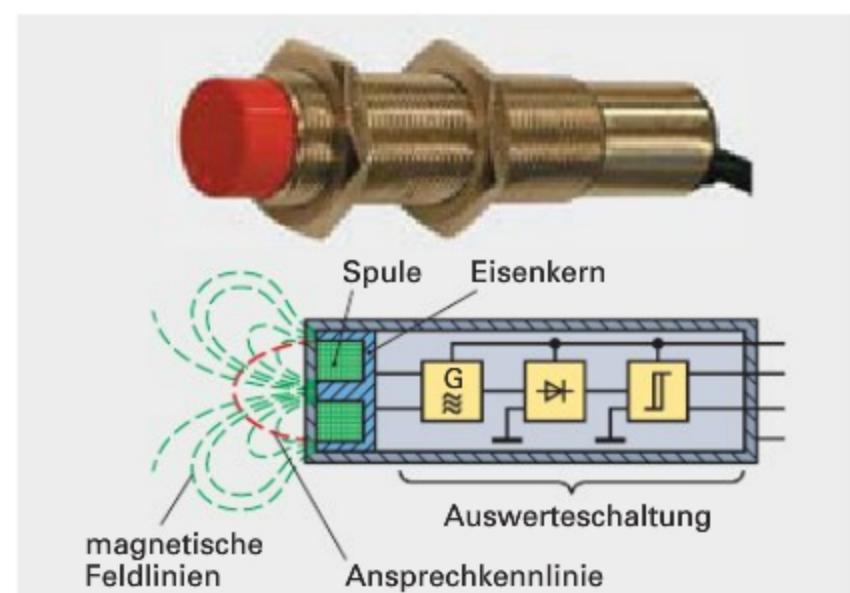
So wandelt z.B. in einem Härteofen ein Thermo-paar, das verschweißt ist (Eisen und Konstantan), Wärmeenergie in elektrische Energie um. Die durch die Wärmeenergie erzeugte Thermospannung liefert die Daten für die Temperatur (Messort) im Ofen (**Bild 4**).



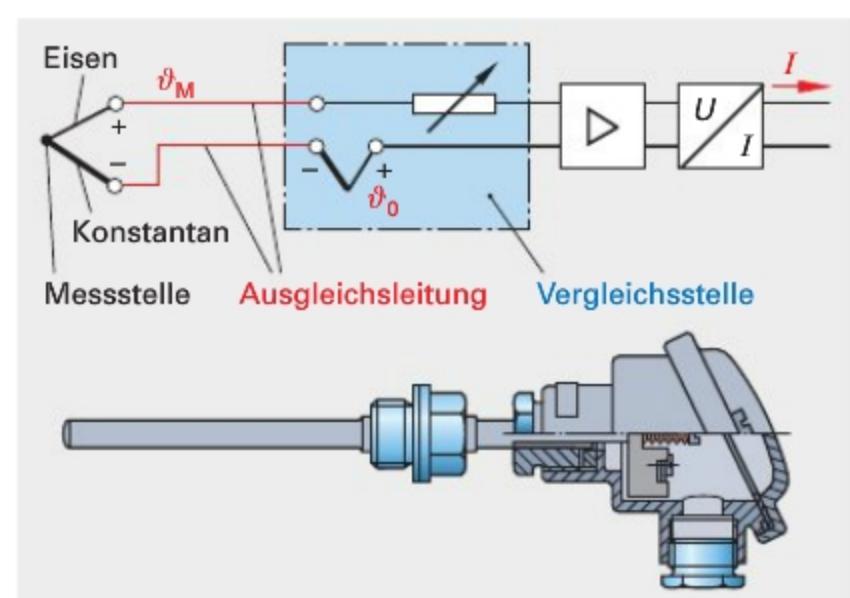
**Bild 1:** Umwandlung physikalischer Größen durch einen Sensor



**Bild 2:** Sensoren



**Bild 3:** Passiver Sensor



**Bild 4:** Aktiver Sensor (Thermoelement)

Bei Sensoren unterscheidet man nicht nur zwischen aktiven und passiven Sensoren, sondern man unterteilt die Sensoren auch nach der Art des Ausgangssignals in

- **analoge Sensoren**
- **binäre Sensoren**
- **digitale Sensoren**

## ■ Analoge Sensoren

Analoge Sensoren liefern am Signalausgang ein Analogsignal zur Weiterverarbeitung ab.

Sensoren mit **Linearpotenziometer (Bild 1)** oder **Drehpotenziometer (Bild 2)** sind analoge, passive Sensoren und werden zum Messen für Winkel, von Wegen, Abständen und Dicken verwendet. Diese Sensoren werden mit einer Gleichspannung versorgt, die an einem Potenziometer im Bauteil anliegt, das als Spannungsteiler betrieben wird. Durch das Messobjekt wird der Schleifer des Potenziometers bewegt und ändert somit die Spannung am Ausgang. Diese Spannung ist dann proportional zur Schleiferstellung und somit zum gemessenen Weg  $s$  bzw. zum Drehwinkel  $\varphi$  des Messobjekts.

Linearpotenziometer können Wege von 5 mm bis 4 m aufnehmen und werden z.B. zur Wegmessung bei Werkzeugmaschinentischen eingesetzt.

Drehpotenziometer sind meist durchdrehbar mit einem Messbereich von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$  und werden z.B. bei der Drehwinkelerfassung bei Industrierobotern (Seite 555) oder allgemein in der Messtechnik eingesetzt.

**Induktive Wegsensoren (Bild 3)** beinhalten als Führungselement eine Doppelspule mit Eisenkern, die mit Wechselstrom versorgt wird. Bewegt sich der Eisenkern in der Spule, so ist die Veränderung der Induktivität der Spulenhälfte ein Maß für die Wegänderung. Sie werden z.B. als Taster bei Dickenmessungen von Werkstücken, als Weggeber bei kleinen Maschinentischen oder in Greifern von Robotern eingesetzt.

**Kapazitive Wegsensoren (Bild 4)** beinhalten als Führungselement einen Kondensator. Durch die Bewegung des Kolbens verändert sich die Kapazität des Kondensators, die als Messsignal verwendet wird. Kapazitive Wegsensoren werden z.B. beim Laserschneiden eingesetzt, um den Abstand zwischen Schneiddüse und Werkstück zu messen und zu regeln.

Mit analogen Sensoren lassen sich physikalische Größen, z.B. Weglängen oder Drehwinkel als analoge elektrische Größen, z.B. Spannung oder Strom, darstellen.

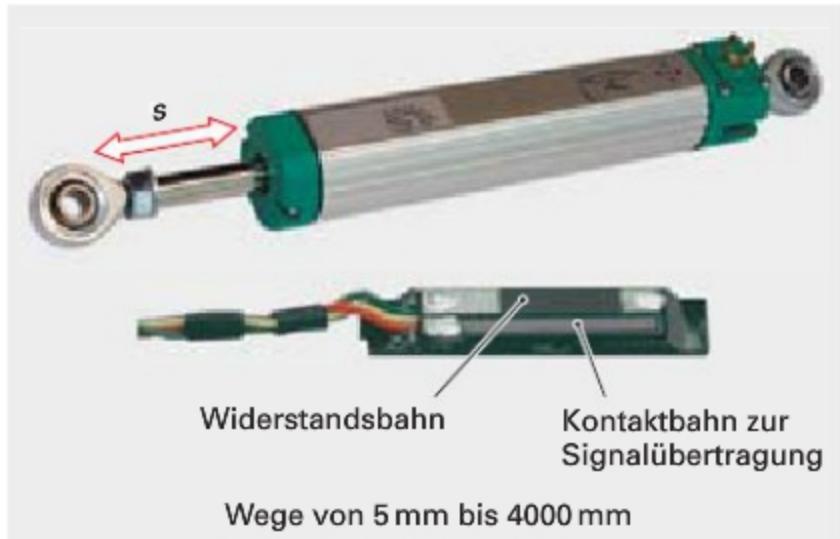


Bild 1: Linearpotenziometer



Bild 2: Drehpotenziometer

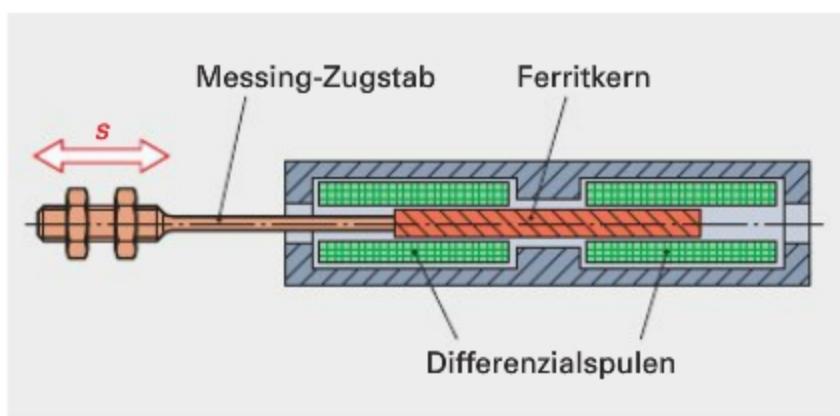


Bild 3: Induktiver Wegsensor

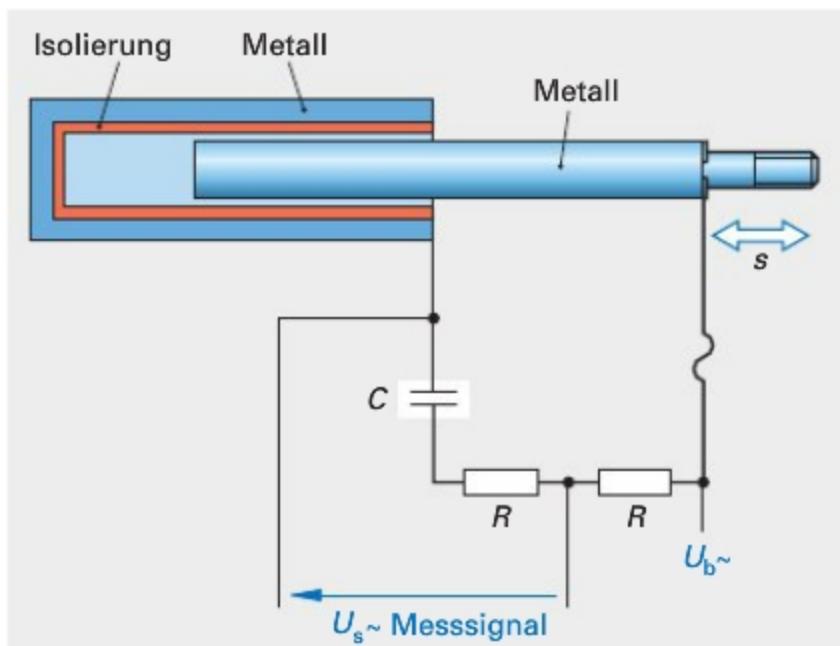


Bild 4: Kapazitiver Wegsensor

## ■ Binäre Sensoren

Binäre Sensoren sind passive Sensoren und liefern als Ausgang ein Binärsignal. Das Ausgangssignal des Sensors wird in Reihe an eine Last geschaltet (**Bild 1**).

Erreicht das zu erfassende Signal die Eingangsschwelle, dann wird eingeschaltet. Bei Signalentfernung wird das Unterschreiten der Ausschaltenschwelle ausgeschaltet. Die Signaldifferenz zwischen Einschaltschwelle und Ausgangsschwelle heißt Schaltdifferenz (**Bild 2**).

**Alle binären Signale haben eine Schaltdifferenz.**

Nach dem Messprinzip unterscheidet man (**Tabelle 1**):

- Induktive Sensoren
- Kapazitive Sensoren
- Magnetische Sensoren
- Optische Sensoren
- Ultraschallsensoren

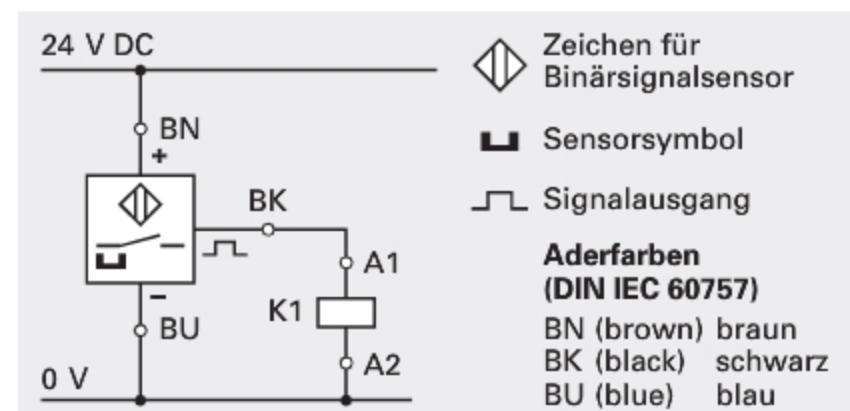
**Induktive Sensoren** erzeugen ein magnetisches Streufeld. Durch Annäherung von metallischen Gegenständen an die aktive Sensorfläche wird dieses Streufeld gestört und dadurch ein Schaltkontakt ausgelöst (**Bild 3**).

Der maximale Schaltabstand entspricht dem halben Sensordurchmesser und kann etwa zwischen 4 mm und 80 mm liegen.

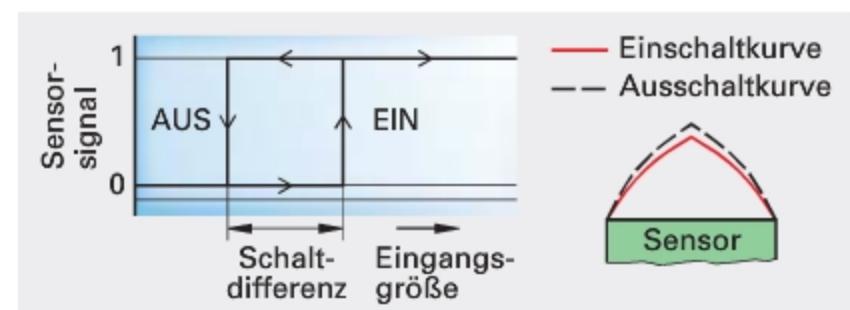
Die Schalthäufigkeit liegt bei ca. 3000 Schaltungen pro Sekunde, deshalb können sie auch zur Drehzahlüberwachung und Drehzahlmessung (Schlitzsensor) eingesetzt werden. Des Weiteren verwendet man sie z.B. als Endlagenschalter bei Werkzeugmaschinenteilen oder zum Erfassen, Zählen bzw. Sortieren von Werkstücken.

Die Stellung der Weiche in der Sortiereinrichtung kann durch induktive Sensoren kontrolliert werden, wenn die Weiche aus einem metallischen Werkstoff hergestellt ist (**Bild 4**).

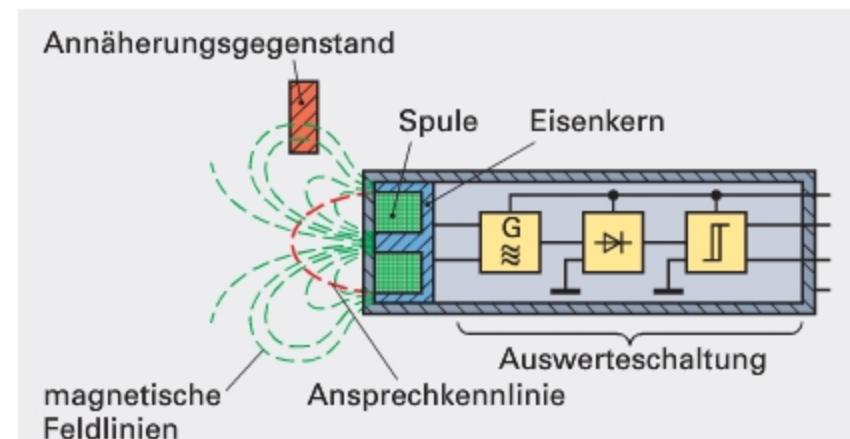
Induktive Sensoren erzeugen ein magnetisches Streufeld. Wird es gestört, schaltet der Sensor.



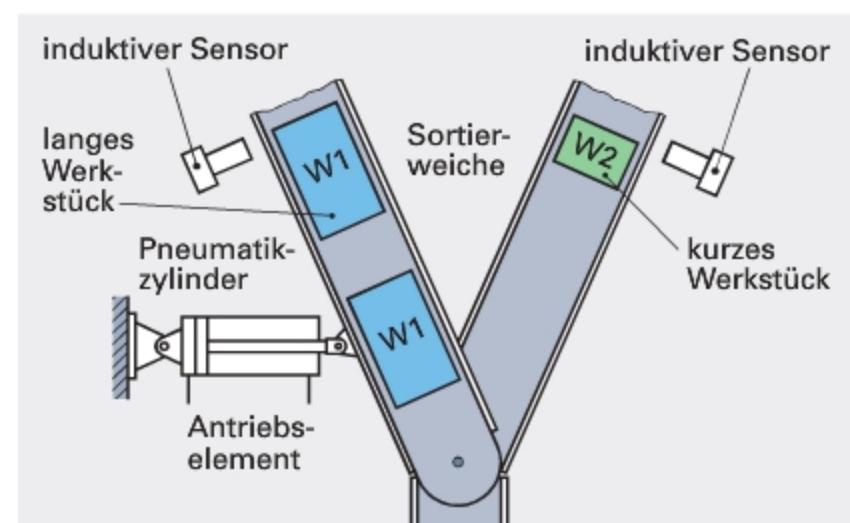
**Bild 1: Sensor in Dreidrahtausführung**



**Bild 2: Schaltdifferenz**



**Bild 3: Aufbau eines induktiven Sensors**



**Bild 4: Einsatz induktiver Sensoren**

**Tabelle 1: Symboldarstellung berührungsloser binärer Näherungsschalter**

induktiv	kapazitiv	magnetisch	optisch	Ultraschall
+BN	+BN	+BN	+BN	+BN
BK	BK	BK	BK	BK
-BU	-BU	-BU	-BU	-BU

**Kapazitive Sensoren** erzeugen ein elektrisches Streufeld. Durch Annäherung auch nichtmetallischer Gegenstände an die aktive Sensorfläche wird dieses Streufeld gestört und ein Schaltkontakt ausgelöst. Der Gehäuseaufbau ist der gleiche wie bei induktiven Sensoren (**Bild 1**).

Der Schaltabstand ist abhängig vom Werkstoff des Messobjekts und liegt zwischen 2 mm und 40 mm. Die Sensoren erfassen außer Metallen und Nichtmetallen auch flüssige, körnige und pulverisierte Werkstoffe. So können z.B. Kunststoffpaletten auf einer Montagelinie erfasst werden (**Bild 2**) oder Füllstände von Flüssigkeiten gemessen werden.

Kapazitive Sensoren erzeugen ein elektrisches Streufeld. Wird es gestört, schaltet der Sensor.

**Magnetische Sensoren** (Reed-Kontakte) sind spezielle induktive Sensoren und werden als Grenzschalter bei Pneumatikzylindern eingesetzt (**Bild 3**). Sie werden direkt auf den Zylinderkörper montiert. Durch die Gehäusewand lösen sie bei Annäherung des Dauermagneten, der im Kolben der Zylinderstange integriert ist, ein Schaltsignal aus. So könnte z.B. die Grenzstellung der Weiche in **Bild 4, vorherige Seite**, auch über die Abfrage der Grenzstellung des Pneumatikzylinderkolbens kontrolliert werden.

Magnetische Sensoren werden durch ein permanentes Magnetfeld geschaltet.

## Optische Sensoren

Optoelektronische Näherungstaster werden nach Bauart und Wirkprinzip in drei Gruppen eingeteilt (**Bild 4**):

- Lichttaster
- Reflexions-Lichtschranke
- Einweg-Lichtschranke

**Lichttaster** bestehen nur aus einem Bauteil, in dem Sender und Empfänger untergebracht sind. Die von einer Infrarot-Diode ausgesandte gepulste Infrarotstrahlung wird bei Annäherung eines Objektes reflektiert und über einen Fototransistor empfangen und dann verarbeitet. Der Erkennungsbereich reicht bis zu 2 m und ist stark vom Objekt abhängig.

**Reflexions-Lichtschranken** haben ebenfalls Sender und Empfänger in einem Gehäusebauteil. Das vom Sender ausgesandte gepulste Infrarotlicht wird durch einen gegenüberliegend angebrachten Reflektor zurückgeworfen. Die Reichweite beträgt ca. 5 m.

**Einweg-Lichtschranken** bestehen aus zwei räumlich getrennten Sender- und Empfängerelementen. Wird der Lichtstrahl zwischen Sender und Empfänger unterbrochen, wird ein Signal ausgelöst. Sie haben eine Reichweite bis zu 40 m.



Bild 1: Bauformen kapazitiver Sensoren

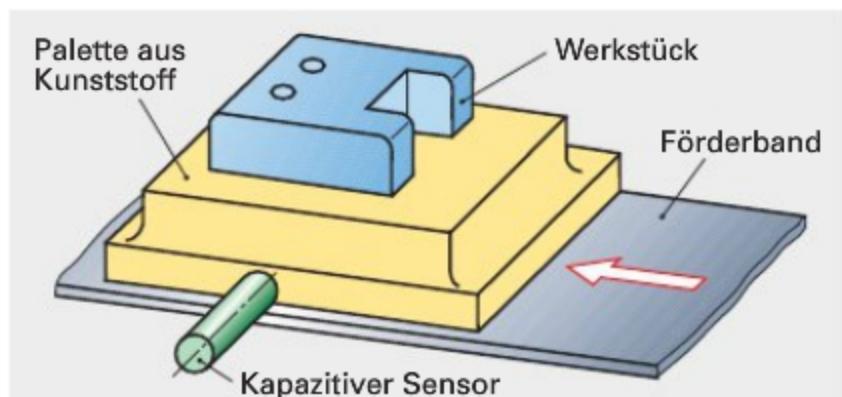


Bild 2: Einsatz kapazitiver Sensoren

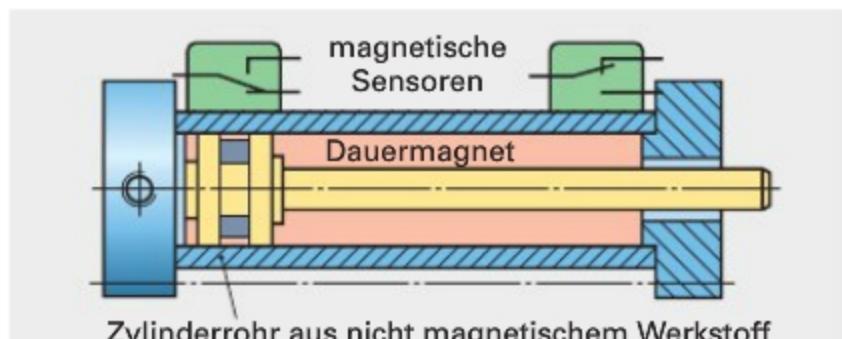


Bild 3: Reed-Sensoren an einem Pneumatikzylinder

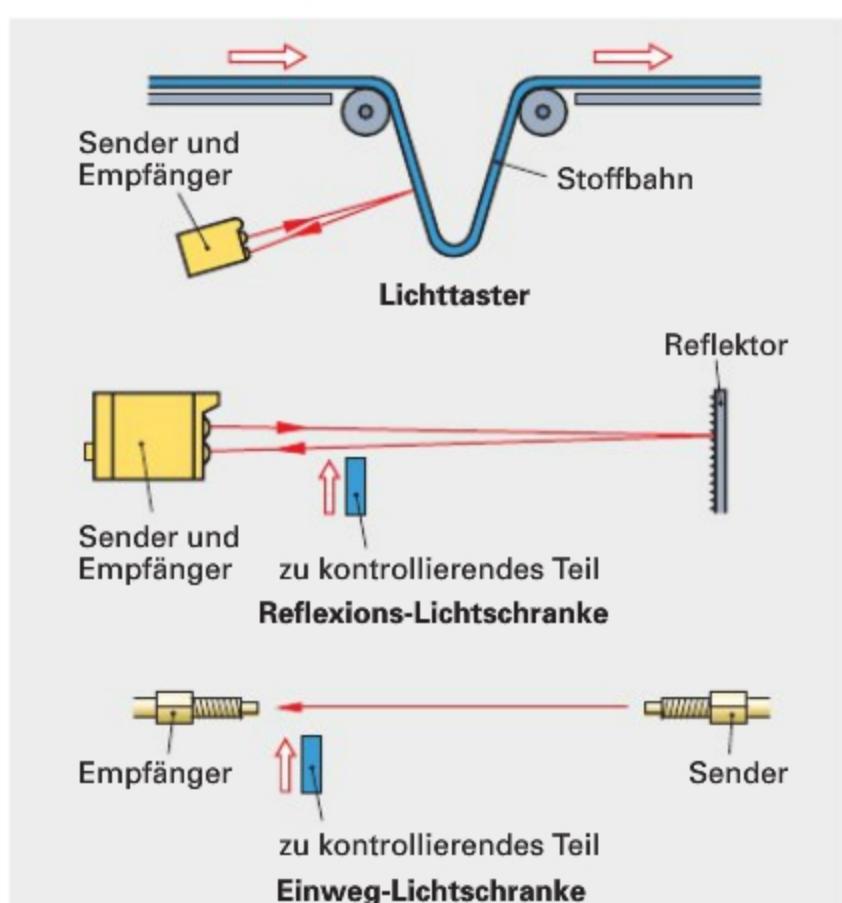


Bild 4: Optoelektronische Sensoren

Das Einsatzgebiet optischer Sensoren umfasst z.B. Zählfunktionen in Fördereinrichtungen, Überwachung von Werkstoffen auf Transportbändern, Überwachung von Werkzeugen in Werkzeugmaschinen (Bohrerbruchkontrolle) oder Sicherheitsüberwachung an Werkzeugmaschinen (Überwachung von Gefahrenbereichen).

**Optische Sensoren** erzeugen ein gepulstes Infrarotlicht. Wird der Lichtstrahl gestört, schaltet der Sensor.

**Ultraschallsensoren** senden durch einen Piezoquarz erzeugte Ultraschallwellen aus. Die Laufzeit der reflektierten Ultraschallimpulse wird dann ausgewertet.

Ähnlich wie bei den optischen Sensoren gibt es bei den Ultraschallsensoren zwei Funktionsarten. Befinden sich Sender und Empfänger in einem Bauteil (Tastbetrieb), so wird die Laufzeit des reflektierten Schallimpulses ausgewertet (**Bild 1**).

Sind Sender und Empfänger räumlich getrennt (Schrankenbetrieb), so wird kontrolliert, ob das ausgesandte Signal vom Sender beim Empfänger ankommt (**Bild 2**). Mit diesem Sensortyp können Reichweiten bis zu 6 m erreicht werden. Aufgrund der Schallwellenlaufzeit haben Ultraschallsensoren eine längere Auswertezeit als Lichtsensoren.

Das Einsatzgebiet der Ultraschallsensoren ist groß. Es können feste, flüssige, pulverförmige und transparente Objekte erkannt werden. Sie können zur objektunabhängigen Materialerfassung auch bei Dunst, Staub und Nebel eingesetzt werden.

Ultraschallsensoren senden Ultraschallwellen aus. Werden die Schallwellen gestört, wird ein Signal ausgelöst.

## Digitale Sensoren

Digitale Sensoren verwendet man zum zahlenmäßigen Erfassen von Strecken oder Winkelbewegungen und teilt sie ein in

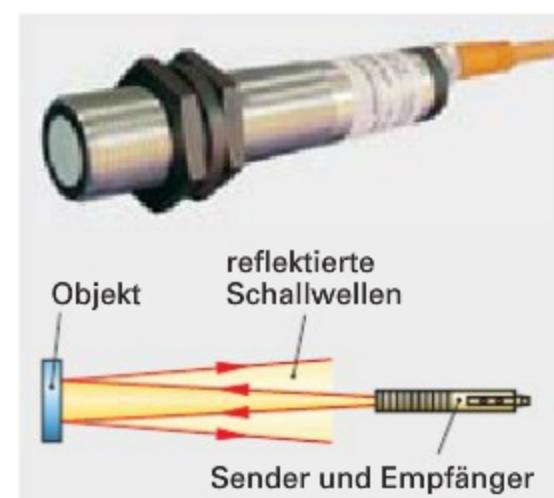
- **inkrementale<sup>1)</sup> Weg- und Winkelmessung**
- **absolute Weg- und Winkelmessung**

Bei der **inkrementalen** Wegmessung wird ein Strichmaßstab aus Glas mit lichtdurchlässigen und lichtundurchlässigen Strichen von einem Stellmotor mit dem Messobjekt bewegt. Bei diesen Bewegungen unterbricht das Strichraster des Lineals eine Lichtquelle periodisch (**Bild 3**). Diese Lichtsignale werden von Fotodioden erfasst und dann ausgewertet (Seite 566).

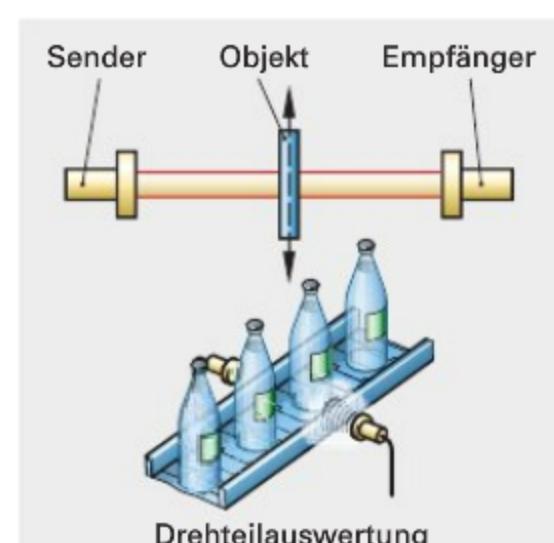
Für die Winkelmessung werden optische inkrementale Winkelsensoren verwendet (**Bild 4a**). Das Messprinzip ist ähnlich wie beim Linearmaßstab. Diese Sensoren sind auch für die Wegmessung geeignet, wenn man die Drehbewegung in eine Linearbewegung umsetzt.

Die **absolute** Weg- und Winkelmessung funktioniert ähnlich wie die inkrementale Messung. Auf dem Lineal wird die Logik der Dualzahlen durch lichtdurchlässige bzw. lichtundurchlässige Felder dargestellt. Damit kann jeder Position auf dem Lineal ein Zahlenwert zugeordnet werden. Zur Winkelmessung verwendet man Winkelscheiben (Codescheiben) (**Bild 4b**).

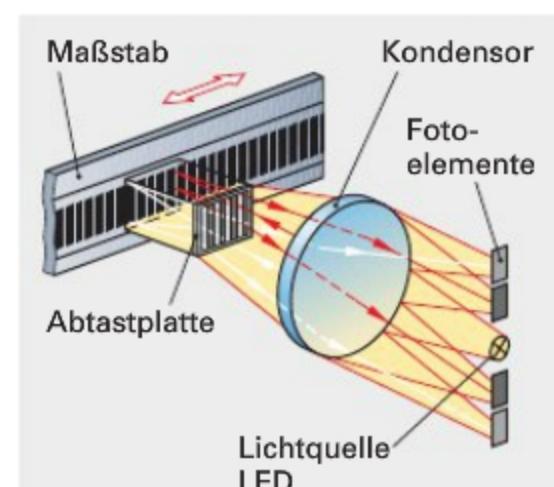
Mit digitalen Sensoren werden Messgrößen wie Wegstrecken an Werkzeugmaschinen oder Bahnkurven von Roboterarmen zahlenmäßig erfasst und verarbeitet.



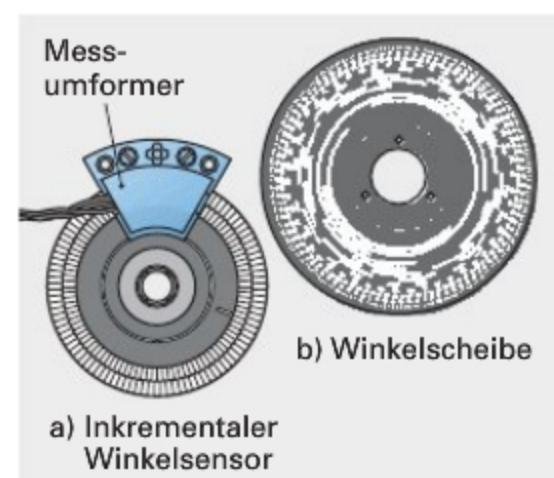
**Bild 1: Tastbetrieb**



**Bild 2: Einweg-Schranke**



**Bild 3: Inkrementale Wegmessung**



**Bild 4: Winkelmesssensoren**

<sup>1)</sup> Inkrement (lat.) = Betrag, um den eine Größe zunimmt

### 8.4.3 Verdrahtung mit Klemmleiste

Bei elektropneumatischen oder speicherprogrammierten Steuerungen mit Einzelverdrahtung werden Klemmenleisten eingesetzt, die entweder an der Anlage direkt oder in einem Schaltschrank untergebracht werden (**Bild 1**). Über Kabelkanäle führt man mehrere Leitungen gemeinsam geschützt zum Schaltschrank.

Zielsetzungen sind: niedrigere Verdrahtungskosten, eine Erleichterung bei der Fehlersuche und eine höhere Reparaturfreundlichkeit. So lassen sich defekte Bauelemente problemlos an der Leiste abklemmen und austauschen.

**Aufbau von Klemmen.** Einer Klemme wird von links eine Leitung 1 von der Steuerung zugeführt, z.B. die Spulenleitung des Magnetventils 1M1. Auf der Klemme wird die abisolierte Leitung verschraubt. Von rechts führt eine 2. Leitung z.B. zum Schließeranschluss 24 des Relais K1 (**Bild 2**). Die Klemme wird nummeriert z.B. mit 12. Nebeneinander liegende Klemmen sind isoliert und lassen sich durch Brücken verbinden, z.B. die Klemmen Nr. 7–8 (**Bild 4**).

**Klemmenanschlussplan.** Die Belegung der einzelnen Klemmen dokumentiert man im Stromlaufplan und der Klemmenbelegungsliste (**Bild 4**). Von links im Stromlaufplan beginnend trägt man alle Bauteile, die am Pluspotenzial mit 24 V liegen, in die Belegungsliste ein und brückt die Nummern 1 bis 3. Genauso verfährt man mit dem Minuspotenzial. Danach werden alle Bauteile in den einzelnen Strompfaden 1 bis 5 auf die Klemmen gelegt, z.B. S1 auf Klemme Nr. 7 und 1B1 auf Klemme Nr. 8. Auch hier muss gebrückt werden. Im 2. Strompfad führt man K2 mit Anschluss 12 und K1 mit Anschluss A1 **nicht** auf die Leiste. Diese Verbindung wird direkt verdrahtet. Der Strompfad 5 schließt die Klemmenbelegungsliste ab. Danach werden die Klemmennummern X1 bis X12 in den Stromlaufplan eingetragen (**Bild 3**). Werden mehrere Klemmenleisten verwendet, so werden diese durchnummeriert. Bei Schaltplänen, die mittels Programmen erstellt werden, werden derartige Belegungslisten automatisch generiert.

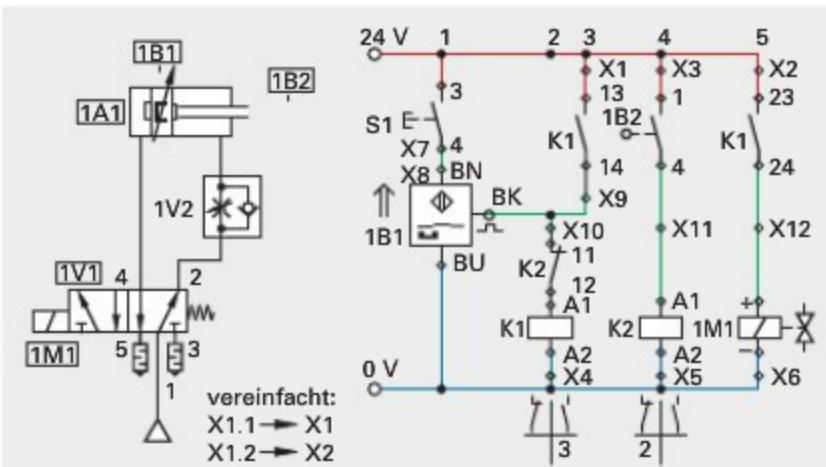


Bild 3: Steuerungsbeispiel E-Pneumatik

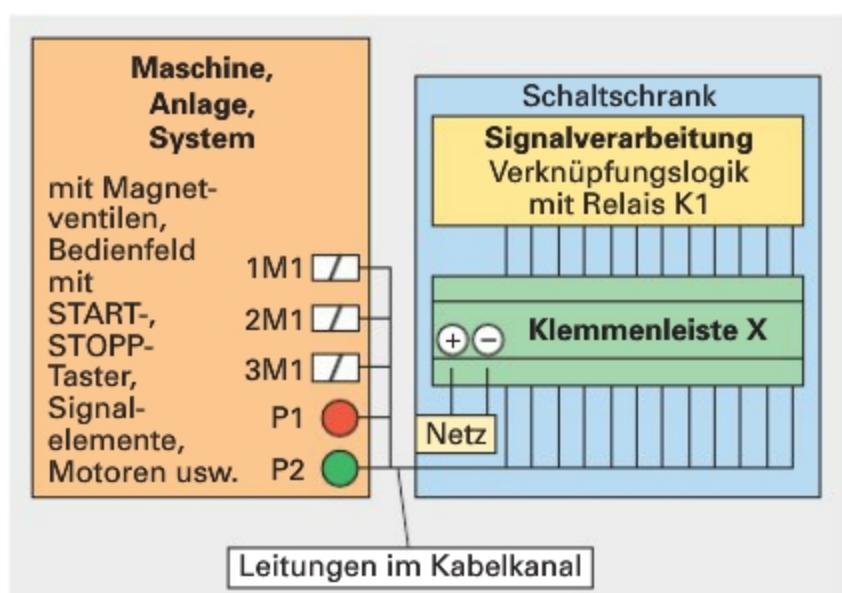


Bild 1: Prinzipieller Schaltschrankaufbau



Bild 2: Einzelklemme Nr. 12 auf Hutschiene

	Ziel		Verbindungsbrücke	Ziel	
	Bauteilbezeichnung	Anschlussbezeichnung		Klemmen-Nr.X.1...	Bauteilbezeichnung
Netz +	24V	+	○	1	K1
Netz -	S1	3	○	2	K1
Pfad 1	1B2	1	○	3	
Pfad 2 + 3	0V	—	○	4	K1
Pfad 4	1B1	BU	○	5	K2
Pfad 5	1M1	—	○	6	
	S1	4	○	7	
	1B1	BN	○	8	
	1B1	BK	○	9	K1
			○	10	K2
	1B2	4	○	11	K2
	1M1	+	○	12	K1
			○	13	
			○	14	
			○	15	
			○	16	
			○	17	
			○	18	
			○	19	
			○	20	

Bild 4: Klemmenbelegungsliste

## 8.4.4 Beispiele für elektropneumatische Steuerungen

Bei elektropneumatischen Steuerungen wird der **Steuerungsteil** durch elektrische Bauelemente (Schalter, Sensoren, Relais, Magnetspulen) oder Schaltungen (Reihen- oder Parallelschaltungen) realisiert, die **Leistung** wird in pneumatischen Bauelementen (Stellelementen, Aktoren) erbracht.

### ■ Elektropneumatische Steuerung einer Klebevorrichtung für Kunststoffteile

**Aufgabenstellung.** Zwei Teile aus thermoplastischem Kunststoff sollen durch einen Stempel zusammengeklebt werden. Der Stempel wird mit einem doppelt wirkenden Pneumatikzylinder auf die eingespannten Teile gedrückt (**Bild 1**).

Die Klebezeit soll durch ein Zeitrelais einstellbar sein und bei Bedarf geändert werden können. Während des Klebevorganges leuchtet eine orangefarbene Leuchte auf.

Zur Abfrage der beiden Endlagen werden Näherungssensoren (Reedkontakte) direkt am Zylinderkörper montiert (**Bild 3, Seite 515**).

Für diese Aufgabenstellung sind der GRAFCET, der pneumatische Schaltplan, der elektrische Schaltplan (Relaissteuerung) sowie ein Klemmenbelegungsplan (vorherige Seite) zu entwerfen.

Im **GRAFCET** (**Bild 2**) werden keine speichernden Aktionen verwendet. Im Schritt 2 wird die Aktion 1M2 fünf Sekunden nach Aktivierung der Schrittvariablen X2 aktiv. Die Darstellung entspricht einer **Einschaltverzögerung** (**Bild 2, Seite 502**). Die Variable X2 taucht später im Schaltplan nicht mehr auf. Der Schließer von K2 im Strompfad 5 übernimmt diese Funktion (**Bild 3**).

**Beschreibung des Stromlaufplanes.** Durch Drücken des Handasters S1 zieht das Relais K1 an, wenn sich der Stempel in der hinteren Endlage (1B1) befindet.

Durch den Schließkontakt des Relais K1 im Strompfad 6 erhält der Magnet 1M1 Spannung. Das 5/2-Impulsventil 1V1 im Pneumatikplan schaltet in die Stellung „a“. Der Kolben des Zylinders 1A1 fährt gedrosselt aus. Das Erreichen der vorderen Endlage nach Abfall von S1 wird durch die Speicherfunktion des Impulsventils 1V1 erzielt.

In der Endstellung wird der Sensor 1B2 aktiviert.

Dadurch wird der Strompfad 4 des Relais K2 geschlossen. Das Relais K2 zieht an. Seine beiden Kontakte schließen die Strompfade 5 und 7. Das

**Zeitrelais K3** beginnt zu „laufen“ und die Leuchte P1 ist an. Nach der eingestellten Zeit  $t = 5 \text{ s}$  wird der Kontakt K3 im Strompfad 8 geschlossen, Ventilmagnet 1M2 hat Spannung. Das 5/2-Wegeventil schaltet auf Stellung „b“ um, der Kolben fährt zurück. Dabei wird der Sensor 1B2 verlassen, das Relais K2 fällt ab und die Leuchte P1 erlischt. Das Zeitrelais wird ebenfalls stromlos. In der hinteren Endlage betätigt der Zylinder den Sensor 1B1.

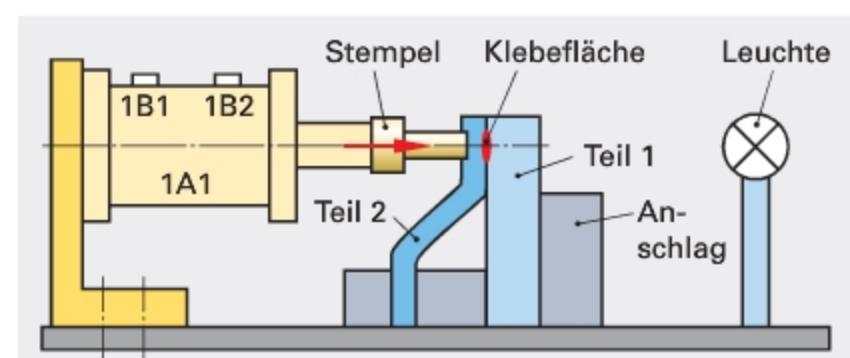


Bild 1: Technologieschema der Klebevorrichtung

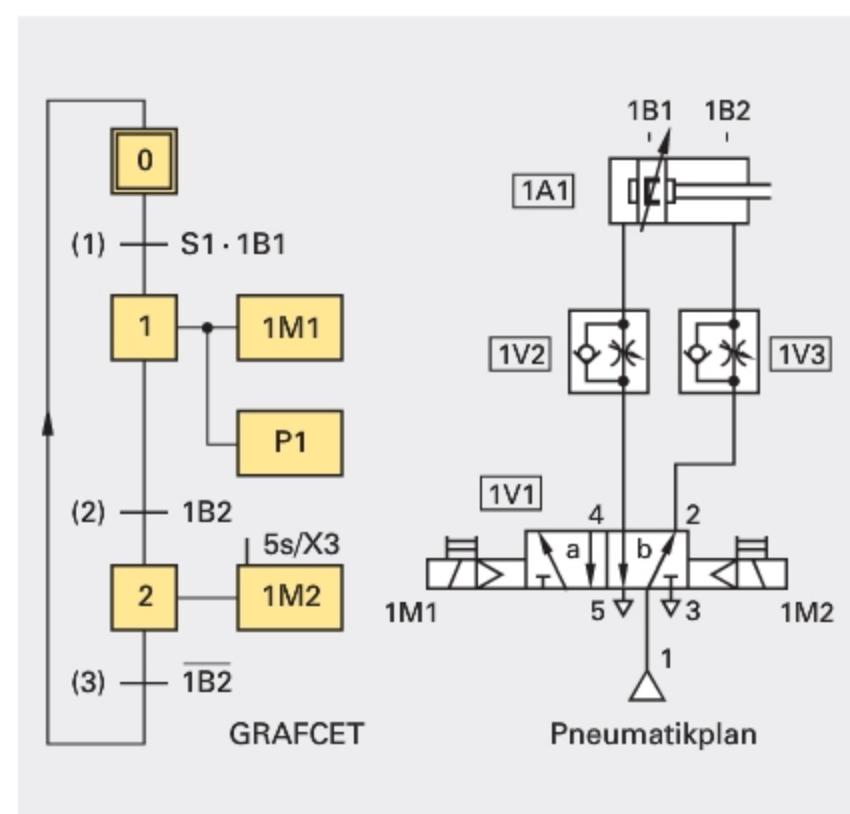


Bild 2: GRAFCET und Pneumatikplan für die Klebevorrichtung

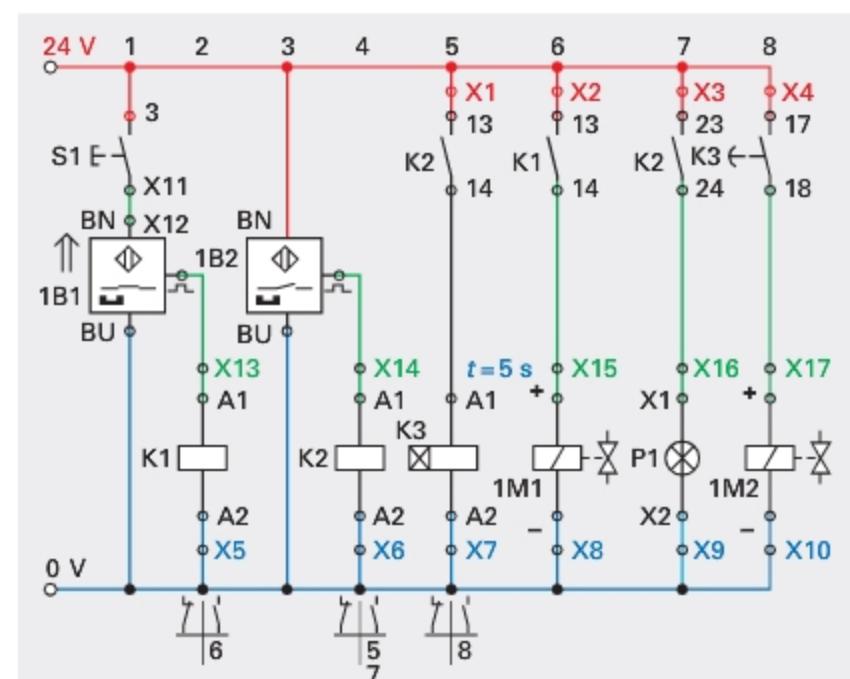


Bild 3: Stromlaufplan der Klebevorrichtung

Nach der eingestellten Zeit  $t = 5 \text{ s}$  wird der Kontakt K3 im Strompfad 8 geschlossen, Ventilmagnet 1M2 hat Spannung. Das 5/2-Wegeventil schaltet auf Stellung „b“ um, der Kolben fährt zurück. Dabei wird der Sensor 1B2 verlassen, das Relais K2 fällt ab und die Leuchte P1 erlischt. Das Zeitrelais wird ebenfalls stromlos. In der hinteren Endlage betätigt der Zylinder den Sensor 1B1.



Das in der Aufgabe auf der vorherigen Seite verwendete Zeitrelais hat das Verhalten einer Einschaltverzögerung. **Tabelle 1** zeigt die verschiedenen Zeitfunktionen bei elektropneumatischen Schaltungen im Vergleich. Die mit dem Zeitrelais verbundenen Schließer- oder Öffnerkontakte werden zeitverzögert betätigt. So ist z.B. bei der ersten dargestellten Ausschaltverzögerung nach Abfall des Eingangssignals E der Schließer mit den Abschlussnamen 7/8 noch 10 s geschlossen, bis er abfällt. Die Tabelle zeigt auch die entsprechenden Lösungen für die pneumatischen Schaltungen sowie die Darstellung im Logikplan.

