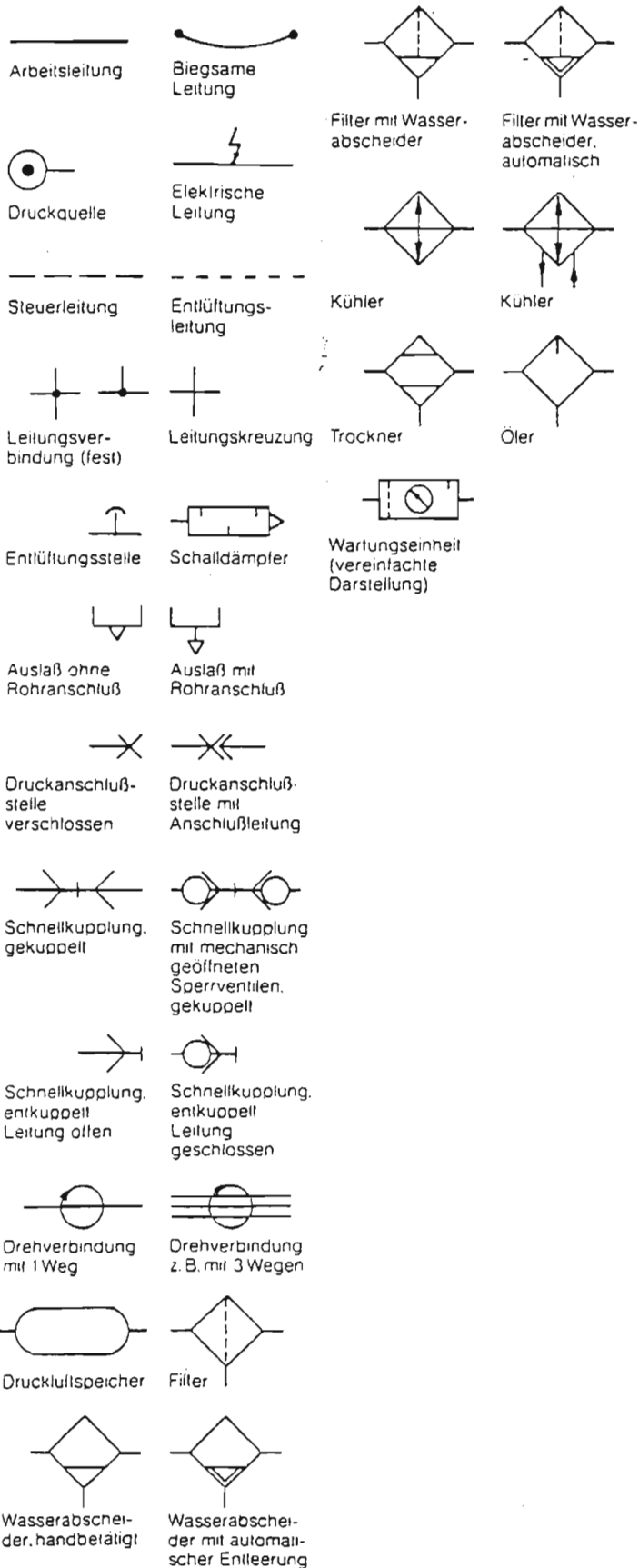


Pneumatik- und Logiksymbole

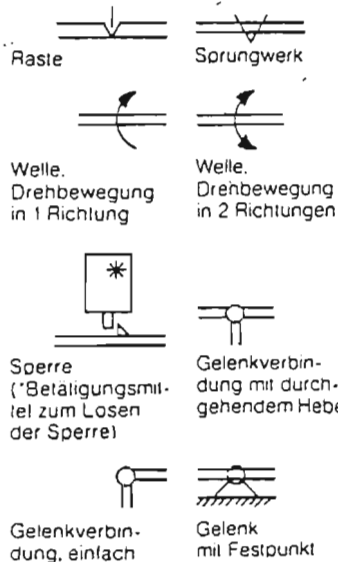
nach DIN/ISO 1219 und DIN 40 700

Energieübertragung

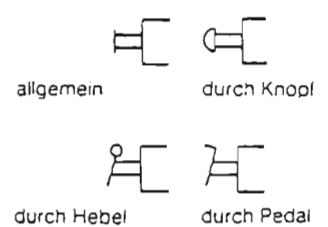


Betätigungen

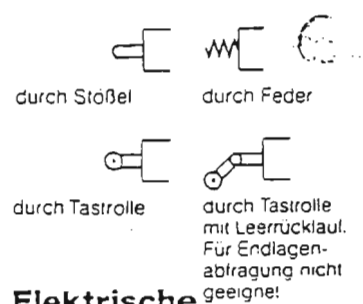
Mechanische Bestandteile



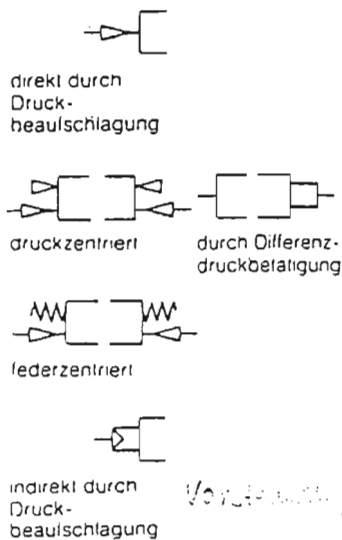
Muskelkraft betätigung



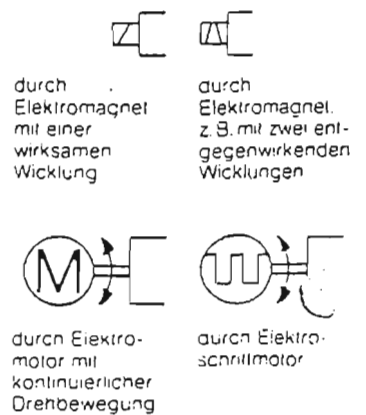
Mechanische Betätigung



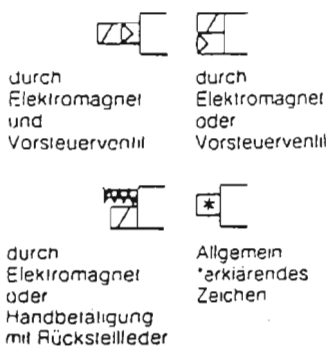
Druckbetätigung



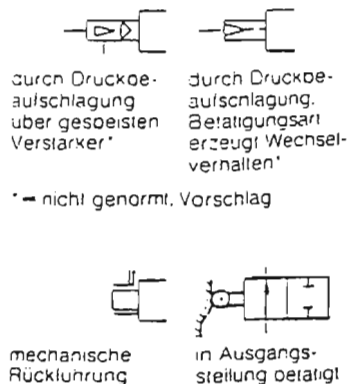
Elektrische Betätigung



Kombinierte Betätigung



Sonderbetätigung

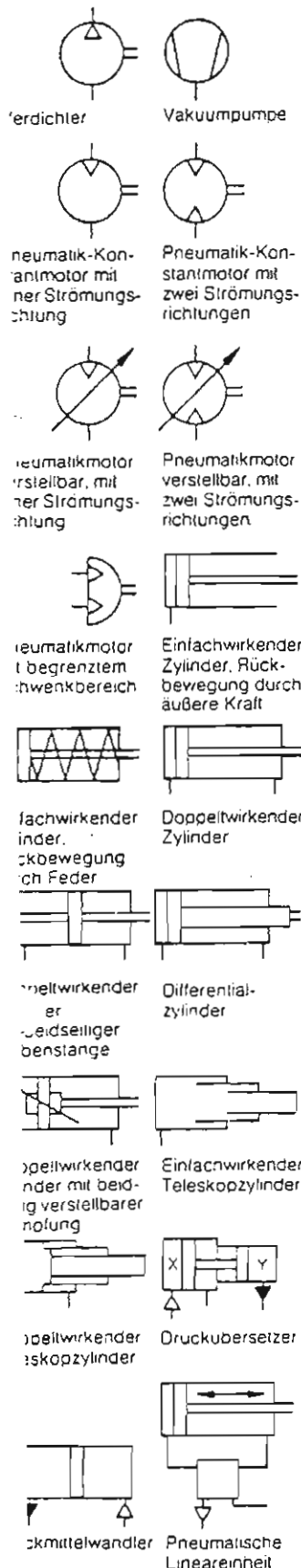


FESTO

Pneumatik- und Logiksymbole