Im Beispiel soll eine Klemmenbelegungsliste erstellt werden (**Bild 1**). Sie enthält alle Bauteile, die auf eine Klemmenleiste gelegt werden. Somit erfolgt die Verdrahtung nicht nach der Schaltplanlogik. Die Vorteile liegen in der einfacheren und übersichtlicheren Verdrahtung und der Möglichkeit einer systematischen Fehlersuche bei Drahtbruch.

Von der linken Seite der Klemmenbelegungsliste werden alle Bauteile außerhalb eines Schaltschranks in der Klemmenleiste aufgelistet, z.B. Starttaster S1, Sensoren 1B1 oder das Magnetventil 1M1. Auf der rechten Seite befinden sich die Bauteile, die sich evtl. in einem Schaltschrank befinden können, z.B. die Relais K1, K2 und K3 sowie deren Hilfsschließer.

Grundsätzlich wird mit dem Plus-Potenzial begonnen, die Klemmen 1 bis 4 werden gebrückt, dann folgt das Minus-Potenzial. Auch hier werden die Klemmennummern 5 bis 10 gebrückt. Zum Schluss werden alle fehlenden Teilstücke von den linken Strompfaden beginnend nach rechts auf die Klemmenbelegungsliste aufgelistet. Der Strompfad 5 erscheint nicht in der Liste. Hier muss direkt von Schließer K2 auf die Spule A1 des Zeitrelais K3 verdrahtet werden.

	Ziel			Klemmen-Nr.X	Ziel		
	Bauteil-bezeichnung	Anschluss-bezeichnung	Verbindungs-brücken		Bauteil-bezeichnung	Anschluss-bezeichnung	
+	24V	+	○	1	K2	13	
	S1	3	○	2	K1	13	
	1B2	BN	○	3	K2	23	
			○	4	K3	17	
-	0V	—	○	5	K1	A2	
	1B1	BU	○	6	K2	A2	
	1B2	BU	○	7	K3	A2	
	1M1	—	○	8			
	P1	X2	○	9			
	1M2	—	○	10			
Pfade 1-8	S1	4	○	11			
	1B1	BN	○	12			
	1B1	—	○	13	K1	A1	
	1B2	—	○	14	K2	A1	
	1M1	+	○	15	K1	14	
	P1	X1	○	16	K2	24	
	1M2	+	○	17	K3	18	
			○	18			
			○	19			
			○	20			

Bild 1: Klemmenbelegungsliste der Klebevorrichtung

Tabelle 1: Signal-Zeit-Diagramme von pneumatischen und elektropneumatischen Zeitfunktionen

Pneumatisch	Elektrisch	Zeitverhalten	$t_0$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	Logikplan
		Einschalt-verzögerung	E 1	0			
		Schließer	E 1	0			
		Einschalt-verzögerung	E 1	0			
		Öffner	E 1	0			
		Ausschalt-verzögerung	E 1	0			
		Schließer	E 1	0			
		Ausschalt-verzögerung	E 1	0			
		Öffner	E 1	0			

## ■ Speicherung von Signalen

In vielen Fällen der Elektropneumatik muss ein Tastersignal gespeichert werden. Dies erreicht man mit der **Selbsthalteschaltung** eines Relais (Bild 1).

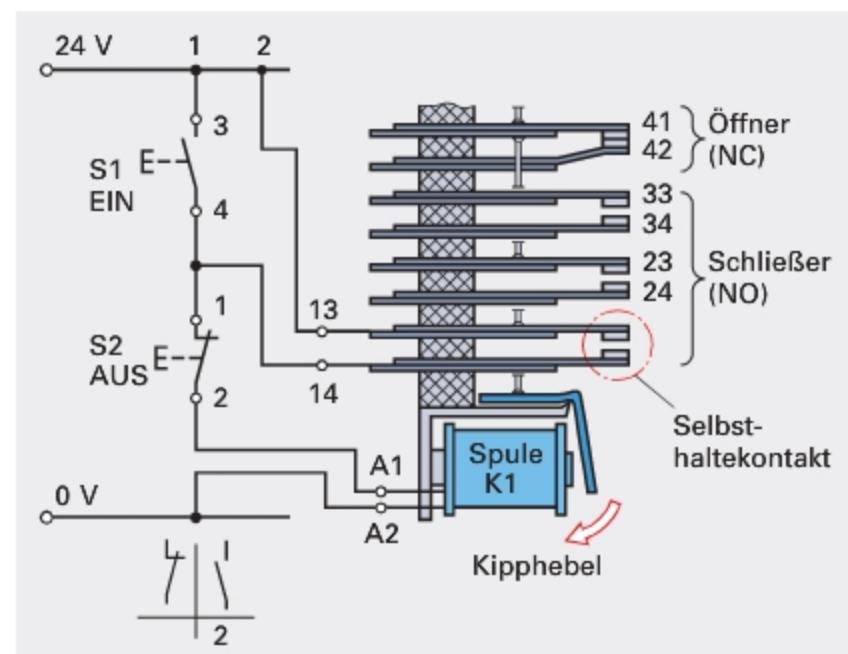
Mit dem EIN-Taster S1 wird der Stromkreis der Relaispule geschlossen. Ein Schließerkontakt des Relais K1 wird zu S1 parallel geschaltet und hält auch dann noch den Spulenstrom aufrecht, wenn S1 losgelassen wird. Damit bleibt das Signal EIN gespeichert (= Setzen/Set von K1). Mit dem Taster S2 (Öffner) wird die Selbsthaltung wieder unterbrochen (= Rücksetzen/Reset von K1).

### **Beispiel einer Selbthalteschaltung**

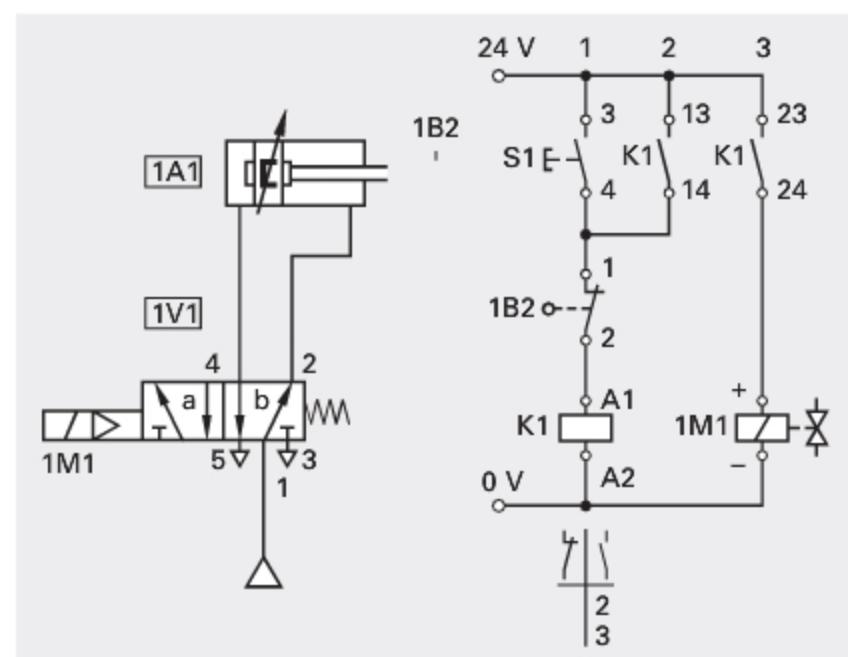
Ein doppelt wirkender Pneumatikzylinder wird über ein 5/2-Wegeventil, das mit einem Elektromagneten 1M1 und Federrückstellung ausgerüstet ist, angesteuert (**Bild 2**). Diese Art von Stellelement ist **monostabil**, d.h., bei Abfall der Spannung von 1M1 fällt das Ventil durch den Federdruck in den stabilen Zustand „b“ zurück. Die verwendete Selbsthaltung ist eine dominierend löschenende Schaltung: Betätigt man S1 und 1B2 gleichzeitig, dann kann an Spule K1 **keine** Spannung liegen.

**Tabelle 1** beschreibt das Schaltverhalten der Selbstthalteschaltungen (= Speicherschaltungen).

**Kontaktsteuerung mit 5/2-Wege-Impulsventil.** Im Stellelement 1V1 wird die Rückstellfeder durch einen 2. Magneten 1M2 ersetzt. Ein kurzer Stromimpuls auf 1M1 steuert das Ventil auf „a“ um. Eine Selbsthaltung ist nicht nötig, da das Stellelement „bistabil“ ist. Es hält die Schaltstellung „a“ bis der Gegenimpuls durch 1M2 kommt. Dann steuert 1V1 auf Stellung „b“ um und hält diese Stellung.

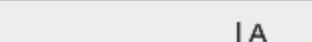
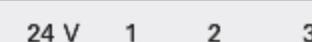
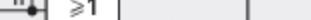
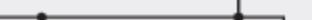


**Bild 1:** Selbstthalteschaltung mit Relais K1



**Bild 2: Selbsthaltung bei Verwendung eines monostabilen Stellelementes**

**Tabelle 1: Selbsthaltung, dominierend löschen**

Funktionsgleichung	Funktionstabelle				Logikplan	Pneumatik	Elektrik
$A_{n+1} = (E1 \vee A_n) \wedge \overline{E2}$	$A_n$	E2	E1	$A_{n+1}$			
	0	0	0	0			
	0	0	1	1			
	0	1	0	0			
	0	1	1	0			
	1	0	0	1			
	1	0	1	1			
	1	1	0	0			
$A_n$ und $A_{n+1}$ gibt Signalzustand vor und nach erneuter Signaleingabe an.	1	1	1	0			

#### **Selbsthaltung, dominierend setzend**

$A_{n+1} =$ $E1 \vee (A_n \wedge \overline{E2})$	$A_n$	$E2$	$E1$	$A_{n+1}$
	0	0	0	0
	0	0	1	1
	0	1	0	0
	0	1	1	1
$A_n$ und $A_{n+1}$ gibt Signalzustand vor und nach erneuter Signaleingabe an.	1	0	0	1
	1	0	1	1
	1	1	0	0
	1	1	1	1



## ■ Beispiel einer elektropneumatischen Schaltung (Portallader)

Die auf Seite 506 beschriebene Steuerung des Portalladers einer Reinigungsanlage soll elektropneumatisch ausgeführt werden. Die Aufgabe soll nach den Grundsätzen für Ablaufsteuerungen in Form einer löschenen Taktkette umgesetzt werden.

Grundsätzliche Vereinbarungen für den Aufbau eines **Einzelschrittes einer Taktkette (Bild 1)**:

1. Jede Endlage wird über ein Signalelement, z.B. **1B1** und **2B1**, abgefragt (**Bild 2**).
2. Jeder Arbeitsschritt wird durch eine Selbsthaltung umgesetzt (dominierend löschen).
3. Jeder Schritt wird durch ein Signalelement oder einen Sensor eingeleitet (**S\_N**).
4. Jeder Schritt kann nur ablaufen, wenn der vorhergehende Schritt gesetzt wurde (**K\_N-1**).
5. Der nächste Schritt löscht den vorhergehenden Schritt (Spätöffner **K\_N+1**).

Damit wird gewährleistet, dass jeweils nur ein einziger Ablaufschritt aktiv ist. Damit das Setzen der Schritte und das Löschen des vorhergehenden Schrittes ohne Störungen abläuft, werden Frühschließer und Spätöffner verwendet (**Bild 3**).

### Stromlaufplan für den Portallader (Bild 4)

Die Lösung zeigt exemplarisch die Umsetzung der vorher genannten Ablaufregeln.

Der Taster S2 in Pfad 9 wird als Quittierungstaster bezeichnet. Er ist bei einem Neustart der Anlage nötig, um in Pfad 1 den Schließer K4 zu betätigen.

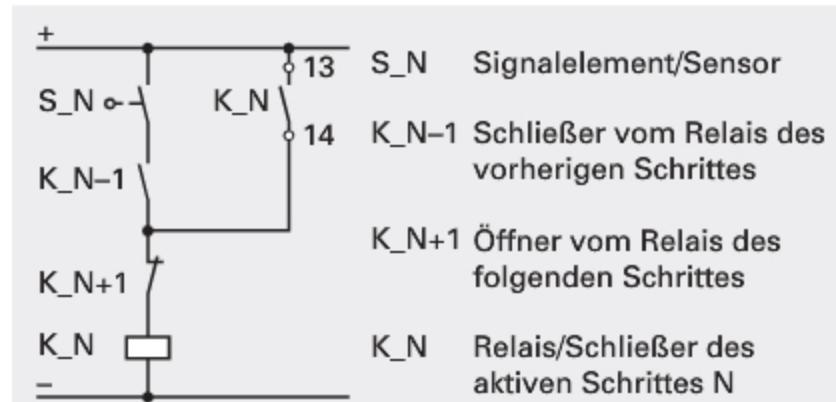


Bild 1: Einzelschritt N in einer Taktkette

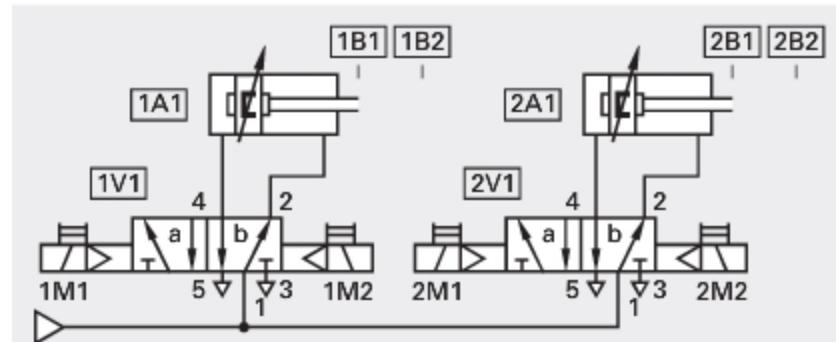


Bild 2: Pneumatikplan des Portalladers

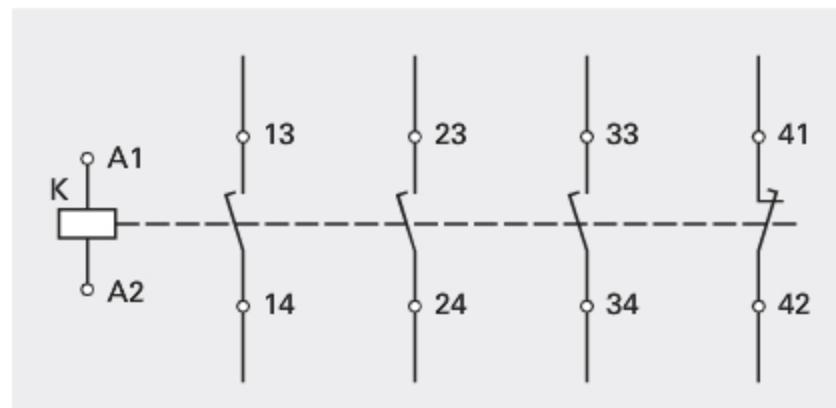


Bild 3: Frühschließer und Spätöffner

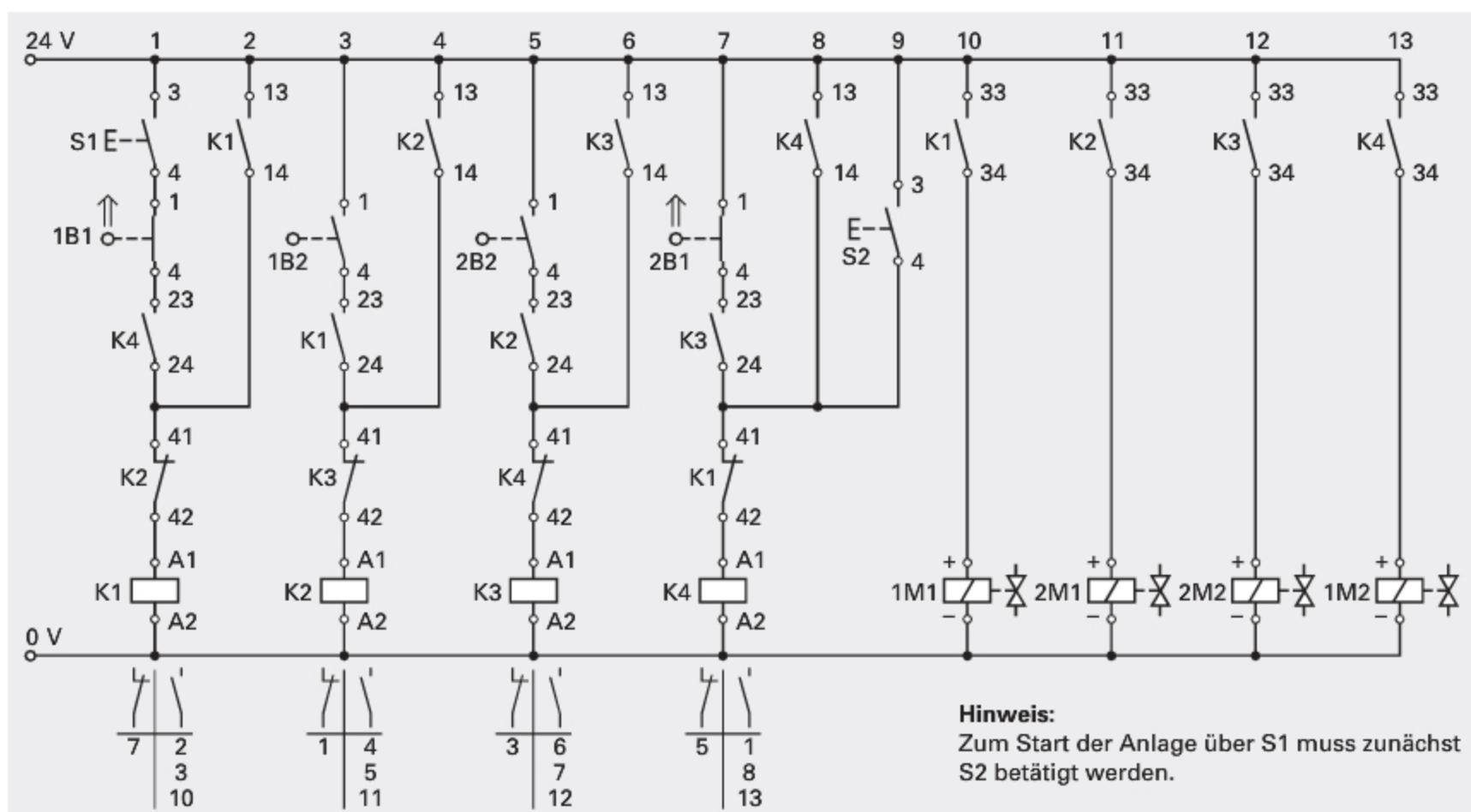


Bild 4: Elektrischer Stromlaufplan für Portallader der Reinigungsanlage

## ■ Steuerungen mit Betriebsartenteil

Die Steuerung des Portalladers (Seite 506) erfüllt die vom Kunden gewünschte Funktion. Wichtige Bedienelemente aber, z.B. ein Haupt- oder ein NOT-AUS-Schalter (**Bild 1**), fehlen.

### Kontaktsteuerung mit NOT-AUS

Durch die NOT-AUS-Einrichtung muss die Maschine oder Anlage in gefährlichen Situationen sofort stillgesetzt werden können. Dadurch sollen Gefahren für Menschen und Maschine vermieden werden.

#### Anforderungen an eine NOT-AUS-Schaltung:

- Der Funktionsablauf muss sofort unterbrochen werden.
- Die Steuerung muss von der Stromversorgung getrennt werden.
- Das Arbeitselement (z.B. Zylinder) muss über eine eigene Schaltung in eine ungefährliche Lage fahren.
- Die Steuerung darf beim Zuschalten der Energie nicht selbsttätig starten.

**Beispiel einer NOT-AUS-Schaltung.** Ein Pneumatikzylinder wird über den Taster S1 (START) und den Näherungsschalter 1B1 gestartet (**Bild 2**). Er schaltet bei Erreichen der Endlage durch den Näherungsschalter 1B2 auf Rücklauf um. Bei NOT-AUS soll der Zylinder aus jeder Stellung in die Ausgangsstellung zurückfahren. Über den einrastenden NOT-AUS-Schalter S2 und das Relais K3 wird die Steuerung ab- und der Elektromagnet 1M2 zuschaltet.

Der Zylinder fährt in die Ausgangslage zurück. Die Steuerung kann nach Entriegeln des NOT-AUS-Schalters S2 wieder in Betrieb genommen werden.

**Schutz vor unerwünschten Aktorbewegungen.** Durch den Einsatz eines 5/3-Wegeventils mit Sperrmittelstellung für das Stellelement 1V1 wird die Kolbenbewegung sofort gestoppt, wenn die Spannung von 1M1 oder 1M2 abfällt (**Bild 3**). Durch eine schlagartige Betätigung des 3/2-Wegeventils 0V1 wird die gesamte Druckenergie von der Schaltung genommen.

**Automatikbetrieb: Einzelzyklus und Dauerzyklus.** Mit dieser Schaltung kann der Kolben entweder nur einmal aus- und wieder eingefahren werden oder man kann auf Dauerzyklus schalten (**Bild 4**). Beim Dauerzyklus muss das Startsignal S3 durch die Parallelschaltung eines Schließerkontakte umgangen werden. Dieser Schließerkontakt wird durch das Relais K3 in Selbsthaltung geschaltet.

Für einen Einzelzyklus muss S3 (Start Einzel) betätigt werden.

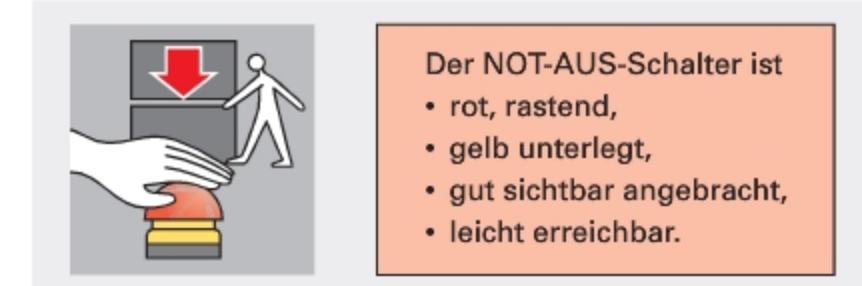


Bild 1: NOT-AUS-Abschaltung

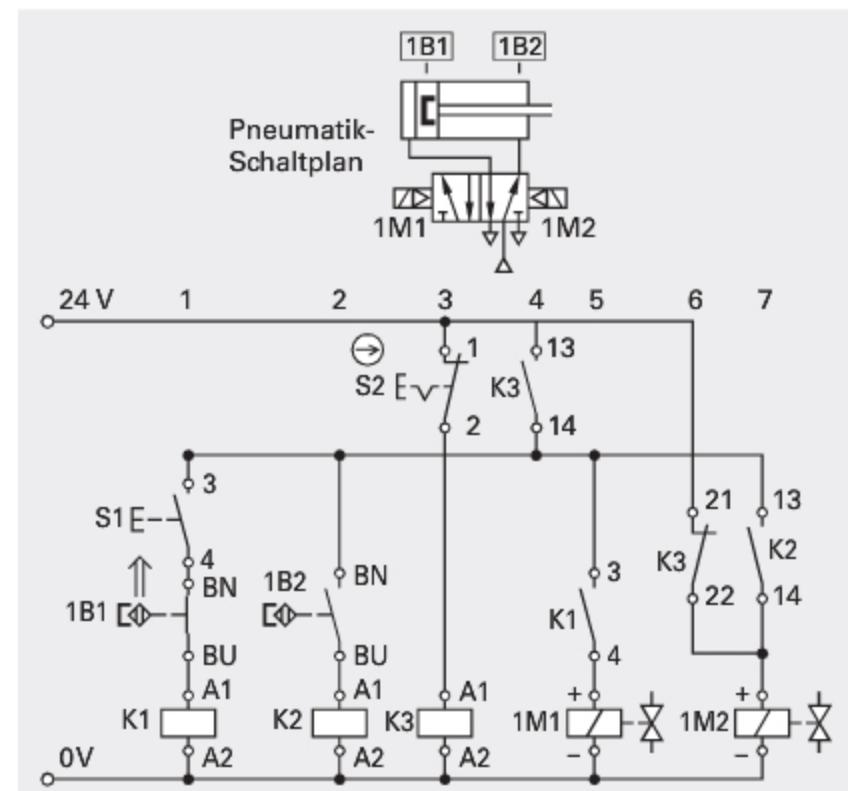


Bild 2: NOT-AUS-Schaltung

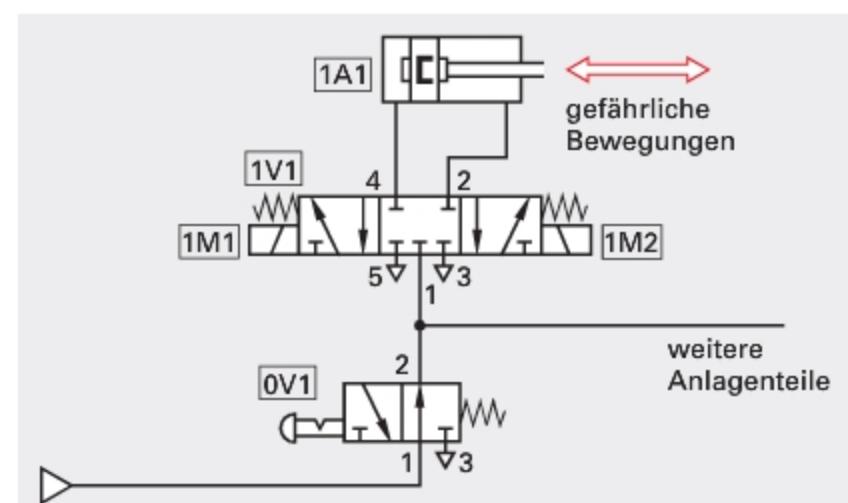


Bild 3: Abschaltung der Druckenergie

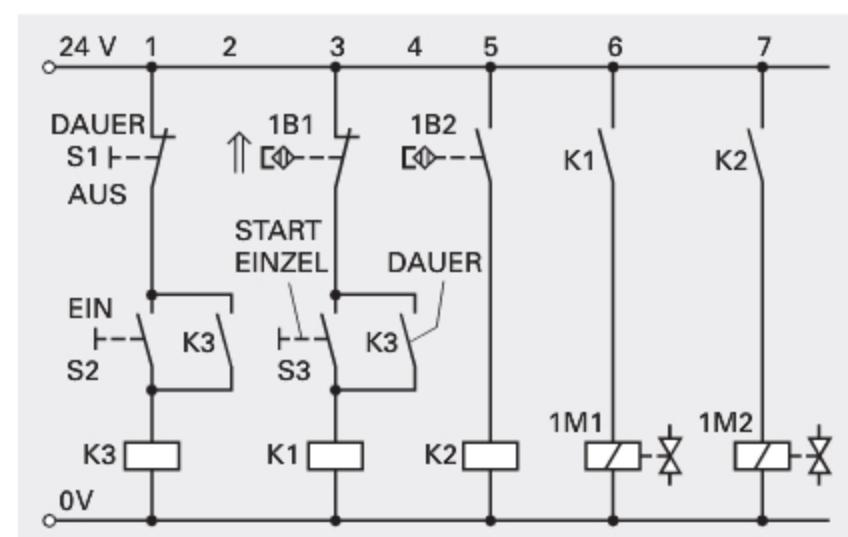


Bild 4: Einzel- und Dauerzyklus

### 8.4.5 Ventilinseln

In der Elektropneumatik und der SPS-Technik werden heute statt einzelner Magnetventile ganze Ventilinseln eingesetzt. In einem modularen Baukastensystem werden dabei Ventilscheiben in eine gemeinsame Reihe kompakt zusammengebaut (**Bild 1**). Es sind dabei die unterschiedlichsten Ventilkombinationen möglich, z.B. können vier monostabil 5/2-Wegeventile und vier 5/2-Impulsventile zu einer Ventilinsel zusammengefasst werden. Dadurch wird der gesamte Systemaufbau sehr platzsparend und übersichtlich.

Hauptelemente der Insel sind die Ventilscheiben. Durch zwei Funktionen pro Ventilscheibe (z.B. 2 x 3/2-Wegeventile) kann die doppelte Packungsdichte erreicht werden. Dies spart Bauraum und senkt die Kosten. So wird z.B. die Funktion eines 5/3-Wegeventils mit „Sperr-Mittelstellung“ aus einem 2 x 3/2-Wegeventil in Ruhestellung geschlossen, gebildet. Dieser Ventilbausatz ist nur für den Einsatz mit einem Arbeitsdruck gedacht. Ein Zweidruckbetrieb (unterschiedliche Drücke an Anschluss 1 und 11) (**Bild 2**), bei dem man den Zylinderkolben mit hohem Druck ausfahren und mit geringem Druck einfahren lassen könnte, ist hier nicht möglich.

#### Pneumatische Druckluftversorgung

Die Ventilinsel besitzt neben der Ventilfunktion auch alle pneumatischen Kanäle zur Versorgung, zur Entlüftung und für die Arbeitsanschlüsse. Es wird ungeölte Druckluft verwendet. Alle Ventile haben eine pneumatische Vorsteuerung. Die eigentliche Ventilfunktion, das Öffnen und Schließen der Anschlüsse, basiert auf dem Kolbenschiebersystem. Die Rückstellung der Ventile erfolgt pneumatisch und nicht mit mechanischen Federn.

Die Arbeitsanschlüsse befinden sich seitlich an den Ventilscheiben (**Bild 3a**), z.B. für Quick-Star-Schraubverbindungen (QS). Eine Variante ist der pneumatische Multipol (**Bild 3b**), bei dem sich alle Arbeits- und Versorgungsanschlüsse an einer Grundplatte befinden. Er ermöglicht unterschiedliche Montagearten, von der Wandmontage bis zum direkten Durchgang durch eine Gehäusewand.

#### Elektrische Anschlusstechnik

Nach oben geführte Kontaktfedern an den Ventilscheiben bilden die Schnittstelle zu verschiedenen elektrischen Anschlussarten (**Bild 4**). Magnetventile werden entweder mit Einzelleitungen angeschlossen oder über einen Steckverbinder, dem Multipol. Dies ist ein 9- oder 25-poliger Sub-D-Stecker, der die Montage und elektrische Installation der Ventilplatten vereinfacht. Eine LED zeigt die Funktion an. Der Multipol kann durch einen Direktanschluss für ein standardisiertes Bussystem (z.B. Profibus oder Profinet) ersetzt werden.

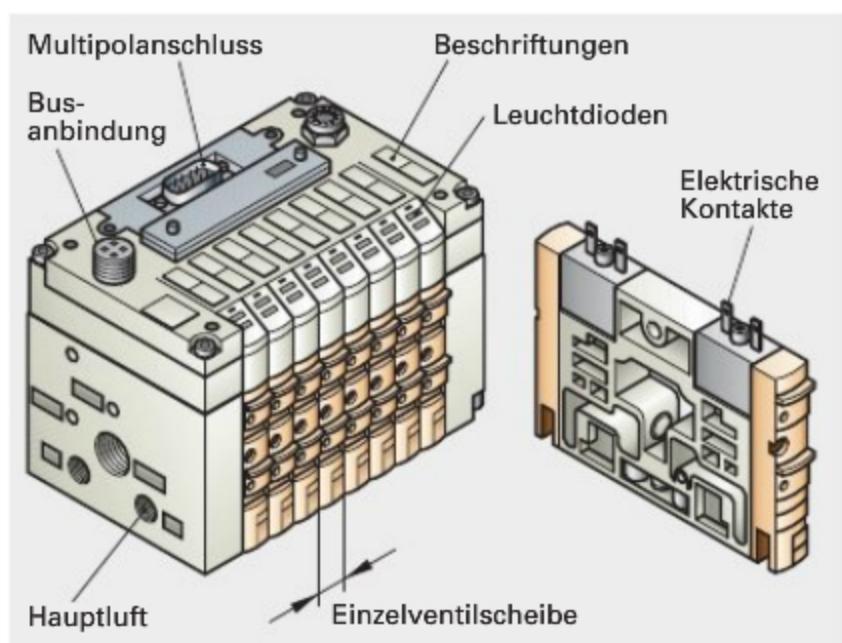


Bild 1: Ventilinsel – Ventilscheibe

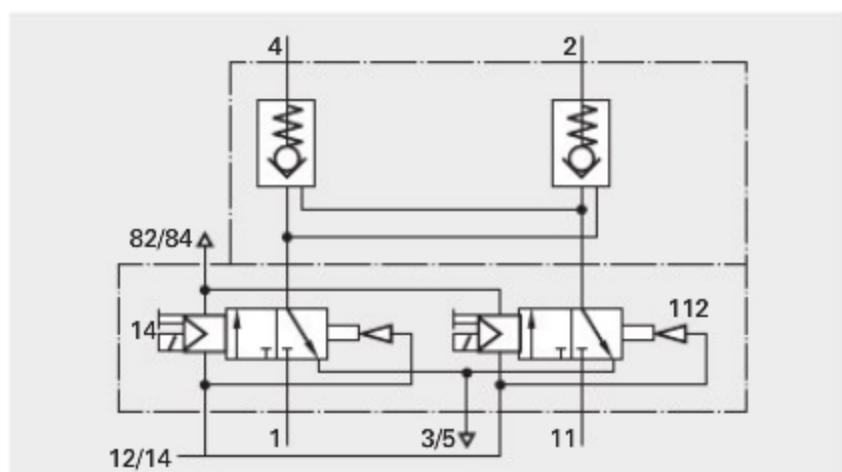


Bild 2: Ventilscheibe für 5/3-Wegeventil – Mittenstellung geschlossen

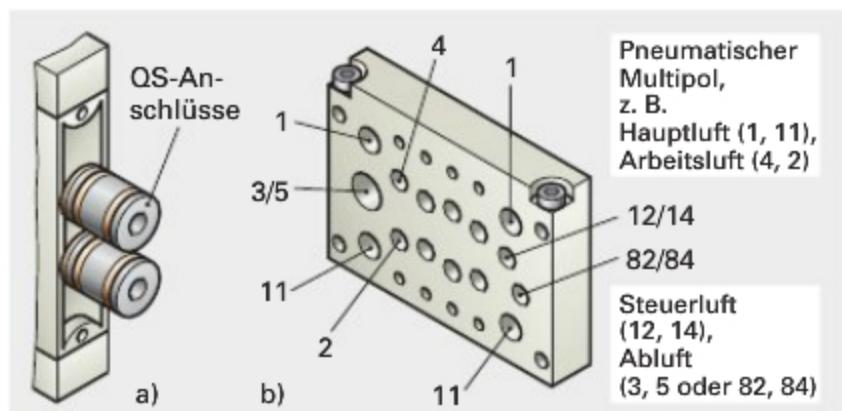


Bild 3: Pneumatikanschlüsse an Ventilinseln

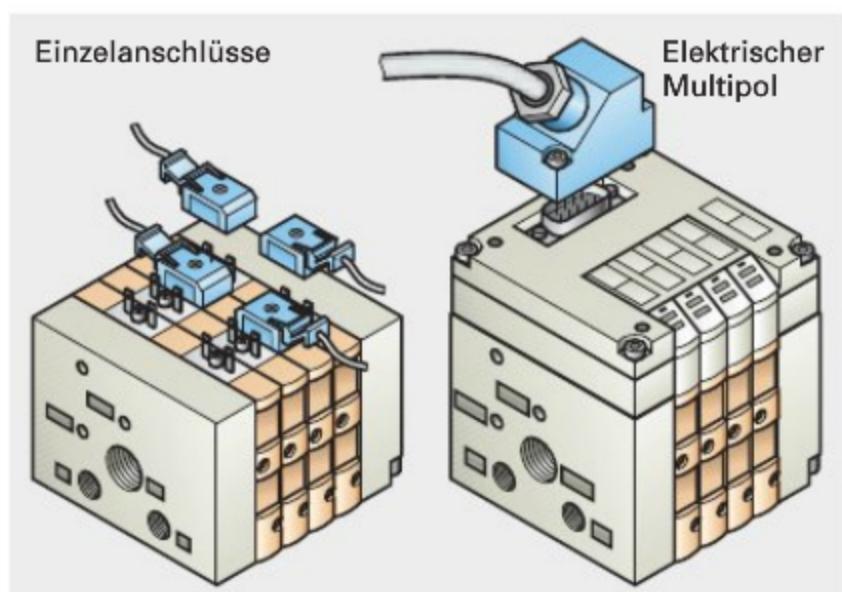


Bild 4: Elektrische Anschlüsse an Ventilinseln

## 8.5 Hydraulische Steuerungen

In der Industrie- oder der Mobilhydraulik werden zum Erzeugen hoher Kräfte (bei linearen Bewegungen), oder Drehmomenten (bei rotierenden Bewegungen) als Arbeitsmedium Flüssigkeiten eingesetzt (**Bild 1**). Früher hat man dazu Wasser<sup>1</sup> verwendet, heute verwendet man spezielle Hydrauliköle. In der Hydrostatik geht es um das Erzeugen hoher Kräfte mittels hoher Drücke und deren Übertragung (z.B. Schneidzangenwerkzeuge für den Unfalleinsatz). In der Hydrodynamik möchte man mit geringeren Drücken lineare oder rotatorische Bewegungen in den Arbeitselementen erzeugen. Die Linearbewegungen können hierbei extrem langsam und konstant erzeugt werden.

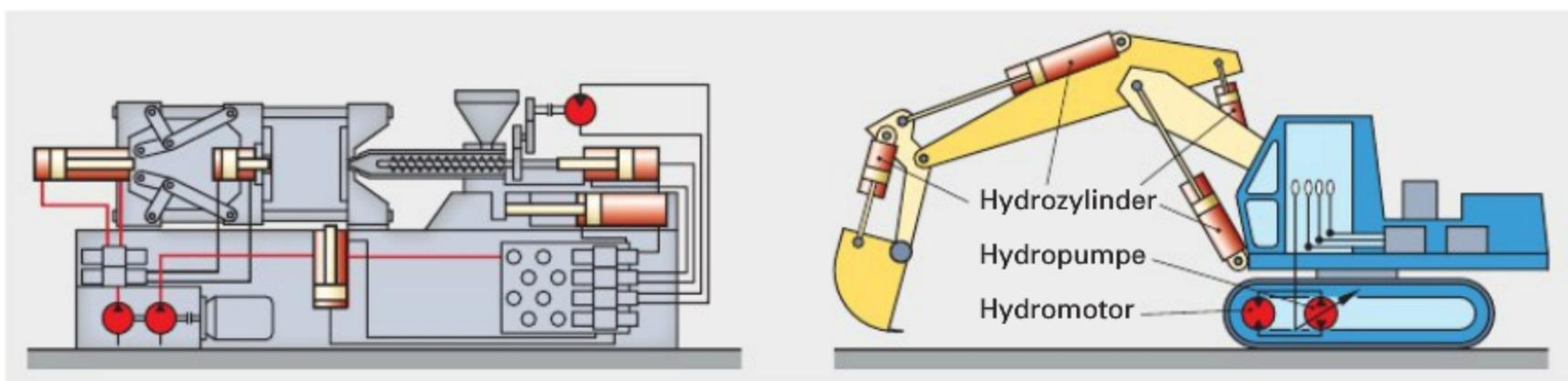


Bild 1: Einsatz hydraulischer Antriebe in der Industrie- und Mobilhydraulik

### Vorteile der Hydraulik

- Große Kräfte durch hohe Drücke möglich
- Stufenlos einstellbare Geschwindigkeiten
- Gleichförmige Bewegungen wegen der geringen Kompressibilität der Hydraulikflüssigkeit
- Sicherer Überlastungsschutz durch Druckbegrenzungsventile

### Nachteile der Hydraulik

- Entwicklung von Wärme und dadurch Änderung der Viskosität der Hydraulikflüssigkeit
- Lärm durch Pumpen und Hydromotoren sowie Schaltgeräusche der Ventile
- Entstehung von Lecköl
- Erhöhte Unfallgefahr

Eine Hydraulikanlage besteht z. B. aus den Bauelementen Pumpe, Ventilen und einem Zylinder (**Bild 2**). Die Pumpe (nicht dargestellt der Elektromotor, der die Pumpe antreibt) saugt die Hydraulikflüssigkeit aus dem Behälter an und drückt das Hydrauliköl über das Wegeventil in den Zylinder oder einen Hydromotor. Die vom Kolben verdrängte Flüssigkeit fließt über das Wegeventil in den Behälter zurück. Wird der eingestellte Höchstdruck überschritten, öffnet sich das Druckbegrenzungsventil und die Druckflüssigkeit gelangt direkt in den Behälter zurück. Der Behälter speichert die Hydraulikflüssigkeit, ersetzt Leckverluste und kühlt die erwärmte Flüssigkeit. Im Behälter können sich auch vom Hydrauliköl mitgenommene Schmutzteilchen absetzen.

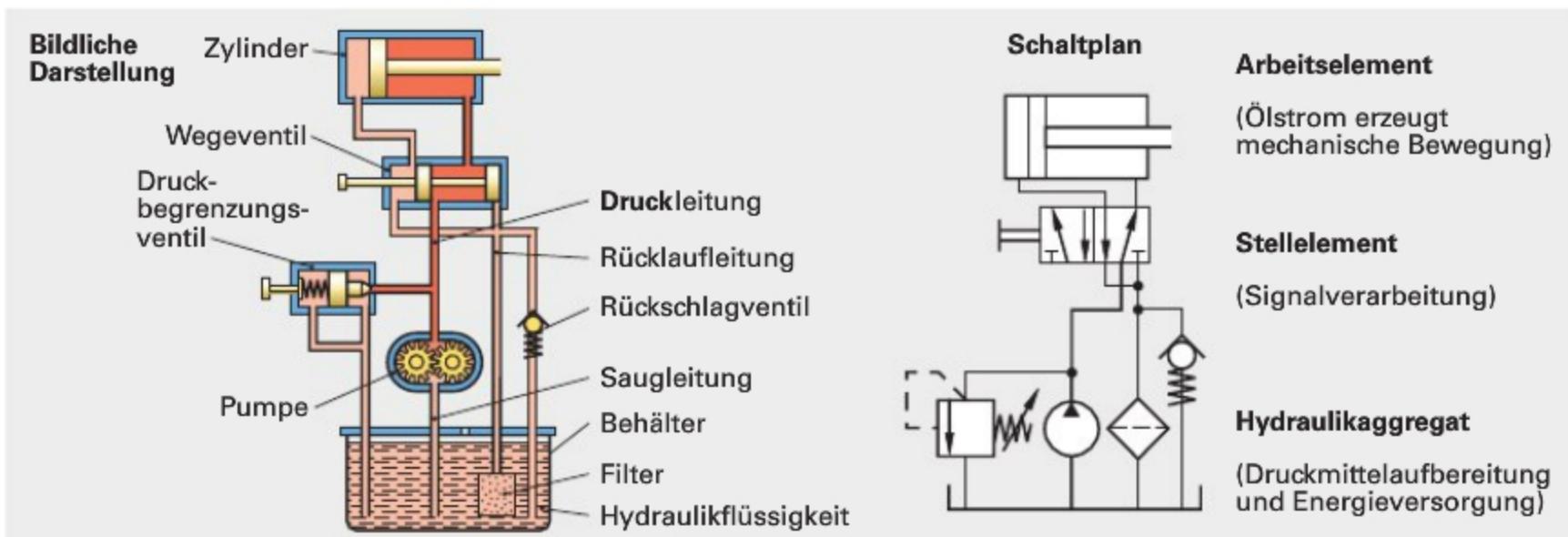


Bild 2: Prinzipaufbau einer hydraulischen gesteuerten Anlage mit Schaltplan

<sup>1</sup> griech. hydor = Wasser, Flüssigkeit



## 8.5.1 Energieversorgung und Druckmittelaufbereitung

### ■ Hydraulikaggregat

Um ein Hydrauliksystem mit ausreichender Energie zu versorgen (Bild 1), setzt man einen entsprechend dimensionierten Ölbehälter ein, auf dem der Elektromotor, die Hydraulikpumpe, ein Ölrücklauffilter und ein im Verschlussdeckel integrierter Luftfilter befestigt sind.

Der Ölbehälter speichert die Hydraulikflüssigkeit. Die Größe des Behälters sollte bei stationären Anlagen dem Fünffachen des Volumenstroms entsprechen. Der Behälter dient als Absetzbecken für Verunreinigungen. Ungelöste Luft wird im Ölbehälter ausgeschieden wie auch Kondenswasser.

Ein Druckbegrenzungsventil wird vom Hersteller auf den maximal zulässigen Pumpendruck voreingestellt und verplombt.

### ■ Hydraulikflüssigkeiten

Als Arbeitsmedium werden Mineralöle, schwer entflammbare Flüssigkeiten und biologisch abbaubare Flüssigkeiten verwendet (Tabelle 1). Hydraulikflüssigkeiten sollen die beweglichen Bauteile schmieren. Öle sind alterungsbeständig und nicht aufschäumend, außerdem dürfen sie die Dichtungen sowie die Werkstoffe der Bauelemente nicht korrosiv angreifen.

In Hydraulikanlagen, die hohen Temperaturen ausgesetzt sind (z.B. Schmiedepressen oder im Aluminiumdruckguss) werden schwer entflammbare Hydraulikflüssigkeiten verwendet. In sensiblen Gebieten, z.B. im Bereich von Wasserschutzgebieten oder in der Land- und Forstwirtschaft (Mobilhydraulik), arbeiten hydraulisch betriebene Maschinen mit biologisch abbaubaren Flüssigkeiten.

Hydraulikflüssigkeiten gelten als nicht kompressibel. Bei sehr hohen Drücken lassen sich Flüssigkeiten aber um 1 bis 2 Volumenprozent komprimieren.

Hydraulikflüssigkeiten können Gas (Stickstoff und Sauerstoff) aus der Luft aufnehmen. Diese Gasmenge ist vom Druck und der Temperatur abhängig. Entsteht in bestimmten Anlageteilen ein lokaler Unterdruck ( $p_e < -0,3$  bar), so wird die maximale Löslichkeit überschritten, es werden Gasblasen ausgeschieden, die zu einer Geräuschbildung und sogenannten **Kavitationsschäden** führen können.

Die wichtigste Kenngröße einer Hydraulikflüssigkeit ist ihre **Viskosität  $\nu$**  (Zähflüssigkeit), gemessen in  $\text{mm}^2/\text{s}$ . Diese ist temperaturabhängig (Bild 2): ISO VG 46 hat bei  $40^\circ\text{C}$  eine Viskosität von  $\nu = 46 \text{ mm}^2/\text{s}$ . Je höher die Temperatur in der Anlage ansteigt, desto dünnflüssiger wird das Hydrauliköl, die Viskositätszahl  $\nu$  wird kleiner.

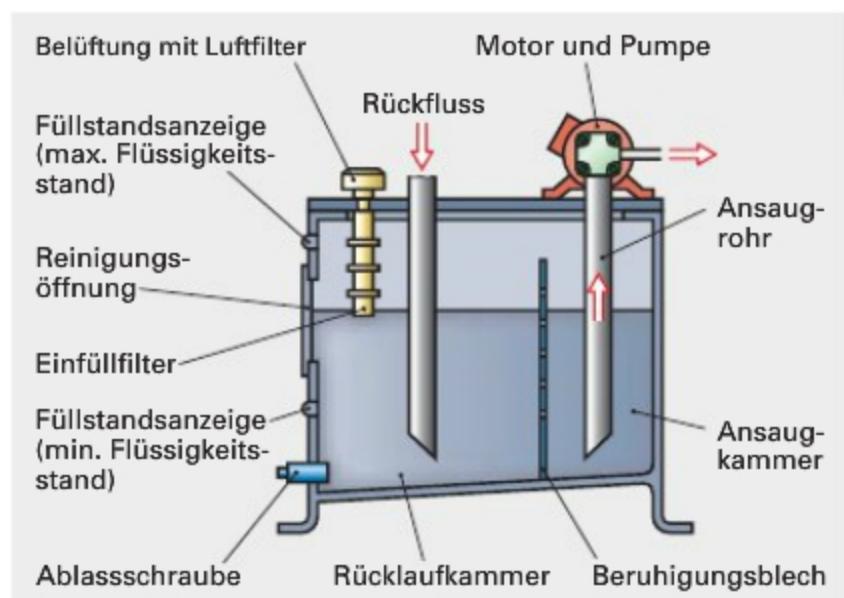


Bild 1: Ölbehälter mit Hydraulikaggregat

Tabelle 1: Hydraulikflüssigkeiten

Hydrauliköle auf Mineralölbasis	
HLP	Hydrauliköl mit Zusätzen zur Verbesserung von Alterungsbeständigkeit, Korrosionsschutz und Verschleißschutz. Gute Luftabscheidung.
HVLP	Hydrauliköl mit Eigenschaften wie Typ HLP, jedoch kleinerer Viskositätsänderung.
Schwerentflammbare Flüssigkeiten	
HFC	Wässrige Lösungen, z.B. 35 % Polyglykol in Wasser; nur für geringe Drücke.
HFD	Wasserfreie synthetische Flüssigkeiten, z.B. Phosphorsäureester.
Biologisch abbaubare Flüssigkeiten	
—	Hydraulikflüssigkeiten auf der Basis von Pflanzenölen, z.B. Rapsöl, synthetische Ester oder Polyglykolöle; weitgehend abbaubar.

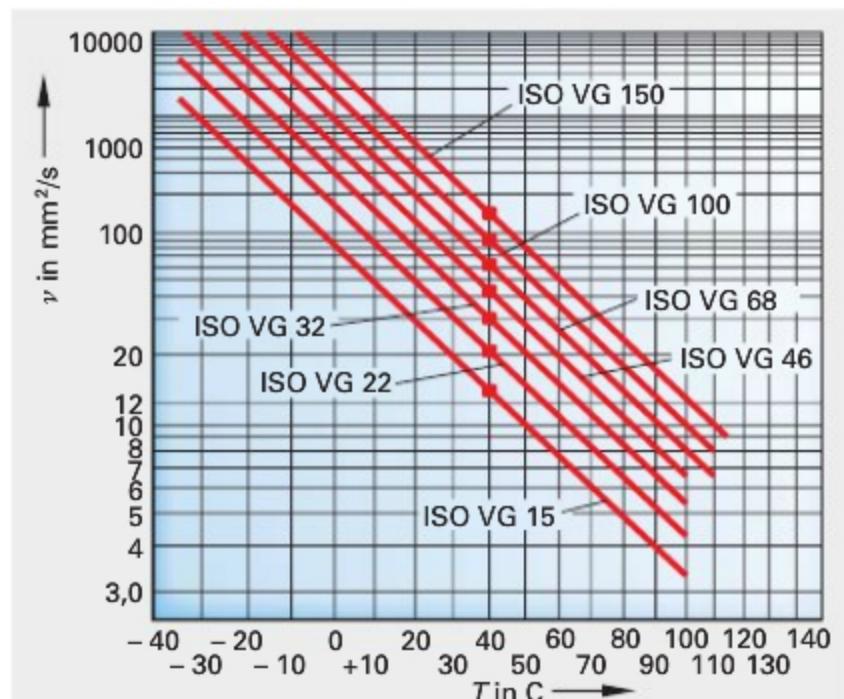


Bild 2: Druck- und Temperaturabhängigkeit der Viskosität

## ■ Hydraulikpumpen

Größe und Bauart der Pumpen werden durch den Volumenstrom, den Druck und durch die zulässigen Drehzahlen bestimmt. Als Volumenstrom bezeichnet man das je Zeiteinheit geförderte Flüssigkeitsvolumen der Pumpe, z.B. 25 l/min. Pumpen mit gleich bleibendem Verdrängungsvolumen je Umdrehung der Pumpenwelle, z.B. 10 cm<sup>3</sup>, nennt man **Konstantpumpen**. Ist dagegen das Verdrängungsvolumen einstellbar, spricht man von **Verstellpumpen**.

Bei Verstellpumpen ist das Verdrängungsvolumen je Umdrehung einstellbar.

## ■ Zahnradpumpen

Zahnradpumpen werden als Außen- und Innenzahnradpumpen gebaut (**Bild 1**). Sie fördern die Flüssigkeit in den Zahnlücken beider Zahnräder vom Saugraum in den Druckraum. Zahnradpumpen sind immer Konstantpumpen.

## ■ Flügelzellenpumpen

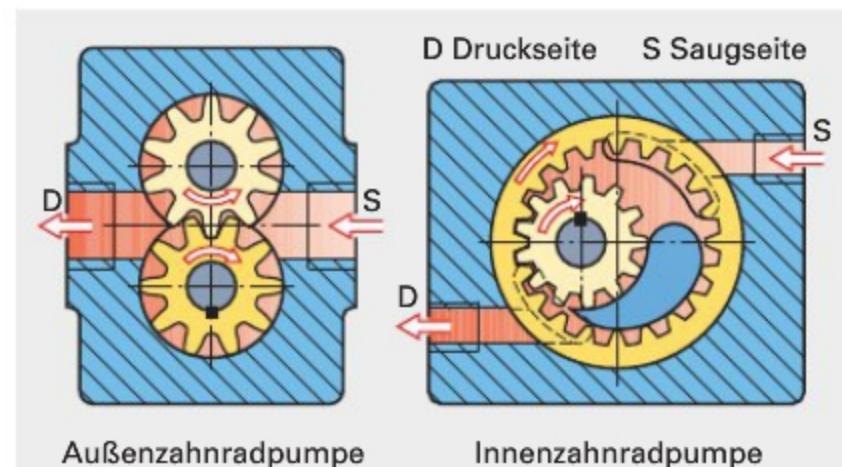
Bei Flügelzellenpumpen läuft die Pumpenwelle mit den Flügeln in einem Gehäuse, das zwei meist sichelförmige Ausfrässungen besitzt (**Bild 2**). Dabei wird die Hydraulikflüssigkeit in den von je zwei Flügeln und der Gehäusewand gebildeten Zellen von der Saugseite auf die Druckseite verdrängt.

## ■ Kolbenpumpen

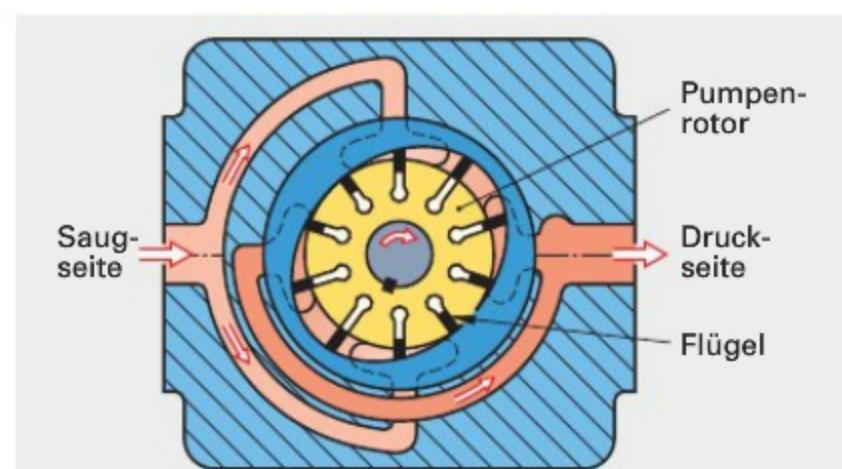
Bei den Kolbenpumpen unterscheidet man **Axial-** und **Radialkolbenpumpen**. Bei Axialkolbenpumpen in Schrägachsenbauart werden die Kolben während einer halben Umdrehung der Trommel von der feststehenden Steuerscheibe weggezogen (**Bild 3**). Sie saugen dabei die Flüssigkeit an. In der zweiten Hälfte der Umdrehung drücken die Kolben die Hydraulikflüssigkeit in die Druckleitung. Bei Verstellpumpen kann der Winkel der Trommel zur Antriebsachse verstellt werden. Dadurch ändert sich der Hub der Kolben und damit der Volumenstrom. Wird die Trommel nach der anderen Seite geschwenkt, kehrt sich die Förderrichtung um.

Bei **Radialkolbenpumpen** sind die Kolben senkrecht zur Drehachse angeordnet (**Bild 4**). Der Zylinderstern wird angetrieben und dreht sich dabei auf dem feststehenden Steuerzapfen. Die Kolben, die sich am exzentrisch gelagerten Hubring abstützen, führen eine radiale Bewegung aus und fördern dadurch die Flüssigkeit von der Saug- auf die Druckseite.

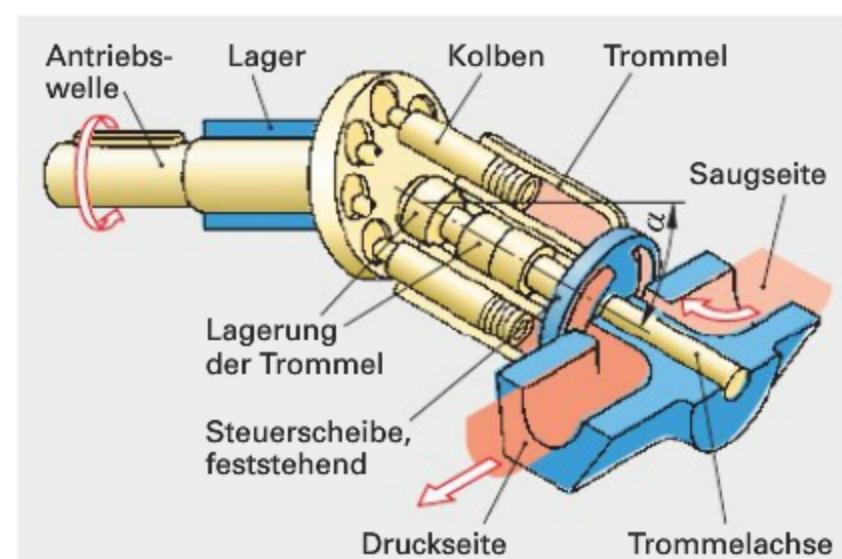
Nach der Form der Verdrängungselemente unterscheidet man **Zahnrad-, Flügelzellen- und Kolbenpumpen**.



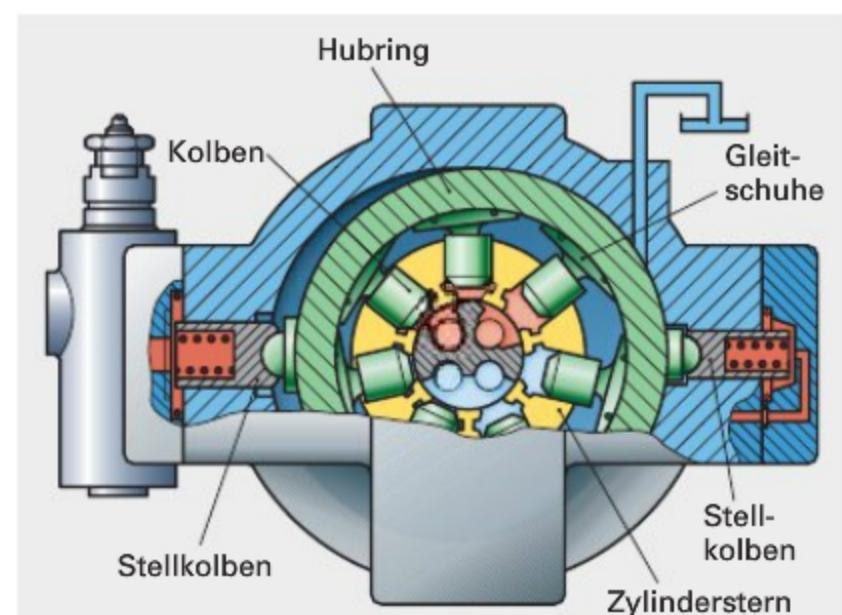
**Bild 1: Zahnradpumpen**



**Bild 2: Flügelzellenpumpe als Konstantpumpe**



**Bild 3: Axialkolbenpumpe als Verstellpumpe, Schrägachsenbauart**



**Bild 4: Radialkolbenpumpe als Verstellpumpe**

## 8.5.2 Arbeitselemente und Hydrospeicher

Zu den hydraulischen Arbeitselementen gehören Hydraulikzylinder, Hydromotoren sowie die Hydrospeicher.

### ■ Hydrozylinder

Hydraulische Zylinder (Hydrozylinder) führen geradlinige Bewegungen aus. Wegen der hohen Drücke werden sie stabiler als pneumatische Zylinder (Seite 491) ausgeführt (**Bild 1**). Hydrozylinder werden einfach- und doppeltwirkend, mit und ohne Dämpfung gebaut.

**Kolbenkräfte.** Die Kolbenkräfte werden wie bei den Pneumatikzylindern (Seite 492) berechnet.

**Kraftübersetzung.** In abgeschlossenen Hydrauliksystemen, in denen die einzelnen Räume miteinander verbunden sind, herrscht überall der gleiche Druck  $p_e$  (**Bild 2**). Wirkt der Druck auf unterschiedlich große Flächen, entstehen unterschiedlich große Kräfte.

$$\text{Einzelkräfte: } F_1 = p_e \cdot A_1 \text{ und } F_2 = p_e A_2$$

$$\text{Kraftübersetzung: } \frac{F_2}{F_1} = \frac{p_e A_2}{p_e A_1} = \frac{A_2}{A_1}$$

**Kolben- und Durchflussgeschwindigkeiten.** Die Kolbengeschwindigkeiten  $v$  bei Hydrozylindern sind vom zugeführten Volumenstrom  $Q$  und der maßgebenden Kolbenfläche  $A$  abhängig (**Bild 3**). Als Volumenstrom bezeichnet man die je Zeiteinheit durch einen Querschnitt fließende Flüssigkeitsmenge, z.B.  $Q = 16 \text{ l/min}$ . Die Durchflussgeschwindigkeit  $v$  von Flüssigkeiten in Rohren und Schläuchen ist umso größer, je größer der Volumenstrom  $Q$  und umso kleiner, je größer der Leitungsquerschnitt  $A$  ist (**Bild 4**).

### Kolben- und Durchflussgeschwindigkeit

$$v = \frac{Q}{A}$$

**Beispiel:** Der Hydrozylinder (Bild 3) wird über eine Leitung ( $d_l = 16 \text{ mm}$ ) mit dem Volumenstrom  $Q = 12 \text{ l/min}$  beaufschlagt. Wie groß sind Ausfahrgeschwindigkeit sowie die Durchflussgeschwindigkeit in der Zuleitung?

**Lösung:** Ausfahren:

$$v = \frac{Q}{A_1} = \frac{12000 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}}{38,5 \text{ cm}^2} = 312 \frac{\text{cm}}{\text{min}}$$

Einfahren:

$$v = \frac{Q}{A_2} = \frac{12000 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}}{18,9 \text{ cm}^2} = 635 \frac{\text{cm}}{\text{min}}$$

Strömungsgeschwindigkeit in der Zuleitung:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{12000 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}}{2,01 \text{ cm}^2} = 59,7 \frac{\text{m}}{\text{min}} \approx 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

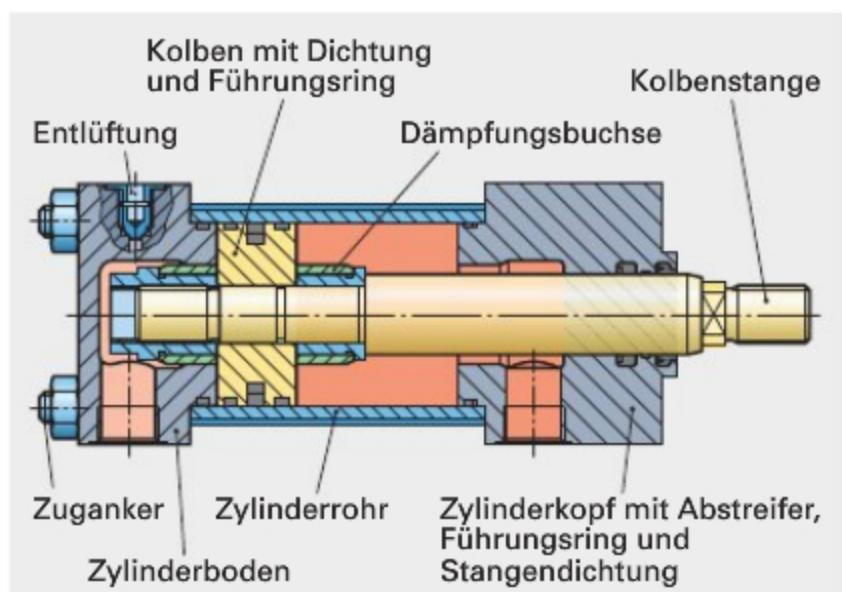


Bild 1: Doppeltwirkender Hydrozylinder

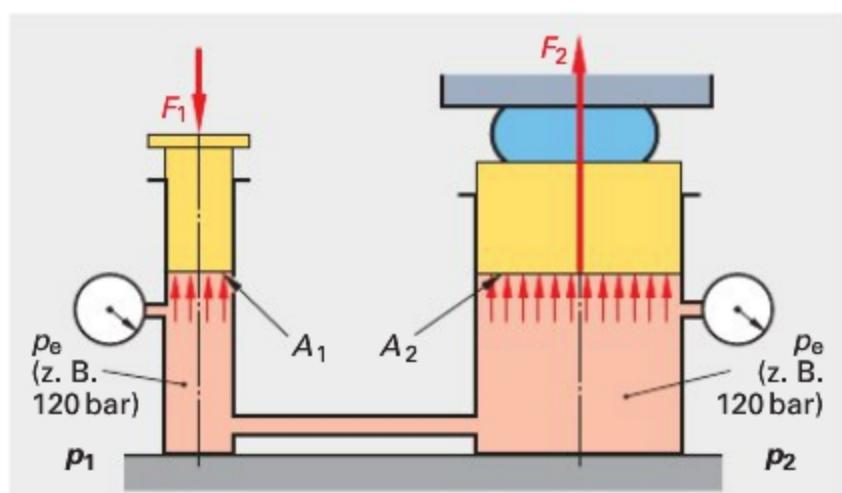


Bild 2: Kraftübersetzung bei einer hydraulischen Presse

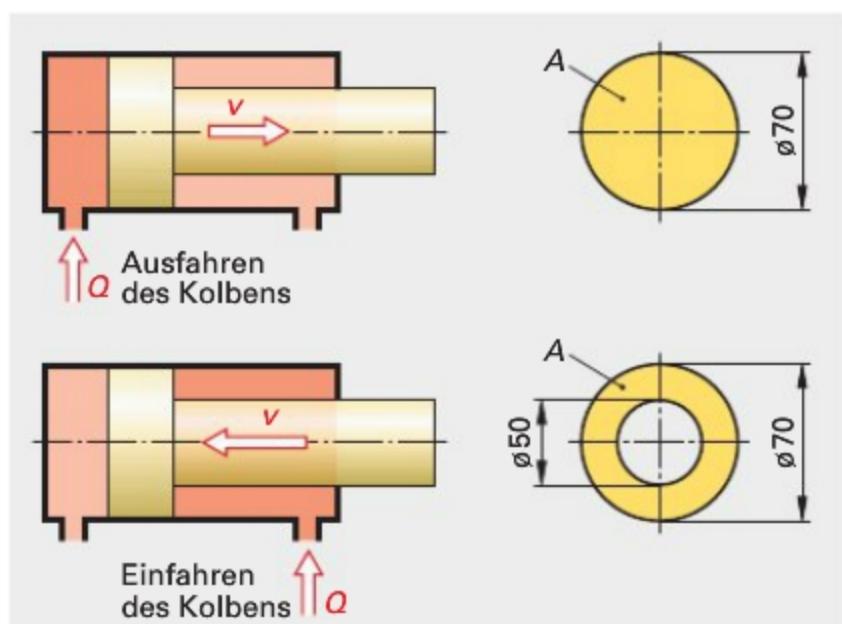


Bild 3: Kolbengeschwindigkeit beim Ausfahren und Einfahren eines Hydrozylinders

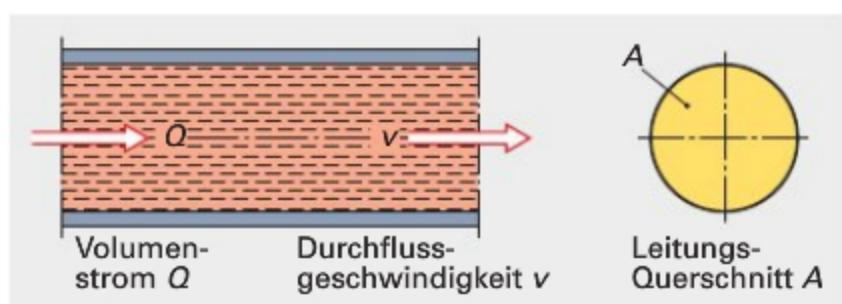


Bild 4: Durchflussgeschwindigkeit in Rohren

## Sonderbauformen von Hydrozylinder

Einfach wirkende Zylinder (**Tabelle 1**) werden für Hubbühnen oder hydraulische Fahrkabinen eingesetzt, wo hydraulische Arbeit nur in einer Richtung erforderlich ist. Der Kolben wird durch eine sehr stabile Feder oder durch eine äußere Last zurückgestellt. Ähnliches gilt auch für den Plunger- oder Tauchkolbenzylinder (**Bild 1**), bei dem Kolben und Kolbenstange eine Einheit bilden. Er sinkt bei senkrechtem Einbau durch eine Last von alleine in die Ausgangsposition zurück.

Teleskopzylinder (**Bild 2**) werden für große Hübe bei kleinen Einbaugrößen eingesetzt. Nachteilig ist, dass beim Ausfahren der einzelnen Komponenten, die wirksame Kolbenfläche immer kleiner wird und die Geschwindigkeit größer.

## Befestigungsarten

Durch verschiedene Befestigungsarten und Gelenkkonstruktionen hat man zahlreiche Möglichkeiten, große Zylindern zu verbauen (**Bild 3**). Die Kenntnis der Einbau- und Befestigungsart ist vor allen bei langen Zylindern notwendig, um die Knickbelastung zu berechnen, da lange und schlanke Bauteile zum „Knicken“ neigen.

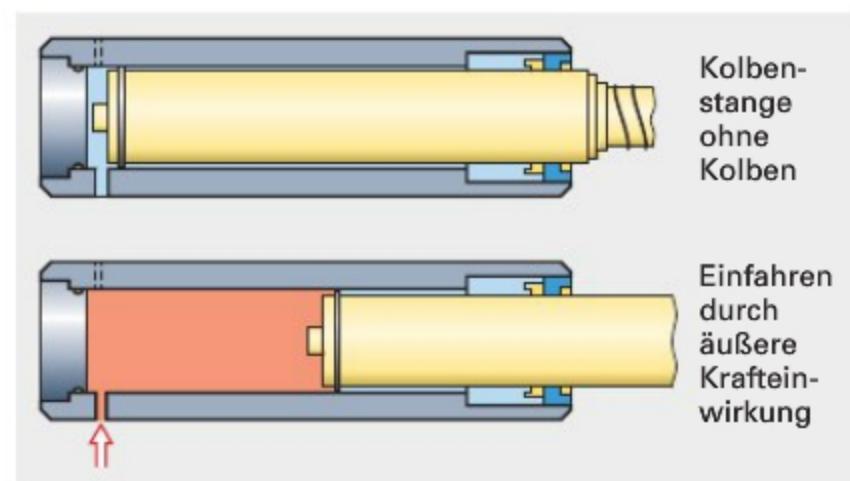


Bild 1: Plungerzylinder

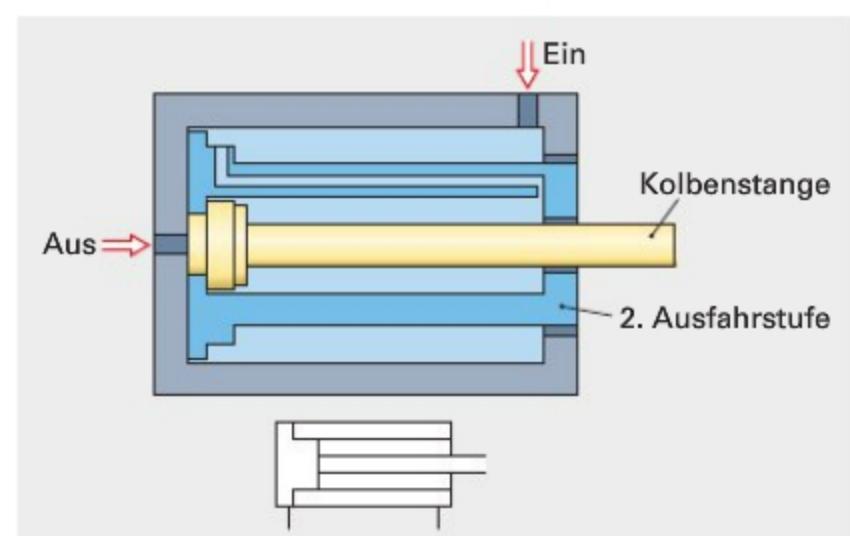


Bild 2: Teleskopzylinder

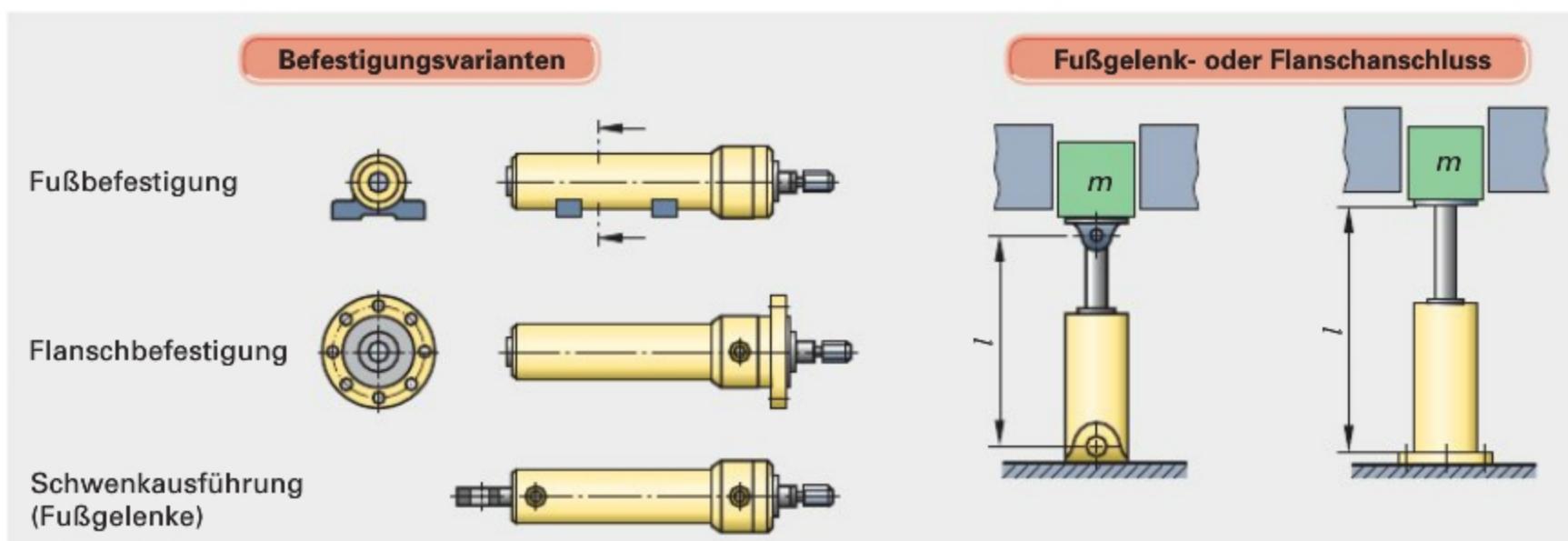


Bild 3: Befestigungsmöglichkeiten von Hydrozylindern mit Einbaubeispielen

Tabelle 1: Schaltzeichen der Hydrozylinder

Benennung	Sinnbild	Merkmale	Benennung	Sinnbild	Merkmale
Plungerzylinder	A	Kraftwirkung nur in einer Richtung, Kolben und Stange haben gleichen Durchmesser, Bsp.: Radbremszylinder	Gleichgangzylinder mit zweiseitiger Kolbenstange	A B	Gleiche Flächen in beide Wirkrichtungen, Bsp.: Lenkungszyliner
Einfach wirkender Zylinder mit einseitiger Kolbenstange	A	Kraftwirkung nur in einer Richtung, Rückstellung durch äußere Kraft	Teleskopzylinder	A	Kurze Bauform bei langem Hub, Bsp.: Lkw-Kipper
Doppelt wirkender Zylinder mit einseitiger Kolbenstange	A B	Kraftwirkung in beiden Richtungen, Ungleiche Flächen, Häufigste Bauform	Sonderzylinder	A B C	Mehrere wirksame Flächen für Eilgang, Arbeitsgang, Bsp.: Pressen



## ■ Hydromotoren

Hydromotoren haben in der Regel den gleichen konstruktiven Aufbau wie Hydropumpen des Hydroaggregats.

Hydromotoren formen die von den Pumpen an die Druckflüssigkeit abgegebene hydraulische Energie wieder in mechanische Energie (Rotationsbewegung) um (**Bild 1**). Dabei treibt die Druckflüssigkeit die Verdrängungselemente (Zahnräder, ggf. Flügel, Kolben usw.) an.

Für kleine Abtriebsdrehzahlen (Langsamläufer) eignen sich besonders Radialkolbenmotoren. Hydromotoren werden für eine oder zwei Stromrichtungen und als Konstant- oder Verstellmotoren gebaut. Damit können angeschlossene Baugruppen in einer oder beiden Drehrichtungen und mit konstanter oder verstellbarer Drehzahl angetrieben werden.

Bei Pumpen ist das Fördervolumen pro Umdrehung eine wichtige Kenngröße, bei Hydromotoren spricht man von einem Schluckvolumen  $V$  in  $\text{cm}^3/\text{U}$ .

**Beispiel:** Ein Zahnradmotor hat ein Schluckvolumen von  $V = 11 \text{ cm}^3/\text{U}$ . Wie groß ist der Schluckstrom bei einer Drehzahl von 1800/min?

**Lösung:** Aus dem Diagramm in **Bild 2** kann der Wert entnommen werden. Der Schluckstrom  $Q$  beträgt 20 l/min.

**Beispiel:** Aus dem Diagramm kann man ferner bei einer Druckbelastung des Motors von 150 bar eine Antriebsleistung von 5 kW ablesen. Wie lässt sich dieser Wert überprüfen?

**Lösung:** Die Leistung lässt sich wie folgt errechnen:

$$P = \frac{p_e \cdot Q}{600} [\text{kW}] = \frac{150 \cdot 20}{600} = 5 \text{ kW}$$

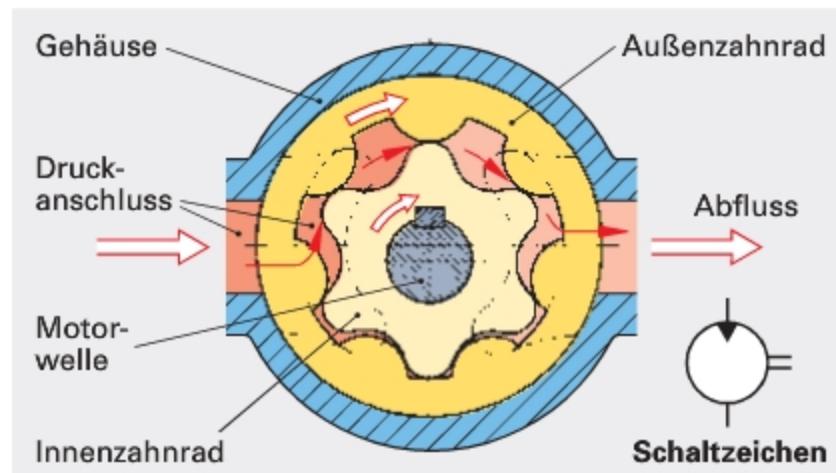
**Beispiel:** Ein Konstantmotor nimmt ein Volumen  $V = 10 \text{ cm}^3$  je Umdrehung auf und wird mit dem Volumenstrom  $Q = 2 \text{ l}/\text{min}$  gespeist. Welche Drehzahl hat der Motor?

$$\text{Lösung: } n = \frac{Q}{V} = \frac{2000 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}}{10 \text{ cm}^2} = 200 \frac{1}{\text{min}}$$

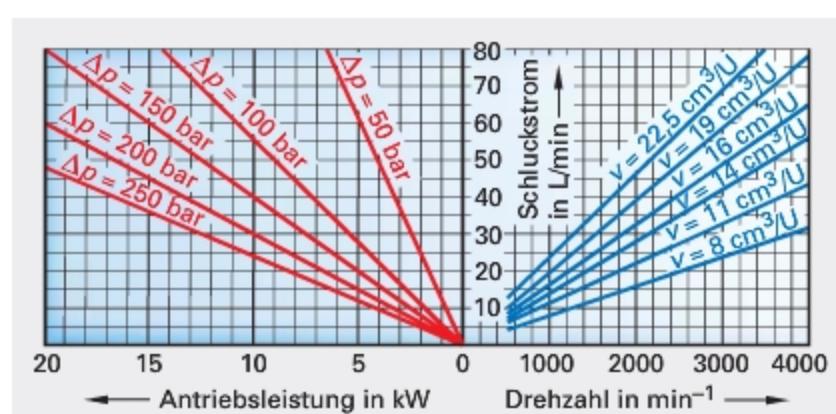
### Schaltplan für einen hydromechanischen Antrieb:

Der Maschinentisch wird mit einem Hydromotor über eine Gewindespindel angetrieben (**Bild 3**). Die Drehrichtungen des Hydromotors und damit die Bewegungsrichtungen des Maschinentisches werden durch ein 4/3-Wegeventil gesteuert. Die Nullstellung des Ventils erzeugt einen Stopp an der jeweiligen Position.

Die Verstellpumpe OP1 bewirkt das variable Einstellen der Drehzahlen des Hydromotor. Durch den Einbau von Stromregelventilen lassen sich die Drehzahlen ebenfalls variabel einstellen. Dann kann man auf die Verstellpumpe verzichten und diese durch eine einfachere Konstantpumpe ersetzen.



**Bild 1: Zahnring – Hydromotor**



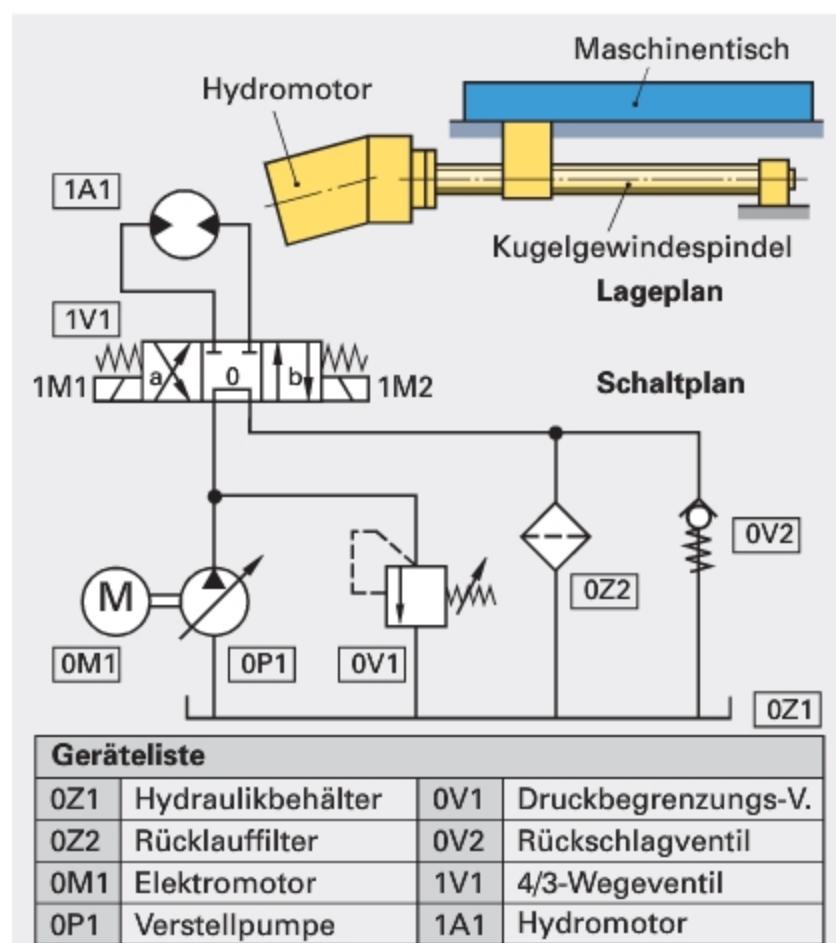
**Bild 2: Kennlinie eines Zahnradmotors**

### Leistung der Hydropumpe oder eines Hydromotors:

$$P = \frac{p_e \cdot Q}{600} [\text{kW}]$$

$p_e = \text{bar}$

$$Q = \frac{1}{\text{min}}$$



**Bild 3: Hydromechanischer Tischantrieb**

## ■ Hydrospeicher

Eine Energiequelle in der Hydraulik sind Hydrospeicher. Es gibt sie in unterschiedlicher Bauart und Größe mit diversem Zubehör (**Bild 1**).

**Funktionsweise.** In Hydrospeichern wird die Druckflüssigkeit gegen eine abgeschlossene Stickstoffmenge ( $N_2$ ) gedrückt und dadurch Energie gespeichert (**Bild 2**). Beim Laden zum Beispiel des Blasenspeichers drückt die in den Speicher strömende Druckflüssigkeit die Blase solange zusammen, bis der Gasdruck in der Blase gleich dem Flüssigkeitsdruck ist. Sinkt der Druck in der Anschlussleitung des Speichers, dann drückt die Blase soviel Druckflüssigkeit in die Leitung zurück, bis im Speicher wieder Druckgleichgewicht zwischen Öl und Gas herrscht (Entladen).

In Membranspeichern trennt eine Membran, in Kolbenspeichern ein im Speicherzylinder frei beweglicher Kolben den Flüssigkeitsraum vom gasbefüllten Raum.

Hydrospeicher glätten einen pulsierenden Volumenstrom und sorgen für eine wesentlich geräusch- und schwingungsärmeren Lauf beim Einsatz von Konstantpumpen. Diese fördern wegen ihrer Verzahnungsgeometrie einen ungleichmäßigen pulsierenden Volumenstrom (**Bild 3**).

### Aufgaben der Hydrospeicher

- Speichern von Druckflüssigkeit, solange die Zylinder und Hydromotoren nicht arbeiten
- Abgabe zusätzlicher Druckflüssigkeit bei Eilgangbewegungen
- Dämpfung von Schwingungen und Druckstößen
- Ausgleich von Leckverlusten
- Kurzzeitiger Ersatz einer ausgefallenen Pumpe für Notbetätigungen

**Steuerung mit Hydrospeicher** für eine Spannvorrichtung (Bild 3). Beim Vor- und Rücklauf des Spannzylinders geben die Pumpe und der Hydrospeicher gemeinsam Drucköl an den Zylinder ab. Dabei entleert sich der Speicher. Er wird wieder gefüllt, solange sich der Zylinder in den Endlagen befindet. Ist der Speicher voll, öffnet das Folgeventil und die Pumpe fördert direkt in den Behälter.

Speicher, bei denen das Produkt aus Druck (in bar) und Nennvolumen (in l) größer als  $200 \text{ bar} \cdot \text{l}$  ist, müssen folgende **Sicherheitseinrichtungen** besitzen:

- Nicht abschaltbare Manometer (OZ3)
- Eigenes Druckbegrenzungsventil (OV4)
- Sperrventil zur übrigen Anlage (OV3)
- Ablassventil zum Entleeren des Speichers (OV5)



Bild 1: Speicherkomponenten

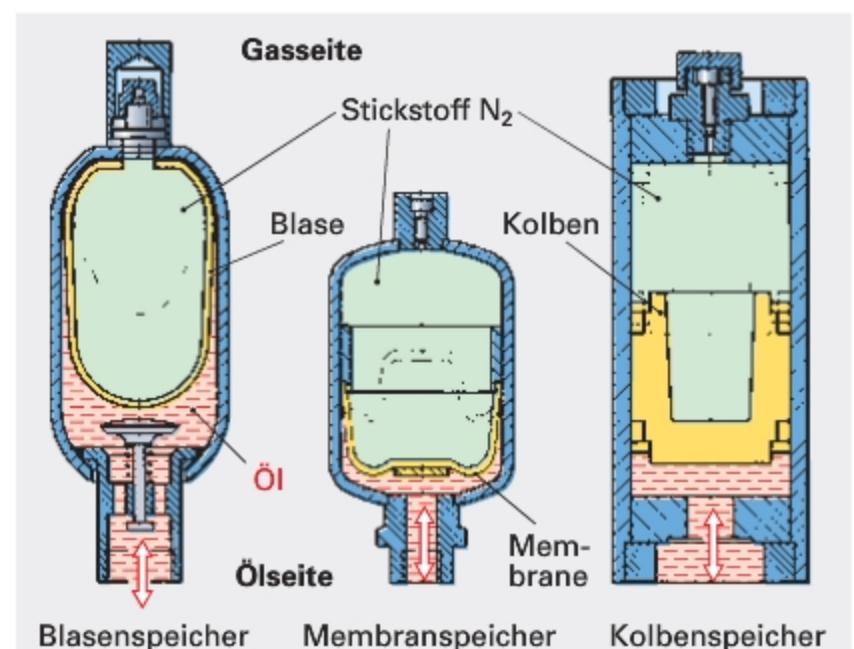


Bild 2: Hydrospeicher

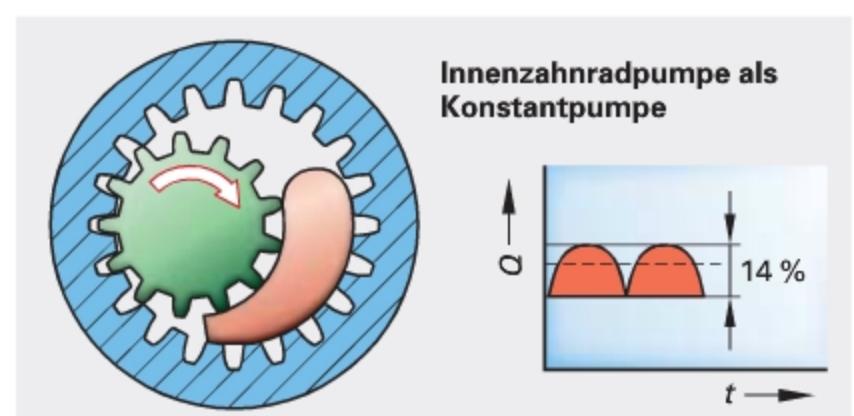


Bild 3: Pulsation des Pumpenvolumenstroms

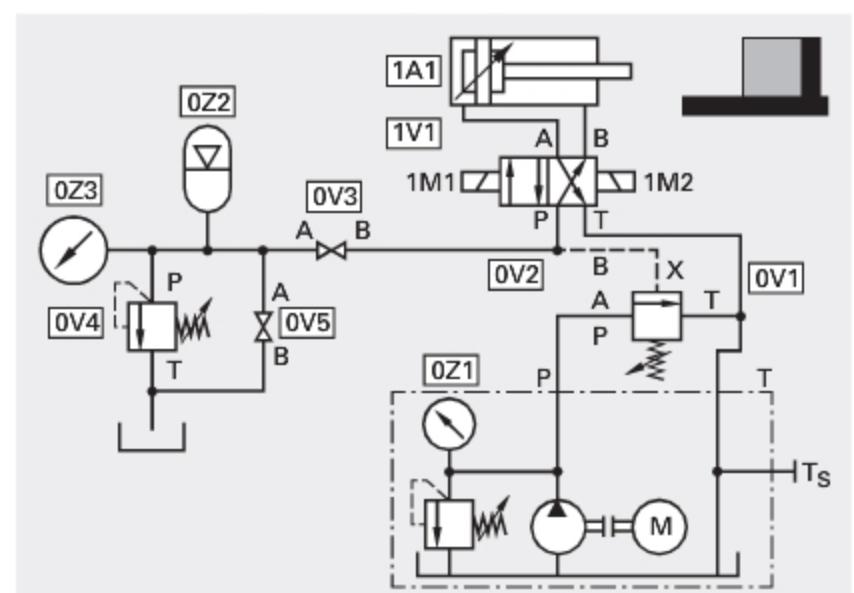


Bild 4: Steuerung mit Hydraulikspeicher

### 8.5.3 Hydraulikventile

Bei den hydraulischen Ventilen unterscheidet man wie bei den pneumatischen Ventilen Wege-, Druck-, Sperr- und Stromventile.

#### Wegeventile

Wegeventile werden nach ihrer Bauart in Sitz- oder Schieberventile eingeteilt (**Bild 1**). Die Sperrelemente oder Längsschieber öffnen oder schließen die Anschlüsse P (Druck), T (Tank) oder die Arbeitsleitungen A oder B.

Sitzventile haben wegen der Geometrie der Abdichtelemente (Kugel, Kegel oder Ventilteller) eine hohe Leckagesicherheit und Schmutzunempfindlichkeit, das durchströmende Öl hat einen Selbstreinigungseffekt. Für ihre Betätigung sind jedoch hohe Kräfte erforderlich, sodass Sitzventile nur selten zum Einsatz kommen.

Bei Kolbenschieberventilen wird das Schaltverhalten durch die Kolbenüberdeckung bestimmt (**Bild 2**).

Bei **positiver** Schaltüberdeckung sind beim Umschalten von Schaltstellung b nach a kurzzeitig alle Anschlüsse gegeneinander abgesperrt. Der Druck bricht nicht zusammen, es entstehen aber hohe Druck spitzen, und die angesteuerten Arbeitselemente sprechen heftig an.

Die **Nullüberdeckung** ist für schnelles Schalten und kurze Schaltwege wichtig. Eine **Druckvoröffnung** bedeutet, dass zuerst Pumpe und Zylinderzulauf verbunden werden, bevor der Ablauf zum Tank öffnet. Bei der **Ablauvoröffnung** wird dagegen zuerst der Ablauf des Arbeitselements zum Tank entlastet, bevor Zulauf und Pumpe verbunden werden.

Bei **negativer** Schaltüberdeckung sind alle Anschlüsse kurzzeitig miteinander verbunden (**Bild 3**). Der Druck fällt kurzzeitig auf 0 bar. Eine Last würde sich beim Umschalten absenken. Es entstehen jedoch keine Druck spitzen und Schaltschläge.

Die hydraulischen Wegeventile erhalten im Schaltplan im Gegensatz zur Pneumatik (**Bild 4** und Seite 494) die Anschlussbezeichnungen A, B usw.

Bei größeren Wegeventilen würde bei direkter elektrischer Betätigung des axialen Steuerkolbens die zum Schalten notwendige elektrische Leistung sehr groß werden. Deshalb wird nur das zusätzlich aufgebaute kleine **Vorsteuerventil** elektromagnetisch betätigt. Dieses gibt Druckflüssigkeit frei, die das Hauptventil schaltet (**Bild 5**).

Beim Betätigen des Elektromagneten für Schaltstellung a wird der Kolben des Vorsteuerventils nach rechts geschoben. Dadurch fließt im Vorsteuerventil Druckflüssigkeit von P nach A und damit auf die rechte Seite des Hauptventils. Der Hauptsteuerkolben schaltet nach links und gibt die Wege von P nach A und von B nach T frei.