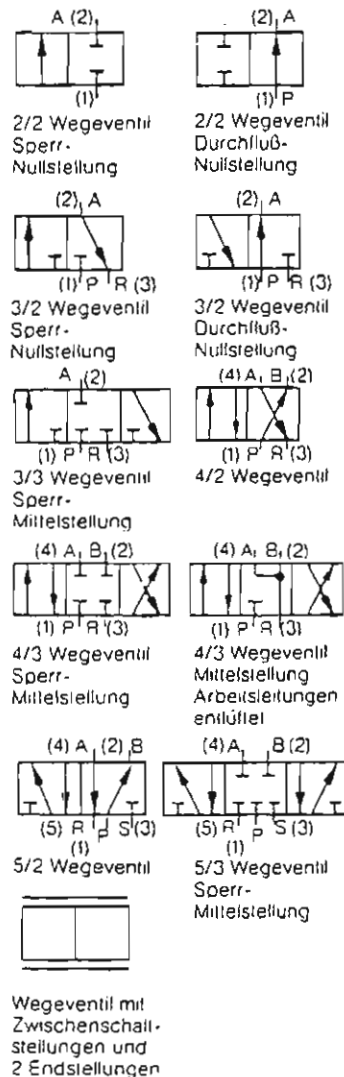
nach DIN/ISO 1219 und DIN 40700

Energieumformung

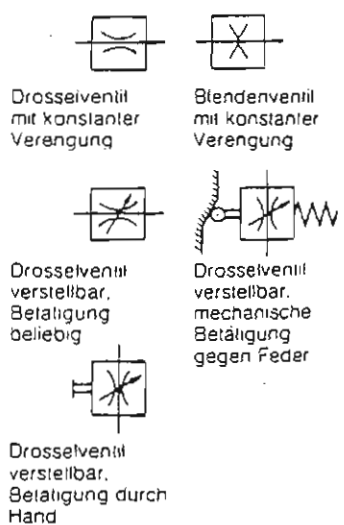


Ventile

Wegeventile



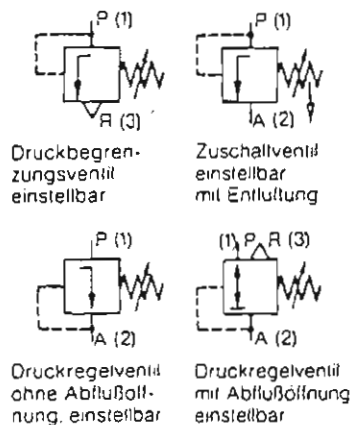
Stromventile



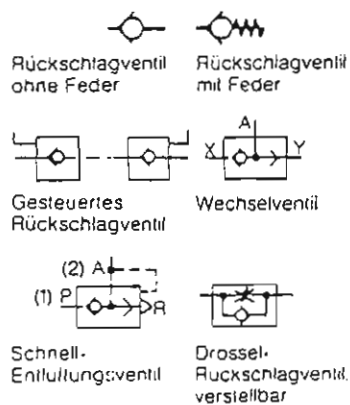
Absperrventil



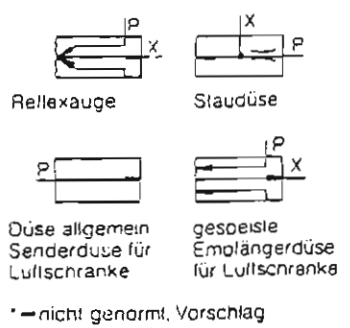
Druckventile



Sperrventile



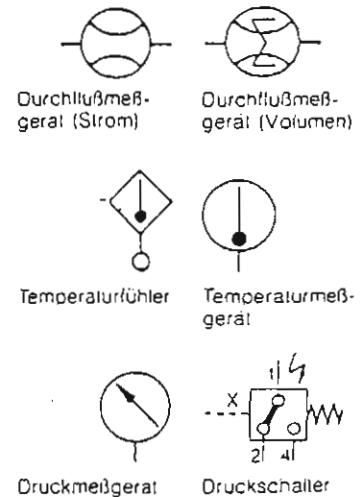
Sondersymbole*



* — nicht genormt, Vorschlag

Sonstige Zeichen

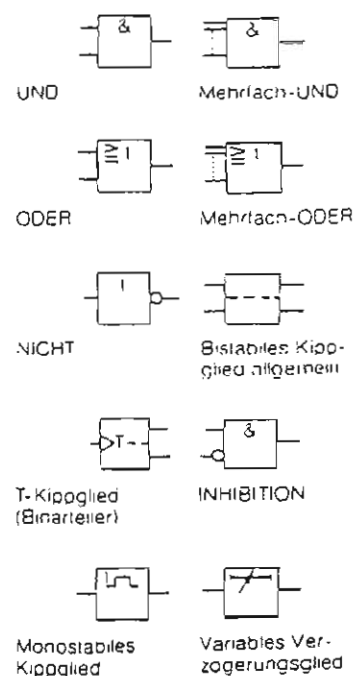
Sonstige Geräte



Kurzbezeichnungen von Anschlüssen

A, B, C ... (2, 4, 6) Arbeitsleitungen
P (1) Druckluftanschluß
R, S, T ... (3, 5, 7) Abfluß, Entlüftungen
Z, Y, X ... (12, 14, 16) Steuerleitungen

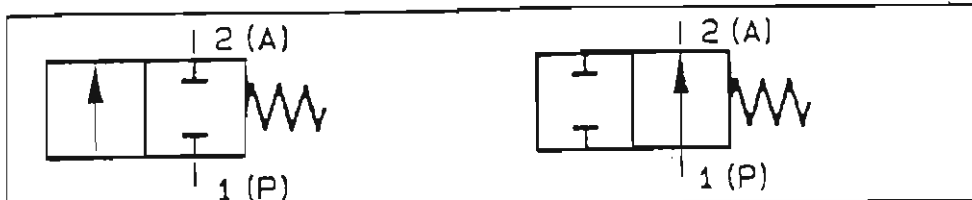
Logiksymbole



FESTO

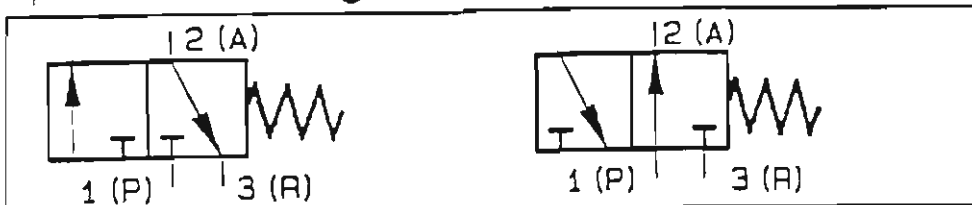
Ventile

Wegeventile



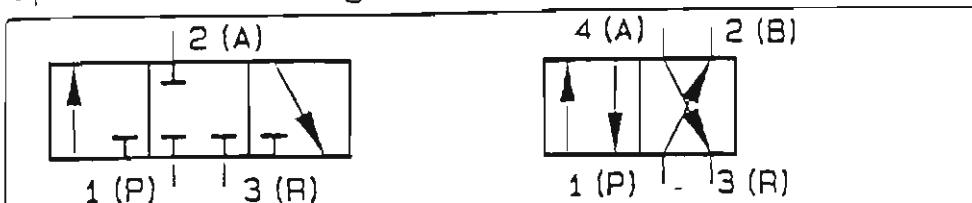
2/2 Wegeventil
Sperr- Ruhestellung

2/2 Wegeventil
Durchfluß- Ruhestellung



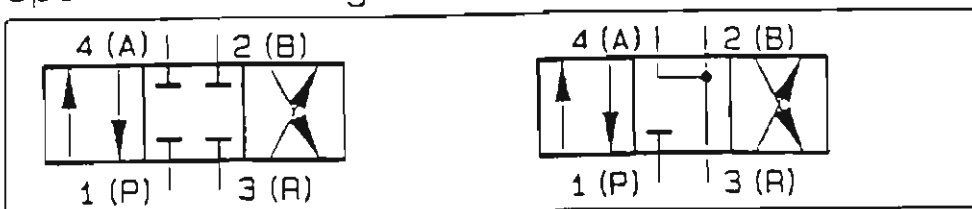
3/2 Wegeventil
Sperr- Ruhestellung

3/2 Wegeventil
Durchfluß- Ruhestellung



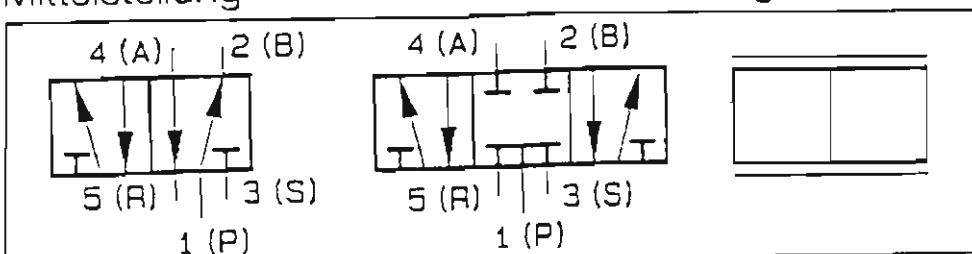
3/3 Wegeventil
Sperr- Mittelstellung

4/2 Wegeventil



4/3 Wegeventil
Sperr-
Mittelstellung

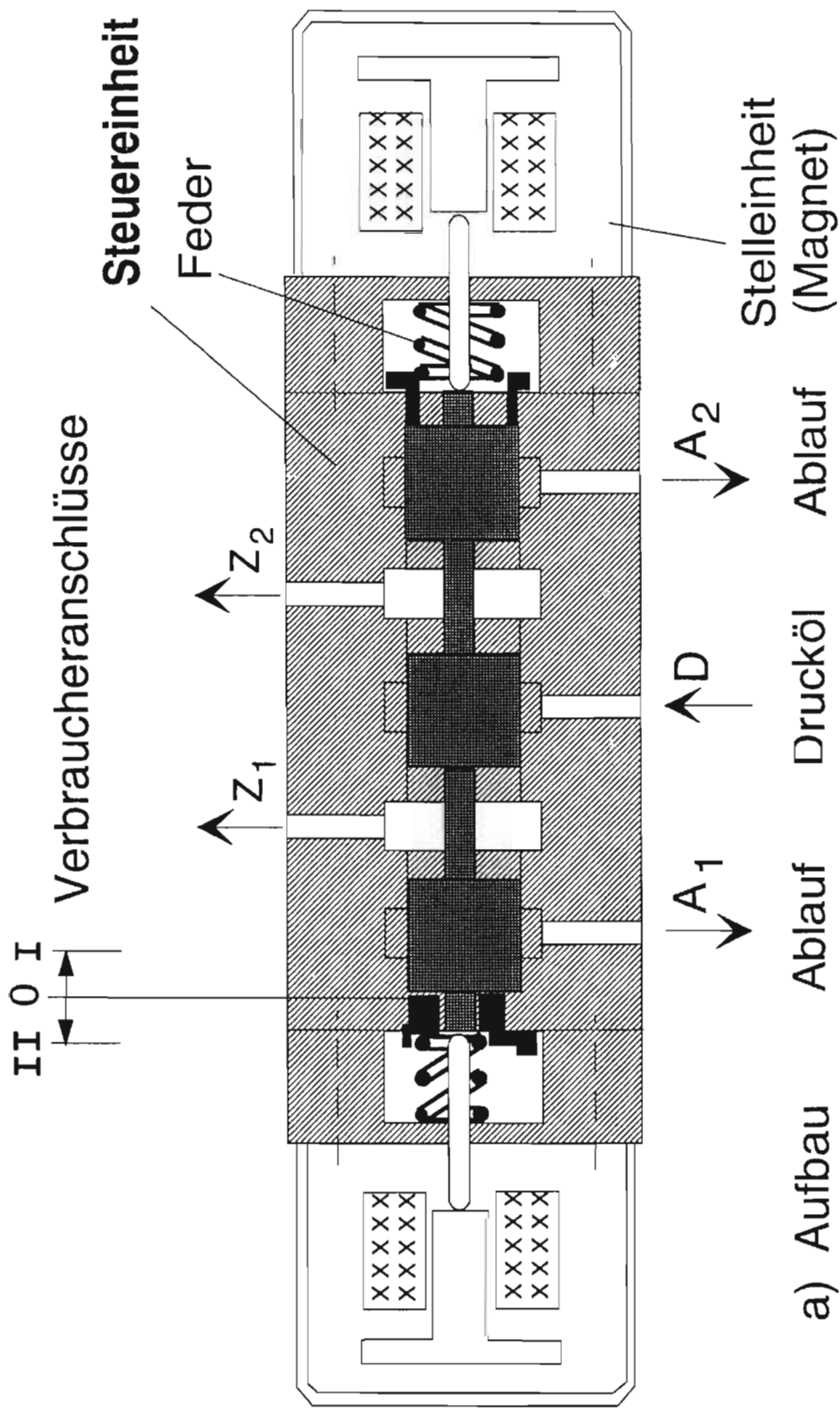
4/3 Wegeventil
Mittelstellung
Arbeitsleitungen entlüftet