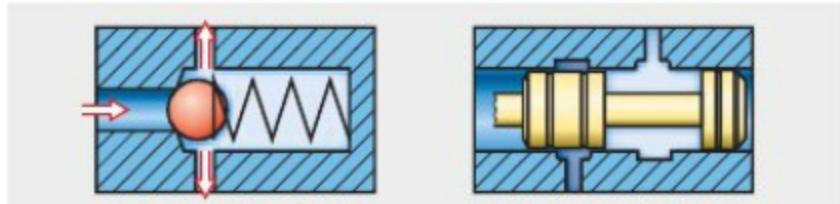


Bild 1: Sitz- und Längsschieberprinzip

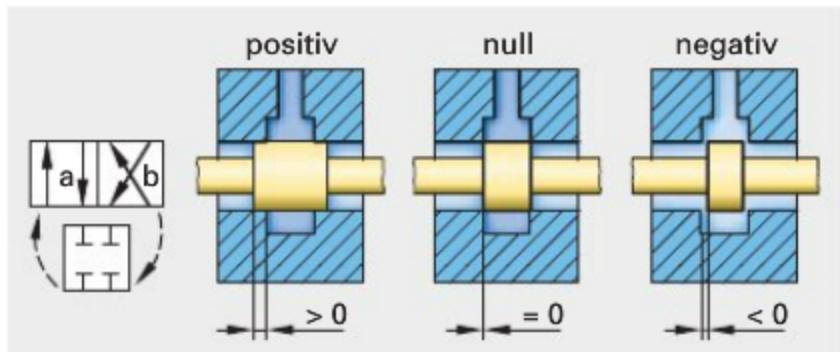


Bild 2: Schaltüberdeckungen

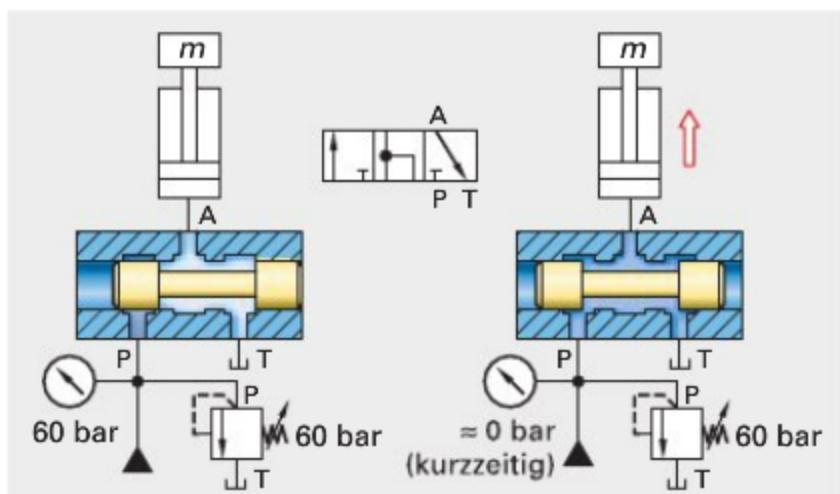


Bild 3: Zylinderbewegung bei negativer Überdeckung des Kolbenschiebers

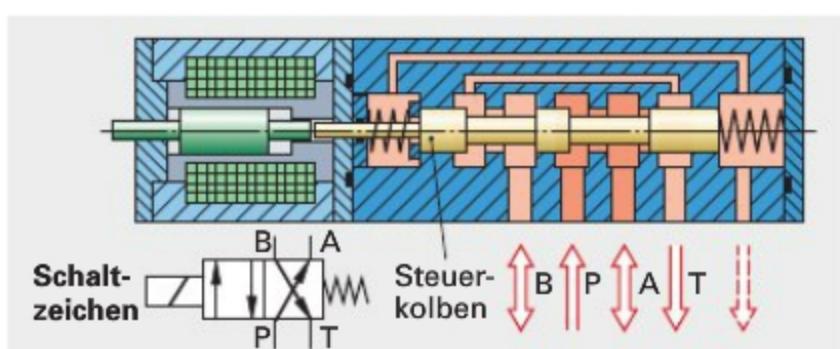


Bild 4: Elektromagnetisch betätigtes 4/2-Wegeventil

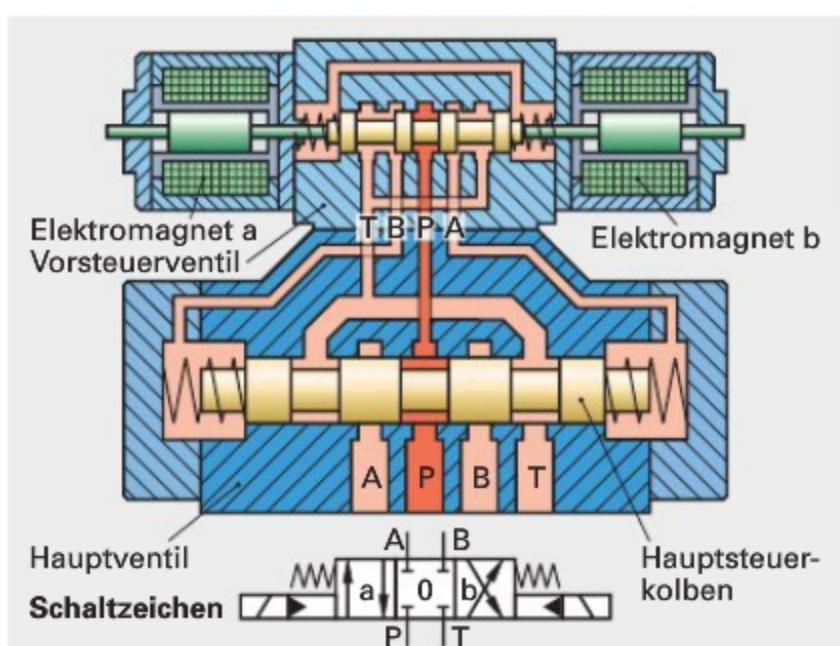


Bild 5: Hydraulisch vorgesteuertes Wegeventil

## ■ Druckventile

Bei den Druckventilen unterscheidet man regelnde und schaltende Ventile. Zu den **Druckregelventilen** gehören das Druckbegrenzungs- und das Druckminderventil. Beide halten in einem Hydrauliksystem den Druck unabhängig von der Belastung konstant.

Beim **Druckbegrenzungsventil** (Bild 1) regelt der Eingangsdruck die Ventilstellung. Es sichert den Anlagendruck des Systems oder die Hydraulikpumpe ab. Zunächst geschlossen, beginnt der Kolbenschieber gegen den Federdruck zu öffnen, wenn ein eingestellter Wert erreicht wird.

Das **Druckminderventil** (Bild 2) ist in der Ausgangsstellung zunächst offen. Steigt der Ausgangsdruck und damit der Druck in der Steuerleitung, verschiebt sich der Steuerkolben gegen die eingestellte Federkraft. Der Ausgangsdruck stellt sich auf den eingestellten Wert ein.

Das **Druckschaltventil** (Folgeventil) schaltet bei dem eingestellten Druck weitere Zylinder zu oder schaltet Pumpen ab (Bild 4). Es öffnet sich, wenn der Druck an der vorgesehenen Stelle der Steuerung den Schalldruck erreicht hat.

**Bauarten.** Druckventile werden als direkt gesteuerte und als **vorgesteuerte Ventile** gebaut. Bei den vorgesteuerten Ventilen wird das Sperrelement nicht durch eine Feder, sondern durch die Druckflüssigkeit selbst geschlossen (Bild 3). Erreicht der Druck den mit der Vorsteuerfeder eingestellten Wert, öffnet das Vorsteuerventil. Durch das Abfließen der Druckflüssigkeit und durch die Drossel im Sperrelement nimmt die Schließkraft ab. Das Ventil öffnet den Durchgang von A nach B.

**Beispiel.** Bei der **hydraulischen Biegevorrichtung** (Bild 4) werden Blechteile durch den Zylinder 1A1 zunächst gespannt und danach durch den Zylinder 2A1 gebogen. Der Systemdruck und gleichzeitig die Absicherung der Pumpe werden mit dem Druckbegrenzungsventil z.B. auf 250 bar eingestellt. Dieser Druck wird mit dem Druckminderventil im Zufluss zum 4/2-Wegeventil auf 100 bar reduziert. Mit diesem Druckwert und der Kolbenfläche des Zylinders 2A1 ist die maximale Biegekraft festgelegt. Hat der Spannzylinder 1A1 das Blechteil gespannt, baut sich der Druck in der Steuerleitung X auf. Erreicht dieser den am Zuschaltventil eingestellten Wert von z.B. 150 bar, schaltet dieses durch. Der Biegezylinder kann jetzt ausfahren. Dadurch ist sichergestellt, dass das Werkstück vor dem Biegevorgang sicher gespannt ist.

Eine derartige Folgeschaltung wird auch als druckabhängige Fremdsteuerung bezeichnet. Voraussetzung sind Zuschaltventile mit Steueranschluss X (Bild 5).

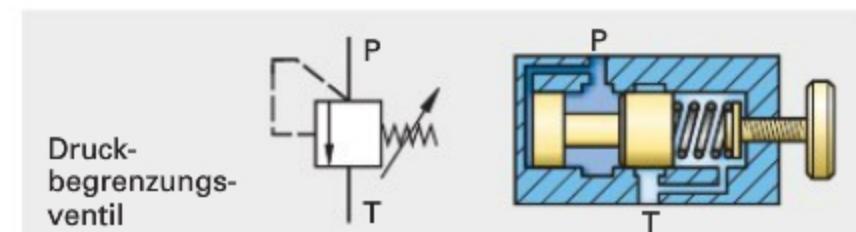


Bild 1: Druckbegrenzungsventil (regelnd)

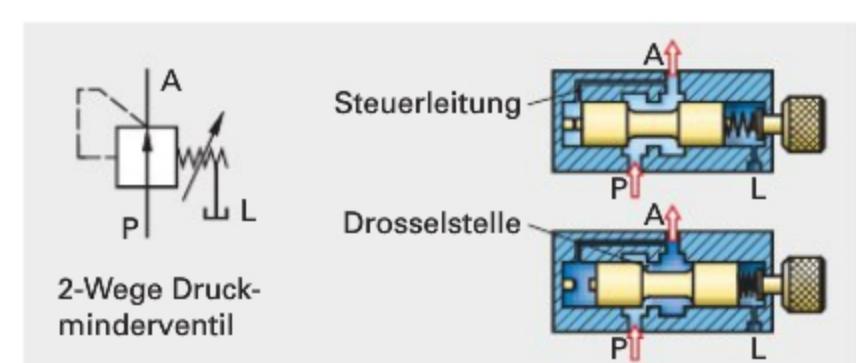


Bild 2: Druckminderventil (regelnd)

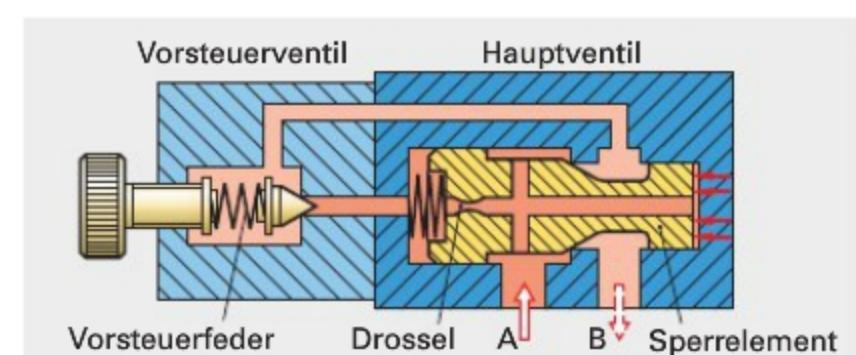


Bild 3: Vorgesteuertes Druckventil

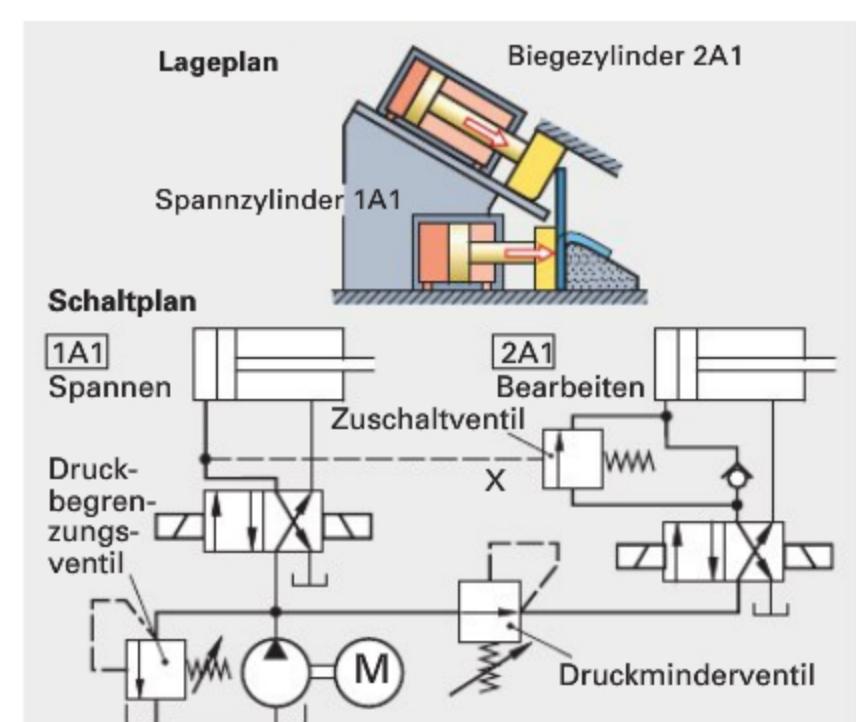


Bild 4: Druckventile in der Steuerung einer hydraulischen Biegevorrichtung

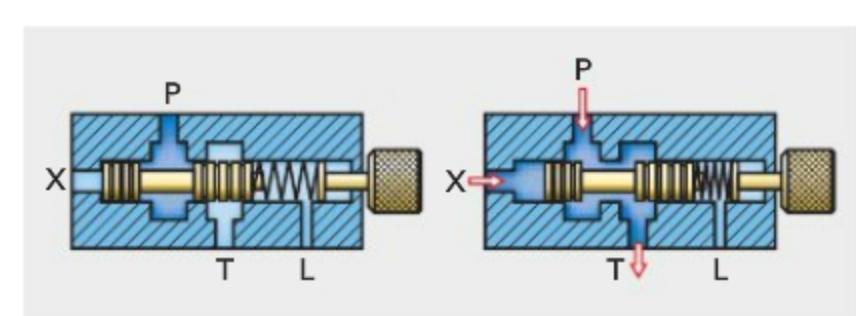


Bild 5: Zuschaltventil oder Folgeventil

## ■ Sperrventile

Alle Sperrventile ermöglichen den Durchfluss der Hydraulikflüssigkeit nur in einer Richtung und sperren den Durchfluss in der Gegenrichtung. Eine Ausnahme sind die entsperrbaren Rückschlagventile, bei denen man durch eine hydraulische Gegenkraft mit Druckübersetzung entsperren kann (**Bild 1**).

Die Ventile müssen leckölfrei schließen. In der Bauweise als Sitzventil werden sie in Kegel-, Kugel-, Patronen- oder Tellerform gebaut.

Rückschlagventile lassen sich in Schaltung vielfältig einsetzen (**Bild 2**). Sie verhindern das ungewollte Antreiben von Pumpen (0V1). In Bypassleitungen können verschmutzte Filter kurzfristig umströmt werden (0V4): Unerwünschte Strömungsrichtungen können gesperrt werden, z.B. bei 0V3.

**Entsperrbare Rückschlagventile** werden eingesetzt, wenn man das langsame Absinken von großen Lasten verhindern möchte, z.B. an Kfz-Hubbühnen. Die Absperrwirkung der Steuerkolben der Stellelemente ist nicht groß genug, der Sperrkörper eines vorgeschalteten Rückschlagventils dichtet besser (**Bild 3**).

Die Sperrwirkung muss jedoch über den **Steueranschluss X** aufgehoben werden können. Der Steuerkolben drückt das Kegelsitzventil im Sperrventil auf. Dadurch sinkt der Druck im Anschluss B. Der Steuerkolben kann nun den Sperrkörper öffnen. Konstruktiv muss dazu die Kolbenfläche des Steuerkolbens wesentlich größer sein, damit das Kegelsitzventil mit kleiner Fläche gegen den ansteigenden Druck verschoben werden kann.

## ■ Stromventile

Die hydraulischen Stromventile gibt es als Steuer- oder Regelventile (**Bild 4**). Sie werden eingesetzt, um die **Geschwindigkeit** eines Zylinders oder die **Drehzahl** eines Hydromotors zu ändern. Das geht nur über eine Veränderung des Volumenstroms  $Q$ , der der Geschwindigkeit  $v$  proportional ist.

Konstantpumpen liefern immer einen konstanten Volumenstrom. Würde man an einer einstellbaren Drossel den Querschnitt kleiner machen, würde lediglich der Druck vor der Engstelle des Stromventils ansteigen.

Der Druckanstieg muss so groß werden, dass man in den Regelbereich des Druckbegrenzungsventils gerät. Dann beginnt sich der Volumenstrom zu teilen: Ein Teil des Öls strömt weiterhin zum Hydraulikzylinder oder einen Hydromotor, der andere Teil geht über das Druckbegrenzungsventil in den Tank zurück. Auf diese Art lassen sich die Geschwindigkeiten oder Drehzahlen verändern.

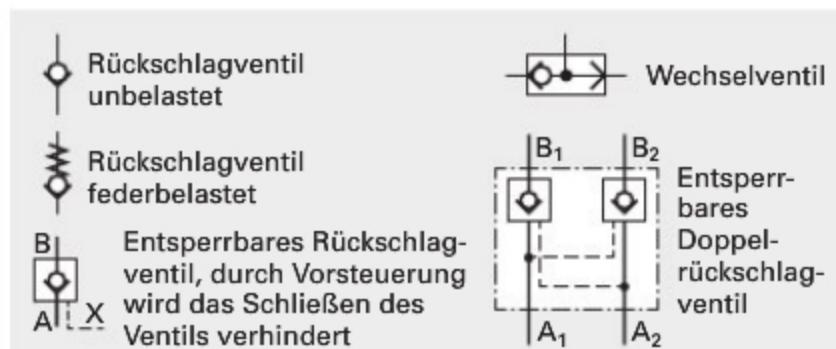


Bild 1: Übersicht Sperrventile

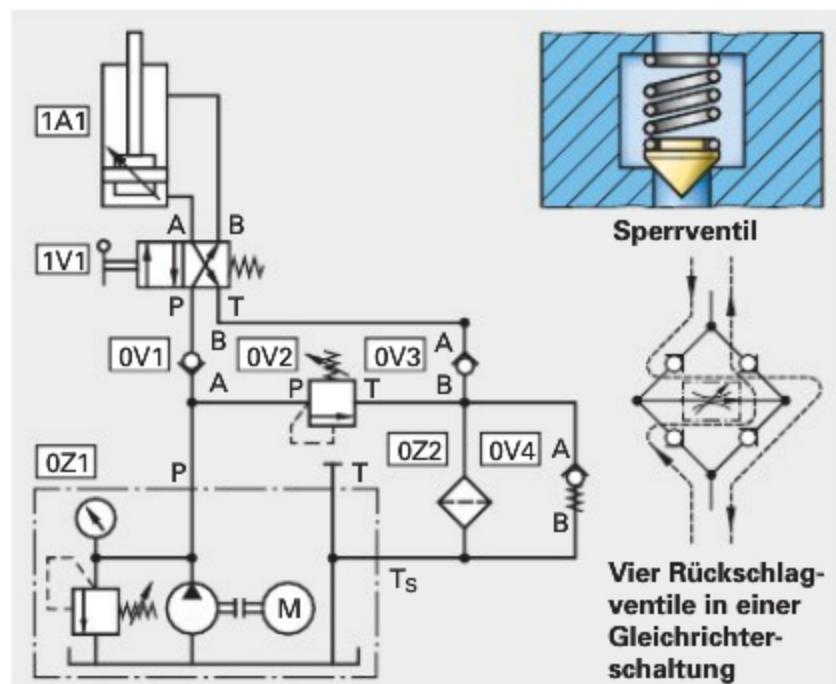


Bild 2: Einsatzmöglichkeiten von Sperrventilen in hydraulischen Schaltplänen

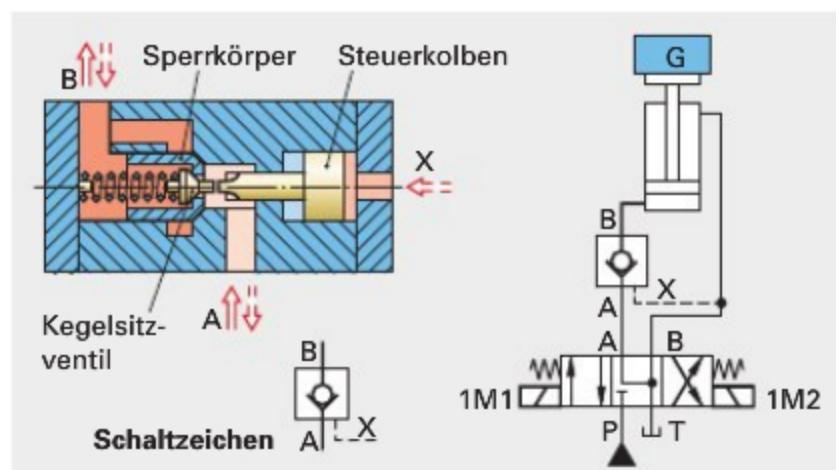


Bild 3: Entsperrbares Rückschlagventil

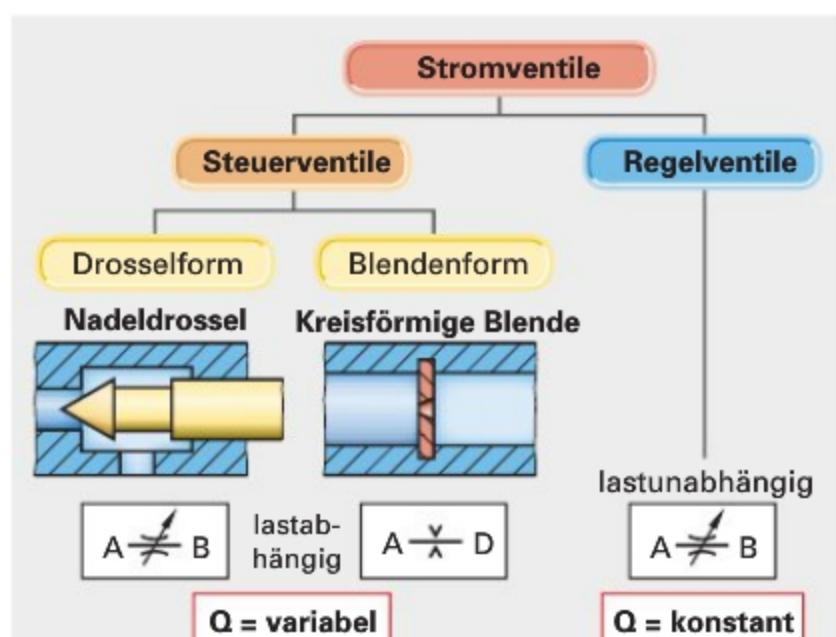


Bild 4: Stromventile – Drossel-/Blendenform

Die Drosseln und Blenden können in ihrem Querschnitt fest oder veränderlich sein (**Bild 1**). Blenden sind generell viskositätsunabhängig.

**Drosselventile.** Bei der hydraulischen Presse (**Bild 2**) tritt am Werkstück während des Hubes eine unterschiedliche Kraft  $F$  auf. Damit ändert sich am Drosselventil die Druckdifferenz  $\Delta p = p_1 - p_2$  und damit der Durchfluss  $Q$ . Der Kolben fährt mit unterschiedlicher Geschwindigkeit  $v$  aus.

Bei Drosselventilen hängt der Volumenstrom vom eingestellten Durchflussquerschnitt und von der Differenz der Drücke  $p_1 - p_2$  zwischen den beiden Anschlüssen A und B ab.

Drosselventile werden deshalb nur eingesetzt, wenn sich die Belastung des Kolbens wenig ändert. Leitungen mit kleinem Durchmesser wirken ebenfalls wie Drosselventile.

**Stromregelventile.** Stromregelventile besitzen eine Regeldrossel mit Regelkolben als Druckwaage und eine einstellbare Drossel bzw. Messblende (**Bild 3**).

Die Anordnung der Druckwaage bestimmt die Bauart des Stromregelventils: Bei Reihenschaltung mit der Messdrossel spricht man von einem 2-Wege-Stromregelventil, liegt sie parallel zur Messdrossel, erhält man ein 3-Wege-Stromregelventil.

Die Druckwaage kann der Messdrossel vor- oder nachgeschaltet werden (**Bild 4**).

Der Regelkolben wird von der rechten Seite mit  $p_2$ , auf der linken Seite von  $p_3$  und  $F_f$  beaufschlagt.

Für das Gleichgewicht gilt die Bedingung:

$$p_2 \cdot A = (p_3 \cdot A) + F_f \Rightarrow p_2 \cdot A - p_3 \cdot A = F_f$$

$$A \cdot (p_2 - p_3) = F_f$$

$$\text{für } \Delta p = p_2 - p_3 \text{ ergibt sich } \Delta p = \frac{F_f}{A} = \text{const.}$$

Stromregelventile halten die Druckdifferenz  $\Delta p$  an der Blende unabhängig von den Drücken an den Anschlüssen A und B konstant und damit auch den durchfließenden Volumenstrom.

Sinkt z.B. der Druck am Arbeitsanschluss B, würde bei gleich bleibendem Druck  $p_1$  mehr Öl durch das Ventil fließen. Der sinkende Druck  $p_3$  entlastet jedoch die linke Seite des Regelkolbens. Dieser bewegt sich nach links. Der Spalt am Zufluss des Regelkolbens wird enger. Der Druck  $p_2$  sinkt, bis an der Blende wieder die gleiche Druckdifferenz  $\Delta p = p_2 - p_3$  herrscht. Der Regelkolben wirkt als „Druckwaage“.

Der Volumenstrom und damit die Geschwindigkeit des Kolbens bleiben konstant, unabhängig von der Belastung des Kolbens (**Bild 5**).

Die Größe des Volumenstroms kann durch Ändern des festen Drosselquerschnittes eingestellt werden.

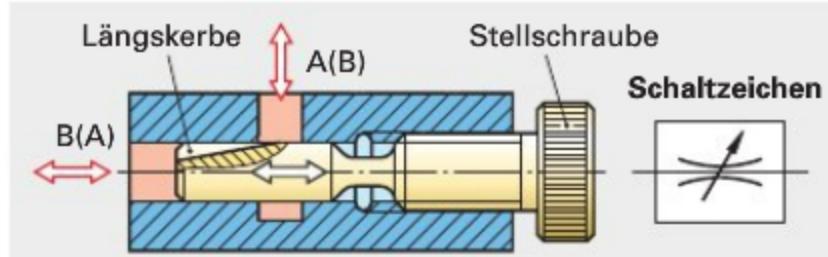


Bild 1: Einstellbares Drosselventil

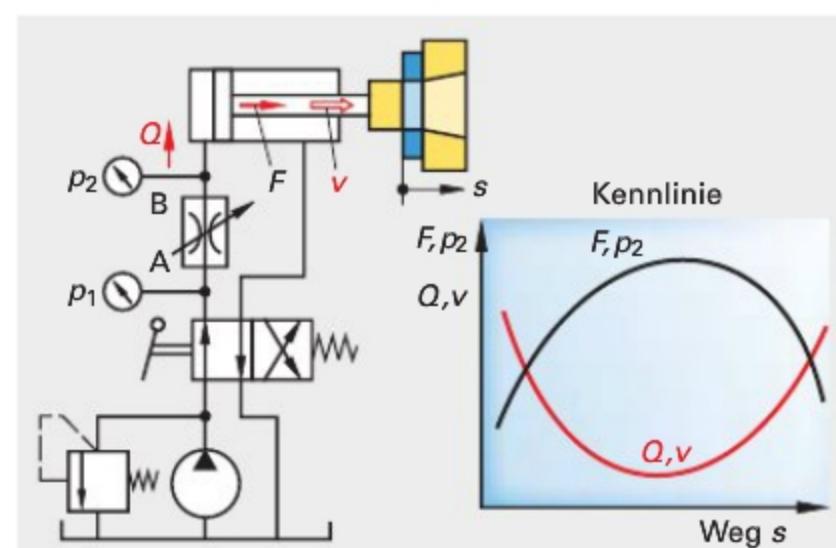


Bild 2: Verhalten von Drosselventilen

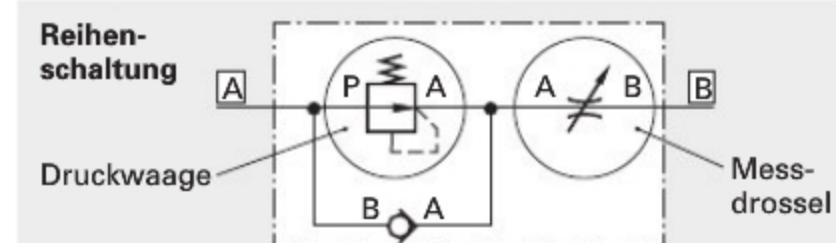


Bild 3: Prinzip 2-Wege-Stromregelventil

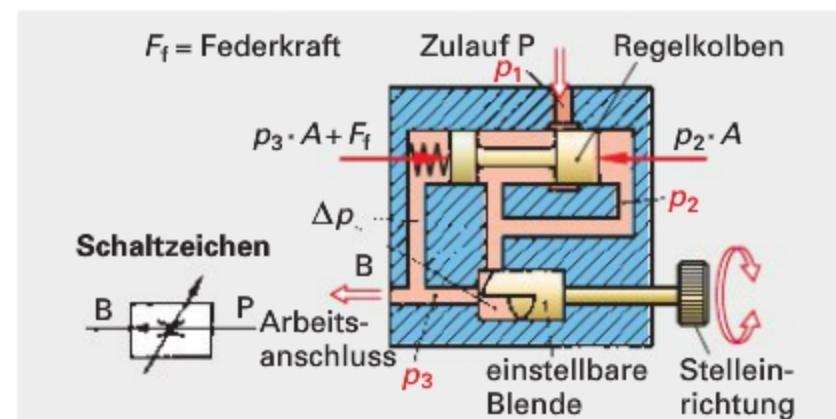


Bild 4: 2-Wege-Stromregelventil mit vorgeschalteter Druckwaage

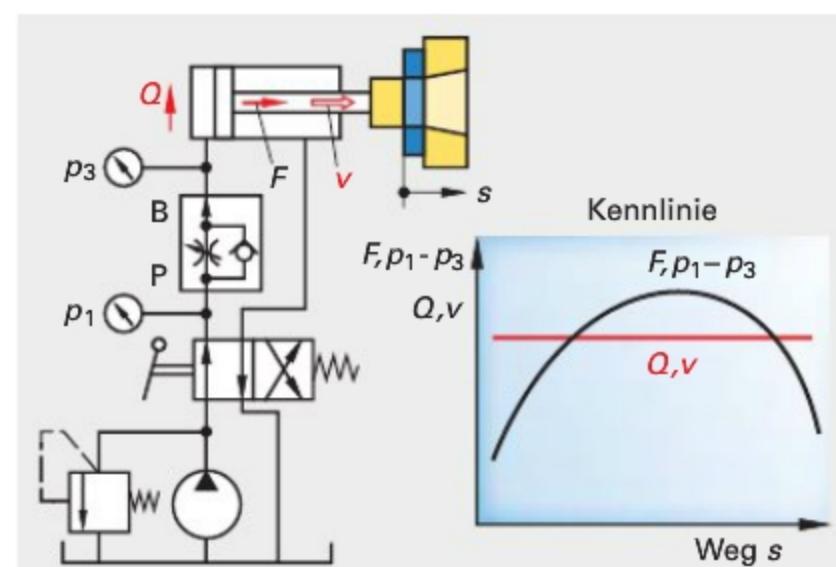


Bild 5: Verhalten von Stromregelventilen

## 8.5.4 Proportionalhydraulik

Bei der **Proportionaltechnik** in der Hydraulik wird die vom Regler an einer elektronischen Verstärkerkarte anliegende Spannung in einen elektrischen Strom umgewandelt (z. B. 10 mV → 10 mA). Dieser elektrische Strom ist die Eingangsgröße am Proportionalmagneten (**Bild 1**). Dieser Magnet, der mit einem Ventil kombiniert ist, liefert proportional zur Stromstärke die Ausgangsgröße Kraft oder Weg.

### ■ Elektronische Verstärkerkarte

Proportionalventile werden mit einem Eingangstrom  $I$ , der zwischen  $-20 \text{ mA}$  und  $+20 \text{ mA}$  variiert, elektronisch angesteuert. Diesen variablen Strom liefern elektronische Bauteile, die auf einer Leiterplatte in der Verstärkerkarte angebracht sind (**Bild 2**). Des Weiteren befindet sich auf der Verstärkerkarte ein Netzteil, das die gewünschte Sollwertspannung für die einstellbaren Potenziometer liefert.

Der Verstärkerkartenausgang liefert den proportional gewandelten Spannungssollwert als Magnstrom an den Proportionalmagneten.

**Elektronische Verstärker** werden für die Ansteuerung von Proportionalventilen verwendet.

### ■ Proportionalmagnet

Proportionalmagnete werden mit Gleichstrom betrieben (**Bild 3**). Sie werden deshalb auch als Gleichstrommagnete bezeichnet. Sie setzen den Eingangstrom in eine proportionale Kraft am Stößel des Magneten um. Im Arbeitsbereich des Magneten ist die Kraft-Hubkennlinie konstant (waagerecht) und somit direkt proportional zum fließenden Strom durch die Spule.

Proportionalmagnete können kraftgesteuert oder weggesteuert sein.

Bei der **Kraftsteuerung** ist die Magnetkraft direkt proportional zum Strom, bei einem Hub nahe Null. Dabei steht der elektromagnetischen Kraft die Hydraulische Druckkraft am Drosselspalt entgegen (**Bild 4**).

Bei der **Wegsteuerung** wirkt die Magnetkraft über einen Magnetstößel gegen eine Feder und erzeugt einen Hub (2 bis 3 mm). Der Hub entspricht z. B. einer Drosselstellung und ist somit proportional zum Durchfluss  $Q$  des Öls im Ventil (**Bild 4**).

Proportionalmagnete sind stetig steuerbare Gleichstrommagnete, die den durch sie fließenden Strom proportional in Kraft oder Weg umsetzen.

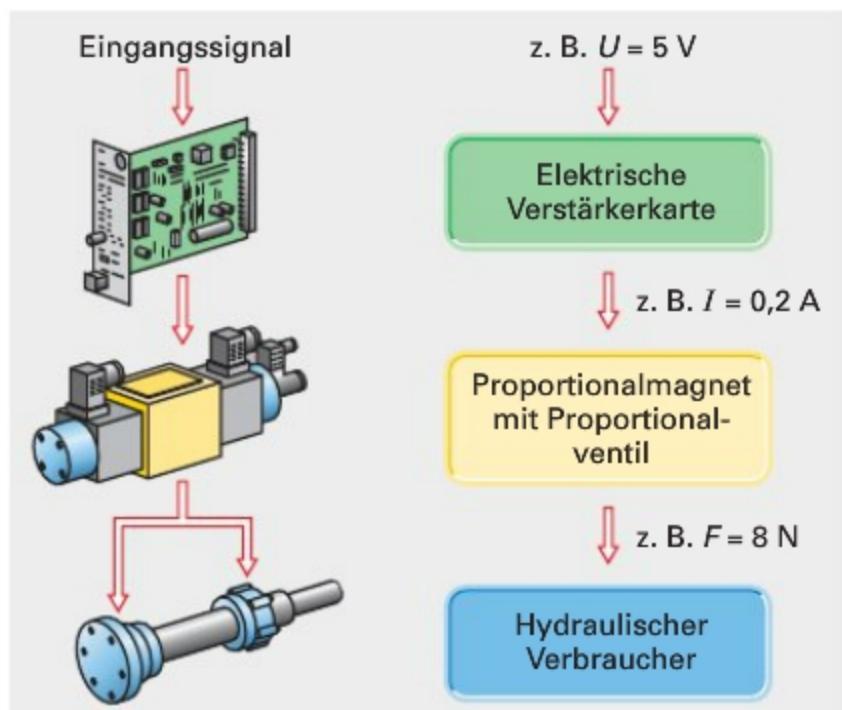


Bild 1: Signalverlauf der Proportionalhydraulik



Bild 2: Elektronische Verstärkerkarte

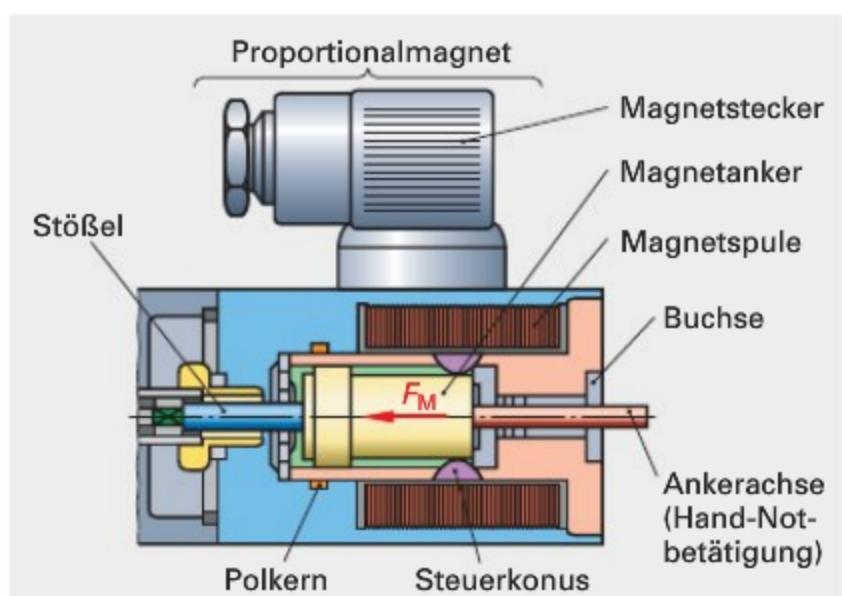


Bild 3: Proportionalmagnet

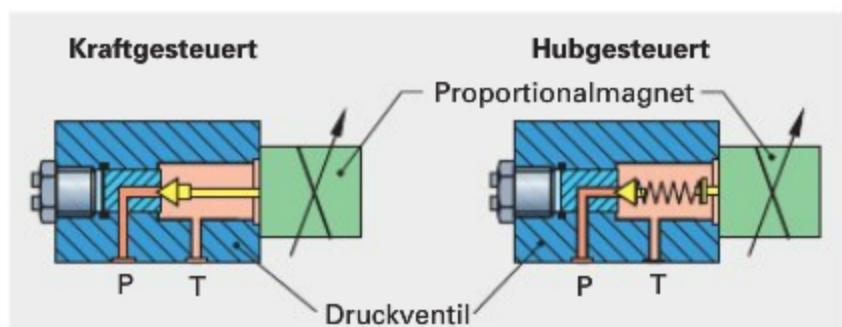


Bild 4: Arbeitsweise der Proportionalmagnete

## ■ Proportionalventile

Als Proportionalventile bezeichnet man Wege-, Strom- und Druckventile, bei denen die Größe eines analogen oder digitalen elektrischen Eingangssignals ein entsprechendes (proportionales) hydraulisches Ausgangssignal bewirkt (**Bild 1**).

Proportionalventile werden zum weichen Beschleunigen und Verzögern von Zylindern und Hydromotoren und zur stufenlosen Einstellung von Drücken und Volumenströmen eingesetzt.

Proportionalventile sind stetig verstellbare Wege-, Druck- oder Stromventile, die mittels eines Proportionalmagneten ein analoges Eingangssignal in ein proportionales hydraulisches Ausgangssignal wandeln.

### Proportional-Wegeventil

Das Proportional-Wegeventil (**Bild 2**) dient zur Beeinflussung von Richtung und Größe eines Volumenstromes. Dabei verschiebt der Proportionalmagnet den Steuerkolben und gibt damit den Volumenstrom  $Q$  frei, welcher zur Stromstärke  $I$  proportional ist. Über den Wegaufnehmer erfolgt die Signalrückführung des Istwertes (Kolbenstellung). Im Regelverstärker wird die eingenommene Lage des Ventilkolbens mit dem Sollwert verglichen und bei Abweichung korrigiert.

Proportional-Wegeventile werden durch Proportionalmagnete direkt betätigt. Sie dienen zur Beeinflussung von Größe und Richtung eines Flüssigkeitsstromes.

### Proportional-Druckventil

Proportionale-Druckventile sind Vorsteuerventile, bei denen die Einstellschraube durch einen weggesteuerten bzw. weggeregelten Proportionalmagneten ersetzt wird (**Bild 3**). Dieser Magnet wirkt direkt auf den Kegel. Damit gibt der Strom proportional den Anpressdruck vor.

Proportionale Druckventile werden als Druckbegrenzungsventile, als Druckreduzierventile und als Vorsteuerventile für Proportional-Wegeventile eingesetzt.

Proportionale-Druckventile sind Steuerventile, bei denen ein induktiver Wegaufnehmer am Magnetanker seine Stellung überwacht.

### Proportional-Stromventil

Proportional-Stromventile (**Bild 4**) sind Stromregelventile (Seite 534). Sie können, einen vom elektrischen Sollwert vorgegebenen Ölstrom über den proportionalen Hubmagneten, druck- und temperaturunabhängig regeln.

Die Funktion der Proportional-Stromventile wird häufig von Proportional-Wegeventilen wahrgenommen.

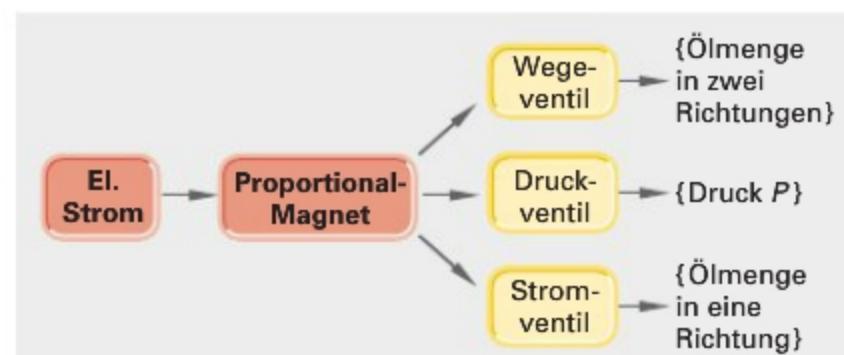


Bild 1: Proportionalventilarten

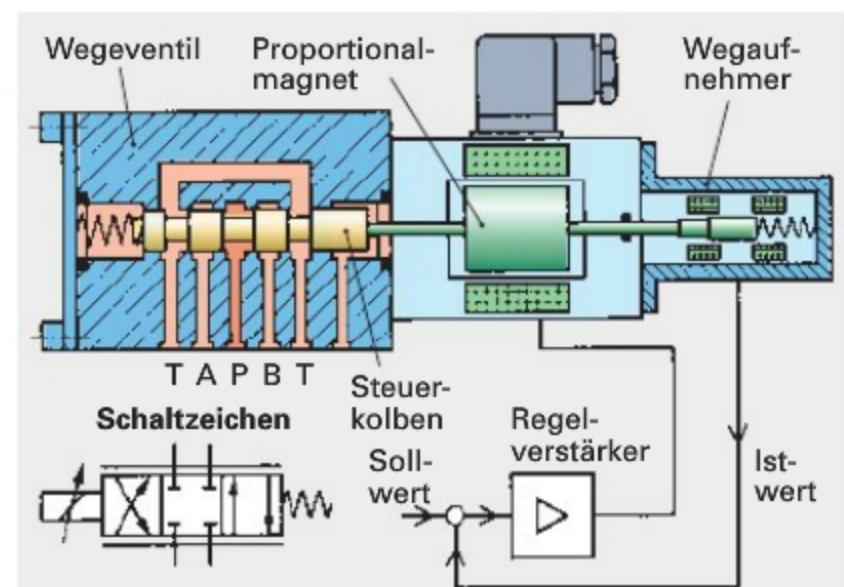


Bild 2: Proportional-Wegeventil

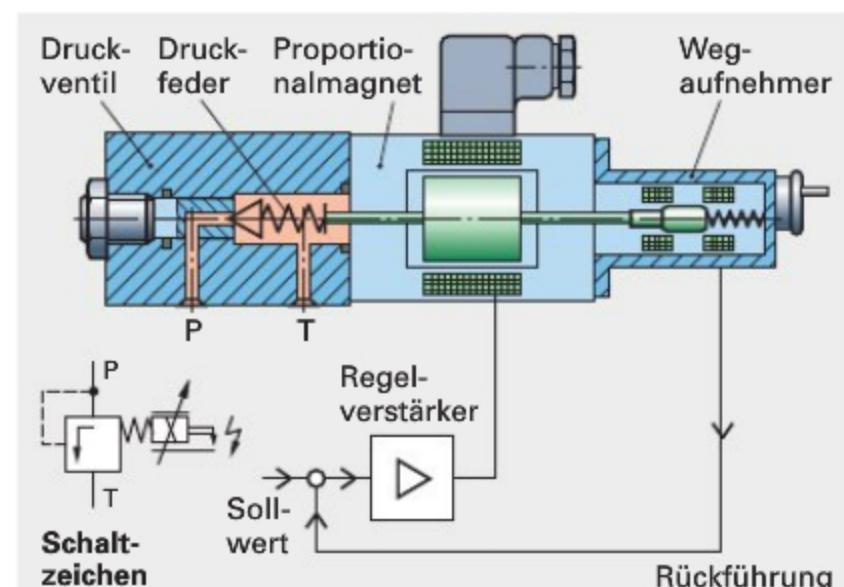


Bild 3: Proportional-Druckventil

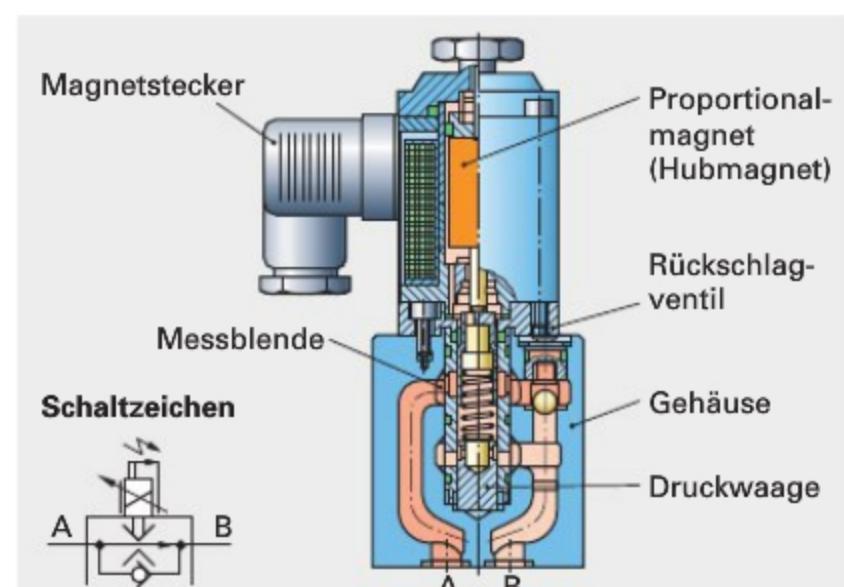


Bild 4: Proportional-Stromventil

## 8.5.5 Hydraulikleitungen und Zubehör

Rohre, Schläuche und Verschraubungen transportieren das Hydrauliköl vom Hydroaggregat zu den hydraulischen Arbeitselementen und zurück. Die Leitungsverbindungen wirken im hydraulischen Kreislauf immer als Widerstand.

Der hydraulische Widerstand hängt von der Strömungsgeschwindigkeit und der Strömungsart (laminar oder turbulent) ab (**Bild 1**). Verschraubungselemente und lange Leitungen erhöhen den Widerstand und damit die Verluste zusätzlich. Bestimmte Strömungsgeschwindigkeiten sollen daher nicht überschritten werden (**Tabelle 1**).

**Beispiel:** Der Volumenstrom einer Hydraulikpumpe beträgt  $Q = 12 \text{ l/min}$ . Der Rohrinnendurchmesser  $d_i = 8 \text{ mm}$ . Wie hoch wird die Strömungsgeschwindigkeit?

$$\begin{aligned} \text{Lösung: } Q &= A \cdot v \rightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{Q \cdot 4}{d^2 \cdot \pi} \\ &= \frac{12000 \text{ cm}^3 \cdot 4}{0,8^2 \text{ cm}^2 \cdot \pi \text{ min}} \\ &= 23873,24 \frac{\text{cm}}{\text{min}} = 3,98 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Der Wert liegt im Bereich der Richtwerte (Tabelle 1) für Druckleitungen über 50 bar.

### Rohre und Rohrverschraubungen

**Rohre.** Als Rohre werden vorwiegend blankgezogene Präzisionsstahlrohre (NBK) verwendet. Die Rohrverschraubung greift am Außendurchmesser  $d_a$  an. Der Innendurchmesser  $d_i$  wird nach dem Volumenstrom  $Q$ , der Wanddicke  $s$  und dem Betriebsdruck  $p_{zul}$  der Leitung gewählt (**Tabelle 2**).