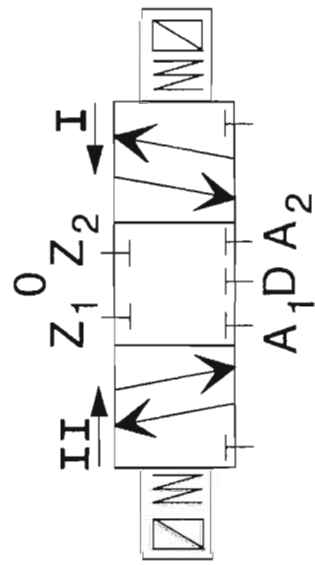
5/2 Wegeventil

5/3 Wegeventil
Sperr-
Mittelstellung

Wegeventil mit
Zwischenschalt-
stellungen und
2 Endstellungen

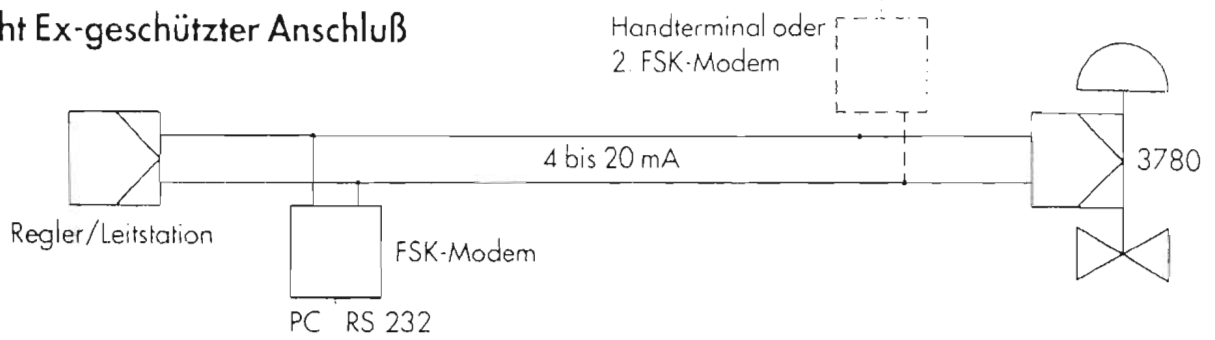


a) Aufbau



b) Symbol

Nicht Ex-geschützter Anschluß



Ex-geschützter Anschluß

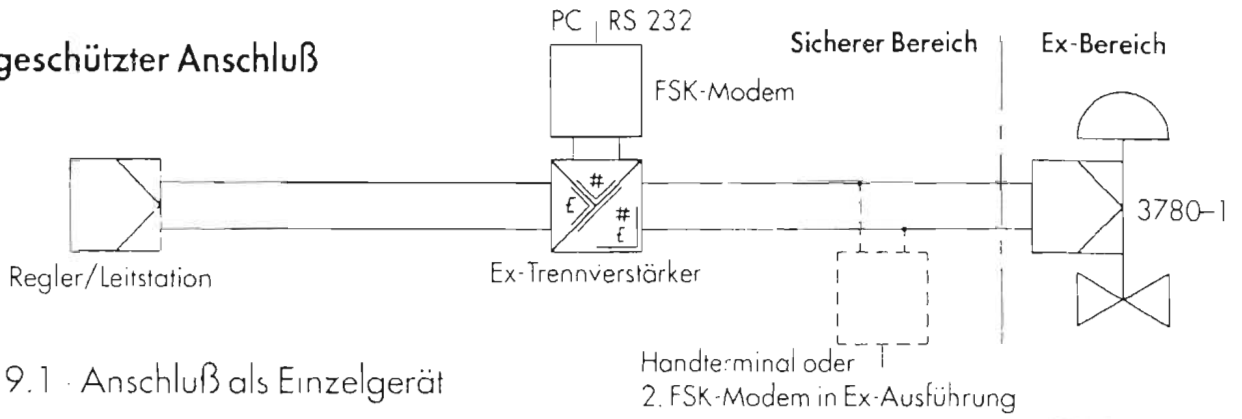
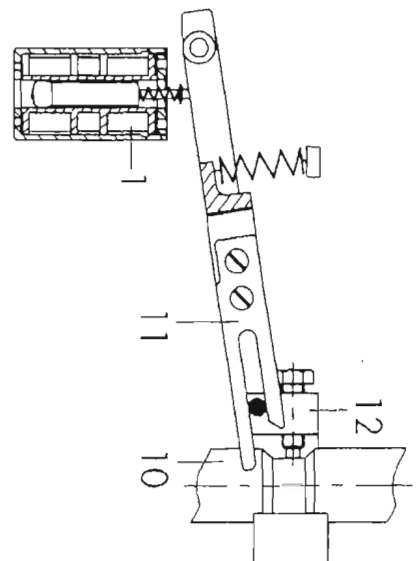
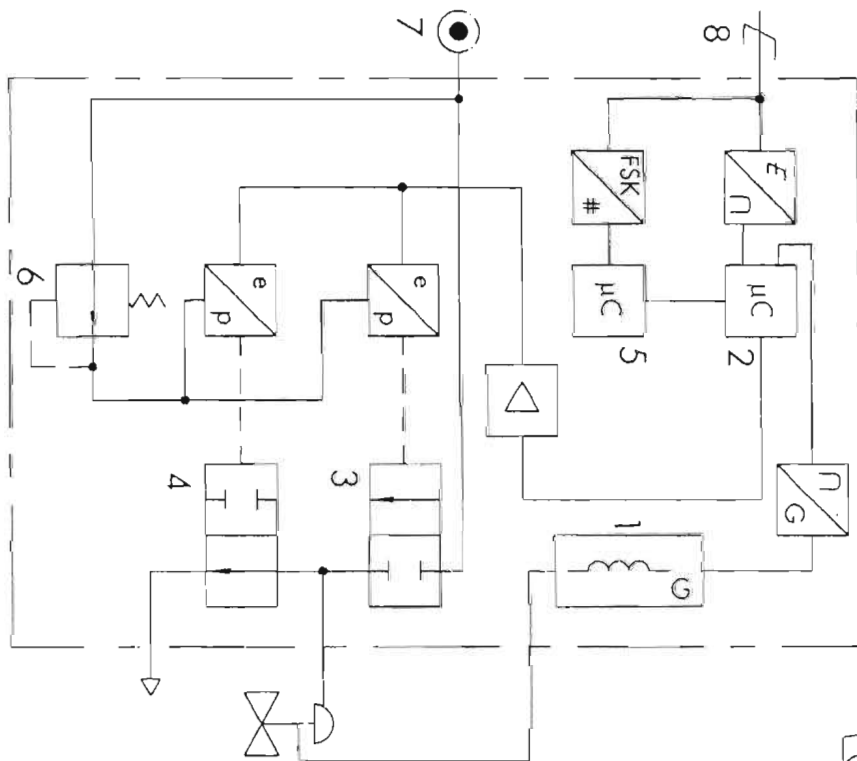


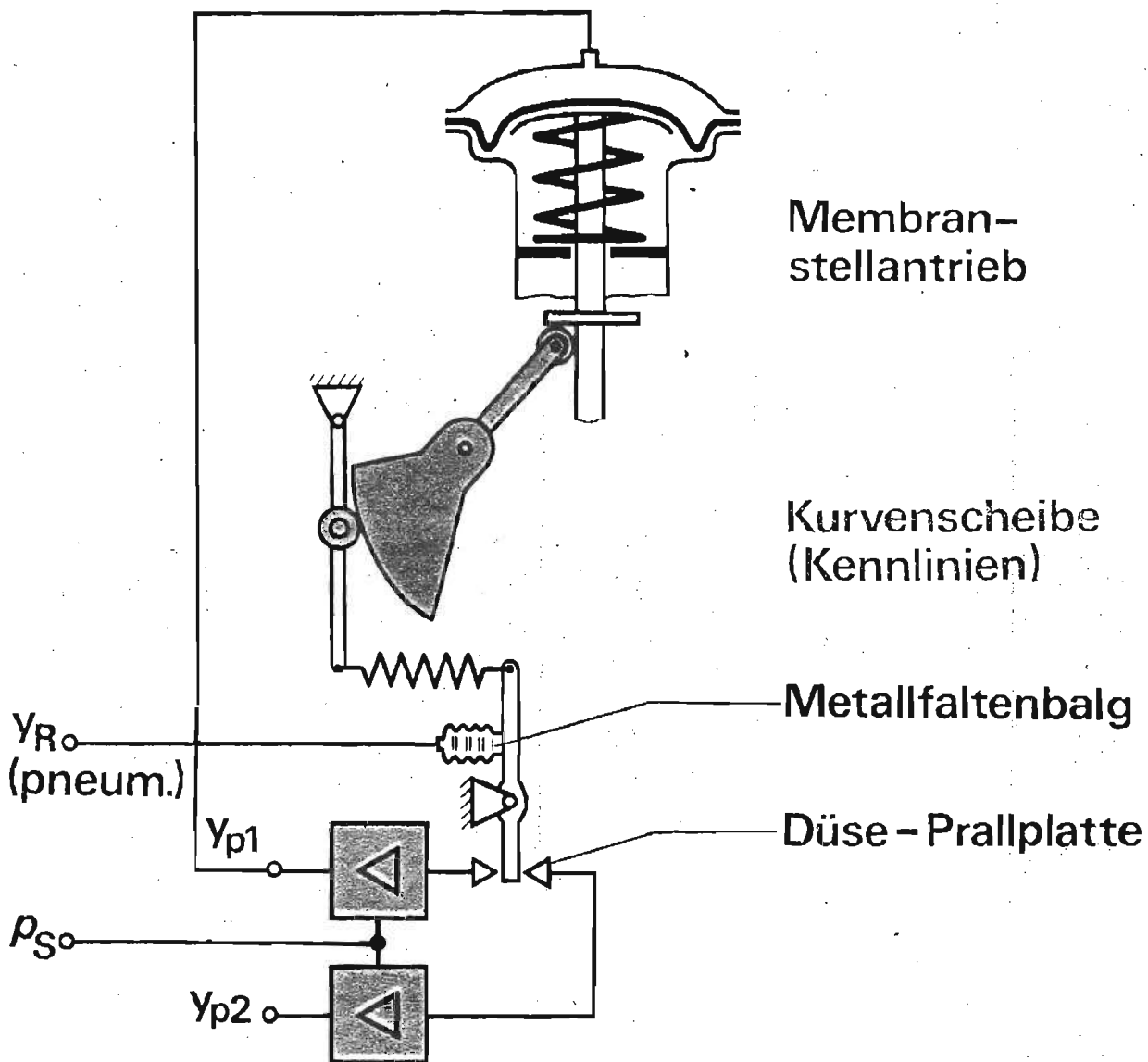
Bild 9.1 Anschluß als Einzelgerät

Bild 2 Wirkbild

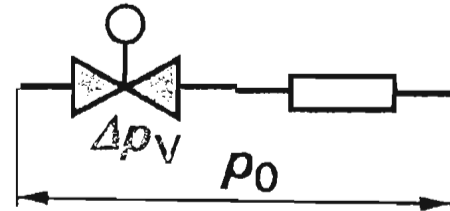
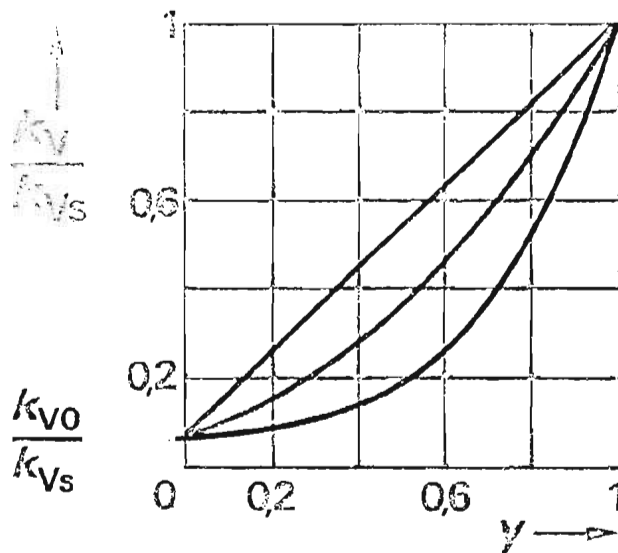


- 1 Induktiver Wegaufnehmer
- 2 Mikrocontroller
- 3 Schaltventil Zuluft
- 4 Schaltventil Abluft
- 5 Mikrocontroller
- 6 Druckregler
- 7 Hilfsenergie 1,4 bis 6 bar
- 8 Führungsgröße 4 bis 20 mA mit überlagerter FSK-Signal
- 10 Antriebsstange
- 11 Hebel
- 12 Klemmbügel

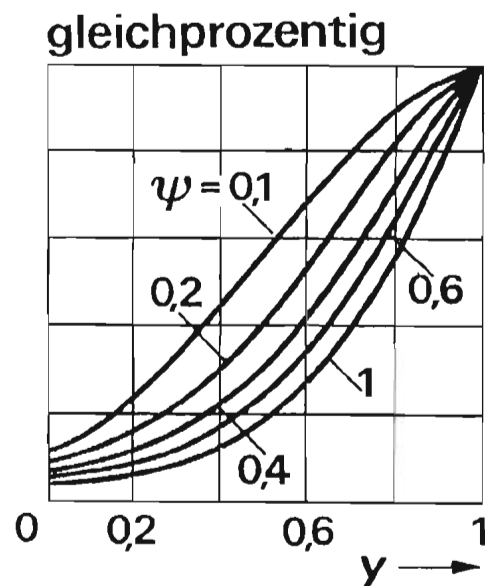
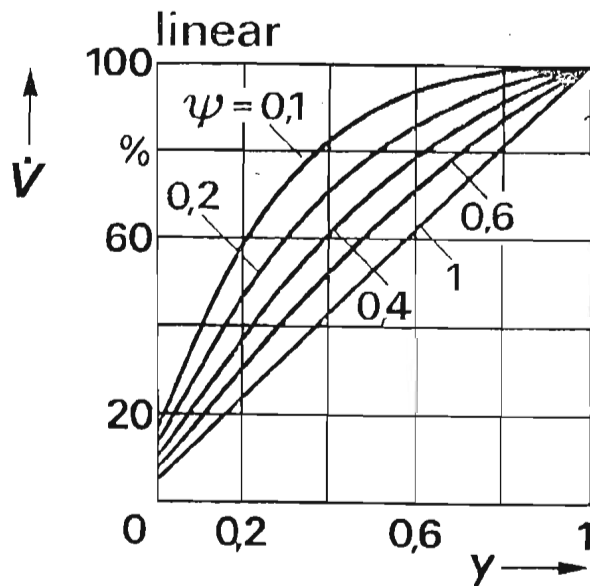
Pneumatischer Stellantrieb mit Positioner

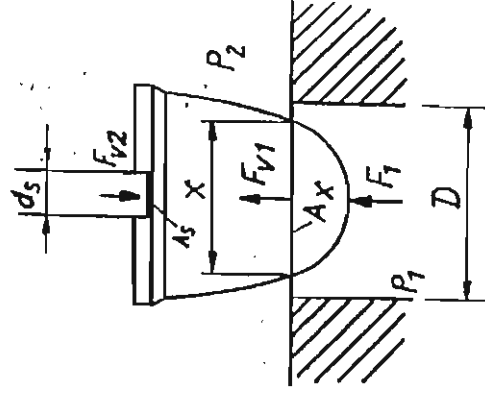
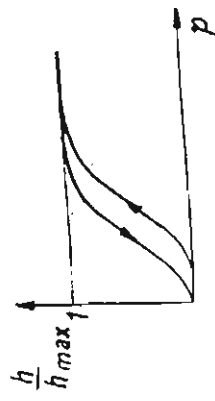
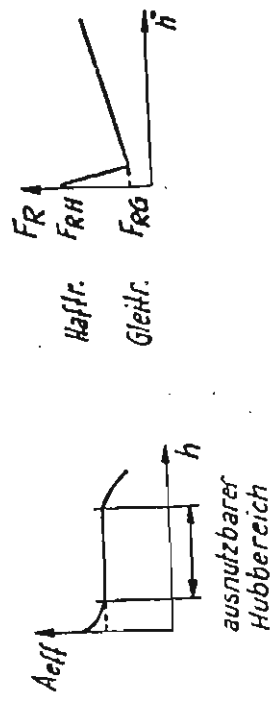


Durchfluß- und Betriebskennlinien



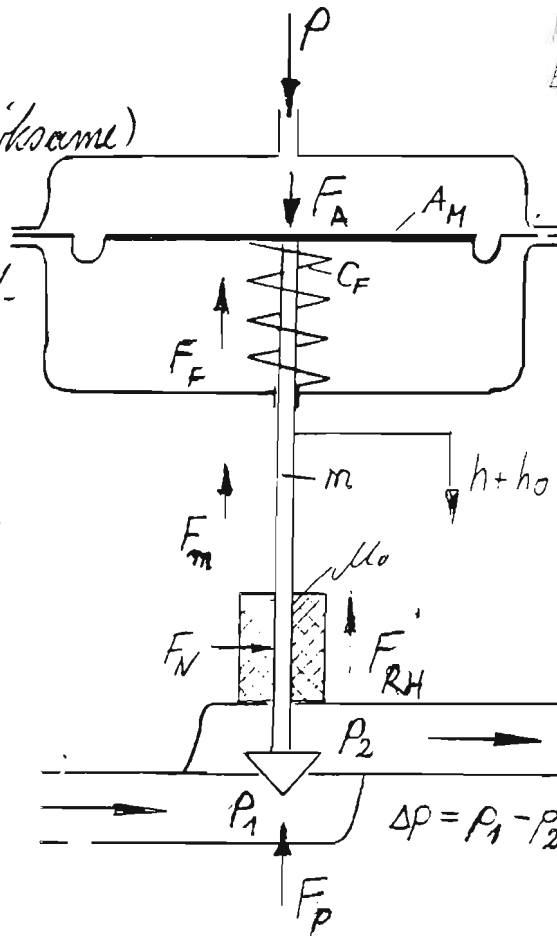
$$\psi = \frac{\Delta p_{v100}}{p_0}$$





Berechnung der Ventilkraft
(Bsp. Einsitzventil)

ρ Stille Druck
 A_M Membranfläche (wirksame)
 C_F Federkonstante
 m Masse des Spindel-
 systems
 h_0 Federverspannung
 h ausgeführter Hub
 p_1 Vordruck
 p_2 Nachdruck
 μ_0 Haftreibungsp-
 koeffizient
 F_N Normalkraft



Kraft auf Grund des
 Eingangsdruckes

Federkraft

Reibkraft

Kraft am
Drosselkörper

Massenkraft

Kräftegleichgewicht: $F_A - F_F - F_m - F_{RH} - F_p = 0$

$$F_A = A_M \cdot \rho$$

$$F_F = C_F \cdot (h + h_0)$$

$$F_m = m \cdot \ddot{h}$$

$$F_{RH} = \mu_0 \cdot F_N = A_M \cdot \Delta p_{RH} \approx (1 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta p) \cdot 10^3 \text{ d.s. Faustformel}$$

$$F_p = A_x p_1 - (A_x - A_s) \cdot p_2 \quad \text{Faustformel}$$

$$F_{RV} = S \cdot \dot{h} \quad , \quad S \quad \text{Reibungskoeffizient}$$

$$F_{RG} = |F_{RG}| \cdot \text{sgn } \dot{h}$$

$$F_{RH} \approx F_{RG} \quad ; \quad \text{bei grober Betrachtung: } F_{RH} \approx F_{RG}$$