Die Bezeichnung des Rohres enthält den Außen- durchmesser  $d_a$  und die Wanddicke  $s$ , z.B.

Rohr HPL E335-NBK12x2.

Die Rohre werden in Vorrichtungen gebogen. Der Biegeradius richtet sich nach dem Rohrdurchmesser. Vor der Rohrverschraubung muss der Bogen in ein gerades Stück übergehen.

**Rohrverschraubungen.** Es werden Schneidringverschraubungen (**Bild 2**) und Bördelverschraubungen verwendet. Bei der Schneidringverschraubung wird durch das Anziehen der Überwurfmutter ein Schneidring in den Innenkegel des Anschlussstutzens gedrückt. Der Schneidring schneidet sich dabei in das Rohr ein, presst es gegen die Planfläche des Anschlussstutzens und dichtet so ab. Das Rohrende muss genau rechtwinklig zur Rohrachse abgelängt werden.

Man unterscheidet gerade Verschraubungen, Winkel- und T-Verschraubungen (**Bild 3**).

Muss das Rohr bei der Montage genau in eine bestimmte Winkelstellung gebracht werden, benutzt man Schwenkverschraubungen (**Bild 4**).

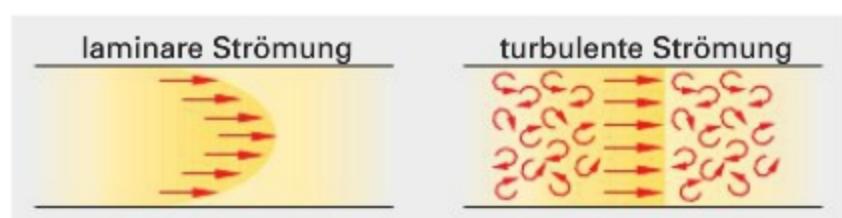


Bild 1: Strömungsarten

Tabelle 1: Richtwerte Strömungsgeschwindigkeiten

Betriebsdruck $p_e$ in bar	Strömungsgeschwindigkeit $v$ in m/s	
50	4,0	Saugleitung
100	4,5	0,5 bis 1,5 m/s
150	5,0	
200	5,5	Rücklaufleitung
300	6,0	3 m/s

Tabelle 2: Hydraulikrohre

$d_a \cdot s$ mm · mm	$d_i$ mm	$p_{zul}$ bar	$Q^{1)}$ l/min
8 x 1	6	300	7
8 x 2	4	550	3
12 x 1	10	230	19
12 x 2	8	400	12
20 x 2	16	250	48
20 x 3	14	350	37
25 x 2	21	220	83
25 x 3	19	340	68

<sup>1)</sup> Bei der Strömungsgeschwindigkeit  $v = 4 \text{ m/s}$

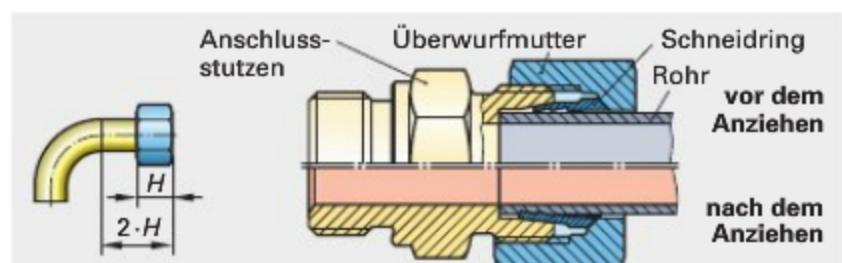


Bild 2: Schneidringverschraubung

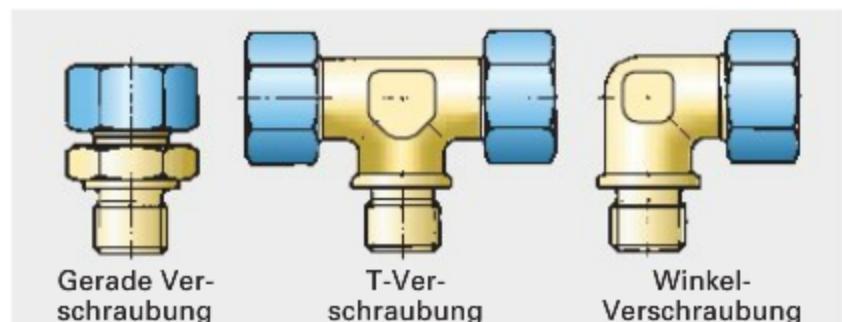


Bild 3: Rohrleitungsverschraubungen

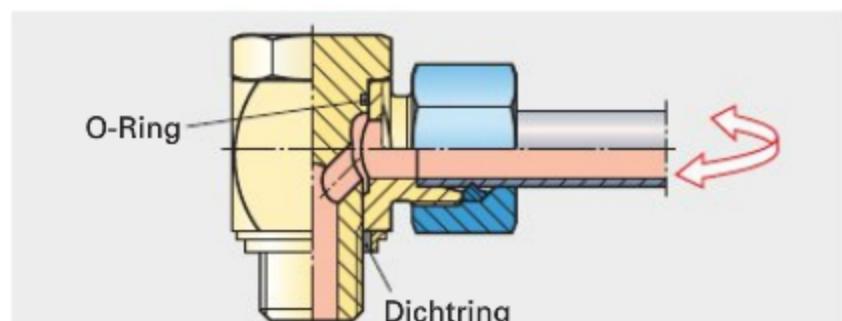


Bild 4: Schwenkverschraubung

Soll ein feststehendes Bauteil mit einem drehenden Bauteil verbunden werden, muss eine Drehverbindung eingebaut werden (**Bild 1**).

Die Anschlussgewinde sind mit Whitworth-Rohrgewinde oder metrischem Feingewinde versehen, z.B. G1/8 oder M 12x1. Zum Abdichten müssen zusätzlich Dichtringe oder flüssige bzw. plastische Dichtmittel verwendet werden.

## Schlauchleitungen

Hydraulikelemente, die sich bewegen, müssen durch Schlauchleitungen verbunden werden. Die Schlauchseele besteht aus einem ölfestem Gummi-, Teflon-, Neoprenmaterial, der Druckträger aus einer Geflechteinlage aus Stahl und die Oberdecke aus einem abriebfesten Gummi oder Polyester (**Bild 2**). Die Verbindungen zu Geräten werden über Armaturen am Schlauchende hergestellt. Schlauchleitungen werden mit Armaturen oder untereinander durch Verschraubungen bzw. Schnellverschlusskupplungen verbunden. Beim Verlegen der Schläuche muss auf genügend große Biegeradien und auf ausreichenden Bewegungsspielraum geachtet werden (**Bild 3**).

## Schnellverschlusskupplungen

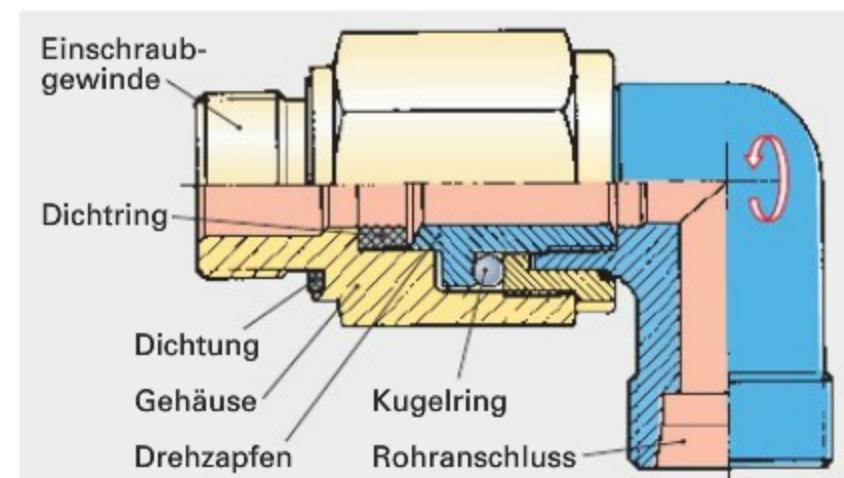
Müssen Hydraulikschläuche oft gelöst werden, z.B. bei Prüfeinrichtungen, werden die Schläuche und die Anschlüsse der Bauelemente mit Schnellverschlusskupplungen ausgerüstet (**Bild 4**).

Diese Kupplungen bestehen aus einer Kupplungsmuffe und dem Stecknippel. Sie sperren die Anschlüsse beim Lösen der Schläuche ab, indem die Sperrelemente durch eine Feder auf ihren Sitz gedrückt werden. Dadurch bleibt das Öl beim Abziehen der Kupplung in den Zylindern, Hydromotoren oder Leitungen eingeschlossen. Es dringt auch keine Luft ein, die später wieder entfernt werden müsste. Die Sperre wird beim Stecken der Kupplung selbsttätig geöffnet. Die Sperrelemente von Kupplungsmuffe und Stecknippel drücken sich gegenseitig auf.

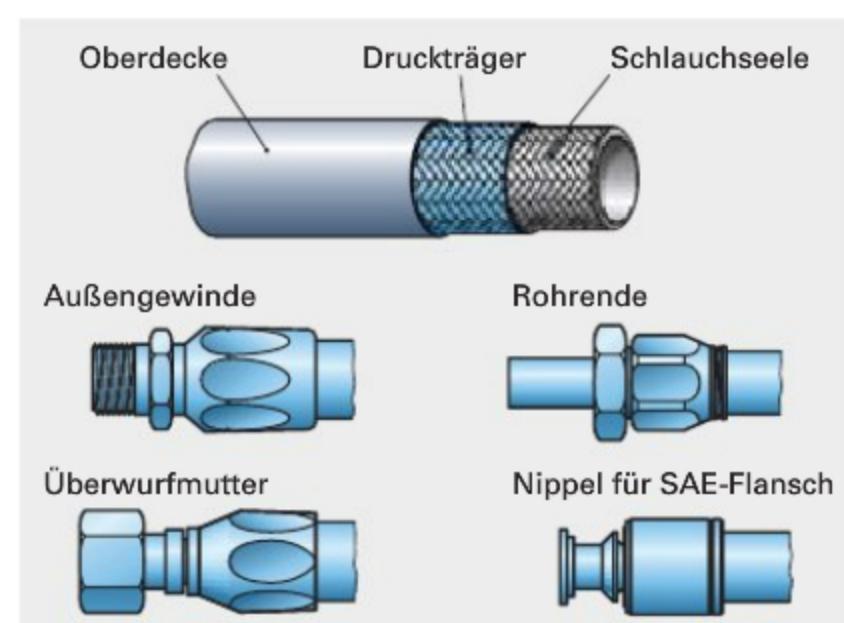
## Druck- und Volumenstrommessung

In den Leitungen oder an den Ein- und Ausgängen von Bauelementen wird der Druck mittels Manometer an speziellen Messpunkten ermittelt. Es wird der Überdruck gegen den Atmosphärendruck gemessen.

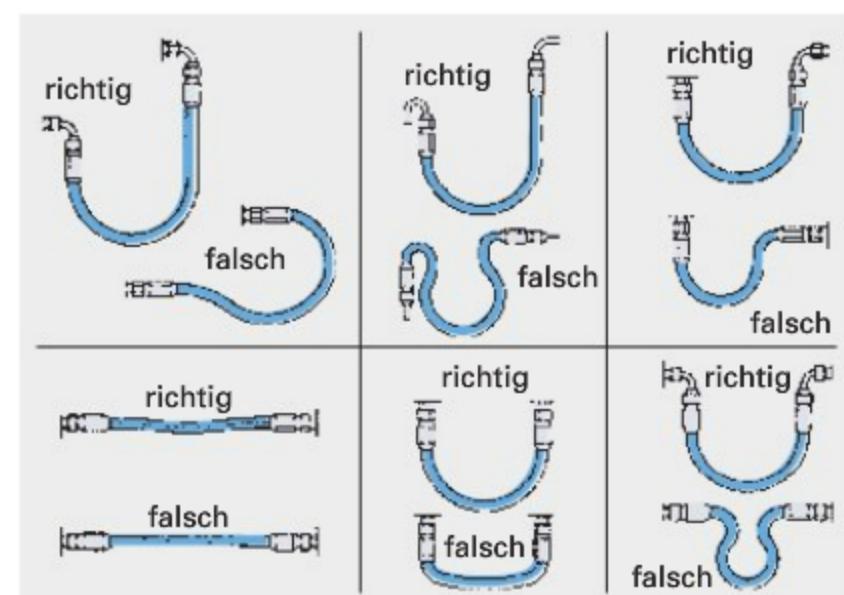
Der Volumenstrom lässt sich mit einem Messbehälter und einer Stoppuhr messen und dann berechnen. Für eine automatisierte kontinuierliche Messung verwendet man jedoch Geräte und Sensoren mit Zahnrädern, Messturbinen oder Flügelräder. Die Punkte, an denen später gemessen werden soll, müssen bereits beim Planen der Anlage vorgesehen werden.



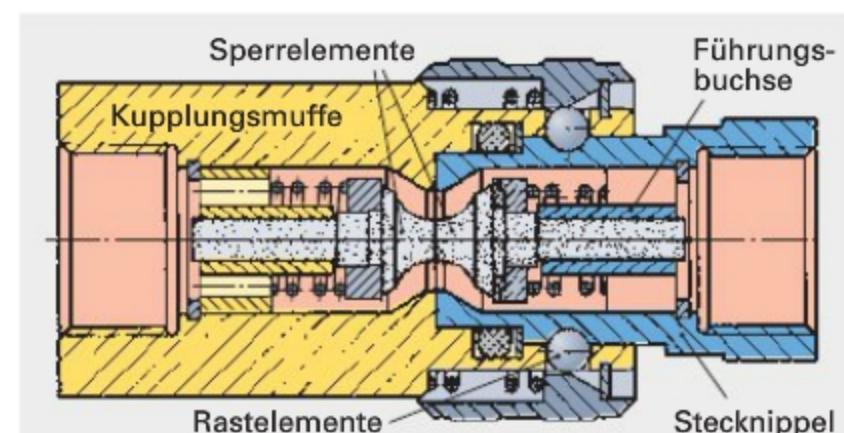
**Bild 1: Drehverbindung**



**Bild 2: Hydraulikschläuche und Armaturen**



**Bild 3: Verlegung von Schlauchleitungen**



**Bild 4: Schnellverschlusskupplung, betätigt**

## 8.5.6 Beispiele für hydraulische Schaltungen

Hydraulische Schaltungen werden nach den gleichen Regeln wie in der Pneumatik erstellt. Daneben gibt es eine Reihe technologischer Besonderheiten zu berücksichtigen: Lange Hubwege, hohe Drücke in der Anlage sowie die Rückführung und Speicherung der Hydraulikflüssigkeiten in einen Behälter.

### ■ Beispiel für die hydraulische Schaltung einer Absetzmulde

Lastkraftfahrzeuge sind zum Be- und Entladen von Absetzbehältern mit zwei doppelt wirkenden Zylindern ausgestattet (**Bild 1**). Diese Zylinder sind wechselnden Belastungen ausgesetzt: Beim Absetzen auf dem Boden wirkt eine ziehende Last, beim Aufladen eine drückende Belastung. Es ist daher erforderlich, die beiden Zylinder hydraulisch einzuspannen.

Zur Lösung der Aufgabe wird ein Hydroaggregat verwendet, bei dem das rückströmende Öl gefiltert wird (**Bild 2**). Beide Zylinder sind durch zwei Druckbegrenzungsventile 1V3 und 1V4 hydraulisch eingespannt. Bei Einstellung der beiden Druckbegrenzungsventile wird die Fahrbewegung mit dem jeweils im Rückfluss liegenden DBV gebremst. Den Gegenhaltedruck kann man jeweils an den beiden Manometern ablesen. Beide DBV werden in der Gegenrichtung durch Rückschlagventile umgangen.

### ■ Beispiel für die elektrohydraulische Steuerung einer Bohreinheit

Die Bohreinheit (**Bild 3**) soll nach folgendem Ablauf gesteuert werden:

- Halten in der linken Ausgangsposition
- Eilgang bis vor das Werkstück (EV)
- Bohren mit Vorschubgeschwindigkeit (AV)
- Rücklauf im Eilgang in die Ausgangsstellung (ER)

Der zeitliche Ablauf wird in einem Weg-Zeit-Diagramm dargestellt. Die Steuerung kann mit einem 2-Wege-Stromregelventil oder mit einem Proportionalventil verwirklicht werden.

Das Stromregelventil dient zum Einstellen der Vorschubgeschwindigkeit. Beim Eilvorlauf wird es über das 2/2-Wegeventil (1V2), beim Eilrücklauf über das Rückschlagventil (1V3) umgangen (**Bild 1, folgende Seite**).

Bei der Steuerung mit 4/3-Wege-Proportionalventil 1V1 werden alle Geschwindigkeiten mit diesem Ventil eingestellt. Beim Eilvor- und Rücklauf wird der Steuerkolben des Proportional-Wegeventils ganz durchgeschaltet. Die Endlagen werden gedämpft angefahren, wenn das Proportional-Wegeventil fast geschlossen wird.

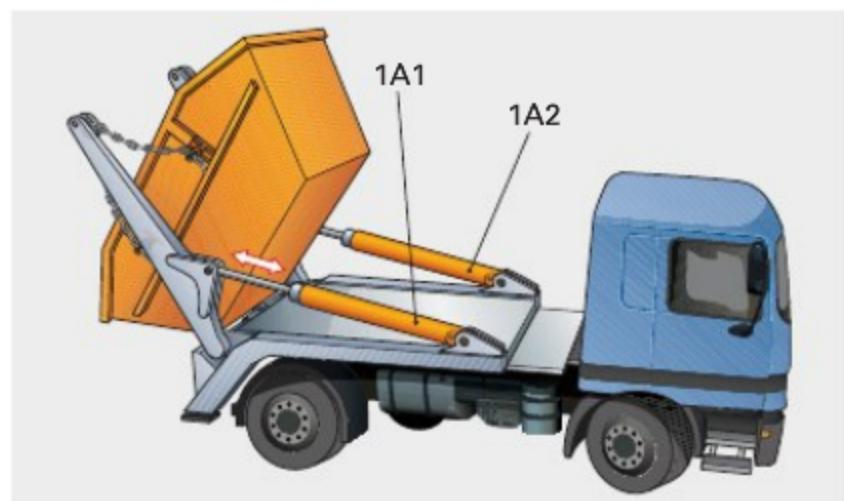


Bild 1: Hydraulischer Hebe- und Absetzbehälter

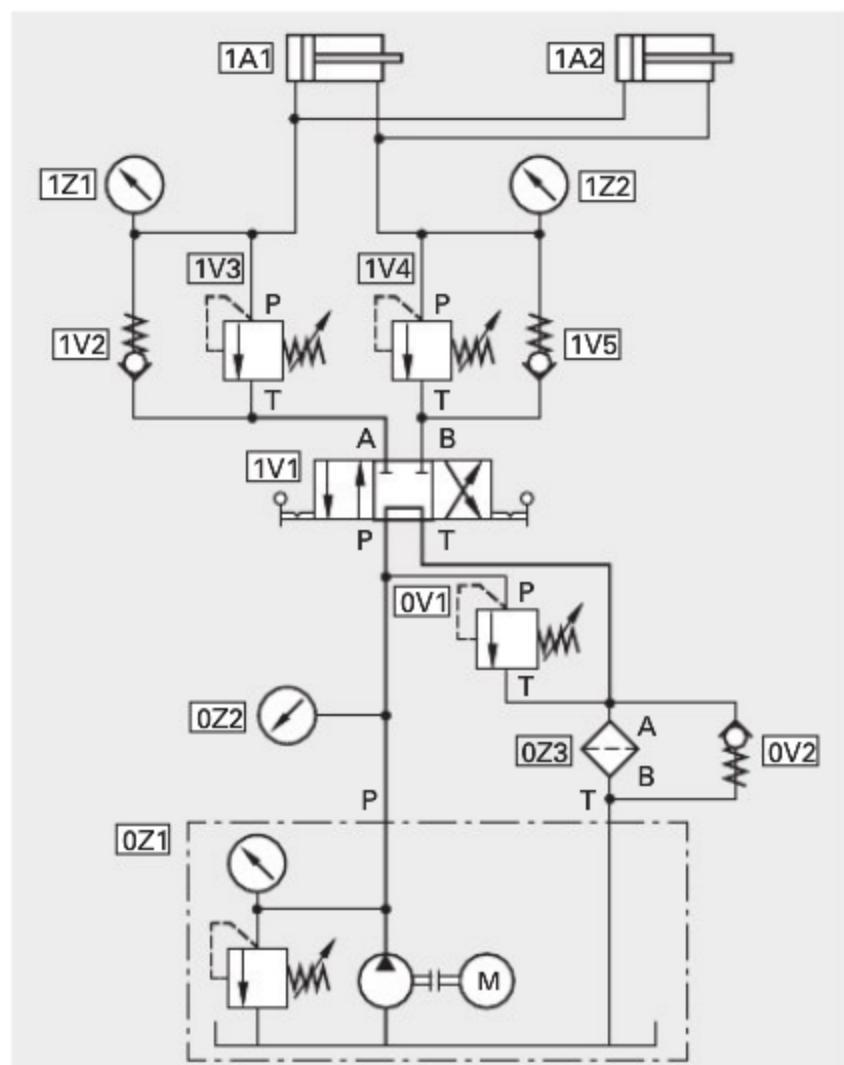


Bild 2: Hydraulischer Schaltplan – Absetzbehälter

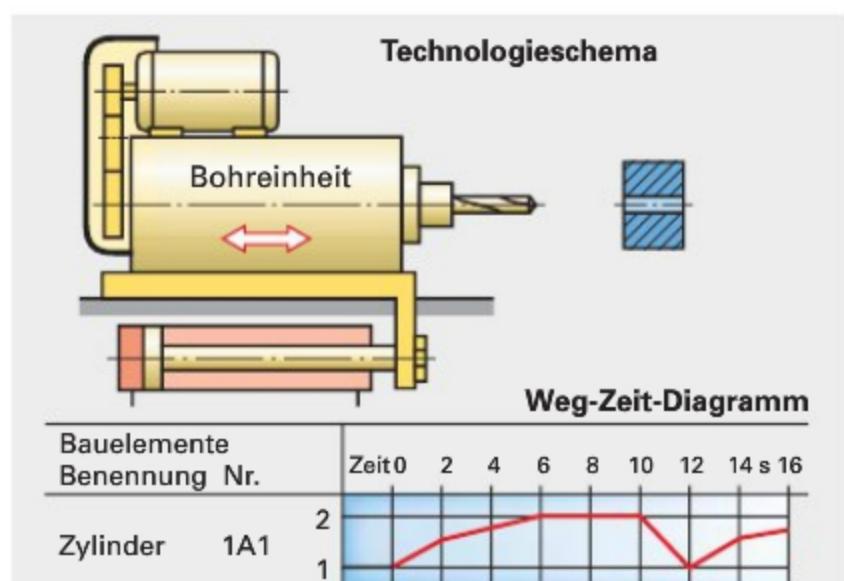


Bild 3: Bohreinheit und Weg-Zeit-Diagramm

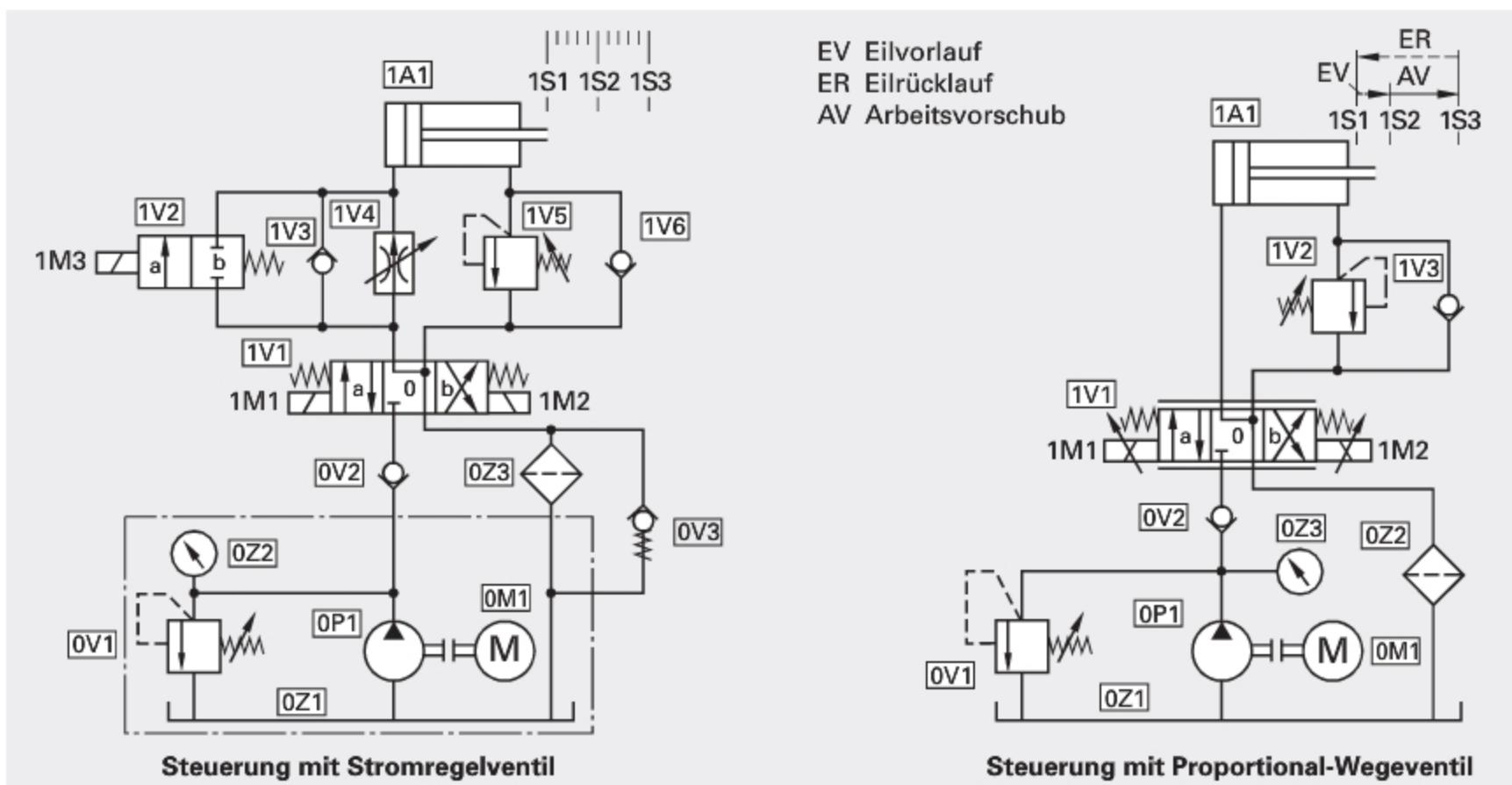


Bild 1: Steuerungen der Bohreinheit mit Stromregelventil und mit Proportional-Wegeventil

Bei der Steuerung mit dem Proportional-Wegeventil ist die Anzahl der hydraulischen Bauelemente kleiner als bei der Steuerung mit dem Stromregelventil. Dafür benötigt man aber eine elektronische Ansteuerung für das Proportionalventil. Am Proportionalmagneten muss eine variable und regelbare Spannung angelegt werden können. Das dabei entstehende veränderliche Magnetfeld bringt den Regelkolben des 4/3-Wegevents stufenlos in unterschiedliche Schaltstellungen.

Die Bewegungen der Bohreinheit können einzeln durch Hand ausgelöst werden. Dazu muss der Stellschalter SW7 auf „0“ stehen. In diesem Einrichtbetrieb können durch die Taster S1, S3 und S5 die Eilvorlaufbewegung (EV), der Arbeitsvorschub (AV) und der Eilrücklauf (ER) einzeln ausgelöst und mit S2, S4 und S6 auch unterbrochen werden (**Bild 2**). Durch Stellschalter SW7 auf „1“ kann ein automatischer Ablauf erfolgen. Der Stromlaufplan zeigt diese Betriebsarten im Steuerungsteil. Im elektrischen Leistungsteil des Stromlaufplanes steuern die Hilfsschließer K1, K4 usw. die Magnetventile des hydraulischen Leistungsteils an. Der Rücklauf erfolgt zeitabhängig mit einem Zeitrelais K3. Eingestellt ist eine Einschaltverzögerung von 3 Sekunden.

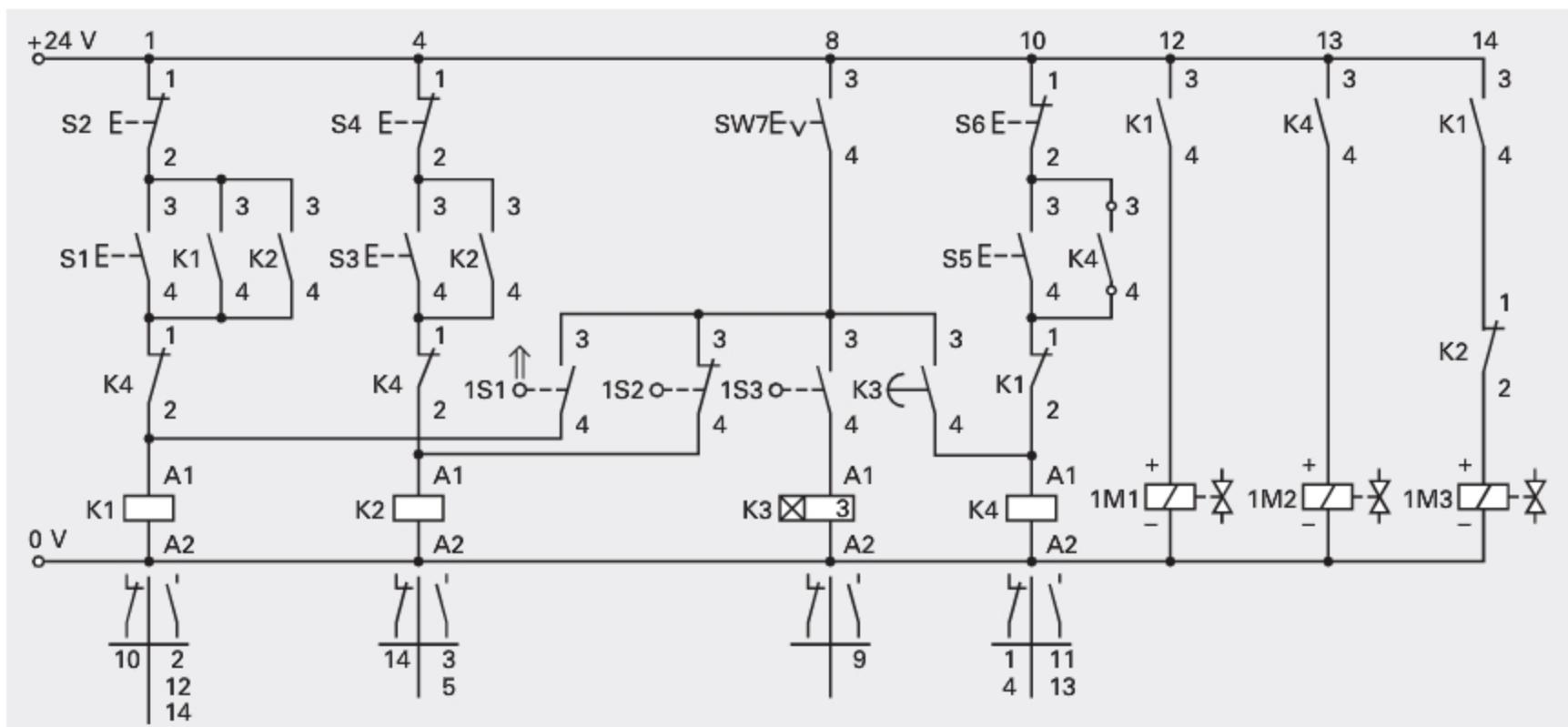


Bild 2: Stromlaufplan zur Steuerung der Bohreinheit mit Stromregelventil



### Wiederholung und Vertiefung

- 1 Welche Aufgaben haben Hydraulikflüssigkeiten?
- 2 Worin besteht der Unterschied zwischen Antrieben mit Konstantpumpen und Antrieben mit Verstellpumpen?
- 3 Wie sind Hydrospeicher aufgebaut?
- 4 In welchen Fällen werden vorgesteuerte Wegeventile eingesetzt?
- 5 Wofür werden entsperrbare Rückschlagventile eingesetzt?
- 6 Wodurch unterscheidet sich ein Stromregelventil von einem Drosselventil?
- 7 Eine hydraulische Presse soll bei einem Druck von  $p_e = 80$  bar und einem Volumenstrom von  $Q = 12 \text{ l/min}$  eine Kolbenkraft  $F = 100 \text{ kN}$  erzeugen (Bild 1).
  - a) Wie groß muss der Zylinderdurchmesser sein, wenn als Wirkungsgrad  $\eta = 0,92$  angenommen wird?
  - b) Der Zylinder soll aus der folgenden genormten Durchmesserreihe ausgewählt werden: 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 (d in mm).
  - c) Wie schnell fährt der Kolben ein, wenn der Durchmesser der Kolbenstange halb so groß wie der Kolvendurchmesser ist?
- 8 Der pneumatisch-hydraulische Druckübersetzer (Bild 2) wird mit  $p_{e1} = 6$  bar angetrieben.
  - a) Wie groß ist der Druck auf der Hydraulikseite, wenn die Reibungsverluste unberücksichtigt bleiben?
  - b) Wie groß ist dieser Druck bei einem Wirkungsgrad von 85%?
  - c) Welches Flüssigkeitsvolumen gibt der Druckübersetzer bei einem Kolbenhub  $s = 50 \text{ mm}$  ab?
- 9 Für die Vorschubsteuerung (Bild 1, Seite 540) ist eine Liste mit den Namen der Bauelemente zu erstellen.
- 10 Auf einem Rundschalttisch ist ein Hydraulikzylinder mit Drucköl zu versorgen (Bild 3). Welche Verschraubungen braucht man dazu an den Stellen 1, 2 und 3?
- 11 Welchen Bewegungsablauf hat der Zylinder (Bild 4) und welche Funktion haben dabei die Ventile?
- 12 Welche Ventile müssen bei Wartungsarbeiten an der Steuerung (Bild 4) geschlossen bzw. geöffnet werden?

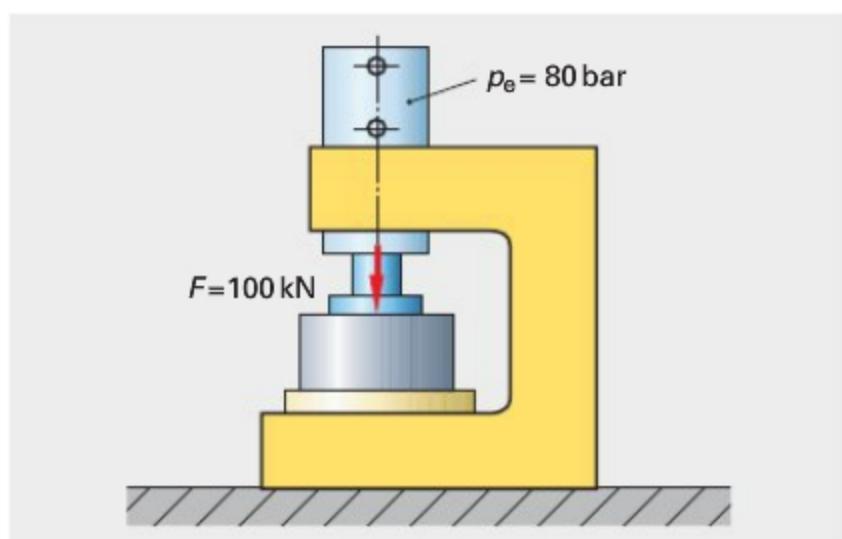


Bild 1: Hydraulische Presse

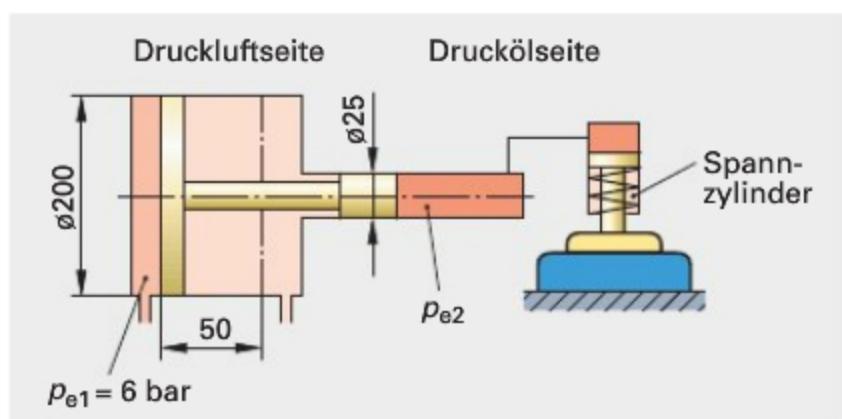


Bild 2: Druckübersetzer

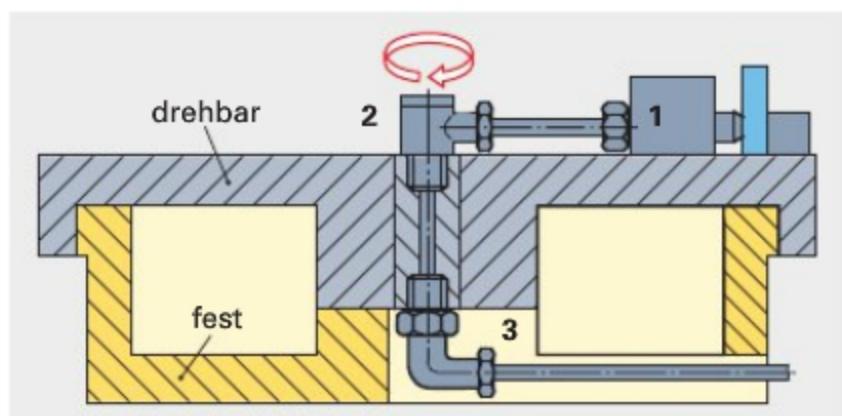


Bild 3: Rundschalttisch

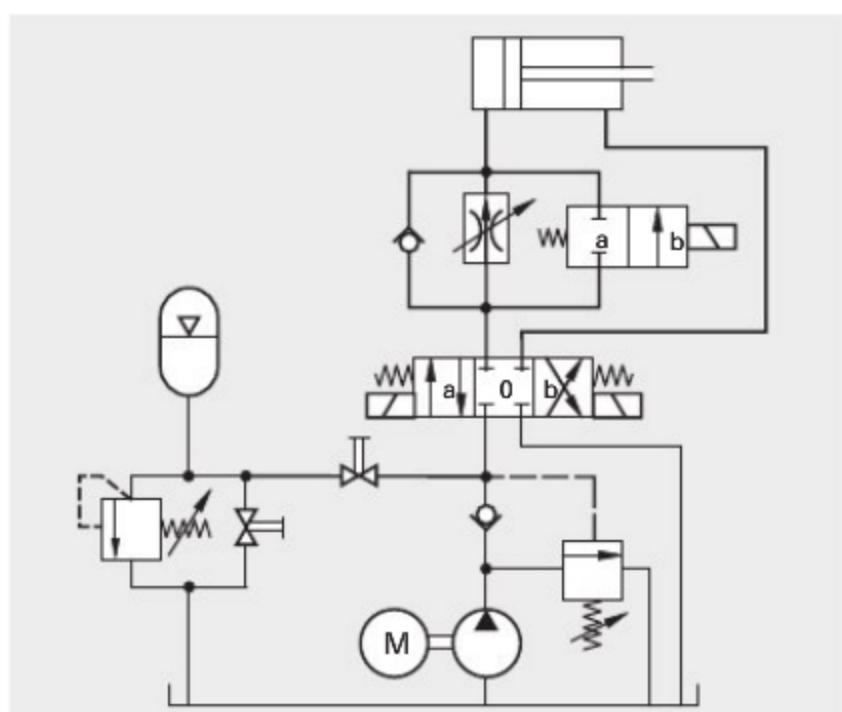


Bild 4: Steuerung mit Hydrospeicher

## 8.6 Speicherprogrammierbare Steuerungen

Bei speicherprogrammierbaren Steuerungen wird der Steuerungsablauf mithilfe eines in die Steuerung eingelesenen Programms festgelegt. Dabei werden

- Signale erfasst, die von Sensoren oder Taster, z.B. S0, S1, S2, an Signaleingänge eingehen,
- die Signale miteinander logisch verknüpft,
- die Verknüpfungsergebnisse an einen Signalausgang, z.B. Magnetventil 1M1, ausgegeben.

Bei speicherprogrammierbaren Steuerungen (**SPS**) wird der Steuerungsablauf durch ein Programm (Software) festgelegt.

Wird dagegen der Steuerungsablauf allein durch die Leitungsverbindungen zwischen den Bauelementen bestimmt, werden diese Steuerungen als **verbindungsprogrammierte Steuerungen** bezeichnet. Zu ihnen gehören pneumatische oder elektrische Steuerungen.

Der Zylinder des Spannstocks wird durch ein elektromagnetisch betätigtes 3/2-Wegeventil gesteuert (**Bild 1**). Die Spannbacke schließt, wenn die beiden Taster S1 und S2 gleichzeitig gedrückt werden. Durch Betätigen des Tasters S0 wird der Spannstock wieder geöffnet.

- In verbindungsprogrammierten Steuerungen wird die UND-Verknüpfung der beiden Eingangssignale durch die Reihenschaltung der Taster S1 und S2 erreicht (**Bild 2**).
- Bei der speicherprogrammierbaren Steuerung dagegen werden die Signale der Taster S1 und S2 durch eine UND-Anweisung im Programm der SPS verknüpft (**Bild 3**).

Beide Steuerungsarten arbeiten nach dem EVA-Prinzip (**Eingabe – Verarbeitung – Ausgabe**).

### 8.6.1 Speicherprogrammierbare Steuerung als Kleinsteuerung (Logikmodul)

Speicherprogrammierbare Steuerungen gibt es in unterschiedlichen Bauarten: Sie werden als Kleinsteuerung für kleinere Steuerungsaufgaben oder als modulare SPS im industriellen Bereich eingesetzt.

Kleinsteuerungen sind in der Haus- und Installationstechnik, im Maschinen- und Apparatebau weit verbreitet (**Bild 4**).

Kleinsteuerungen sind kostengünstig und bieten einen beachtlichen Befehlsvorrat. Zahlreiche Erweiterungen durch Sonderfunktionen sind bereits im Gerät integriert, wie z.B. Stückzahlerfassung, Betriebsstundenzähler, Zeitfunktionen oder auch die Kommunikationsmöglichkeiten über ASI<sup>1)</sup>- oder EIBE<sup>2)</sup>-Bus.

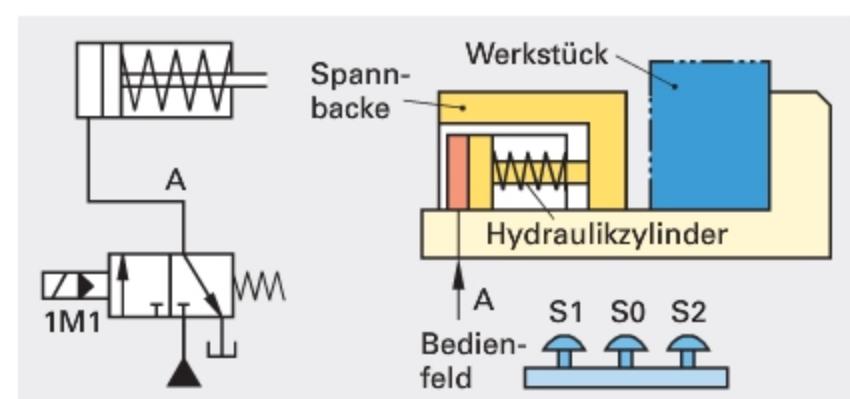


Bild 1: Hydraulischer Spannstock

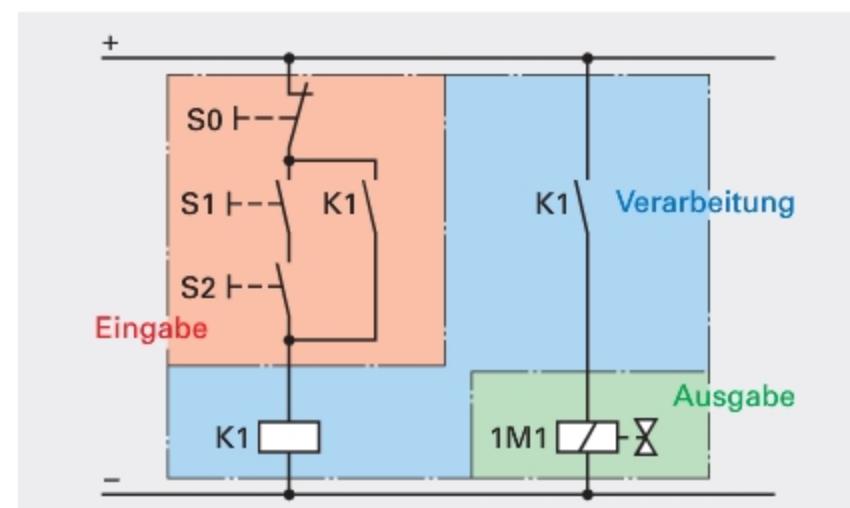


Bild 2: Verbindungsprogrammierte Steuerung



Bild 3: Speicherprogrammierbare Steuerung



Bild 4: Kleinsteuerung im Schaltschrank

<sup>1)</sup> ASI für Aktor-Sensor-Interface ist ein Bus auf der untersten Automatisierungsebene

<sup>2)</sup> EIBE steht für Europäischer Installationsbus



Bereits an den Kleinststeuerungen lassen sich die typischen Merkmale einer SPS erkennen:

Taster, Schalter oder Näherungssensoren als Befehlsggeber werden an den Eingangsklemmen verdrahtet (**Bild 1**). Basisgeräte besitzen acht digitale Eingänge und vier Ausgänge. Sie liefern die logischen Signalzustände low = „0“ (false) oder high = „1“ (true).

Die Ausgänge könnten auch als Relaiskontakt für eine 230-V-Spannung ausgelegt sein.

Gleichspannungsgeräte mit 12 V und 24 V besitzen Transistorausgänge mit einer 24-V-Ausgangsspannung bei max. 0,3 A.

Zur Menüführung und kleineren Programmierungen dienen vier Bedientasten, eine ESC- und eine OK-Taste. Ein LCD-Display ermöglicht die Beobachtung der Signalzustände. Komfortabler sind die Schnittstellen RS 232 oder USB zum PC, von dem aus die Programme erstellt, vor dem Einsatz simuliert und dann auf das Steuergerät übertragen werden können (**Bild 2**). Bei neueren Gerätetypen ist eine Online-Beobachtung während des aktuellen Betriebes möglich.

Programmiert wird in zwei Sprachen:

- **Funktionsblockdarstellung (FBD):** Bild 2 zeigt die Elemente UND, einen RS-Baustein, drei Eingänge und einen Ausgang. Diese Sprache wird auch als **Funktionsplan** bezeichnet.
  - **Ladder- Darstellung (LAD):** Dies ist die englische Bezeichnung für den **Kontaktplan**, der stark dem Stromlaufplan ähnelt (**Bild 3**). Diese Darstellung wird vor allem im englischsprachigen Raum bevorzugt.