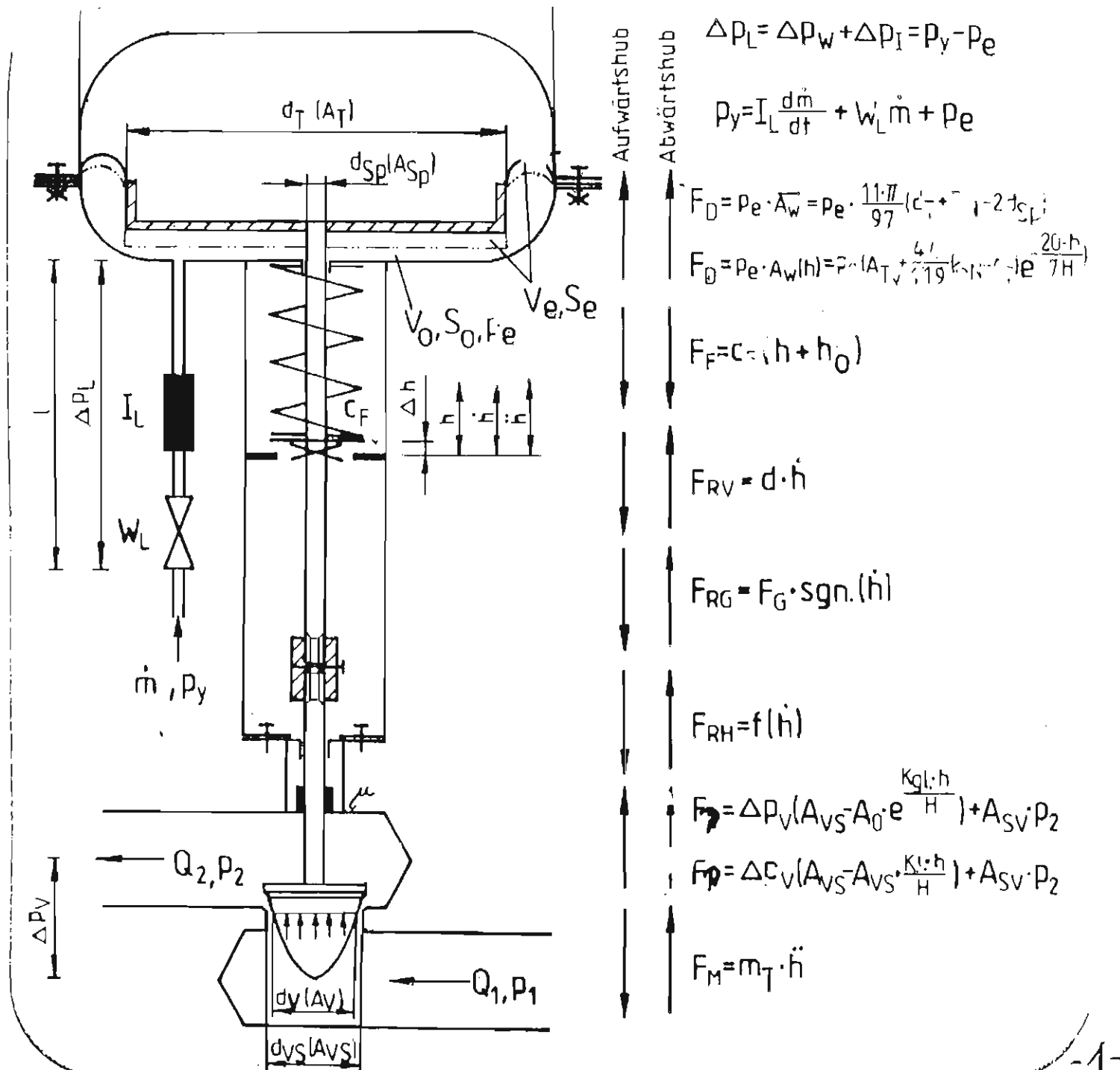
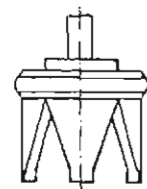
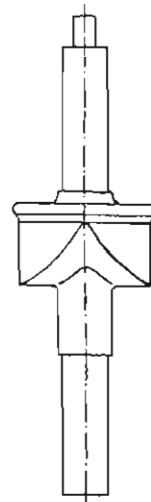
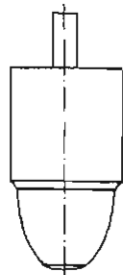
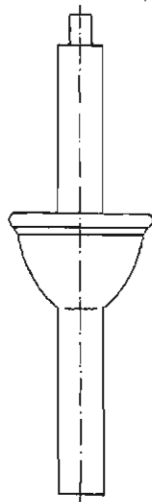


Bild Schematischer Aufbau und Funktionsweise der pneumatischen Stöleinrichtung mit Druckluftzuführung ANSATZ 1



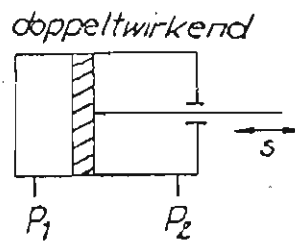
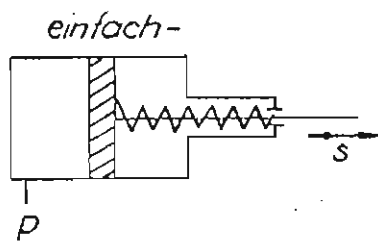
Konturkegel mit
Ober- u. Unterführung

Konturkegel m.
Oberführung

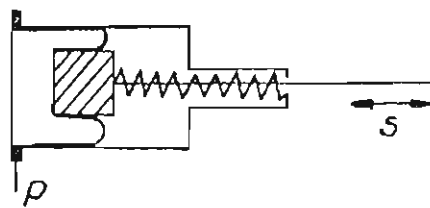
massiver V-för-
miger Mantelkegel

Laternen-
kegel

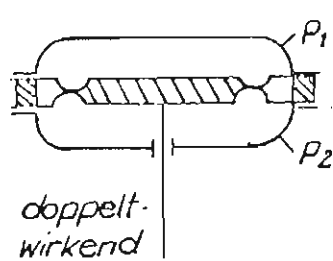
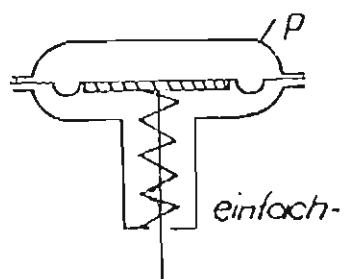
Beispiele für Drosselkörper in Stellventilen



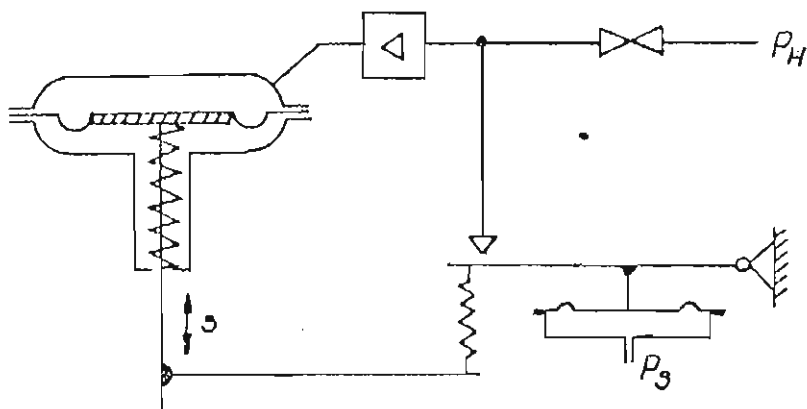
Kolbenstellantrieb



Rollmembranantrieb

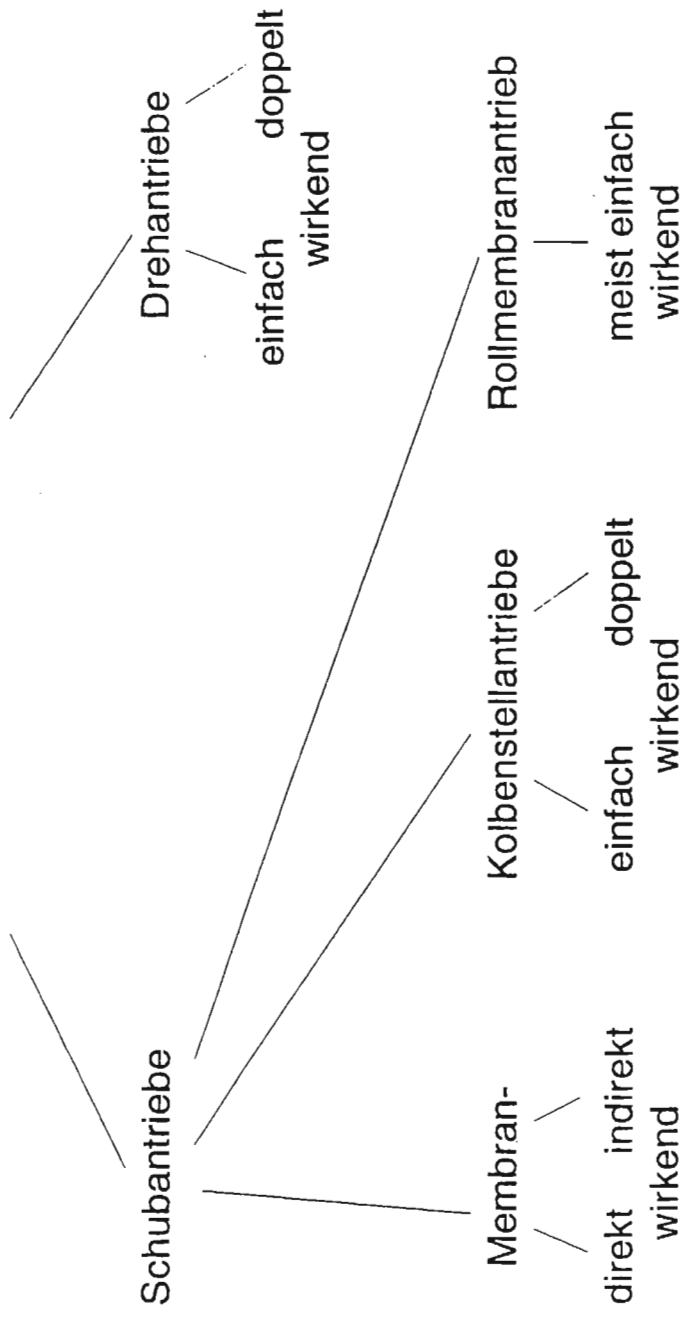


Membranstellantrieb



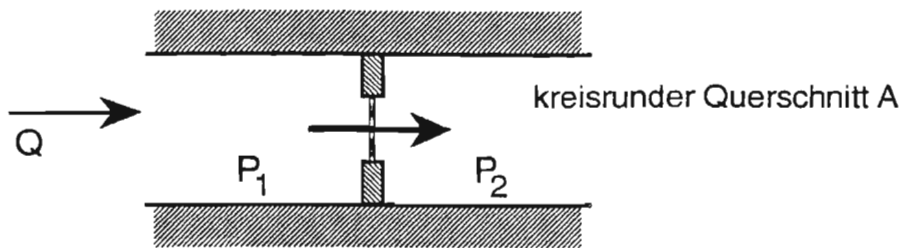
positionierter
Stellantrieb

Pneumatische Stellantriebe

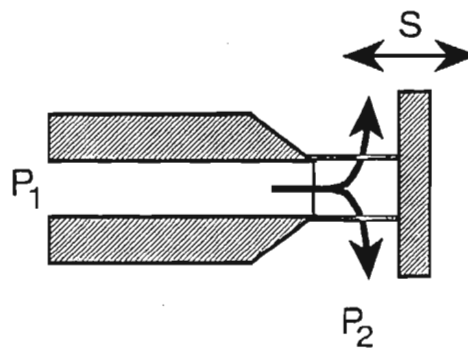
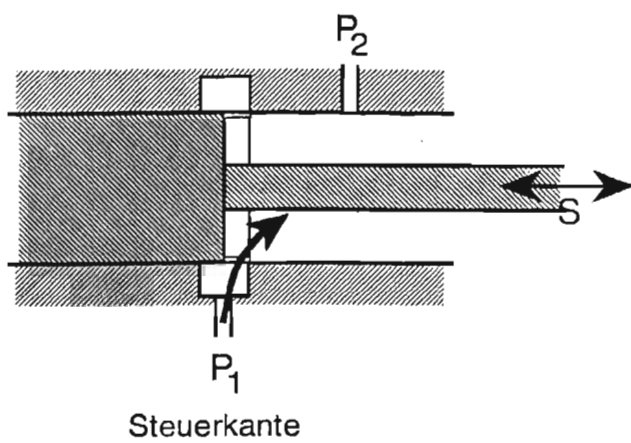


Formen von Drosselstellen:

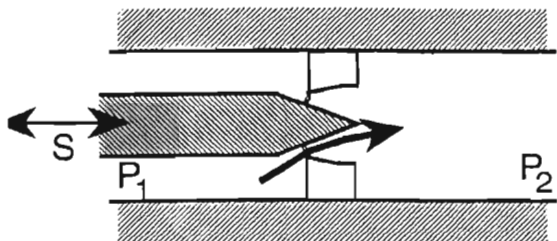
- durchströmte Fläche
- Strömungspfad



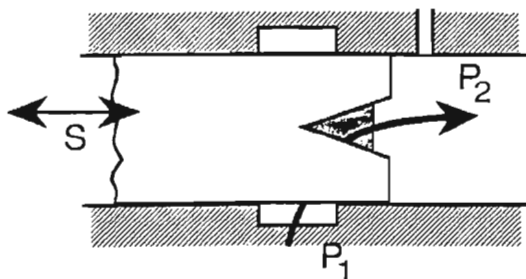
**Kreisfläche
fester
Querschnitt**



**Zylinderflächen
veränderlicher
Querschnitt**



**Kegelmantel
veränderlicher
Querschnitt**



**Dreiecksfläche
veränderlicher
Querschnitt**

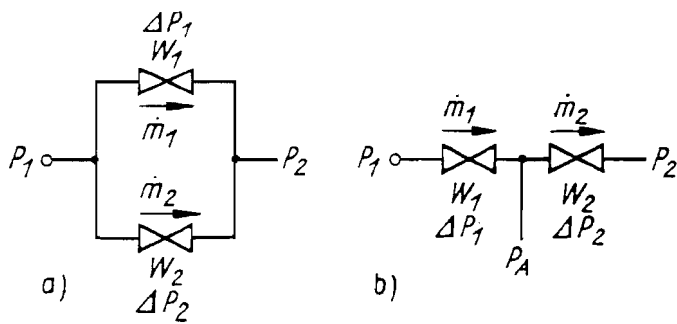


Bild 8.6
Strömungswiderstände
a) Parallelschaltung; b) Reihenschaltung

8.2.4.2. Widerstände in Schaltungen

Für die hier zu betrachtenden Schaltungen gilt nach **Bild 8.6** bei linearisierten Widerständen

Parallelschaltung

$$\Delta P_{\text{ges}} = P_1 - P_2 = \Delta P_1 = \Delta P_2; \quad \dot{m}_{\text{ges}} = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$$

$$\frac{\Delta P_{\text{ges}}}{\dot{m}_{\text{ges}}} = \frac{\Delta P_{\text{ges}}}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2} \quad \text{oder} \quad \frac{1}{W_{\text{ges}}} = \frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2} \quad (8.5)$$

Reihenschaltung

$$\Delta P_{\text{ges}} = (P_1 - P_A) + (P_A - P_2) = P_1 - P_2 = \Delta P_1 + \Delta P_2,$$

$$\dot{m}_{\text{ges}} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\frac{\Delta P_{\text{ges}}}{\dot{m}_{\text{ges}}} = \frac{\Delta P_1}{\dot{m}_1} + \frac{\Delta P_2}{\dot{m}_2} \quad \text{oder} \quad W_{\text{ges}} = W_1 + W_2. \quad (8.6)$$

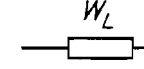
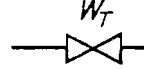
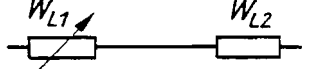
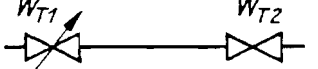
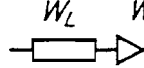
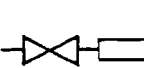
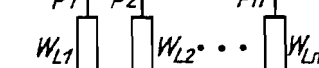
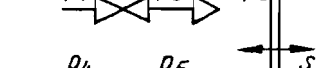


Widerstand / Schaltung				
Gleichung	$\dot{m} = \frac{1}{W_L} (p_1 - p_2)$	$\dot{m} = \frac{1}{W_T} \sqrt{p_1 - p_2}$	$(p_1 - p) = \frac{W_{L1}}{W_{L2}} (p - p_2)$	$(p_1 - p) = (W_{T1}/W_{T2})^2 (p - p_2)$
Widerstand / Schaltung				
Gleichung	$(p_1 - p) = \frac{W_L}{W_T} \sqrt{p - p_2}$	$(p_1 - p) = \left(\frac{W_T}{W_L}\right)^2 (p - p_2)^2$	$p = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n p_K$	Bei völliger Symmetrie gilt: $p_3/p_5 = p_1/p_4$
 Laminarwiderstand  Turbulenzwiderstand Atmosphärendruck $p_2 = 0$				

Bild 8.43. Funktionseinheiten nach dem Ausschlagprinzip (Betrieb bei niedrigen Drücken, Fehler kleiner als 1 % möglich)