### **Beispiel: Automatisches Öffnen und Schließen einer Durchgangstüre (Bild 4)**

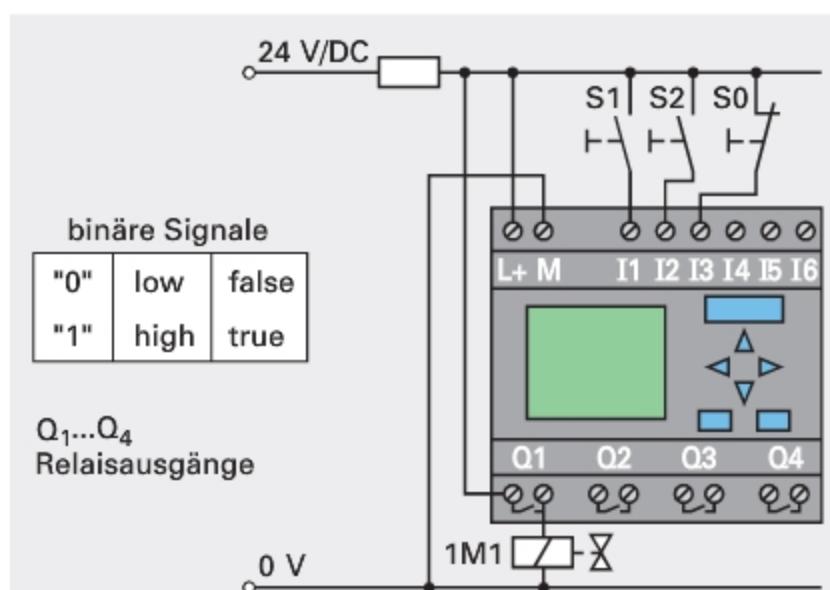
Zwei Räume sollen durch eine Schiebetüre voneinander abgetrennt werden.

Die Tür wird über einen pneumatischen Zylinder bewegt. Dieser wird durch ein 5/2-Wege-Impulsventil angesteuert.

Die Türe ist von beiden Seiten durch die Taster S1 oder S2 zu öffnen. Die Endlagenschalter B1 und B2 fragen die aktuelle Position der Türe ab. Zur Sicherheit sind diese als Öffner ausgeführt.

Nach 15 Sekunden geht die Türe automatisch wieder zu, sofern der Türbereich frei ist. Eine Lichtschranke überwacht, ob sich Personen oder Geräte im Bereich befinden. Ist dies der Fall, so hat die Lichtschranke den Signalzustand „0“.

Über den Schlüsselschalter S0 (Schließerkontakt) wird die Anlage „Betriebsbereit“ geschaltet. Am Display des Steuermoduls soll der Meldetext „Türöffnet“ ausgegeben werden.



**Bild 1: Verdrahtung der Ein- und Ausgänge an einer Kleinsteuerung**

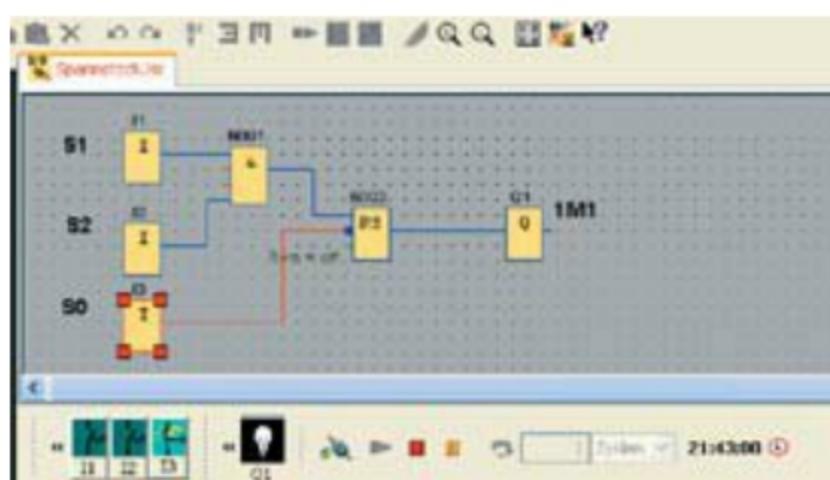
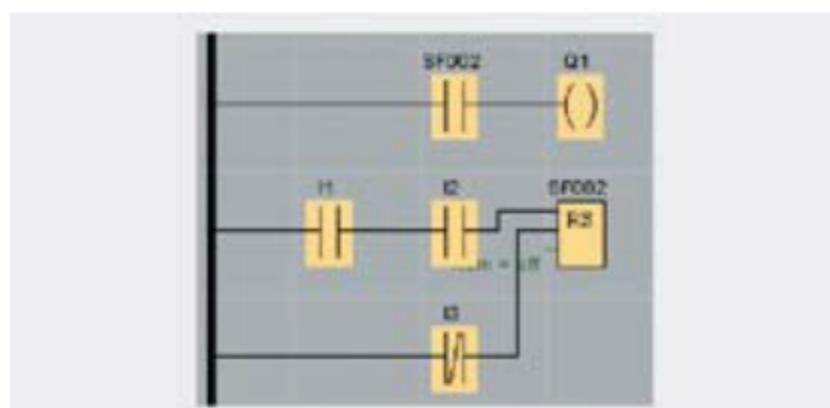


Bild 2: Spannstocksteuerung in der PC-Simulation



**Bild 3: Kontaktplan einer Kleinsteuerung**

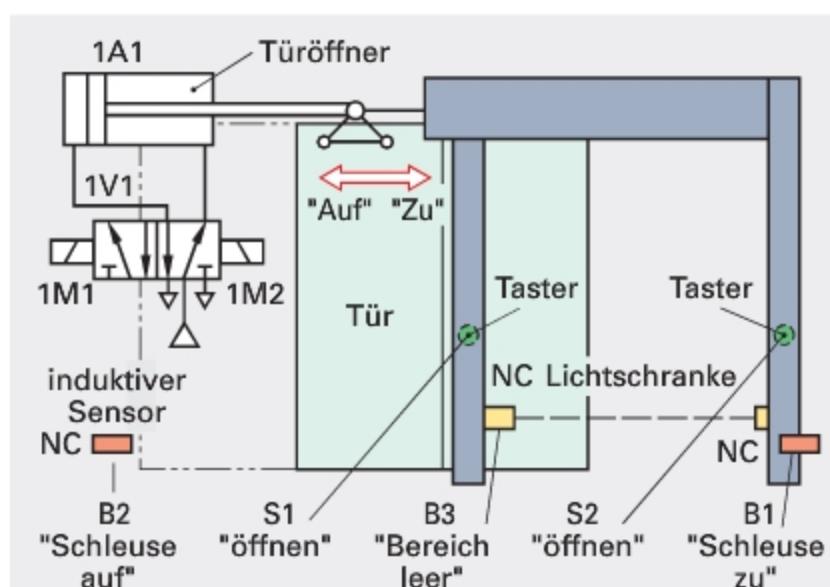


Bild 4: Technologieschema für eine Durchgangstür

### Erstellen der Zuordnungsliste (Tabelle 1):

Das Stellelement 1V1 für den Pneumatikzylinder 1A1 wird über zwei Magnetventile 1M1 und 1M2 angesteuert (**Bild 1**). Für die Steuerung wird eine Kleinsteuerung gewählt mit acht digitalen Ein- und vier Relaisausgängen.

Die Zuordnungsliste listet die Bauteile auf und weist diese den Ein- und Ausgangsadressen der SPS zu. Die Eingänge (I1, I2 usw.) und die Ausgänge (Q1, Q2 usw.) der SPS sind Variablen, welche den logischen Zustand „1“ oder „0“ einnehmen können.

Beim Programmieren ist zu beachten, ob die Eingangssignalelemente als **Schließer** oder **Öffner** vorliegen. Für die Programmierung oder die spätere Fehlersuche ist eine Zuordnungsliste als Anlagendokument ein notwendiges Werkzeug.

### Anschlussplan (Bild 2):

Es handelt sich um einen Stromlaufplan, in dem Sensoren und Aktoren an die verwendete SPS angeschlossen werden. Die dort verwendeten Symbole sind normgerecht zu zeichnen und die Betriebsmittel müssen mit der Zuordnungsliste übereinstimmen.

**Der Anschlussplan erleichtert die praktische Verdrahtung.**

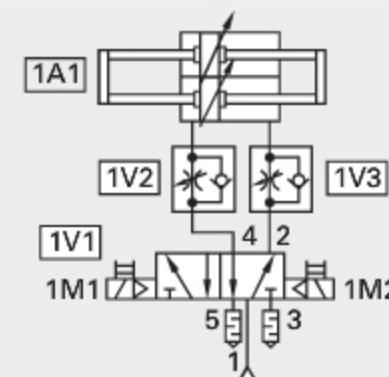
### Programmerstellung:

Mithilfe der Software zum Steuermodul lässt sich die SPS-Lösung im Funktionsplan (FBD) erstellen (**Bild 3**).

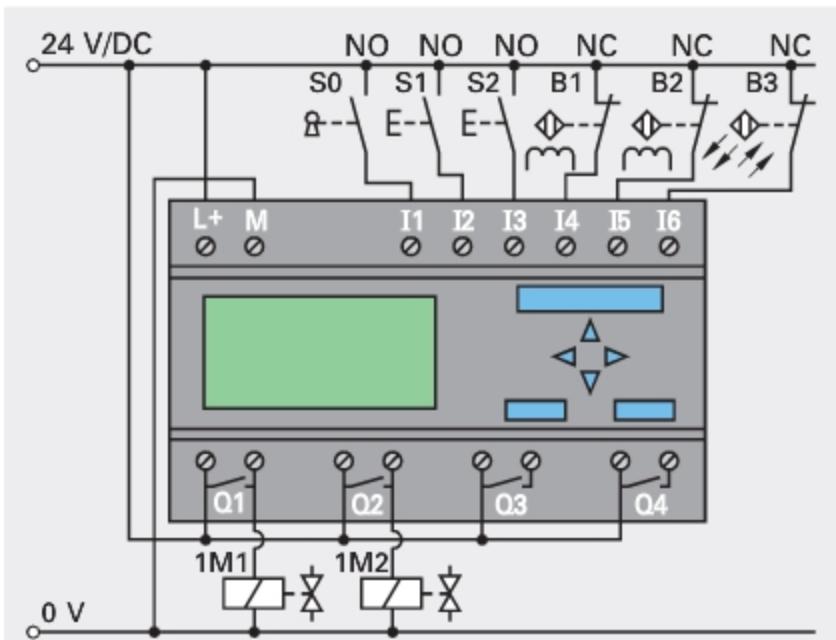
Die Signale B1 und B2 sind negiert, für das Setzen der Ausgänge werden zwei RS-Speicher verwendet. Diese gehen auf zwei Zwischenspeicher M1 und M2, sogenannte Merker, welche sich wechselseitig verriegeln, sodass die Schleuse nur öffnen oder nur schließen kann. Der Zeitbaustein B009 bewirkt eine Einschaltverzögerung. Baustein B004 ist das Textfeld für „Türöffnen“.

**Tabelle 1: Zuordnungsliste**

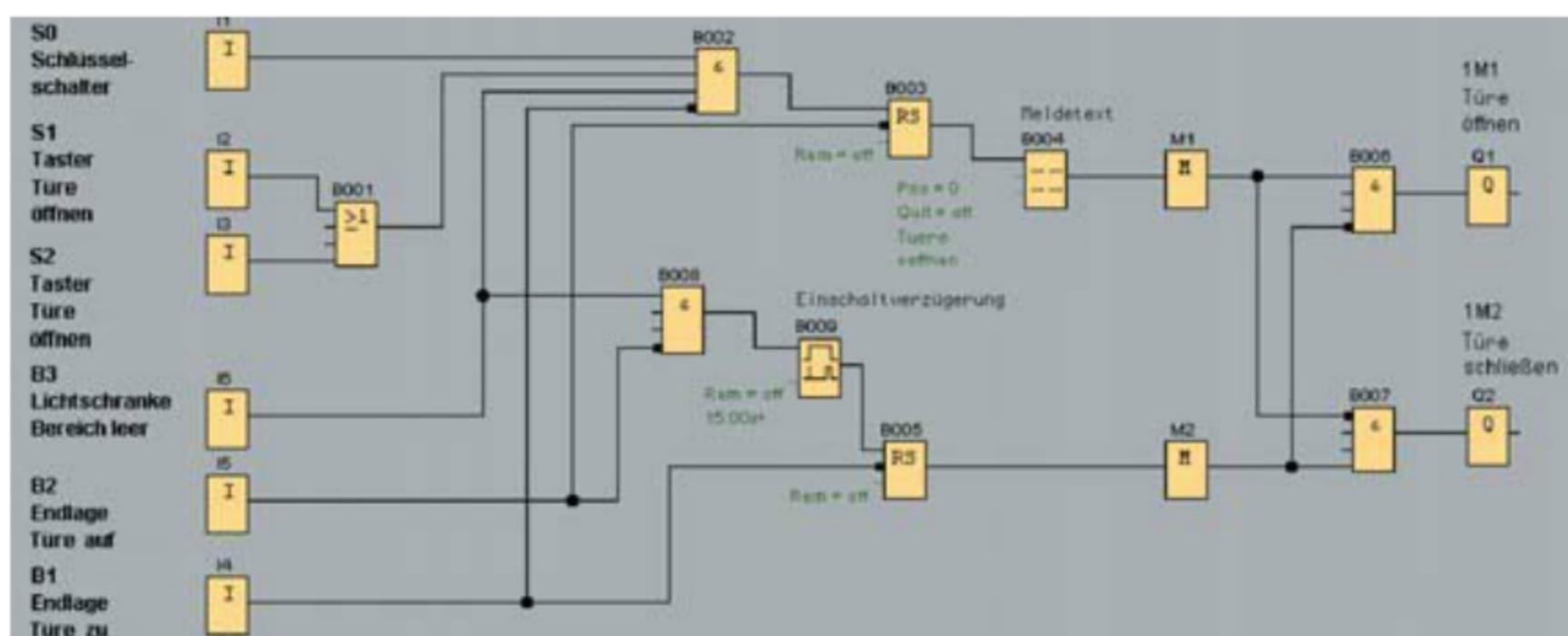
Bauteil	Adresse	Kommentar
S0	I1	Schlüsselschalter „betriebsbereit“, <b>Schließer</b>
S1	I2	Taster „Schleuse öffnen“, <b>Schließer</b>
S2	I3	Taster „Schleuse öffnen“, <b>Schließer</b>
B1	I4	Endlage „Schleuse zu“, <b>Öffner</b>
B2	I5	Endlage „Schleuse zu“, <b>Öffner</b>
B3	I6	Lichtschranke „Bereich leer“, <b>Öffner</b>
1M1	Q1	Magnetventil „Schleuse öffnen“
1M2	Q2	Magnetventil „Schleuse schließen“



**Bild 1: Pneumatikplan**



**Bild 2: Anschlussplan (Stromlaufplan)**



**Bild 3: Schaltplanlösung in FBS-Sprache/Funktionsplan**



## 8.6.2 Speicherprogrammierbare Steuerung als modulares Automatisierungssystem

Bei umfangreicherer Steuerungsprojekten in der SPS werden modulare Systeme eingesetzt (**Bild 1**).

### 8.6.2.1 Aufbau einer modularen SPS

Wesentliche Baugruppen sind: Eingabebaugruppe, Zentraleinheit (CPU) mit Programmspeicher und Ausgabebaugruppe. Die Baugruppen sind durch einen Busstecker in der Rückwand miteinander verbunden. Der Rückwandbus ermöglicht die Kommunikation zur CPU. Eine serielle Schnittstelle dient zur Programmierung, z.B. über einen PC.

#### Eingabebaugruppe: Signalmodul SM/DE

Diese Baugruppe besitzt Anschlüsse für die Signalegeber oder Sensoren. Die digitalen Eingangssignale werden nicht direkt elektrisch auf einen Rückwandbus übertragen, sondern über Optokoppler (**Bild 2**). Diese ermöglichen die Übertragung von Signalen zwischen zwei galvanisch getrennten Stromkreisen. Dadurch werden die empfindlichen Steuerkreise vor Überspannungen geschützt.

#### Zentraleinheit mit Programmspeicher: CPU

Die Zentraleinheit wird von einem Betriebssystem gesteuert und hat verschiedene Speicherbereiche, in denen z.B. das Anwenderprogramm gespeichert und bearbeitet wird. Die Speicherkapazität und die Verarbeitungsgeschwindigkeit sind Merkmale einer CPU (**Bild 3**).

#### Ausgabebaugruppe: Signalmodul DA

Von der Ausgabeeinheit werden die Ausgangssignale der SPS ebenfalls über Optokoppler an die zu steuernden Geräte wie Relais, Transistoren, Magnetventile, Anzeiger und Melder ausgegeben.

## 8.6.2.2 Arbeitsweise einer modularen SPS

Nach dem CPU-Anlauf durch das Betriebssystem (BESY) wird zuerst das Prozessabbild der Ausgänge (PAA) auf die tatsächlichen Ausgänge der Baugruppen geschrieben und der Zustand der Eingänge ins Prozessabbild der Eingänge (PAE) gelesen (**Bild 4**). Bei einem vollständigen Neustart wird das PAA grundsätzlich gelöscht.

Die Bildung der Prozessabbilder (**Bild 5**) hat gegenüber dem direkten Zugriff auf die Ein- oder Ausgänge den Vorteil, dass für die Dauer der zyklischen Programmbearbeitung ein konstantes Abbild der Prozesssignale zur Verfügung steht. Ändert sich während der Programmbearbeitung ein Signalzustand auf einer Eingabebaugruppe, bleibt der Signalzustand im Prozessabbild erhalten, bis beim nächsten Durchgang die Aktualisierung der Prozessabbilder erfolgt.

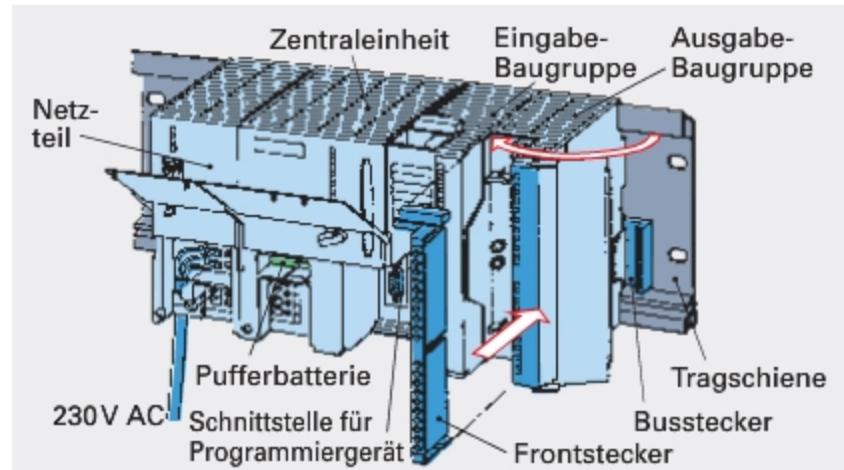


Bild 1: Modulares SPS-System

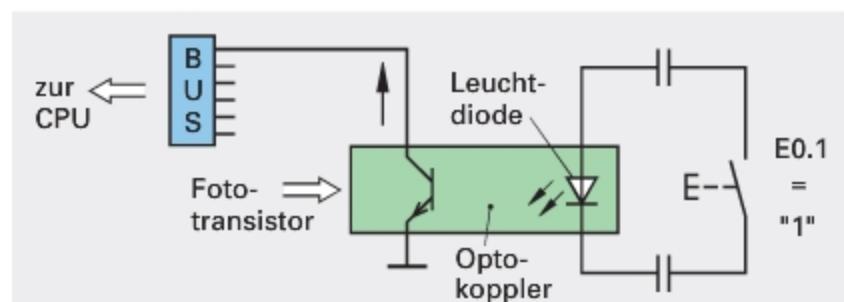


Bild 2: Eingabebaugruppe mit Optokoppler

Leistungsmerkmal	312 IFM	313	314	314 IFM	315	315-2DP
Arbeitsspeicher (integriert)	6kByte	12kByte	24kByte	24kByte	48kByte	
Ladespeicher • integriert	30kByte RAM, 30kByte EEPROM	20kByte RAM	40kByte RAM	40kByte RAM, 40kByte EEPROM	80kByte RAM bis 512kByte (in CPU programmierbar bis 256kByte)	
• erweiterbar mit Memory Card		—	bis 512kByte	bis 512kByte		
Geschwindigkeit ms/1000 Binäranweisungen	ca. 0,7		ca. 0,3			

Bild 3: Leistungsmerkmale verschiedener CPUs



Bild 4: Zyklische Programmbearbeitung für CPUs

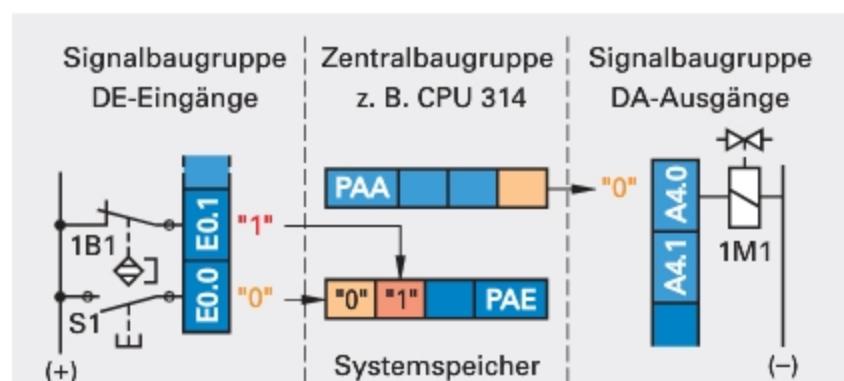


Bild 5: Bildung der Prozessabbilder PAA/PAE

Wird ein Eingangssignal innerhalb eines Anwendungsprogramms mehrmals abgefragt, ist gewährleistet, dass die Information immer unverändert im Prozessabbild vorliegt.

Nach der Bildung der Prozessabbilder wird das Anwendungsprogramm, welches im Organisationsbaustein OB1 liegt, sequenziell, das heißt Zeile für Zeile, abgearbeitet. Ein Adresszähler beginnt mit der niedrigsten Adresse 0000 und arbeitet sich bis zur letzten Adresse 0002 durch (**Bild 1**).

Danach beginnt der gesamte SPS-Zyklus von vorne; es werden den Ausgängen die neuen Signalzustände zugewiesen. Ein Nachteil dieser zyklischen Arbeitsweise ist, dass eine SPS erst verzögert auf sich ändernde Eingangssignale reagieren kann.

### 8.6.2.3 Allgemeine Programmierung einer SPS

Ein SPS-Programm besteht aus einer Reihe von **Steueranweisungen** (**Bild 2**).

Im **Operationsteil** erscheint der gesamte Vorrat an Befehlen, der einer SPS in einer bestimmten SPS-Sprache zur Verfügung steht.

Im **Operandenteil** erscheinen alle Variablen einer SPS, z.B. Eingänge E, Ausgänge A, Timer T. Interessant sind Merker, z.B. M 0.1. Solche 1-Bit-Speicher werden zur Speicherung von logischen Zwischenverknüpfungen verwendet. Sollte die Betriebsspannung der SPS abfallen, so sind diese Speicherinhalte in der Regel nicht mehr vorhanden.

Hinter einer **Operandennummer** verbirgt sich eine Byte- und eine Bitadresse, die man aus der Hardwarekonfiguration der SPS ablesen kann (**Bild 3**).

Für eine CPU 314 IFM könnte die Adresse eines Eingangs E124.0 bis 124.7 lauten.

#### ■ Programmiersprachen der SPS

SPS-Programme werden entweder in Text- oder einer Grafikform geschrieben. Man unterscheidet dabei die Programmiersprachen Anweisungsliste (AWL), Kontaktplan (KOP) und Funktionsplan (FUP), heute auch als Funktionsbausteinsprache (FBS) bezeichnet, sowie eine Darstellung in einer Ablaufkette, die dem GRAFCET ähnlich ist (**Bild 4**). In **Bild 5** werden die drei wichtigsten Programmiersprachen an einer einfachen Verknüpfung gezeigt. Anweisungslisten beginnen mit dem Verknüpfungsbefehl „U“ (UND). Danach werden die auszuführenden Steuerschritte (Operationen) zeilenweise abgearbeitet.

Der **Kontaktplan** ähnelt dem Stromlaufplan. Er eignet sich besonders für solche Anwender, die bisher mit Relais- und Schützsteuerungen gearbeitet haben.

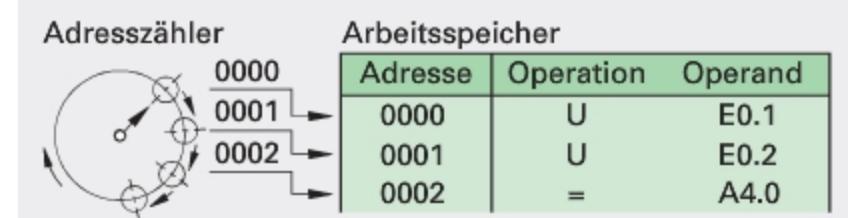


Bild 1: Zyklische Programmbearbeitung

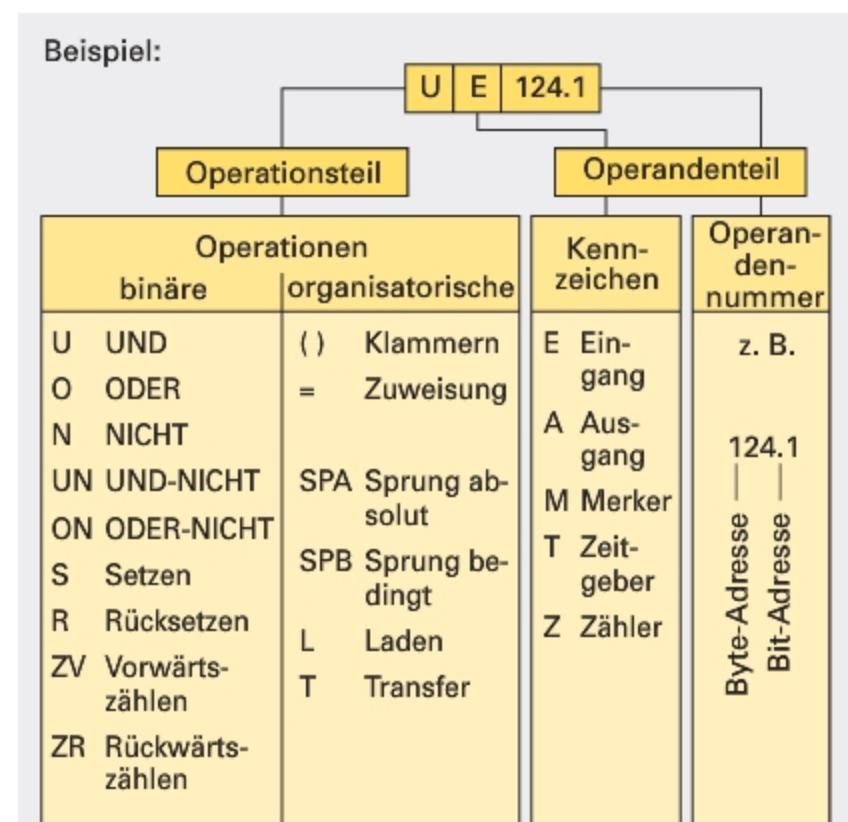


Bild 2: Aufbau einer Steueranweisung

Steckplatz	Baugruppe	Bestellnummer	Firmware	MPI-Adresse	E-Adresse	A-Adresse
1	PS 307 2A	6EST 307-1BA00-0AA0				
2	CPU 314 IFM	6EST 314-5AE03-0AB0	V1.2	2	124...135	124...129

Bild 3: Byteadressen der Hardwarekonfiguration

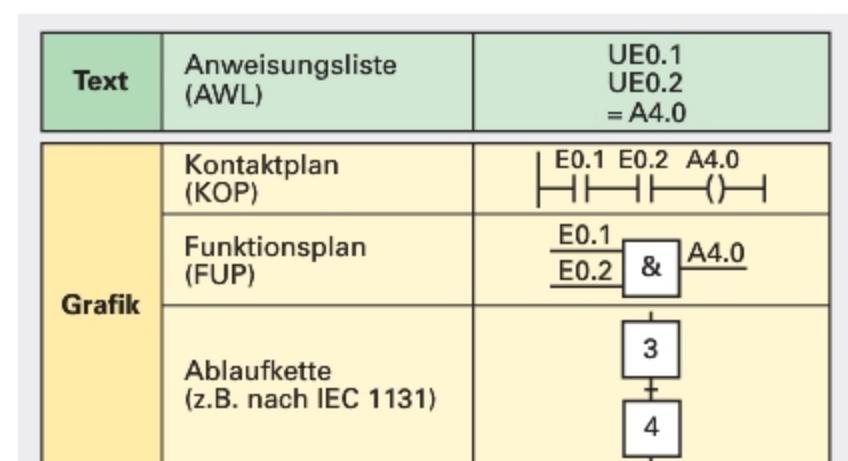


Bild 4: Übersicht der Programmiersprachen

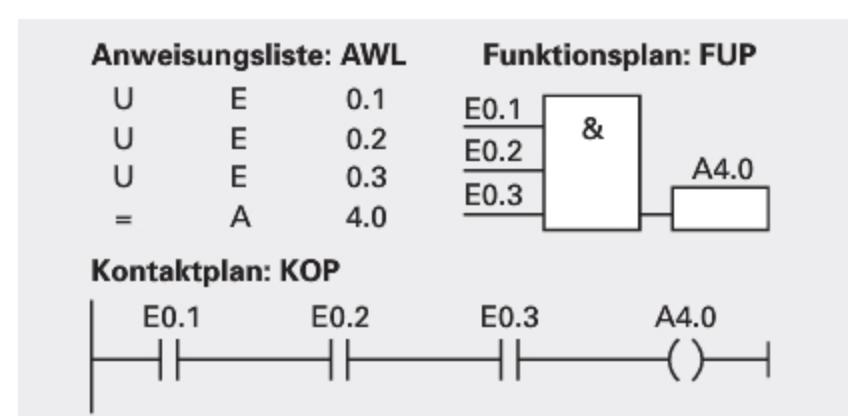


Bild 5: Beispiel für die Programmiersprachen



Bei der Sprache **Funktionsplan**<sup>1)</sup> wird das Anwendungsprogramm durch genormte grafische Symbole dargestellt. Diese Symbole sind an die Logiksymbole der DIN EN 60617 angepasst (**Tabelle 1**).

## ■ Verdrahtung einer SPS

Die Taster und Sensoren werden auf die SPS-Eingänge verdrahtet (**Bild 1**). Grundsätzlich sollen Anlagen und Maschinen mit einem Schließerkontakt eingeschaltet, einem logischen „1“-Signal und mit einem Öffnerkontakt, einem „0“-Signal, ausgeschaltet werden. Dann werden Aktoren, z.B. Magnetventile, Meldeleuchten oder Relais den Ausgängen der SPS zugeordnet.

## ■ Grundoperationen der SPS

### Beispiel: Pneumatischer Schieber

Ein pneumatischer Schieber soll über eine SPS gesteuert werden (**Bild 2**). Der Schieber fährt aus, wenn er in der hinteren Endlage steht und die Handtaste START betätigt ist. Der Schieber fährt nach Erreichen der vorderen Endlage wieder ein.

Erstellen einer **Symboltabelle**: Sie ersetzt die Zuordnungsliste (**Bild 3**).

Für das 5/2-Wege-Impulsventil benötigt man ein bistabiles Magnetventil, die Signalelemente werden durch elektrisch betätigtes Handtaster und Tastrollen ersetzt. Es ergibt sich die Symboltabelle in Bild 3. Die Betriebsmittelbezeichnung 1B1 wird zum **Symbol**, das bedeutet, dass im Programmeditor auch diese Bezeichnung für E0.1 verwendet werden könnte.

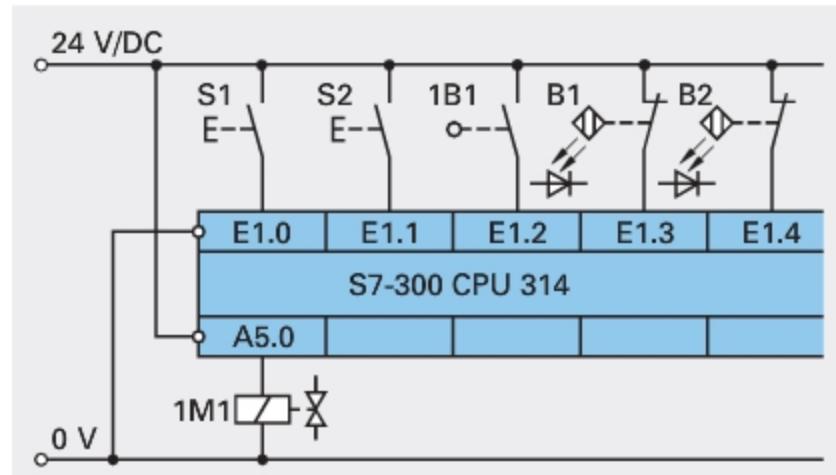


Bild 1: Verdrahtung einer SPS

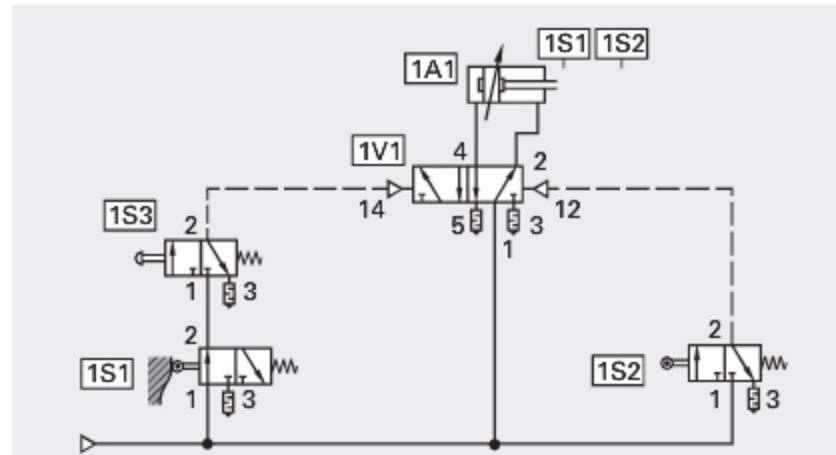


Bild 2: Pneumatikplan für einen Schieber

Symbol	Adresse	Kommentar
1B1	E0.1	Hinterne Endlage, Schließer
1B2	E0.2	Vordere Endlage, Schließer
S3	E0.3	Taster START, Schließer
1M1	A4.0	Magnetspule; ausfahren von 1A1
1M2	A4.1	Magnetspule; einfahren von 1A1

Bild 3: Symboltabelle als Zuordnungsliste

Tabelle 1: Elementare logische Grundoperationen und ihre Umsetzung in SPS-Sprachen

Schaltzeichen DIN EN 60617	Funktions- tabelle	Signal-Zeit-Diagramm	FUP/FBS	AWL	KOP															
Identität	<table border="1"> <tr><td>E</td><td>A</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	E	A	0	0	1	1	Eing. 1 0 → t Ausg. 1 0 → t	E0.0 A4.0 =	U E 0.0 = A 4.0										
E	A																			
0	0																			
1	1																			
Negation	<table border="1"> <tr><td>E</td><td>A</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	E	A	0	1	1	0	Eing. 1 0 → t Ausg. 1 0 → t	E0.0 A4.0 =	UN E 0.0 = A 4.0										
E	A																			
0	1																			
1	0																			
UND	<table border="1"> <tr><td>E1</td><td>E2</td><td>A</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	E1	E2	A	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	Eing. 1 1 0 → t Eing. 2 1 0 → t Ausg. 1 0 → t	E0.0 & E0.1 A4.0 =	U E 0.0 U E 0.1 = A 4.0	
E1	E2	A																		
0	0	0																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	1																		
ODER	<table border="1"> <tr><td>E1</td><td>E2</td><td>A</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	E1	E2	A	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	Eing. 1 1 0 → t Eing. 2 1 0 → t Ausg. 1 1 0 → t	E0.0 >1 E0.1 A4.0 =	O E 0.0 O E 0.1 = A 4.0	
E1	E2	A																		
0	0	0																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	1																		

<sup>1)</sup> Anstatt Funktionsbausteinsprache FBS nach DIN EN 61131-3 wird im Folgenden der Begriff Funktionsplan FUP verwendet.

Die Ein- und Ausgangsbezeichnungen in der Symboltabelle und dem Verdrahtungsplan müssen identisch sein (**Bild 1**).

Sie hängen von der Hardwarekonfiguration ab. **Bild 2** zeigt eine Standardkonfiguration.

Das **Programm** für den Schieber ist in den Sprachen FUP und AWL geschrieben (**Bild 3**). Die Anweisungsliste verwendet hier nicht die Adressen der Ein- und Ausgänge, sondern die **symbolische** Darstellung aus der Symboltabelle. Damit wird eine leichtere Lesbarkeit des Programmcodes erreicht.

## ■ Signalinvertierung<sup>1)</sup>

Der Einsatz von **Öffnern** als Schaltelement in Relaissteuerungen ist aus Gründen der Drahtbruchsicherheit in vielen Fällen bei elektrischen Maschinen und Anlagen vorgeschrieben, z.B. zum sicheren Ausschalten eines Systems (Stopp) oder bei Anzeige eines Warnsignals.

In **Bild 4** hat die Warnleuchte P1 ein „1“-Signal, wenn S0 und S1 nicht betätigt werden. Der Schließer K1 würde bei anliegender Spannung im Strompfad 2 schließen, die Leuchte P1 im selben Strompfad aufleuchten.

Die beiden Öffner werden auf zwei SPS-Eingänge verdrahtet. Das SPS-Programm muss berücksichtigen, dass im Moment des Anlegens von Spannung an den SPS-Eingängen E0.0 und E0.1 jeweils schon „1“-Signale anliegen.

Das Programm lautet in der AWL (**Bild 5**):

$$\begin{array}{ll} U \text{ E0.0} & "1" \\ U \text{ E0.1} & "1" \\ = \text{ A4.0} & "1" \end{array} \left. \begin{array}{l} \text{beim Einschalten} \\ \text{als Verknüpfungsergebnis} \end{array} \right\}$$

Es sollen die beiden Öffner durch zwei Schließer ersetzt werden. Die Leuchte P1 soll wieder leuchten, wenn S0 und S1 **nicht** betätigt werden. S0 und S1 liefern bei Nichtbetätigung an den Eingängen E0.0 und E0.1 logische „0“-Signale.

Anweisungsliste AWL:

$$\begin{array}{ll} \text{UN E0.0} & "0" \text{ am Eingang} \quad \text{intern "1"} \\ \text{UN E0.1} & "0" \text{ am Eingang} \quad \text{intern "1"} \\ = \text{ A4.0} & "1" \text{ als Verknüpfungsergebnis} \end{array}$$

Die Negation „N“ bedeutet: Eine „0“ am Eingang E0.0 wird intern durch die Negation (entspricht einer Signalumkehrung) zur logischen „1“.

## ■ Speicherfunktionen

Eine häufige Anforderung in der Steuerungstechnik ist das Speichern von nur kurzfristig auftretenden Signalen. Die Speicherung kann dann mechanisch mit einer Raste erfolgen oder durch eine Selbsthalteschaltung über den Schließer eines Relais (**Bild 1, folgende Seite**).

<sup>1)</sup> 1 Signalinvertierung, d.h. Umkehrung eines Signals von „0“ in „1“ oder von „1“ in „0“

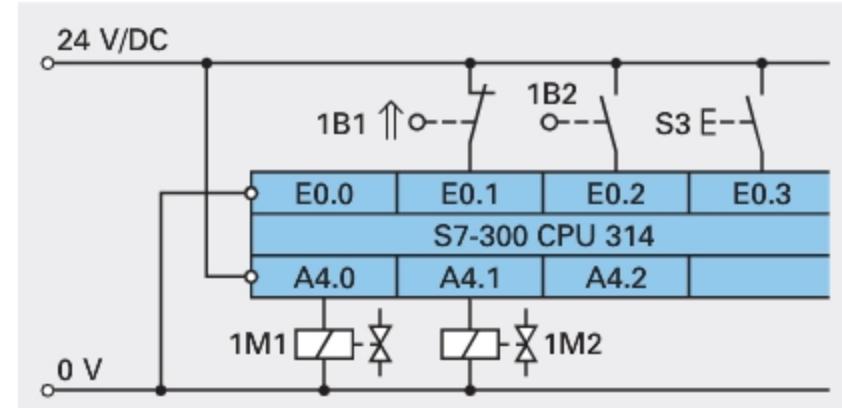


Bild 1: Verdrahtung des pneumatischen Schiebers

Steckplatz	Baugruppe	Bestellnummer	Firmw...	MPI-Adresse	E-Adresse	A-Adresse
1	PS 307 2A	6ES7 307-1BA00-0AA0				
2	CPU 314	6ES7 314-1AE04-0AB0	V1.1	2		
3					0...3	
4	DI32xDC24V	6ES7 321-1BL00-0AA0				
5	DO32xDC24V/0,5A	6ES7 322-1BL00-0AA0				4...7

Bild 2: Hardwarekonfiguration

0B1: Pneumatikschieber Netzwerk 1: Ausfahren von Zylinder 1A1 E0.1 & A4.0 =	in AWL: Netzwerk 1: Ausfahren von Zylinder 1A1 U "1B1" U "S3" = "1M1"
Netzwerk 2: Einfahren von Zylinder 1A1 A4.1 E0.2 & =	Netzwerk 2: Einfahren von Zylinder 1A1 U "1B2" = "1M2"

Bild 3: SPS-Programm für Schieber

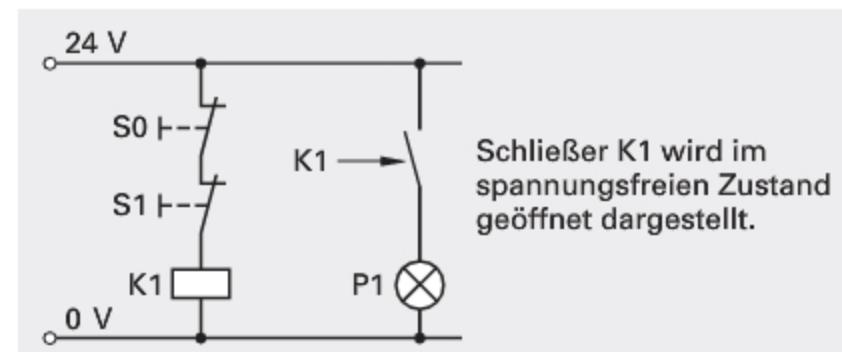


Bild 4: Einsatz von Öffnern in Schaltungen

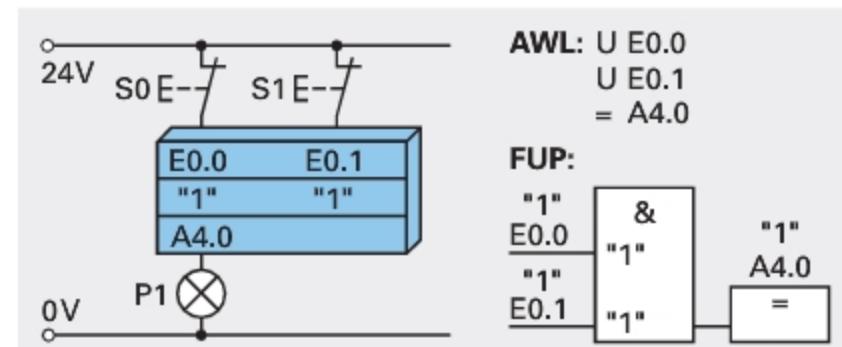


Bild 5: Einsatz von Öffnern in der SPS-Technik

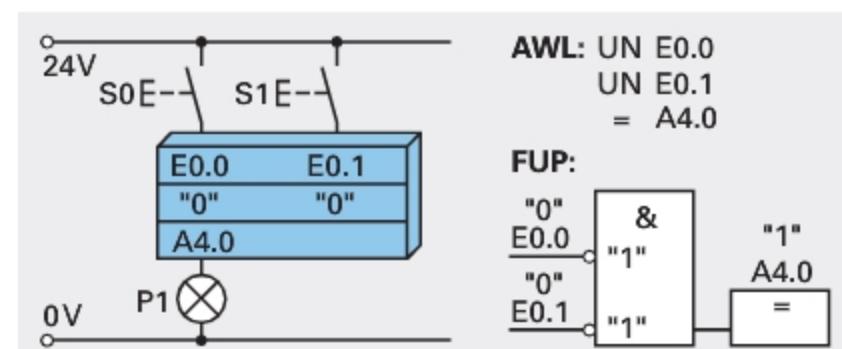


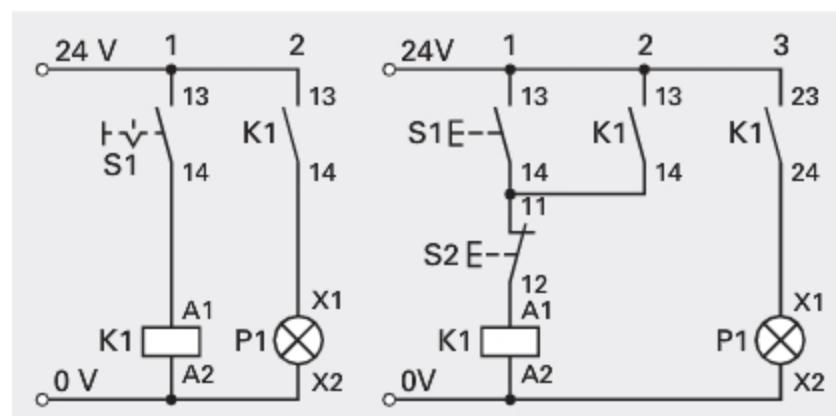
Bild 6: Einsatz von Schließern in der SPS-Technik

**Bild 1** zeigt die löschdominante Variante einer Selbsthaltung. Das Rücksetzsignal dominiert über das Setzsignal, d.h., sind beide Signalelemente S1 und S2 betätigt, so ist der Zustand von Relais K1 auf logisch „0“-Signal. Die Leuchte P1 ist aus.

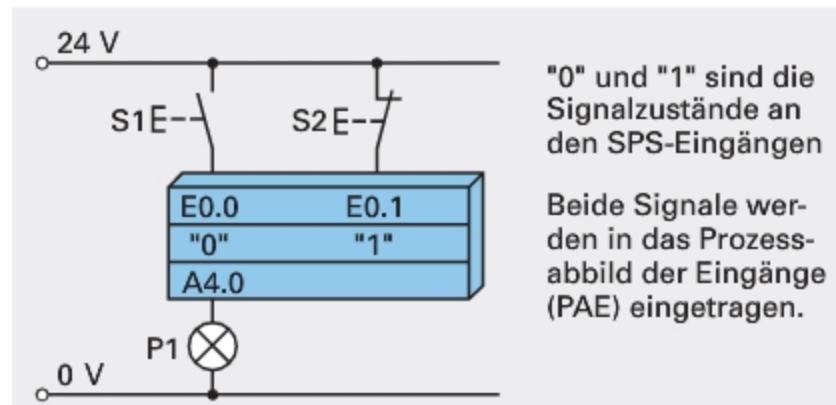
Bei der setzdominanten Selbstthalteschaltung dominiert das Setzsignal S1 das Rücksetzsignal S2, d.h. die Leuchte P1 wäre an. S2 müsste sich bei dieser Schaltung im 2. Strompfad hinter dem Schließer von K1 befinden.

Eine Umsetzung in die SPS-Technik bedeutet eine Verdrahtung des Schließers S1 als Setz-Signal auf E0.0 und die Verdrahtung des Öffners S2 auf E0.1. Die Taste S2 muss hier aus Gründen der Drahtbruchsicherheit als Öffner ausgeführt sein. In **Tabelle 1** sind die beiden Selbsthaltungen in den SPS-Sprachen gezeigt.

In Tabelle 1 sind die Selbsthaltungen nach der Logik der Relaistechnik umgesetzt. Da die Speicherfunktion in der SPS-Technik sehr häufig zu finden ist, z.B. bei Ablaufsteuerungen, gibt es eigene **S**- und **R**-Befehle (**Tabelle 2**).



**Bild 1: Selbsthaltung von Signalen**



**Bild 2: Verdrahtung der Selbsthaltung auf SPS**

**Tabelle 1: Selbstthalteschaltungen (Rücksetzsignal E0.1 ist ein Öffner)**

Rück-setzen dominant	FUP/FBS	AWL	KOP
		U( O( O( ) U( = A E 0.0 0.1 A 4.0	
Setzen dominant		U( O( O( ) U( = A E 4.0 0.1 0.0 A 4.0	

Tabelle 2 zeigt z.B. in der AWL: **U E0.0**  
**S A4.0**

Das bedeutet, wenn E0.0 eine „1“ hat, dann wird der Ausgang speichernd auf „1“ gesetzt, auch wenn E0.0 wieder zu „0“ wird. Erst über einen R-Befehl kann der Ausgang wieder auf „0“ zurückgesetzt werden.

Das **SR-Flipflop** entspricht einer dominierend **löschen**den Selbsthaltung. Die letzte Zuweisung in der 4. Zeile der AWL auf den Ausgang A4.0 ist entscheidend. Die letzte Zuweisung ist „**R**“ (= Rücksetzen speichernd oder Reset).

Das **RS-Flipflop** entspricht einer dominierend setzenden Selbsthaltung, letzte Anweisung ist „**S**“.

**Bild 3** zeigt die Arbeitsweise eines Speichers:

Im Prozessabbild der Eingänge PAE befinden sich zweimal die „1“, da der Taster E0.0 betätigt wird. In der 3. Zeile wird das Verknüpfungsergebnis (VKE) durch die „**N**“-Anweisung zu logisch „0“, sodass in der Zeile 4 der Ausgang A4.0 im Prozessabbild der Ausgänge PAA auf „1“ gesetzt bleibt.

**Tabelle 2: Speicherfunktionen**

Operation	FUP/FBS	AWL	KOP
Setzen speichernd		U S E 0.0 4.0	
Rücksetzen speichernd		U R E 0.1 4.0	
SR-Flipflop		U S E 0.0 4.0 U U E 0.1 4.0 R R A 4.0 N O P 0	
RS-Flipflop		U R E 0.1 4.0 U U E 0.0 4.0 S S A 4.0 N O P 0	

Pro gramm- zeile	AWL	Signa l- zustand im PAE	Verknüpfungsvor schrift	VKE	PAA
1	U E0.0	1		1	
2	S A4.0		→ S		1
3	UN E0.1	1	→ N	0	
4	R A4.0		→ R		1

**Bild 3: Bearbeitung von AWL-Befehlen**

## ■ Zeitfunktionen

Im folgenden Beispiel soll der doppelt wirkende Pneumatikzylinder 1A1 einer Prä gepresse einen elektrisch beheizten Stempel auf die von Hand eingelegten Kunststoffteile drücken (**Bild 1**). Diese erhalten dadurch eine Kennzeichnung und werden danach wieder aus der Presse entnommen.

Der Arbeitsraum der Presse ist durch eine Lichtschranke B1 gesichert. Gestartet wird die Vorrichtung mit Taster S1. Die beiden Endlagen des Kolbens werden über magnetische Sensoren abgefragt. In der vorderen Endlage verweilt der Pressestempel drei Sekunden und fährt selbsttätig zurück in die Ausgangsstellung. Der Rückhub kann auch durch Taster S2 oder durch Unterbrechen der Lichtschranke eingeleitet werden.

Die Betriebsmittel werden nach Auswahl der SPS in einer Symboltabelle den Ein- und Ausgängen der SPS zugeordnet (**Bild 2**) und auf die Ein- und Ausgabebaugruppen verdrahtet (**Bild 4**). Das FUP-Programm (**Bild 3**) enthält einen SR-Speicher wegen des monostabilen Stellelements 1V1 und eine Einschaltverzögerung S\_EVERZ (Tabelle 1).

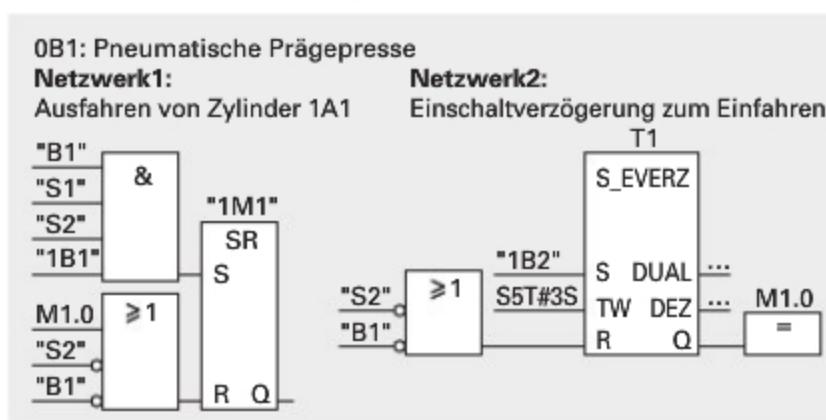


Bild 3: FUP-Programm für die Prä gepresse

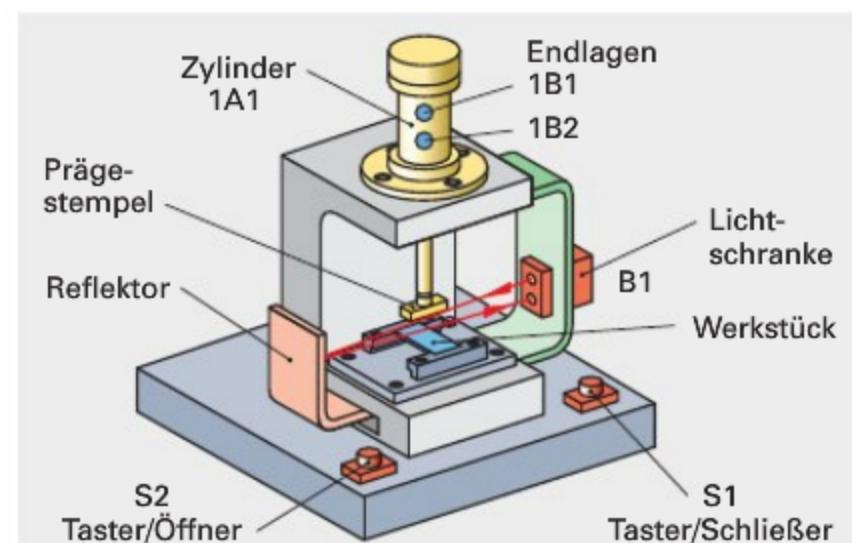


Bild 1: Technologieschema der Prä gepresse

Symbol	Adresse	Datentyp	Kommentar
1 B1	E 0.0	BOOL	Lichtschranke; betätigt = "0"; Öffner
2 S1	E 0.1	BOOL	Taster START, Schließer
3 S2	E 0.2	BOOL	Taster ZURÜCK, Öffner
4 1B1	E 0.3	BOOL	magn. Sensor für hintere Endlage von 1A1; Schließer
5 1B2	E 0.4	BOOL	magn. Sensor für vordere Endlage von 1A1; Schließer
6 1M1	A 4.0	BOOL	Magnetventil für Zylinder 1A1 ausfahren, monostabil

Bild 2: Symboltabelle für die Prä gepresse

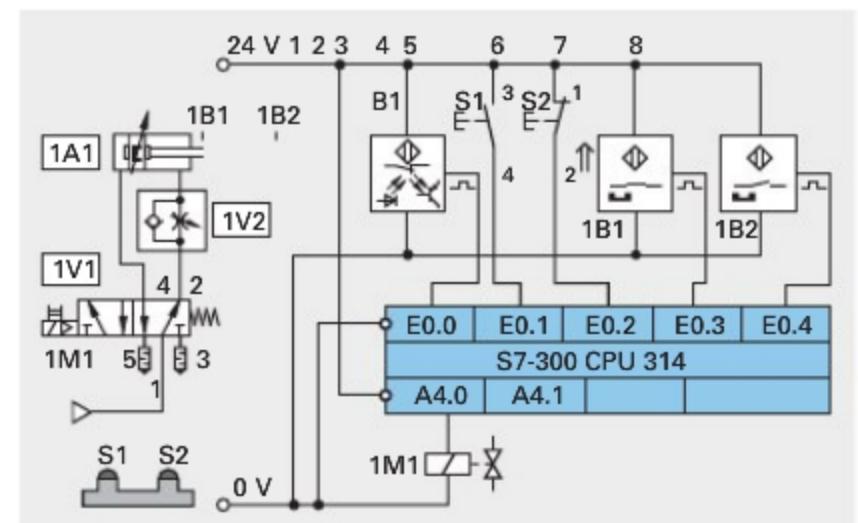


Bild 4: SPS-Verdrahtung der Prä gepresse

Tabelle 1: Zeitfunktionen von modularen SPS-Systemen

Funktion	Funktionsplan	Kontaktplan	Anwendungsliste	Signal-Zeit-Diagramm
Impuls <b>S_Impuls</b>	<p>T1</p> <p>S_IMPULS</p> <p>E2.0 S DUAL S5T#5s TW DEZ E2.1 R Q A6.0</p>	<p>T1</p> <p>S_IMPULS</p> <p>E2.0 S Q A6.0</p> <p>S5T#5s TW DUAL E2.1 R DEZ ...</p>	<p>U E 2.0</p> <p>L S5T#5s</p> <p>SI T 1</p> <p>U E 2.1</p> <p>R T 1</p> <p>U T 1</p> <p>= A 6.0</p>	<p>positive Flanke</p> <p>E2.0   [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]</p> <p>E2.1   [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]</p> <p>A6.0   [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]</p> <p>t t</p>
Einschalt- verzögerung <b>S_EVERZ</b>	<p>T2</p> <p>S_EVERZ</p> <p>E2.0 S DUAL S5T#5s TW DEZ E2.1 R Q A6.0</p>	<p>T2</p> <p>S_EVERZ</p> <p>E2.0 S Q A6.0</p> <p>S5T#5s TW DUAL E2.1 R DEZ ...</p>	<p>U E 2.0</p> <p>L S5T#5s</p> <p>SE T 2</p> <p>U E 2.1</p> <p>R T 2</p> <p>U T 2</p> <p>= A 6.0</p>	<p>E2.0   [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]</p> <p>E2.1   [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]</p> <p>A6.0   [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]</p> <p>t t t</p>
Ausschalt- verzögerung <b>S_AVERZ</b>	<p>T3</p> <p>S_AVERZ</p> <p>E2.0 S DUAL S5T#5s TW DEZ E2.1 R Q A6.0</p>	<p>T3</p> <p>S_AVERZ</p> <p>E2.0 S Q A6.0</p> <p>S5T#5s TW DUAL E2.1 R DEZ ...</p>	<p>U E 2.0</p> <p>L S5T#5s</p> <p>SA T 3</p> <p>U E 2.1</p> <p>R T 3</p> <p>U T 3</p> <p>= A 6.0</p>	<p>negative Flanke</p> <p>E2.0   [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]</p> <p>E2.1   [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]</p> <p>A6.0   [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]</p> <p>t t t</p>

### 8.6.2.4 Ablaufsteuerungen in der SPS

Bei Ablaufsteuerungen folgen die einzelnen Schritte in einer festen Reihenfolge aufeinander. Ablaufsteuerungen können zeitgeführt oder prozessabhängig (Ergebnis von Ablaufschritten) sein.

#### Beispiel: Farbenmischanlage (Bild 1)

Dem Mischbehälter sollen zwei Farbkomponenten zugeführt werden. Die Komponenten werden eine bestimmte Zeit gemischt und danach als fertige Mischfarbe abgelassen.

Nach dem Startsignal durch den Taster S1 werden die Magnetventile M1 und M2 geöffnet. Die Farbkomponenten laufen bis zum maximalen Füllstand ein, der durch den Sensor B2 erfasst wird. Danach werden beide Ventile wieder geschlossen, der Motor M3 des Rührwerks eingeschaltet und nach zwei Minuten wieder abgeschaltet. Die fertig gemischte Farbe wird durch die vom Motor M4 angetriebene Pumpe abgepumpt, bis der Behälter leer ist. Dieser Zustand wird durch den Sensor B1 erfasst.

**Zusatzbedingungen:** Die Anlage soll mittels Drehschalter S2 im Automatik- und Handbetrieb (manuell) betrieben werden können. Über Stopp-Taster S3 (Öffner) wird der Automatikbetrieb beendet. Mit Taster S4 kann der Behälter im Handbetrieb ablaufunabhängig geleert werden. Befindet sich die Anlage in der Grundstellung „GS“, so hat die grüne Meldeleuchte P1 ein Signal. Läuft die Anlage im Automatikbetrieb „Auto“, so hat die Meldeleuchte P2 ein Signal „1“ und leuchtet.

Der Steuerungsablauf für den Automatikbetrieb wird in einem **GRAFCET** nach DIN EN 60848 dargestellt (**Bild 2**). Durch „BA-Wahl“ im ersten Übergang (Transition 1) wird der Ablauf im Automatik- oder Handbetrieb freigegeben.

Die **Symboltabelle** gibt die Zuordnung der Ein- und Ausgänge auf die SPS-Baugruppen wieder (**Bild 3**). Die Ablaufsteuerung hat eine andere Struktur als Verknüpfungssteuerungen. Folgende Elemente sind typisch:

- **Betriebsartenteil** (Hand oder Automatik),
- **Schrittfolge** mit Schrittmerkern,
- **Befehlausgabe** mit Aktionen,
- **Meldeteil** mit Zustands- und Störungsanzeigen.

**Strukturierte Programmierung:** Um diese Struktur in einem SPS-Programm übersichtlich wiedergeben zu können, führt man zusätzlich zum Organisationsbaustein OB1, der als Schnittstelle zwischen einem Anwenderprogramm und dem Betriebssystem der SPS steht, weitere Programmbausteine ein (**Bild 1, folgende Seite**).

Diese Bausteine heißen **Funktionen FC** und können vom Anwender frei programmiert werden.

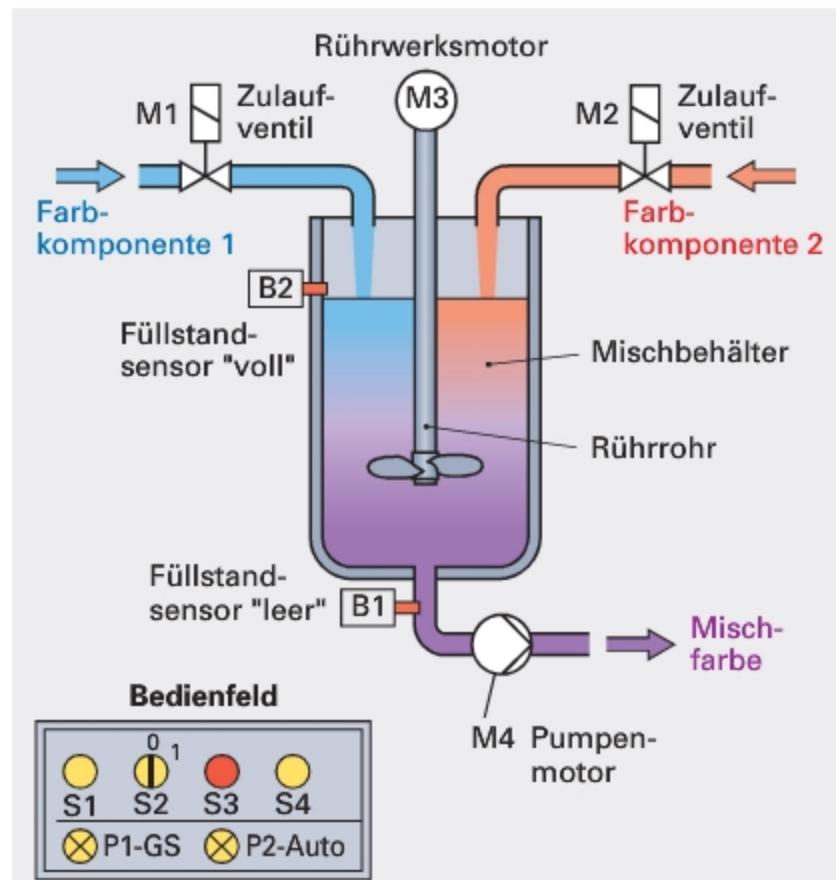


Bild 1: Technologieschema einer Farbenmischanlage

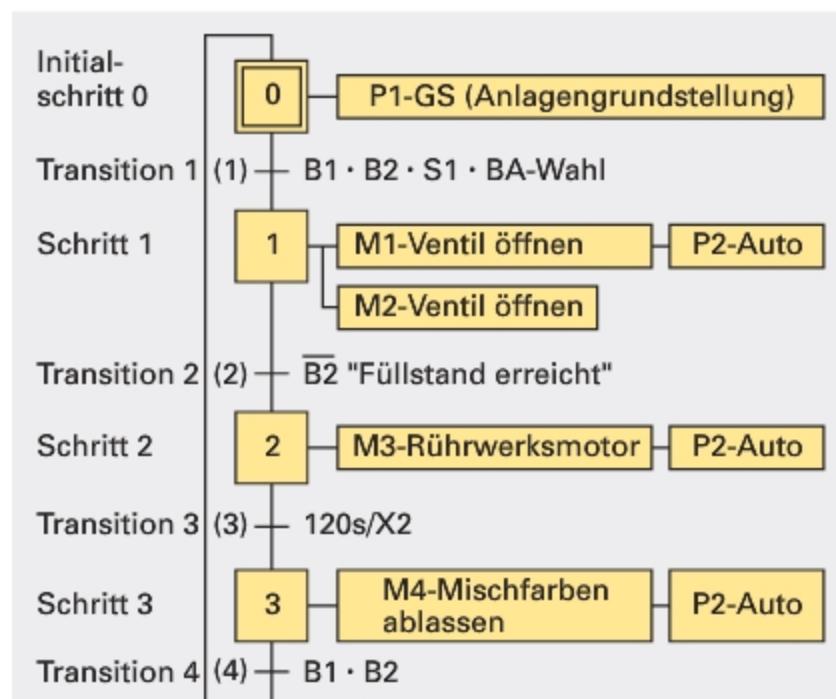


Bild 2: GRAFCET für Automatikbetrieb der Farbenmischanlage

	Symbol	Adresse	Kommentar
1	S1_START	E 0.1	Start-Taster S1, Schließer
2	S2_BA	E 0.2	Drehschalter S2, Betriebsart. BA Automatik = „1“ oder Manuell = „0“
3	S3_STOPP	E 0.3	Stopp_Taster S3, Öffner
4	S4	E 0.4	Handtaster S4, Farbe Ablassen; Schließer
5	B1	E 0.5	kapaz. Sensor B1; Behälter „leer“; Öffner
6	B2	A 0.6	kapaz. Sensor B2; Behälter „voll“; Öffner
7	M1	A 4.0	Zulaufventil M1 „Öffnen“; Farbkomponente 1
8	M2	A 4.1	Zulaufventil M2 „Öffnen“; Farbkomponente 2
9	M3	A 4.2	Rührwerksmotor M3 „AN“
10	M4	A 4.3	Pumpenmotor M4 „AN“
11	P1_GS	A 4.4	Meldeleuchte P1; grün; Anlage in Grundstellung GS
12	P2_AUTO	A 4.5	Meldeleuchte P2; weiß; Anlage im Automatikbetrieb
13	Schritt1	M 1.0	Schritt 1: InitialisierungsSchritt
14	Schritt2	M 2.0	Schritt 2: Ventile M1 und M2 „Öffnen“
15	Schritt3	M 3.0	Schritt 3: Rührwerksmotor M3 „AN“
16	Schritt4	M 4.0	Schritt 4: Pumpenmotor M4 „AN“
17	Automatik	M 50.0	Betriebsart AUTO
18	Hand	M 50.1	Betriebsart Manuell (TIPPbetrieb)
19	BA_Wahl	M 50.2	Freigabe durch Auswahl der Betriebsart
20	Reset	M 50.3	Initialisieren und Zurücksetzen der Ablaufschritte
21	GS	M 50.4	Grundzustand der Anlage (Grundstellung)

Bild 3: Symboltabelle für Rührwerk

Durch die Verwendung von Funktionen wird die übliche serielle, zeilenorientierte Abarbeitung der einzelnen Befehlszeilen oder Netzwerke im Organisationsbaustein OB1 verändert. Es werden die Programmbefehle in den Funktionen FC1, FC2 usw. in einem Zyklus nacheinander abgearbeitet.

Mit dieser Struktur wird das Gesamtprogramm sehr übersichtlich und erleichtert die Fehlersuche.

Der Befehl „call“ ist aus der Anweisungsliste AWL. In den Funktionen FC1, FC2 usw. wird die Sprache Funktionsplan FUP verwendet.

### Funktion FC1: Betriebsartenwahl (Bild 2).

Durch die Variable „BA-Wahl“ ergibt sich die Freigabe für die einzelnen Schritte:

- **Automatikbetrieb:** Automatikwahlschalter S2 auf „1“ und betätigen der Start-Taste S1.
- **Handbetrieb:** Hierzu muss der Automatikwahlschalter S2 auf „0“ stehen und die Start-Taste S1 betätigt werden. Die UND-Verknüpfung geht auf eine Funktion, die man „Flankenauswertung“ bezeichnet, ein Rechteck mit „P“. Es bedeutet, dass die SPS vom Start-Taster S1 nur den Wechsel des Signalzustandes von „0“ auf „1“ erfasst und auswertet. Bleibt man weiterhin auf S1, so hat dies keine Bedeutung mehr. So wird erreicht, dass nur ein Schritt weitergeschaltet wird, der nächste Schritt müsste wieder durch den Wechsel von „Aus – 0“ auf „Ein – 1“ erfolgen.
- **Initialisierung und Zurücksetzen der Ablaufschritte:** Die Stopp-Taste S3 ist ein Öffner, bei Betätigung erhält E0.3 am SPS-Eingang die „0“. Durch die Negation erhält die Variable „Reset“ die „1“. Die Auswirkung kann man in der Funktion FC2 sehen (Bild 3). Durch „Reset“ erfolgt hier das speichernde Setzen von Schritt 0, dem Initialisierungsschritt. Bei einem Neustart des Programmes ist „Reset“ zwingend notwendig, da die Variable „Schritt 3“ der UND-Verknüpfung mit „BA-Wahl“ zu „0“ führen würde. Variable „Schritt 3“, der letzte Schritt der Ablaufkette, ist erst nach einmaligem Durchlauf auf „1“.
- Der Initialisierungsschritt „Schritt 0“ bringt die **Schrittfolge** in Grundstellung. Er hat eine andere Struktur als die weiteren Schritte der Ablaufkette. Am S-Eingang des SR-Speichers hat er eine **ODER**-Verknüpfung mit vorgelagerter **UND**-Verknüpfung.
- **Grundzustand der Anlage (Bild 2):** Mit der Variablen „GS“ wird der Anfangszustand oder die Grundstellung einer Anlage beschrieben, z.B. dass der Behälter „leer“ ist. Damit hat der Sensor B1 als Öffner die „1“ am SPS-Eingang E0.5. Er ist nicht betätigt. Das Gleiche gilt für den Sensor B2 an E0.6.

```
081 : S7- Programm für Farbenmischanlage-Strukturierte Programmierung

Netzwerk 1: Aufruf Betriebsartenwahl
    CALL  FC   1

Netzwerk 2: Schrittfolge mit Schrittmerkern
    CALL  FC   2

Netzwerk 3: Befehlausgabe auf die SPS- Ausgänge
    CALL  FC   3

Netzwerk 4: Meldeteil: Zustands- und Störungsanzeige
    CALL  FC   4
```

Bild 1: Funktionaufruf im OB1

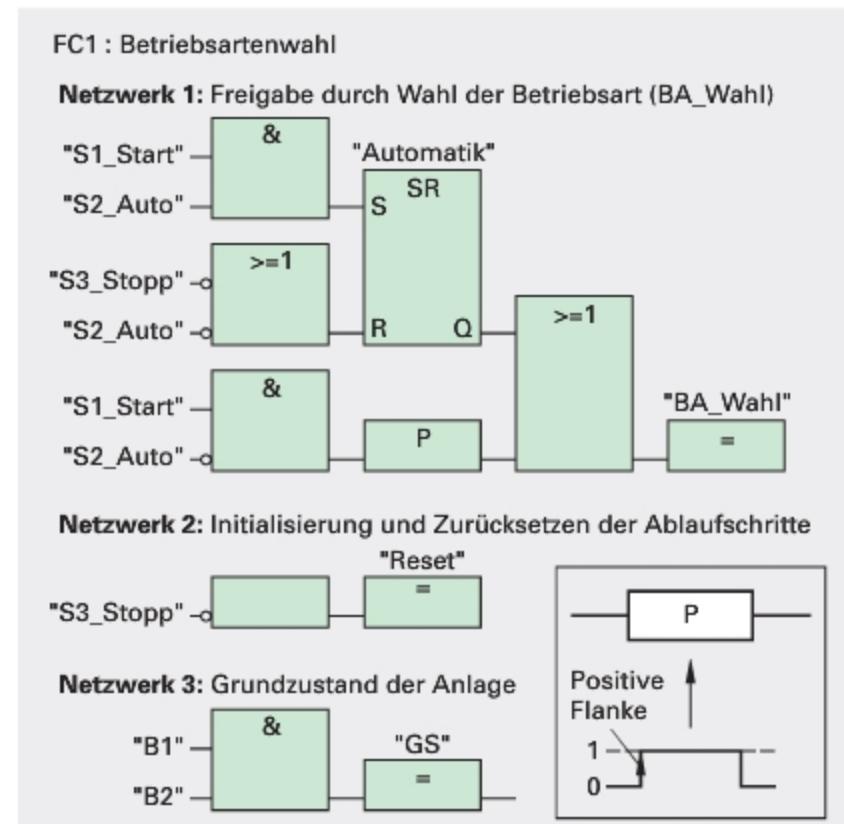


Bild 2: Wahl der Betriebsart, Reset und Grundstellungsabfrage in der Funktion FC1

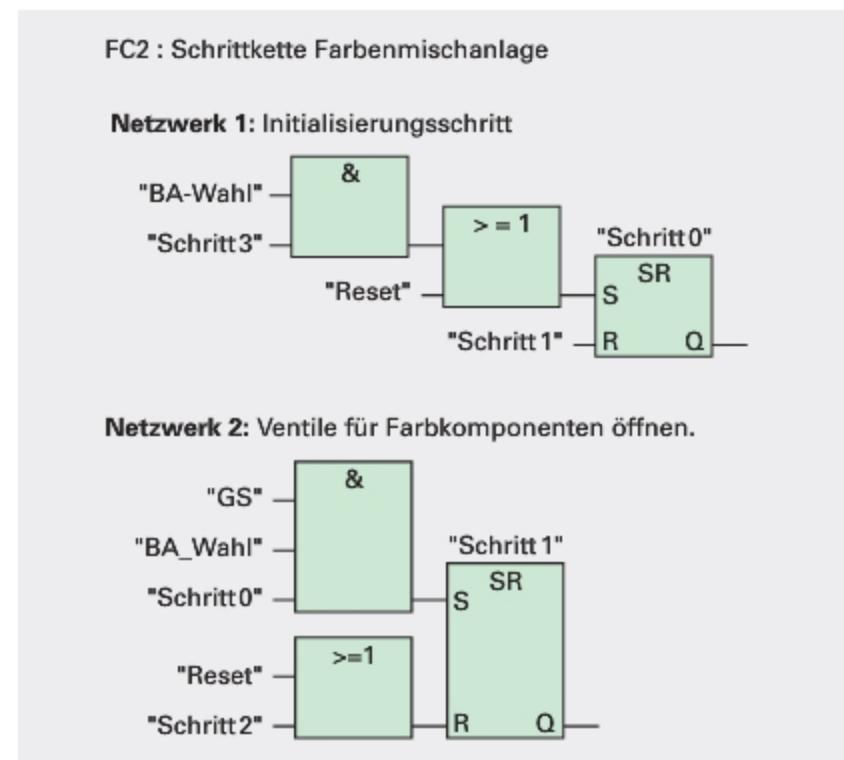


Bild 3: Initialisierungsschritt und 1. Schritt „Ventile öffnen“ in Funktion FC2

### Funktion FC2: Schrittfolge (Bild 1 und Bild 3, vorherige Seite)

Die einzelnen Schritte des Ablaufes werden in Schrittmerkern abgelegt. Alle Schritte der Ablauffolge werden mit **SR-Speichern** programmiert. Am S-Eingang ist jeweils eine UND-Verknüpfung mit dem Schrittmerker des vorhergehenden Schrittes und der Transitionsbedingung, z.B. Sensor B2. Wird mit Betriebsarten gearbeitet, findet sich hier auch die Freigabe mit der Variablen „BA-Wahl“. Am R-Eingang des Speichers findet sich eine **ODER**-Verknüpfung: Zurückgesetzt wird mit dem folgenden Schritt oder mit „Reset“. So wird sicher gestellt, dass jeweils nur ein Ablaufschritt aktiv ist. Der Übergang vom Netzwerk 3 ins Netzwerk 4 erfolgt über eine Einschaltverzögerung. Damit wird die zunächst prozessgeführte Ablaufsteuerung zu einem zeitgeföhrten Ablauf. Der letzte Ablaufschritt wird durch den „Schritt 0“ gelöscht, d.h. zurückgesetzt.

Man spricht von einer löschen den Taktfolge. Nur für diese Taktfolgenart ist eine Ablaufbeschreibung mittels GRAFCET zulässig.

### Funktion FC3: Befehlausgabe (Bild 2)

Die einzelnen Schrittmerker, z.B. „Schritt 1“, werden im FC3 den SPS-Ausgängen zugewiesen. So wird gleichzeitig sichergestellt, dass die Ausgänge nur einmal innerhalb des Programmes eine Zuweisung bekommen und eine Überschreibung innerhalb eines SPS-Zyklus nicht möglich ist.

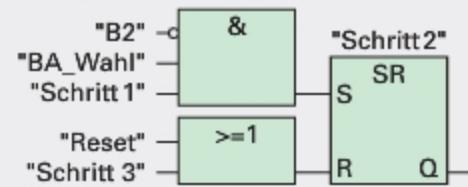
Sollen „M1“ oder „M2“ über den Schritt 1 hinaus aktiv bleiben, so müsste mit SR-Speichern gearbeitet werden oder man hat bistabile Stellelemente, z.B. 5/2-Impulsventile im Einsatz, wie sie häufig in der Elektropneumatik verwendet werden.

### Funktion FC4: Meldungen (Bild 3)

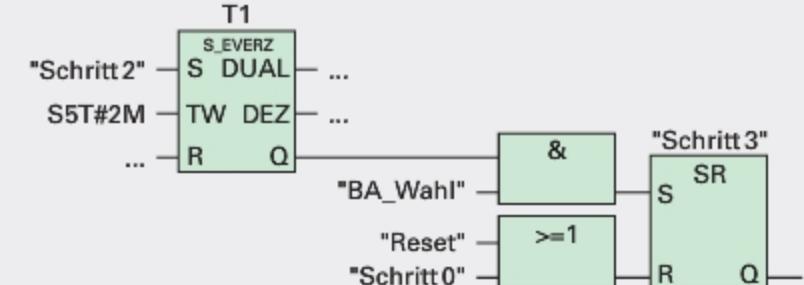
Befindet sich die Anlage in Grundstellung „GS“, so zeigt die Leuchte „P1\_GS“ dies an. Befindet sich die Anlage in einem der drei Ablaufschritte, so leuchtet „P2\_Auto“.

Den Verdrahtungsplan der Aufgabe zeigt **Bild 4**.

Netzwerk 3: Farbkomponenten mischen.



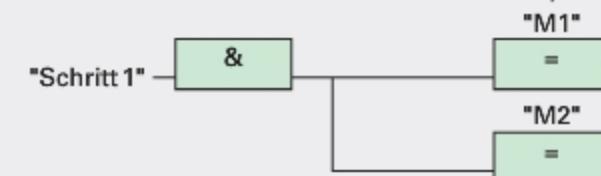
Netzwerk 4: Mischfarbe ablassen.



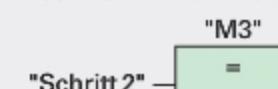
**Bild 1:** Ablaufschritte „Farben röhren“ und „Farbe ablassen“ in Funktion FC2

FC3 : Befehlausgabe an die Ausgänge

Netzwerk 1: Ventile M1 und M2 für Farbkomponenten öffnen.



Netzwerk 2: Rührwerksmotor M3 einschalten.



Netzwerk 3: Pumpenmotor M4 einschalten; Mischfarbe ablassen.



**Bild 2:** Befehlausgabe in der Funktion FC3

FC4 : Meldeteil mit Zustandsanzeigen.

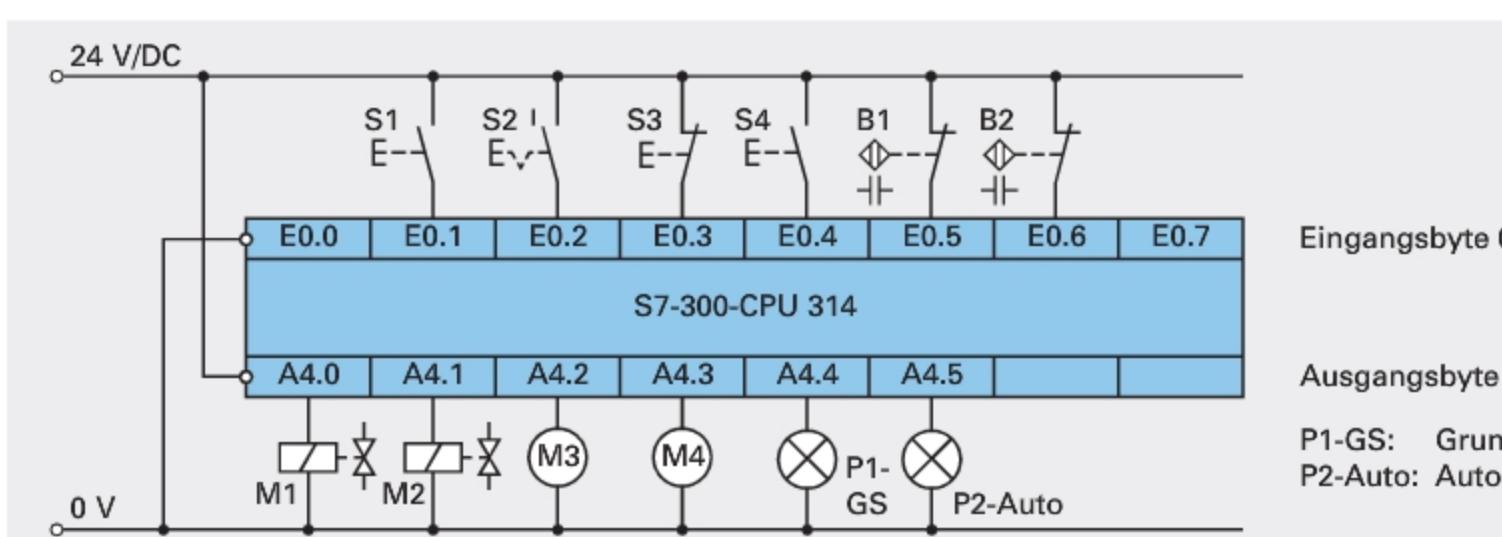
Netzwerk 1: Meldeleuchte für Grundzustand.



Netzwerk 2: Anlagen in einem der drei Ablaufschritte.



**Bild 3:** Meldungen in Funktion FC4



**Bild 4:** Verdrahtung der Ein- und Ausgänge für die Farbmischsanlage

## 8.7 Handhabungstechnik in der Automation

### 8.7.1 Handhabungssystemtechnik

Handhabungsvorgänge sind bei allen Transport-, Bearbeitungs-, Montage- und Prüfabläufen in der Fertigung erforderlich. Deren Ausführungen erledigen geeignete Handhabungssysteme, z.B. ein Industrieroboter in einer Montagelinie (**Bild 1**).

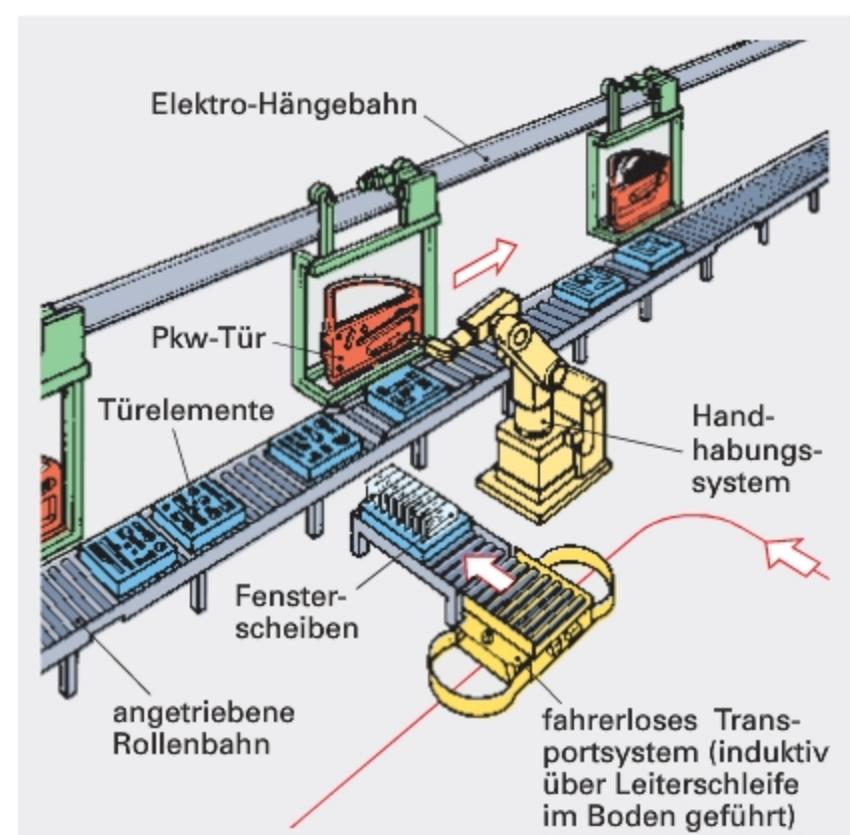
Es besteht ein **Materialfluss** zu den Fertigungs- und Montageplätzen, sowie von ihnen weg. Das **Handhaben** ist eine Teilfunktion dieses Materialflusses, wie auch das **Fördern** und **Lagern**.

**Handhabungsfunktionen** werden in fünf Teilbereiche gegliedert. Zur einfacheren Beschreibung und Dokumentation dieser Funktionen werden entsprechende Symbole verwendet (**Bild 2**).

**Handhabungseinrichtungen** für das Beladen und Entladen von Drehmaschinen führen überwiegend lineare (horizontale, vertikale) oder drehende Bewegungen aus. Dabei wird ein Rohteil zur Spannvorrichtung geführt und nach Ablauf der Bearbeitung als Fertigteil in einem Transportbehälter abgelegt (**Bild 3**).

Die Freiheitsgrade eines Handhabungssystems ermöglichen diese Bewegungen. Der mechanische **Freiheitsgrad**  $f$  gibt die Anzahl der unabhängigen Bewegungen, z.B. Verschiebungen oder Drehungen eines Bauteils gegenüber seinem Bezugssystem, an (**Bild 4**). Es gibt drei **translatorische** (lineare) Freiheitsgrade, also Bewegungen in X-, Y- und Z-Richtung. Diese Verschiebungen verändern die Position eines Bauteils.

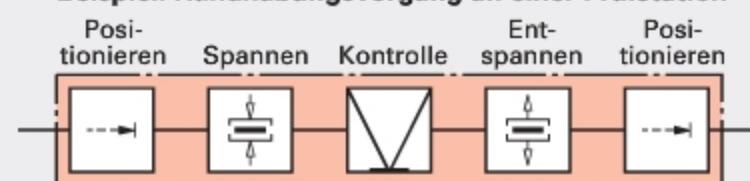
Drei **rotatorische** (drehende) Freiheitsgrade verändern die **Orientierung** des Körpers. Es handelt sich jeweils um die Drehungen A, B und C.



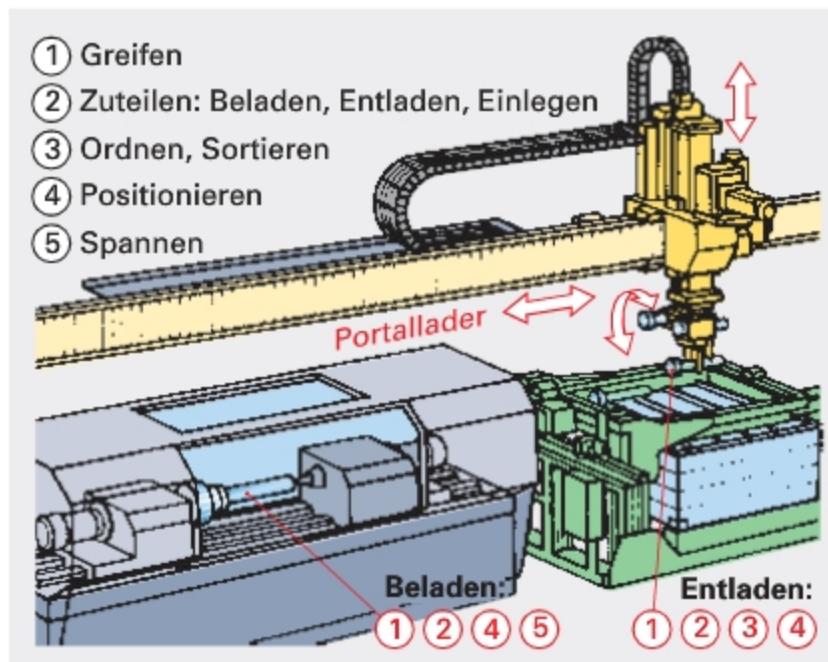
**Bild 1:** Bauteilmontage an Autotüren mittels Handhabungseinrichtung

Speichern	Mengen ändern	Bewegen	Sichern	Kontrolle
z. B. Magazin, Speicher	z. B. Weiche, Verteiler	z. B. Anschlag	z. B. Greifer, Aufnahme	z. B. Sensor, Prüf- einrichtung

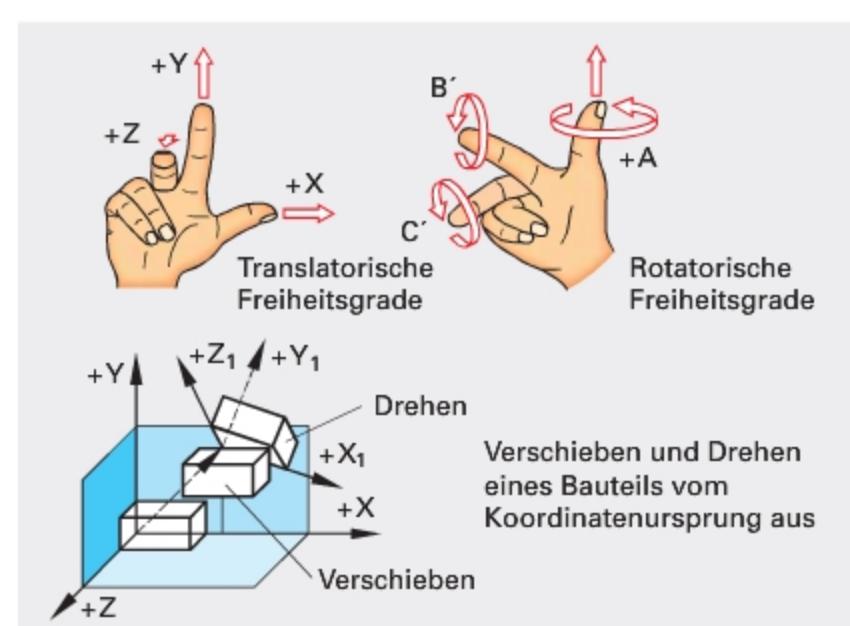
**Beispiel:** Handhabungsvorgang an einer Prüfstation



**Bild 2:** Symboldarstellungen von Funktionen beim Handhaben



**Bild 3:** Handhabungsfunktionen beim Beladen und Entladen einer Drehmaschine



**Bild 4:** Freiheitsgrade eines Körpers

## 8.7.2 Einteilung der Handhabungssysteme

Man unterscheidet Manipulatoren, Einlegegeräte und Industrieroboter. Sie haben unterschiedliche Steuerungen und Programmiermöglichkeiten für den Bewegungsablauf.

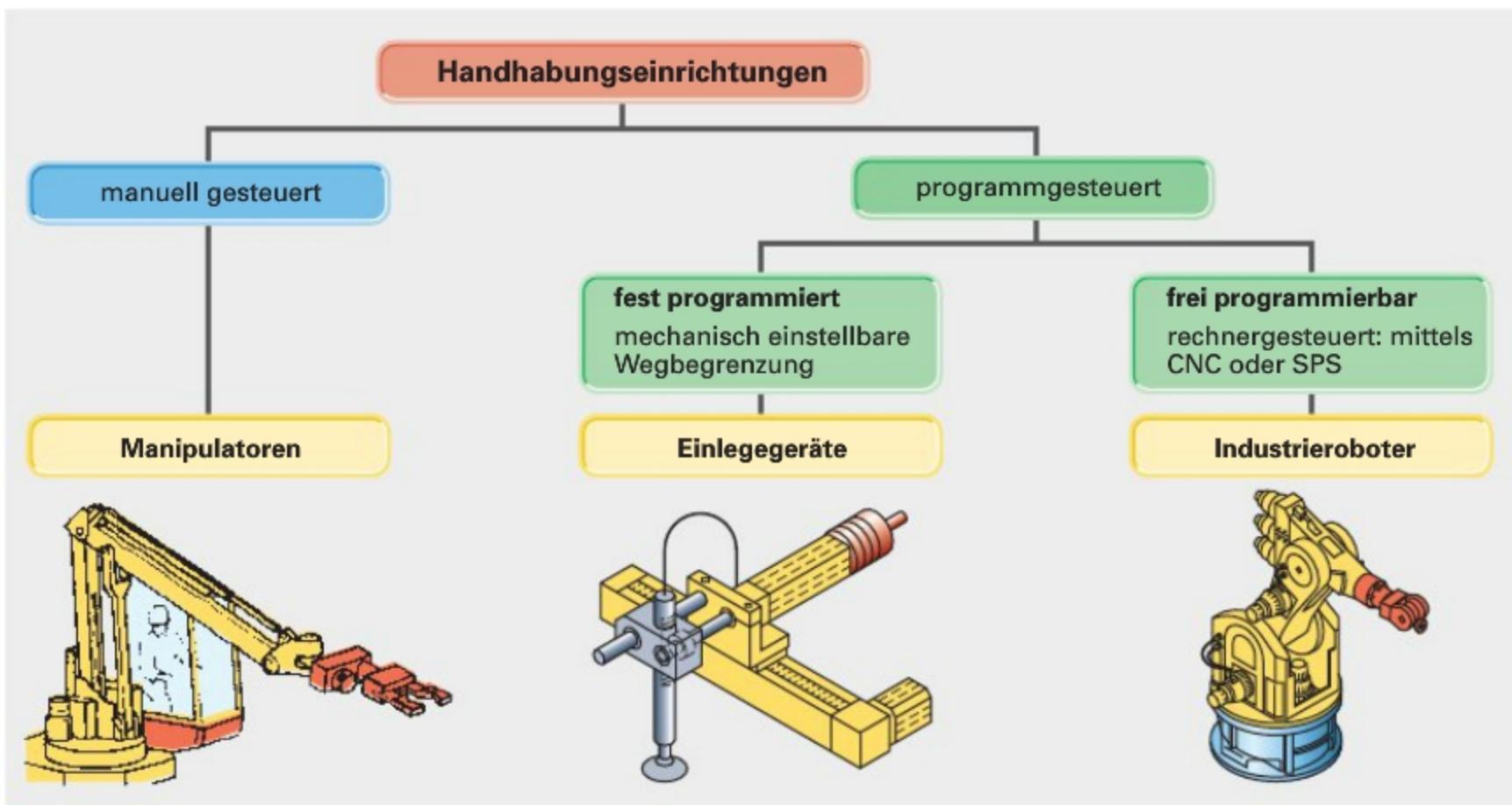


Bild 1: Einteilung von Handhabungssystemen nach der Steuerungsart

**Manipulatoren** ermöglichen das Bewegen schwerer Bauteile und gefährlicher Lasten über eine Handsteuerung. Ferngesteuert sind sie in Räumen einsetzbar, die wegen Hitze, Kälte, Druck oder radioaktiver Strahlung nicht betreten werden dürfen.

**Einlegegeräte** sind mit Greifern ausgerüstete Bewegungsautomaten. Sie werden in der Großserienfertigung eingesetzt, wenn eine Punkt-zu-Punkt-Bewegung auszuführen ist, z.B. Werkstück- oder Werkzeugzuführung aus einem Magazin in die Maschine. Die einfachen Bewegungsabläufe, also die Hub- und Schwenkbewegungen, können über Anschläge oder Endschalter eingestellt werden.

**Industrieroboter** haben nahezu unbegrenzte Bewegungsmöglichkeiten innerhalb ihres Arbeitsraumes. Die Bewegungen sind frei programmierbar oder über Sensoren gesteuert.

## 8.7.3 Kinematik und Bauarten von Industrierobotern

Der kinematische Aufbau von Industrierobotern wird durch die Anordnung, Art und Anzahl seiner Achsen bestimmt, die an einer Bewegung beteiligt sind. **Achsen** sind die geführten und unabhängig voneinander angetriebenen Bewegungselemente des Roboters.

Man unterscheidet:

**Rotatorische Achsen:** Damit können schnelle Drehbewegungen in den Drehgelenken A1 bis A6 ausgeführt werden (**Bild 2**).

**Translatorische Achsen:** Damit sind geradlinige, lineare Achsbewegungen parallel der X-, Y- und Z-Koordinatenachsen möglich.

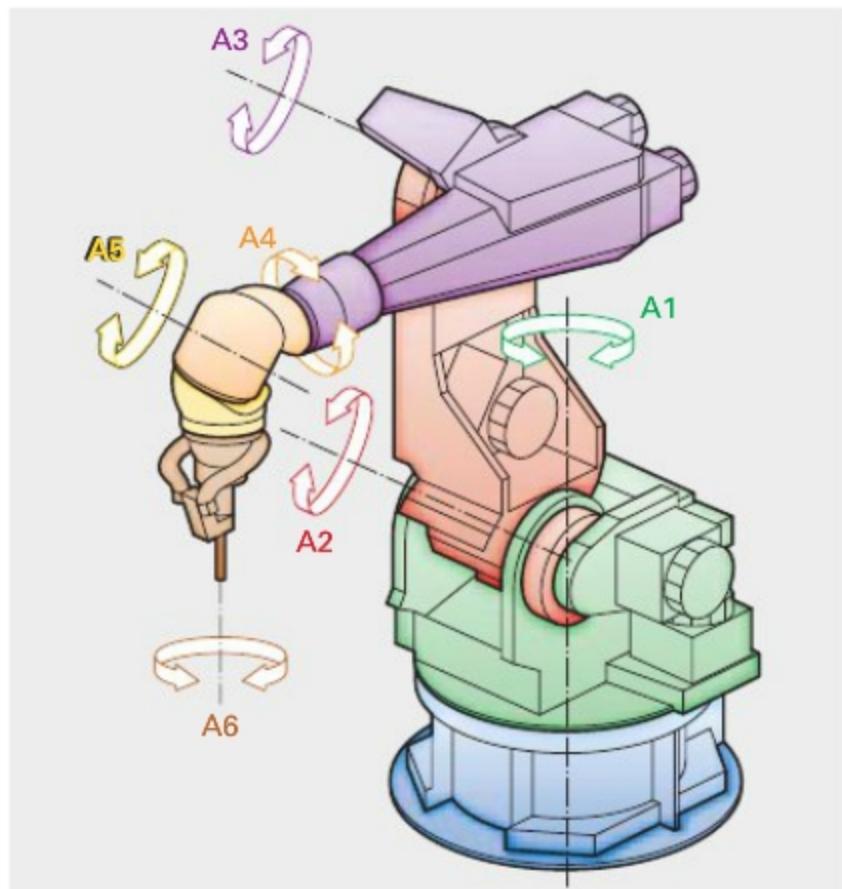


Bild 2: 6-achsiger Knickarmroboter

Die Bauart und die Bewegungsmöglichkeiten (= Kinematik) der Roboter sowie das Vorhandensein von rotatorischen (R) oder translatorischen (T) Hauptachsen des Roboters bestimmen den möglichen **Arbeitsraum** (**Bild 1**): Der Raum kann zylindrisch, kugel- oder quaderförmig sein. Mischformen dieser Grundelemente werden als hybrid bezeichnet: z.B. der Arbeitsraum beim Scara<sup>1)</sup>-Typ.

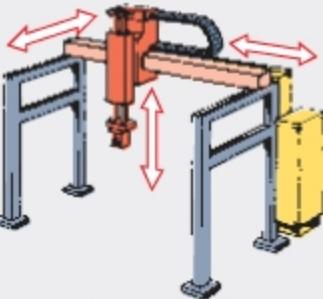
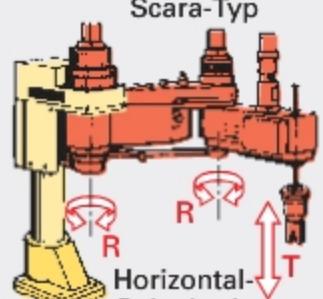
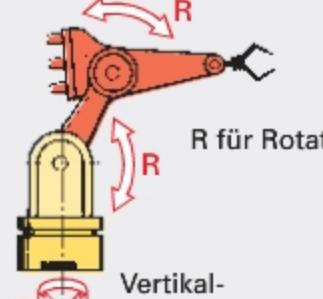
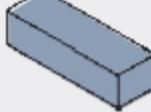
Merkmale	Bauart		
	Portalroboter	Horizontal-Schwenkarm-Roboter	Vertikal-Knickarm-Roboter
Anordnung der Bewegungsachsen (kinematischer Aufbau)	 T für Translation	 Scara-Typ Horizontal-Gelenkachsen R für Rotation	 R für Rotation Vertikal-Gelenkachsen
Achskombination	3 Linearachsen Koordinatenbauweise TTT	1 Linearachse 2 Drehachsen RRT (TRR)	3 Drehachsen RRR
Arbeitsraum			
Einsatzbereiche	Werkzeug- und Werkstück-Beschickung, Montage, Palettieren	Montage, Bohren, Fräsen, Prüfen	Schweißen, Entgraten, Lackieren, Montage

Bild 1: Bauarten und Einsatzbereiche von Industrierobotern

### Die Leistungsmerkmale von Industrierobotern ergeben sich aus der Bauart:

- **Anzahl der Bewegungssachsen.** Je mehr Achsen (Gelenke) ein Roboter besitzt, desto beweglicher ist er. Der höchste Freiheitsgrad  $f = 6$  erfordert mindestens sechs Bewegungssachsen.
- **Arbeitsraum.** Er beschreibt den möglichen Bewegungsraum. Dieser wird aus den Verfahrbereichen aller Achsen gebildet und stellt gleichzeitig den **Gefahrenbereich** für das Bedien- und Wartungspersonal des Roboters dar.
- **Nennlast.** Sie ist immer kleiner als die maximale zulässige Traglast und kann vom Roboter ohne Einschränkung der Geschwindigkeit bewegt werden.
- **Geschwindigkeit.** Sie setzt sich anteilig aus den Bewegungen der Achsen zusammen.
- **Wiederholgenauigkeit.** Sie ist die maximale Abweichung, die beim wiederholten Anfahren einer Position unter gleichen Bedingungen entsteht, und liegt im Bereich von  $\pm 0,01$  mm und  $\pm 2$  mm.
- **Positioniergenauigkeit.** Sie ist die maximale Abweichung beim Positionieren der Nennlast.

Die Eigenart und Charakteristik eines Industrieroboters richtet sich nach seinem Leistungsprofil: der Anzahl der Bewegungssachsen, seiner Positionier- und Wiederholgenauigkeit sowie der Geschwindigkeit.

**Portalroboter** sind brückenartig über dem Arbeitsraum angeordnet. Sie eignen sich besonders für große Fahrwege und die schnelle Bewegung von großen Traglasten.

**Horizontal-Schwenkarm-Roboter** werden überwiegend als Montage-Roboter eingesetzt. Sie besitzen eine hohe Steifigkeit in der senkrechten Achse und können schnelle horizontale Bewegungen ausführen. Nach ihrem Aufbauprinzip sind sie dem menschlichen Arm am ähnlichsten.

**Vertikal-Knickarm-Roboter** werden aufgrund ihrer Bauart auch als **Gelenkroboter** bezeichnet. Ihre Vorteile sind ein relativ großer Arbeitsraum im Verhältnis zur Baugröße, schnelle Bewegungen und die beliebige Ausrichtung von Greifern oder Werkzeugen im Raum. Aufgrund dieser Beweglichkeit sind viele Schweiß- und Lackierarbeiten mit diesem Robotertyp durchführbar. Der universelle Einsatz dieser Roboter für die Handhabung und Bearbeitung hat zur Bezeichnung **Universalroboter** geführt.

<sup>1)</sup> scara, engl. Abkürzung von selective compliance robot arm

## 8.7.4 Funktionseinheiten von Industrierobotern

Der **Antrieb** von Industrierobotern besteht meistens aus drehzahlregelbaren Drehstrom-Servomotoren mit elektromagnetischen Bremsen. Die hohen Drehzahlen der Elektromotoren werden mit Harmonic-Drive- (**Bild 1, Seite 419**) oder Cyclo-Fine-Gelenken stark unterersetzt. Man erhält Drehzahlen im Bereich von 0,2 bis 2 Umdrehungen pro Sekunde.

Die **Sensoren** sind die „Sinnesorgane“ des Roboters. Es gibt eine Vielzahl von eingesetzten Sensoren mit unterschiedlichen Funktionen (**Bild 1**). Taktile (= berührende) Signalelemente fühlen die Form und Lage des zu bearbeitenden Werkstückes. Berührungslos arbeitende optische oder elektrische Sensoren übermitteln Informationen aus dem Arbeitsraum des Roboters an die Steuerung, um die auftretenden Kräfte und Bewegungen zu überwachen (Seite 512).

Das digitale absolute **Wegmesssystem** mit codierten Segmentscheiben erfasst die IST-Positionen der Dreh- und Linearachsen.

Analoge Drehmelder, sog. **Resolver**<sup>1)</sup> für Drehwinkel erfassung und Linearpotenzialometer für translatorische (geradlinige) Verschiebungen, sind weit verbreitet (**Bild 2**). **Resolver** werden an den Läuferwellen angebracht. Sie entsprechen im Aufbau einem Wechselstromgenerator mit einer Rotorwicklung und zwei um  $90^\circ$  zueinander versetzten Statorwicklungen. Beide Statorwicklungen werden mit Spannung versorgt. Im Rotor wird beim Drehen eine phasen-verschobene Spannung induziert. Der Phasenverschiebungswinkel  $\alpha_x$  ist eine analoge Größe zum Drehwinkel der jeweiligen Achse.

## 8.7.5 Programmierung von Industrierobotern

Die **Programmierung** erfolgt entweder **ON-LINE**, d.h. direkt am Roboterbedienpanel in der Arbeitszelle, oder ohne direkte Sichtverbindung zum Roboter **OFF-LINE** an einem PC-Programmierplatz (**Bild 3**).

Bei der **Teach-In-Programmierung**<sup>2)</sup> werden von Hand über ein entsprechendes Bedienpanel Raumpunkte angefahren und Greiferfunktionen ausgelöst. Das dabei entstehende Programm kann getestet und optimiert werden. Die Handverfahr- und Programmgeschwindigkeiten lassen sich stufenlos einstellen.

Sensortyp	Funktion
	Lage, Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung bestimmen
 	Sicherheit überwachen
  	Abstände messen Bauteile erfassen
	
 	Werkstückkontur erfassen, Bahnführung, Lage und Zustand erkennen
	Kraft, Druck, Drehmoment messen

Bild 1: Sensoren und ihre Funktion

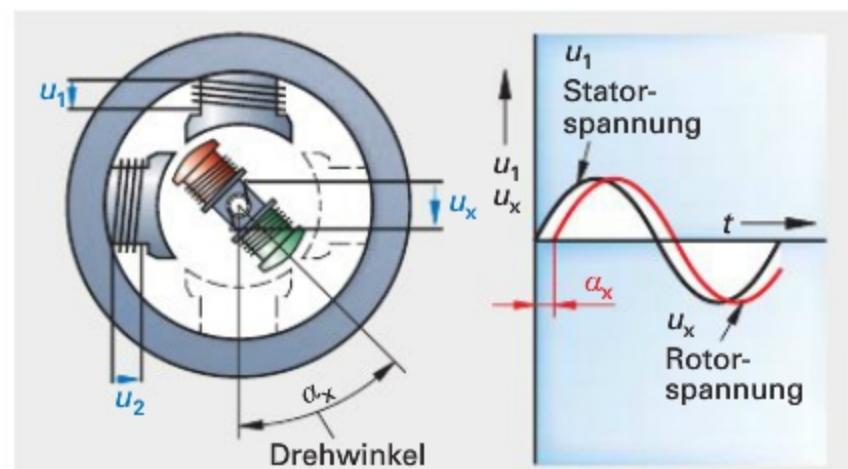


Bild 2: Drehwinkel erfassung mit Resolver

Direkte Programmierung: ON-LINE	Indirekte Programmierung: OFF-LINE	
Teach-in-Verfahren 	Anfahren und Speichern der Bewegungspunkte	Textuelles Verfahren 
	Grafisch Interaktives Verfahren 	

Bild 3: Roboter-Programmierverfahren

<sup>1)</sup> von engl. to resolve = auflösen

<sup>2)</sup> von engl. to teach = lehren

Bei der **textuellen Programmierung** wird der Programmablauf durch Anweisungen (Befehle) in einer Programmiersprache des Roboters beschrieben. Für die einzelnen Robotersysteme stehen unterschiedliche Sprachen zur Verfügung.

Die **grafisch interaktive Programmierung** greift auf CAD-Daten der Roboterzelle (Peripheriesystem) und Roboterdaten in Form von Draht-, Flächen- oder Volumenmodellen zurück. Handhabungsfunktionen können somit virtuell auf einer aufwendigen Benutzeroberfläche offline programmiert und simuliert werden, bevor sie an realen Anlagen getestet und eingesetzt werden.

Anders als beim Programmieren von CNC-Maschinen werden die Raumpunkte, die ein Roboter anfahren soll, über das **Teach**en gefunden. Dabei kommen roboterspezifische Bedieneinheiten zum Einsatz (**Bild 1**). Diese Panels besitzen integrierte Sicherheitseinrichtungen, z.B. Zustimmtaster, ohne deren Aktivierung der Roboter stehenbleiben würde.

## 8.7.6 Koordinatensysteme

Um die Lage dieser Raumpunkte bezüglich der Achsbewegungen zu beschreiben, benötigt man verschiedene **Koordinatensysteme (KoSyst)**:

**WORLD:** Das WORLD-Koordinatensystem ist ein fest definiertes kartesisches Koordinatensystem.

Es ist das Ursprungskoordinatensystem für die Koordinatensysteme ROBROOT und BASE.

In der Grundeinstellung liegt das WORLD-Koordinatensystem im Roboterfuß und ist mit ROBROOT deckungsgleich (**Bild 2**).

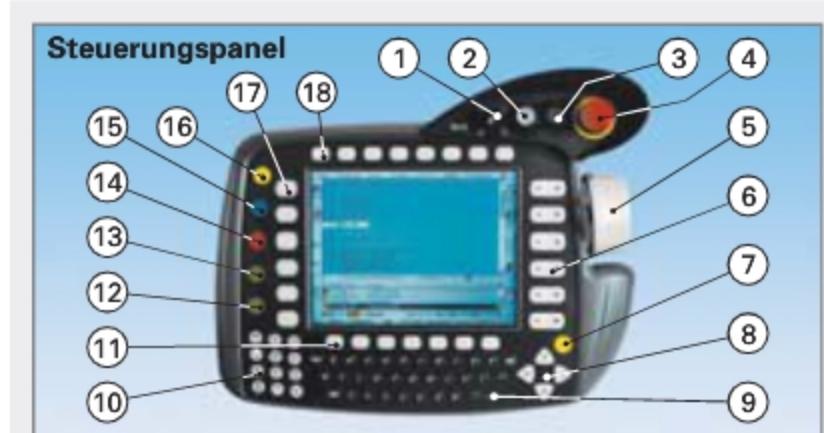
**ROBROOT:** Mit ROBROOT kann eine Verschiebung des Roboters zum WORLD-Koordinatensystem definiert werden.

**BASE:** Das BASE-Koordinatensystem ist ein kartesisches Koordinatensystem, das die Position des Werkstücks beschreibt. Es bezieht sich auf das WORLD-Koordinatensystem und muss vom Anwender eingemessen werden.

**TOOL:** Das TOOL-Koordinatensystem ist ein kartesisches Koordinatensystem, das im Arbeitspunkt (TCP) des Werkzeugs liegt. Es bezieht sich auf das BASE-Koordinatensystem.

In der Grundeinstellung liegt der Ursprung des TOOL-Koordinatensystems im Flanschmittelpunkt. Das TOOL-Koordinatensystem wird vom Benutzer in den Arbeitspunkt des Werkzeugs verschoben (**Bild 3**).

Ein Vorteil der Verschiebung des TCP vom Flanschmittelpunkt zum TCP des Werkzeugs ist das geradlinige Verfahren in Werkzeugstoßrichtung ( $X_{Tool}$ ), wenn es schräg im Raum steht.



- |                              |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| ① Betriebsarten-Wahlschalter | ⑩ Nummernblock          |
| ② Antriebe EIN               | ⑪ Softkeys              |
| ③ Antriebe AUS/SSB-GUI       | ⑫ Start-Rückwärts-Taste |
| ④ NOT-AUS-Taster             | ⑬ Start-Taste           |
| ⑤ Space Mouse                | ⑭ STOP-Taste            |
| ⑥ Statuskeys rechts          | ⑮ Fensterwahl-Taste     |
| ⑦ Eingabe-Taste              | ⑯ ESC-Taste             |
| ⑧ Cursor-Tasten              | ⑰ Statuskeys links      |
| ⑨ Tastatur                   | ⑱ Menükeys              |

Bild 1: Steuerungspanel zur Programmerstellung eines Roboters

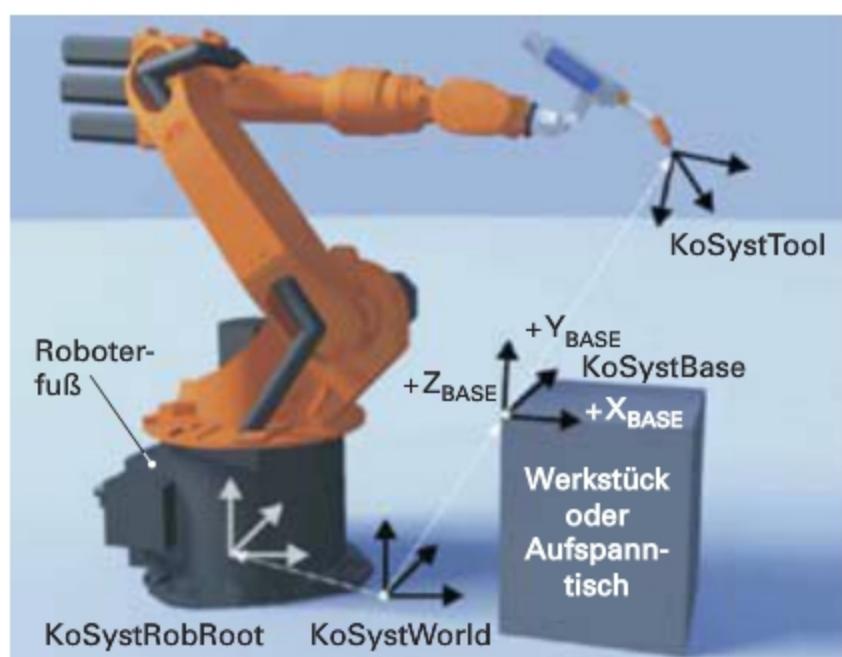


Bild 2: Übersicht über Koordinatensysteme (KoSyst) an einem Knickarmroboter

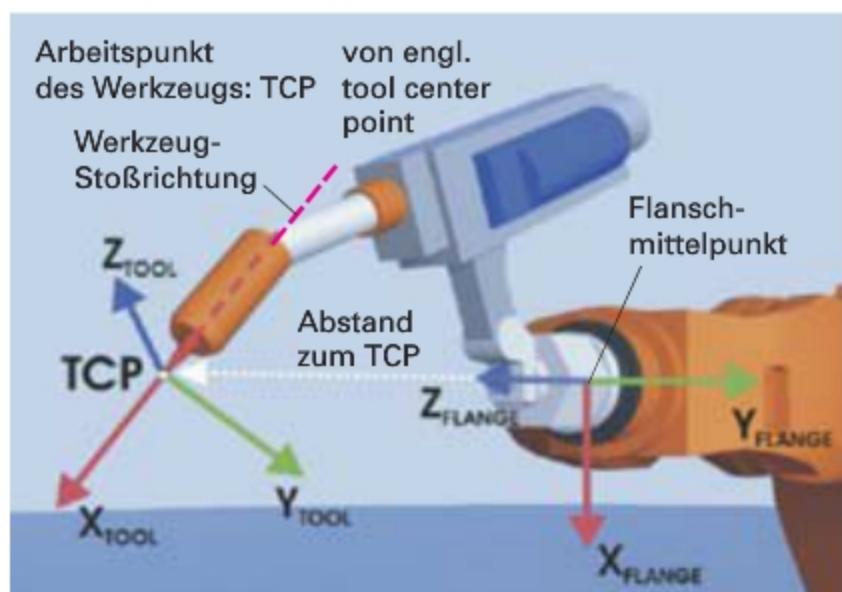


Bild 3: Ermittlung des TCP in Bezug auf das Flanschkoordinatensystem



Wenn das Werkzeug und evtl. das Werkstück vermessen sind, kann mit der Programmierung von Bewegungen begonnen werden. Die Programmiersprache ist englisch (**Bild 1**).

### 8.7.7 Bewegungsarten von Industrierobotern

- **PTP-Bewegung** (von engl. point to point)

Der Roboter führt den TCP (Werkzeugarbeitspunkt) entlang der schnellsten Bahn zum Zielpunkt. Die Roboterachsen bewegen sich rotatorisch. Der exakte Verlauf der Bewegung ist nicht vorhersehbar. In einer Programmzeile wird PTP ausgewählt (**Bild 2**),

z.B. P1 CONT Vel= 100 %

Die Zeile bedeutet, dass von einem unkritischen Punkt (z.B. HOME-Punkt bezeichnet) der Punkt P1 mit einer Geschwindigkeit vel (engl. velocity) von 100% (beim manuellen Verfahren z.B. 250 mm/s) mit einer PTP-Bewegung angefahren wird.

- **LIN-Bewegung** (von engl. linear)

Der Roboter führt den TCP mit der definierten Geschwindigkeit z.B. 2 m/s entlang einer Geraden zum Zielpunkt P1,

z.B. P1 CONT Vel= 2 m/s

- **CIRC-Bewegung** (von engl. circular)

Der Roboter führt den TCP mit der definierten Geschwindigkeit von z.B. 2 m/s entlang einer Kreisbahn zum Zielpunkt. Die Kreisbahn ist definiert durch Startpunkt, Hilfspunkt und Zielpunkt,

z.B. P1 P2 CONT Vel= 2 m/s

Der Punkt P1 in der Programmzeile ist der Punkt  $P_{AUX}$ , ein Hilfspunkt, um vom Startpunkt  $P_{START}$  zum Endpunkt P2 zu gelangen (**Bild 3**).

Bei den Linear- und Kreisbewegungen LIN und CIRC werden die Geschwindigkeiten direkt eingegeben, z.B. vel = 2 m/s, und nicht in Prozent.

Bei allen drei Beispielen wird der Befehl „**CONT**“<sup>1)</sup> verwendet. Er steht für das sogenannte **Überschleifen** der Positionen.

Überschleifen bedeutet: Der TCP verlässt die Bahn, auf der er den Zielpunkt genau anfahren würde, und fährt eine schnellere Bahn. **Bild 4** zeigt ein Überschleifen bei einer PTP-Bewegung. Der programmierte Punkt P2 wird **nicht** angefahren.

Bei **LIN**-Bewegungen muss beim Überschleifen von P2 ein Abstand angegeben werden, von dem aus von der geraden Bewegung abgewichen werden darf (**Bild 5**). Es entsteht **keine** Kreisbahn.

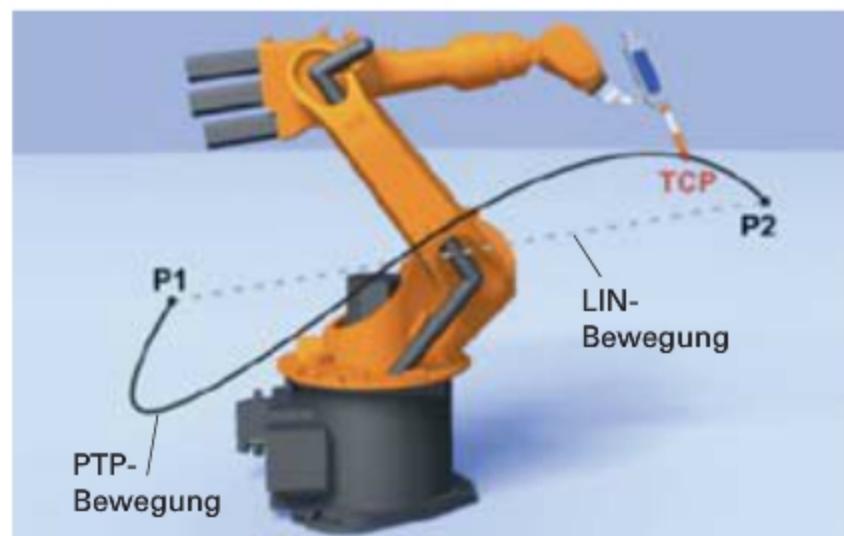
Bei **CIRC**-Bewegungen wird  $P_{aux}$  immer exakt angefahren. Die Übergangsbahn vom Kreis- zur Linearbewegung entspricht auch hier keinem Radius.

```

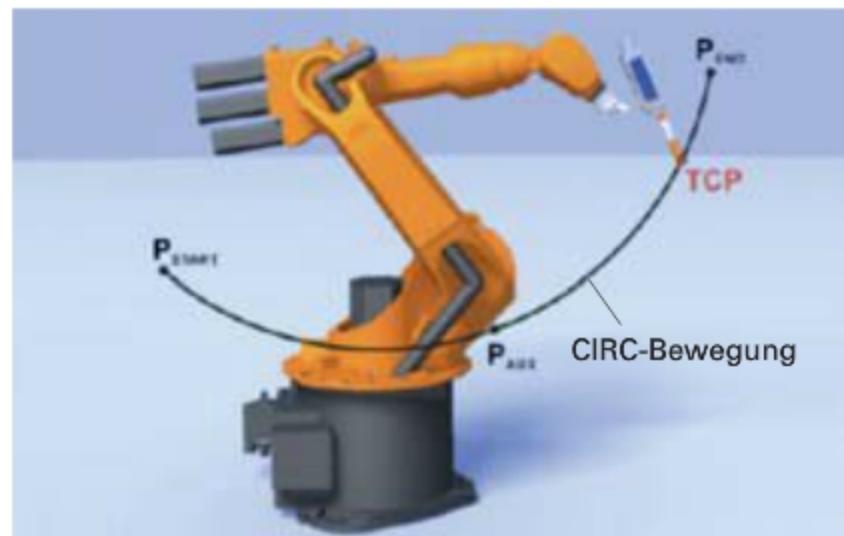
1 DEF my_program( )
2INI
3
4 PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT
...
8 LIN point_5 CONT Vel= 2 m/s CPDAT1 Tool[3] Base[4]
...
14 PTP point_1 CONT Vel= 100 % PDAT1 Tool[3] Base[4]
...
20 PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT
21
22 END

```

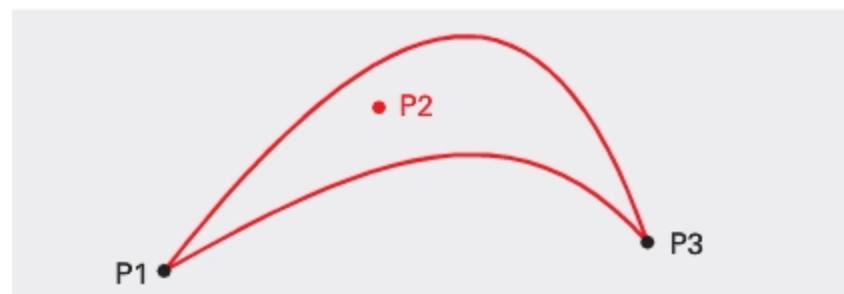
**Bild 1: Programm mit Bewegungsbefehlen**



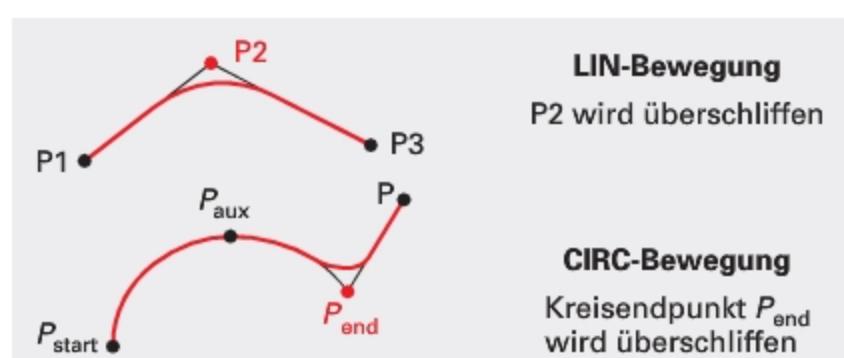
**Bild 2: PTP- und LIN-Bewegung**



**Bild 3: CIRC-Bewegung**



**Bild 4: Überschleifen bei PTP-Bewegung**



**Bild 5: Überschleifen bei LIN- und CIRC-Bewegungen**

<sup>1)</sup> cont, engl. continuous path

## 8.7.8 Kommunikation von Industrierobotern und Peripherie

Zur Programmierung einer Robotersteuerung gehören auch Befehle, die eine **Kommunikation** mit peripheren Komponenten ermöglichen. Dabei geht es um das Empfangen und Verarbeiten von Eingangssignalen aus der Roboterzelle. Zudem werden vom Roboter Ausgangssignale in die Zelle gesendet (**Bild 1**).

Es werden zahlreiche digitale Ein- und Ausgänge genutzt. Die Anzahl der **analogen** Ein- und Ausgangssignale ist erheblich kleiner. Bei diesen Signalen werden die physikalischen Größen, z.B. Druck, Temperatur, Drehzahl, in eine elektrische Größe, wie z.B. eine Spannung, gewandelt, die dann digitalisiert wird.

- Programmieren von E-/A-Befehlen mit Logikanweisungen

**OUT** [1] State= TRUE ▾

Mit dem Befehl „**OUT**“ wird der **Roboterausgang** mit der Nummer 1 angesteuert. Er wird auf den Status „TRUE“ gesetzt; er erhält die logische „1“.

**WAIT FOR** [ ] IN [ ] 7 [ ]

Der Befehl „**WAIT FOR**“ setzt eine signalabhängige Wartezeit. Das Signal „TRUE“ wird am Eingang IN1 des Roboters erwartet. In **Bild 2** wird gezeigt, an welcher Stelle des Bewegungsablaufes der Eingangsbefehl IN1 stehen könnte.

Die „**WAIT FOR**“-Anweisung lässt sich auch mit den einfachen logischen Verknüpfungen AND, OR oder NOT verbinden:

Wait for (IN1) **and** (IN2) oder  
Wait for **NOT** (IN1 **and** IN2)

- Greiferprogrammierung

Greifer sind Teilkomponenten des Robotersystems, mit denen man die eigentliche Handhabungsaufgabe durchführt. Sie werden als **Endeffektoren** bezeichnet. Sie arbeiten mit mechanischen, elektromagnetischen oder pneumatischen (z.B. Vakuum) Haltekräften (**Bild 3**). Endeffektoren können auch Punktschweißzangen in der Fügetechnik oder Spritzwerkzeuge für die Farbbeschichtung sein.

Greifer werden in der Software über spezielle Programmfenster eingebunden. Die Greifer werden im Programm, z.B. mit GRP1, bezeichnet. Je nach Typ werden ihnen **Zustände** (offen/geschlossen) zugeordnet; außerdem lassen sich Ein- und Ausgänge der Robotersteuerung zur Arbeitshandlung der Greifer zuordnen (**Bild 4**).

Im Programm werden die Werkzeuge aufgerufen, z.B. **GRP1** (gripper 1 = Greifer 1), und es wird ihnen ein Zustand (STATE) zugewiesen (**Bild 5**).

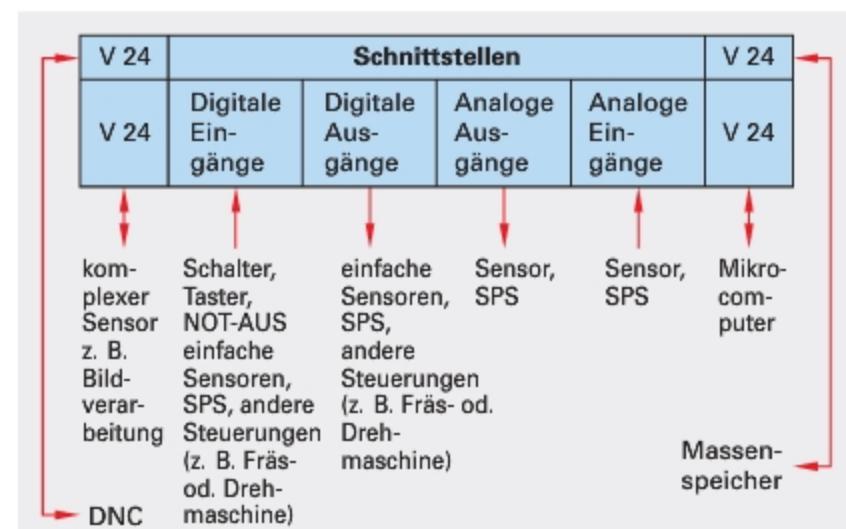


Bild 1: Roboterschnittstellen

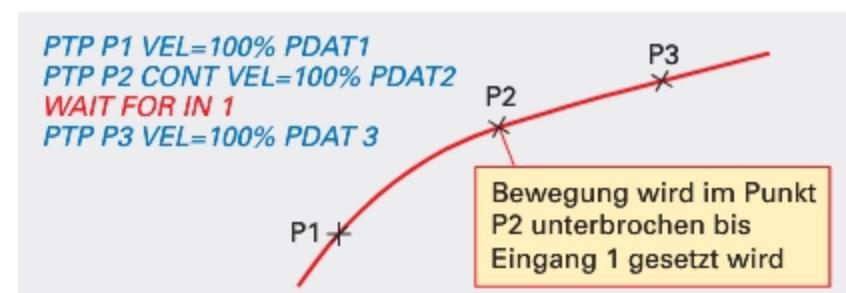


Bild 2: Signalabhängige Wartefunktion



Bild 3: Vakuum-Haltegreifer beim Waferhandling

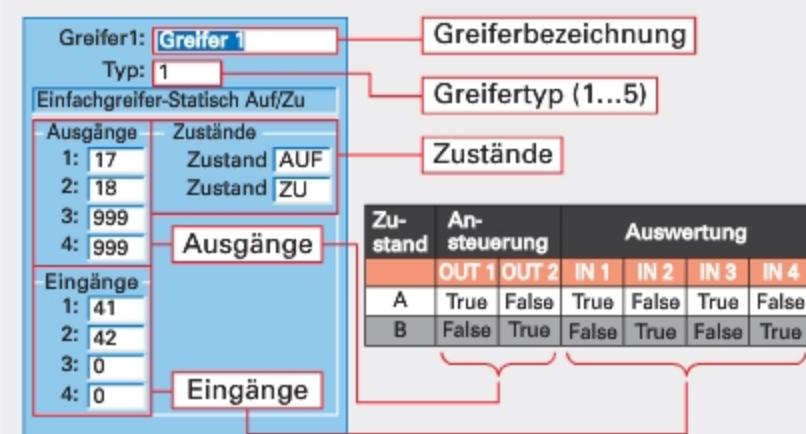


Bild 4: Programmfenster für die Greiferkonfiguration

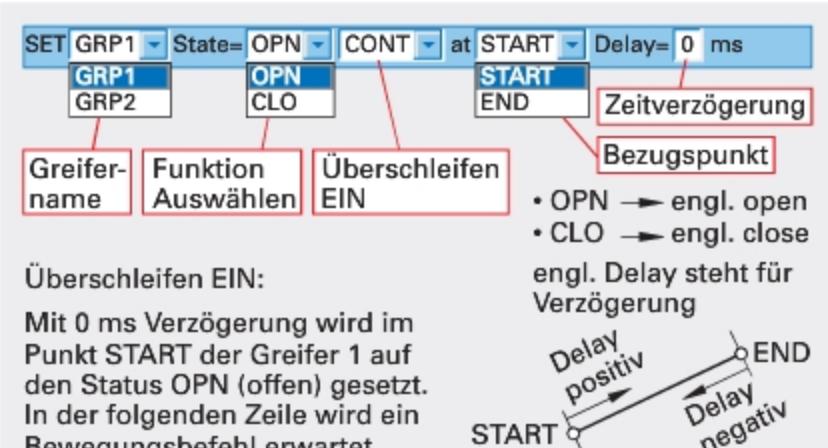


Bild 5: Greiferbefehle in einem Programm



### 8.7.9 Sicherheit beim Einsatz von Handhabungssystemen

Ohne Beachtung von Sicherheitsvorschriften wären beim Einsatz von Industrierobotern das Bedienungspersonal und die Betriebseinrichtungen erheblich gefährdet.

Mögliche Gefahrenquellen in der Handhabungstechnik entstehen durch

- hohe Verfahrgeschwindigkeiten der einzelnen Achsen,
- unvorhersehbare Bewegungsabläufe, z.B. bei PTP-Bewegungen,
- hohe Lasten und schnell bewegte Massen,
- sich lösende und umherfliegende Bauteile,
- Kollision mit Peripheriegeräten.

Weitere Gefahren entstehen bei spezifischen Fertigungsprozessen, z.B. beim Schweißen durch die UV-Strahlung oder starker Wärmeentwicklung (**Bild 1**).

Schutzeinrichtungen, die den Zutritt zur Roboterzelle verhindern oder erschweren, sind z.B.:

- Umzäunungen, Verkleidungen und Abdeckungen der Arbeitszelle,
- Sicherheitslaserscanner zur Überwachung von Schutz- und Warnfeldern vor und in der Arbeitszelle (**Bild 2**),
- Optoelektronische Lichtvorhänge und Lichtschranken (**Bild 3**), Sicherheitsschaltmatten,
- Personenidentitätskontrolle mit Sicherheitsschlössern oder Chipkarten.

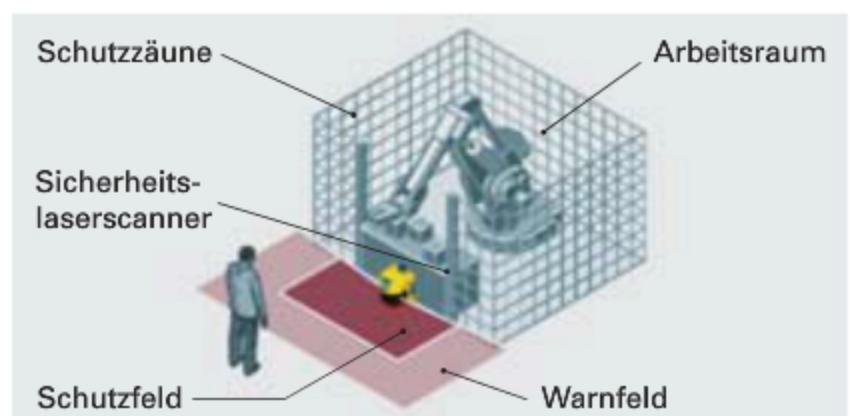
Zum Programmieren und Einrichten der Industrieroboter in der Roboterzelle werden diese Sicherheitseinrichtungen zum Teil außer Kraft gesetzt.

Um trotzdem ein hohes Maß an Sicherheit zu gewährleisten, besitzen die Robotersteuerungen zusätzliche Sicherheitselemente:

- Zustimmertaster am Bedienpanel: Beim Loslassen oder Durchdrücken bleibt der Industrieroboter stehen (**Bild 1, Seite 558**).
- NOT-AUS-Einrichtung und STOPP-Taste.
- Reduzierte Verfahrgeschwindigkeiten sind für den Einricht- und Testbetrieb über Betriebsartenwahlschalter möglich. Zum Testen der Automatikfunktionen muss die Roboterzelle verlassen und abgesichert sein.
- Software-Endschalter grenzen den möglichen Schwenk- und Bewegungsraum der Einzelachsen ein.



**Bild 1:** Sperrgitter und Strahlenschutz bei einer Roboterschweißzelle



**Bild 2:** Sicherung der Zugangsöffnung einer Roboterzelle mit einem Laserscanner



**Bild 3:** Möglichkeiten der Absicherung des Zugangsbereiches

#### Wiederholung und Vertiefung

- 1 Wie viele Freiheitsgrade können Industrieroboter haben?
- 2 Welche Roboterbauarten ergeben sich aus den rotatorischen und translatorischen Bewegungssachsen?
- 3 Nennen Sie drei Sensortypen und ihre Funktionen bei Industrierobotern?
- 4 Erklären Sie den Begriff Arbeitspunkt TCP.
- 5 Welche Getriebebauformen werden bei Robotern verwendet?
- 6 Wodurch unterscheidet sich der Bewegungsbefehl PTP vom LIN-Befehl?
- 7 Nennen Sie Möglichkeiten der Absicherung der Arbeitsräume von Industrierobotern.

## 8.8 Practice your English

### ■ Automation technology: machine safety and security equipment

#### • Functional safety at operating machines

Components of an automation system (actuators, adjustment, signal and control elements) can be dangerous for people, equipment and the environment. While constructing and planning such facilities, possible risks must be analyzed and appropriate measures have to be put into place to protect the operator.

Hazard analysis and risk assessment require an appropriate security level (PL a, b, c ...) of deployed security technology.

The "performance levels" are defined in EN ISO 14121-1 (Figure 1): Low risk is indicated with "PL = a" (small measures for risk-depreciation). High risk results in a "PL = e" (comprehensive measures for risk reduction necessary).

Basic methods for risk reduction:

- **Safe design:** eliminate or minimize risks through design measures
- **Technical measures:** provision of necessary precautions against risks eg. machine guards
- **User information** on residual risks

#### Example of the use of a safety component

The two-hand control block is used, when hands of an operator are exposed to a high risk accident situation, for example at presses or press brakes. **Both hands** should be always outside the hazardous area (Figure 2).

The pneumatic two-hand control block is a safety component. Combined with a pressure control valve it has the security level PL "c" according to EN ISO 13849-1 (Figure 3).

Only if both inputs 11 and 12 of the control block are actuated by two 3/2-way valves within max. 0.5 seconds, terminal 2 receives an output signal.

As long as both operated valves (1S3 and 1S4) are actuated, output "2" is pressurized. By releasing one or both of the buttons the flow is immediately interrupted, output 2 is depressurized. The piston of the cylinder 1A1 moves back.

All parts and components of the fluid system must be protected against pressure. The leakage of inside of components should cause no risk. Silencers provide an acceptable noise level.

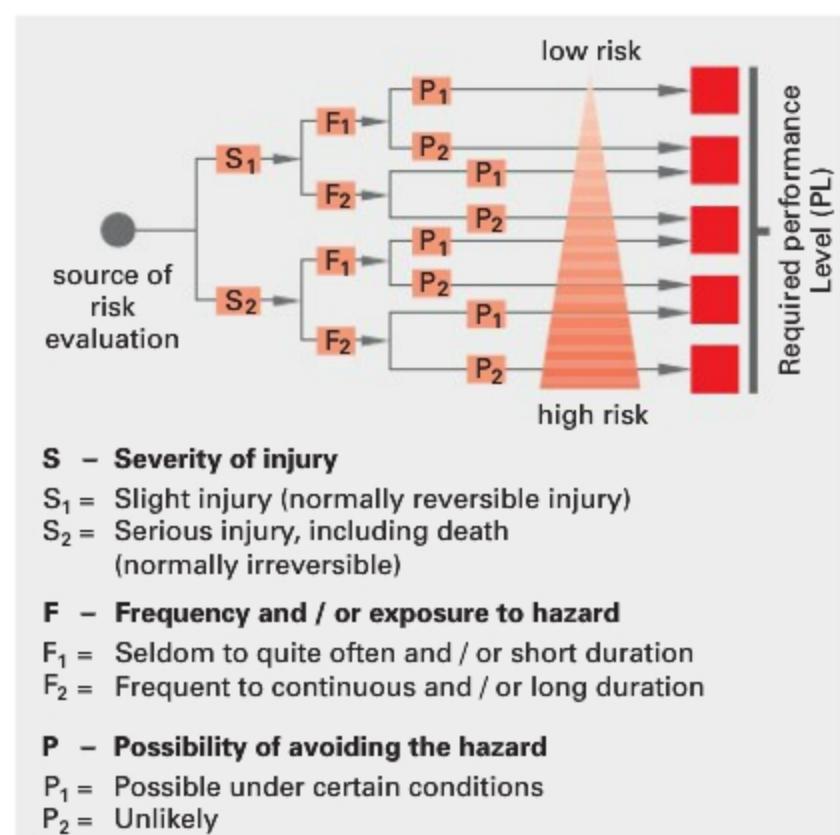


Figure 1: Performance Levels PL

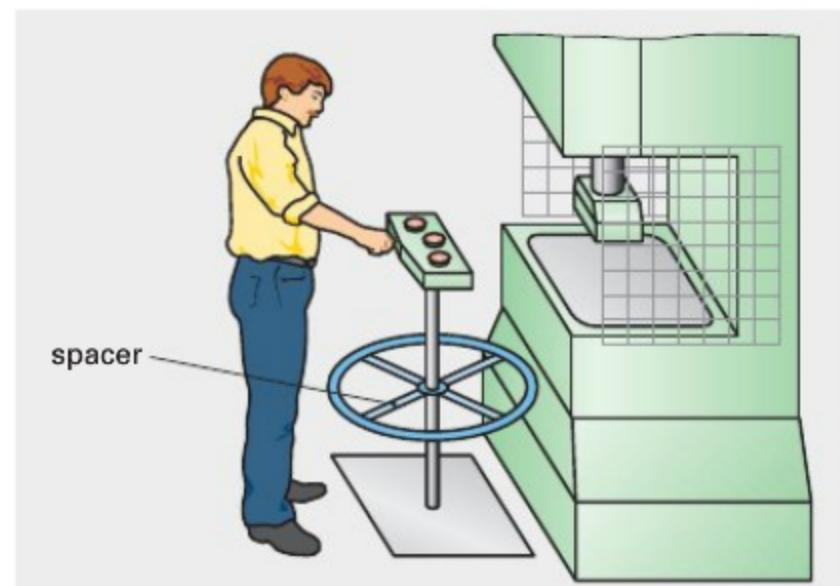


Figure 2: Operating punches and presses

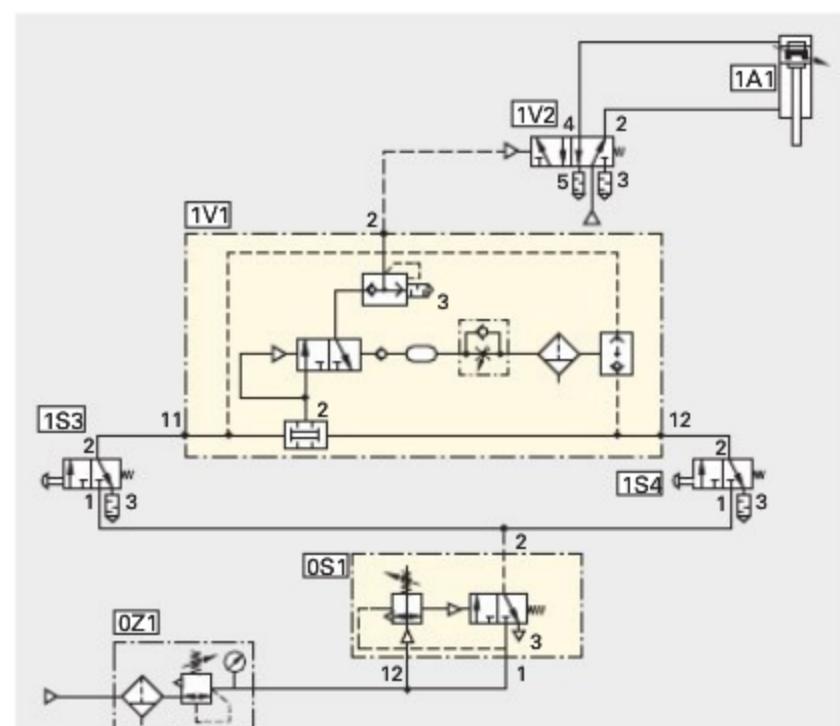


Figure 3: Pneumatic plan of a two-hand control block