Funktion	Ausführung der Baugruppen	Kennlinien	Bemerkungen
Weg-Druck-Wandlung Eingang: Weg Ausgang: Druck auf der Basis von Widerständen			typisch für Analoggeräte typisch für Verstärkerelemente
auf der Basis Strahl und Fangdüse			zur berührungslosen Abtastung zur Ansteuerung ohne bewegte Teile
Druck-Weg-Wandlung Eingang: Druck Ausgang: Weg			Richtkräfte meist durch zusätzliche Feder erzeugt, sonst Kennlinie $s = f(p_E)$ nur bei kleinsten Wegen linear
Druck-Kraft-Wandlung Eingang: Druck Ausgang: Kraft			mit möglichst geringer Federkonstante des elastischen Elementes
Druck-Drehmoment-Wandlung Eingang: Druck Ausgang: Drehmoment			Möglichkeit zusätzlicher Verstärkung, Erzielung hoher Genauigkeiten möglich
Zeitverzögerung (RC-Glieder) Eingang: Druck Ausgang: Druck, verzögert			zur Dämpfung, als Rückführung oder störende RC-Kombination Übergangsfunktion (e -Fkt.) $T_{starr} < T_{el}$
Druck-Druck-Wandlung Nutzung von Strömungsumschlag Strahlableitung Eingang: Druck Ausgang: Druck			Bei Strömungsumschlag wird Schaltverhalten, bei Strahlableitung Analogverhalten genutzt
Druck-Druck-Wandlung Druck-Durchfl.-Wandlung Durchfl.-Durchfl.-Wandlung Wandhaftereffekt Wirbelkammerprinzip Eingang: Druck (Durchfl.) Ausgang: Druck (Durchfl.)			durch Coanda-Effekt wird Speicher-verhalten (Flip-Flop) erreicht durch Vortexelement (Wirbelkammer) Analogverhalten

Bild 8.3. Arbeitsprinzipien zur Signalwandlung mit pneumatischen Grundelementen

Grundelement/Baugruppe	Aufgaben	Ausführungsformen	Typ. Anwendungen
Strömungswiderstände Kapillaren Blenden Kegeldrosseln (Kegel/Kegel) (Kegel/Blende) Düse/Kugel Düse/Prallplatte	als feste oder steuerbare Widerstände zur <ul style="list-style-type: none"> ● Beeinflussung von Strömungen ● Erzeugung von Druckabfällen ● Steuerung von Drücken durch Widerstandsschaltungen ● Verwendung in Widerstands-Speicher-Systemen 		
Elastische Elemente Membranen (Metall, Elaste) Wellrohre Rohrfedern (Bourdonrohr) Kapselfedern	<ul style="list-style-type: none"> ● Umformung der Drücke (Kräfte) in Wege bzw. Winkel ● Erzeugung und Vergleich von Kräften ● Ansteuerung von Widerstandsschaltungen 		
Volumenelemente mit festen Volumina (starr), veränderlichen Volumina (elastisch)	<ul style="list-style-type: none"> ● Speicherung pot. Energie ● Aufbau von Verzögerungsgliedern bei Kopplung mit Widerständen 		
Leitungen Kombination von Widerstand, Speicher und Induktivität Werkstoff: Metall (selten) Plast (üblich)	<ul style="list-style-type: none"> ● Übertragung analoger/diskreter Signale ● Realisierung von Widerstand, Speicher, Induktivität 		rund bei verlegten Leitungen (Metall oder Plast) rechteckig bei integrierten Schaltungen
Strahlelemente Nutzung des Verhaltens von freier bzw. Wandströmung, d. h. aerodynamischer Effekte Strahldüse (SD) Fangdüse (FD) Kombinationen mit Steuerfahne (SF) und Steuerdüsen (StD)	Durch Beeinflussung von Luftstrahlen <ul style="list-style-type: none"> ● Steuerung von Drücken und Mengen ● Realisierung von analogem oder diskretem Verhalten 		als: - Analogelemente - Schaltelemente - Abtastelemente (Sensoren) - Stellglieder

verwendete Symbole:

 Widerstand
fest (↗ einstellbar)

Düse

 Speiseluft-
anschluß

 Verbindung
zur Atmosphäre

Bild 8.2. Grundelemente und Baugruppen der pneumatischen Technik (Gliederung)

SD Strahldüse; FD Fangdüse; StD Steuerdüse; SF Steuerfahne

 p_s Speisedruck, p_E Eingangsdruck; p_A Ausgangsdruck; p_s Steuerdruck; p_F Fangdruck

Prinzip

Schaltung

Signalwandlung

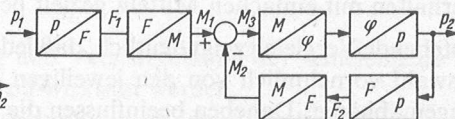
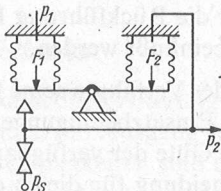
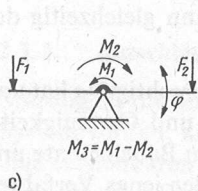
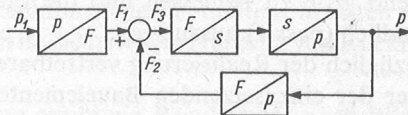
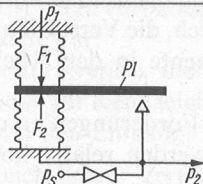
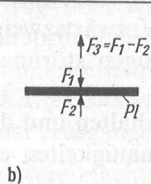
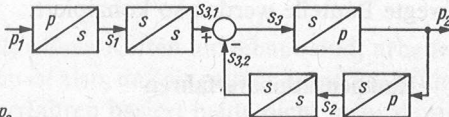
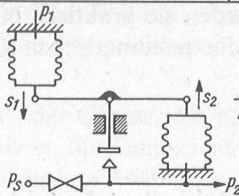
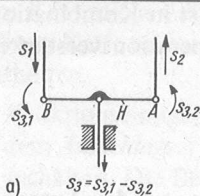
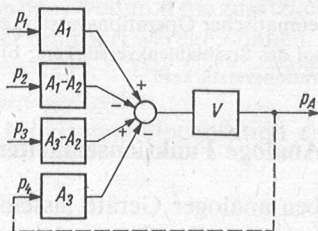
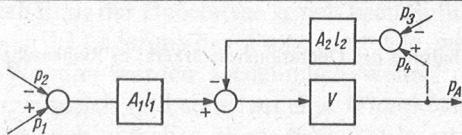
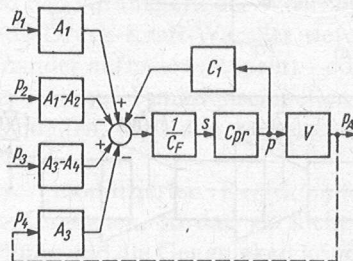
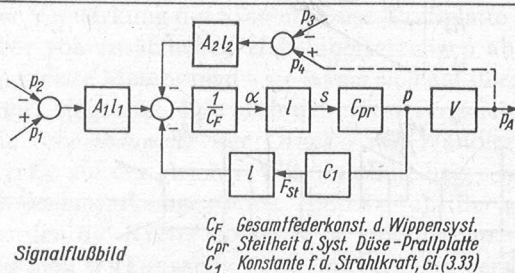
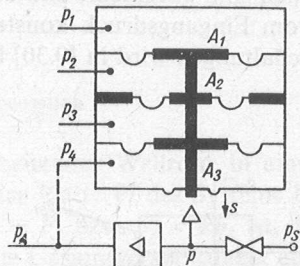
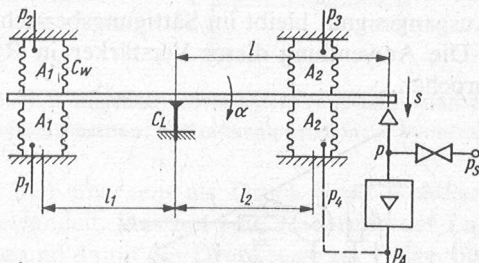


Bild 8.44. Kompensationsverfahren/Vergleichsverfahren

a) Wegkompensation; b) Kraftkompensation; c) Momentkompensation



$$p_A = V[A_1 l_1 (p_1 - p_2) + A_2 l_2 (p_3 - p_4)]$$

$$p_A = V[A_1 p_1 + (A_3 - A_2) p_3 - (A_1 - A_2) p_2 - A_3 p_3]$$

Fehlermomente entstehen durch:
Federlager der Wippe (C_L) und Strahlkraft (F_{St})
Wellrohrauslenkung (C_W)
Wellrohrverkipfung (C_{WK})

Fehler entstehen durch Strahlkraft und bei Auslenkung des Systems durch Federkonstanten und Änderung der Membranflächen

Bild 8.47. Grundformen des Kraft- und Momentenvergleichs

Geräte- schema			
Signal- flußbild			
Sprung- antwort			
Übertragungs- funktion	K	$\frac{K}{1+T_1 p}$	$\frac{K T_1 p}{1+T_1 p}$
Parameter	$K=A$	$K=A, T_1=W \frac{V}{RT}$	$K=A, T_1=W \frac{V}{RT}$
Geräte- schema			
Signal- flußbild			
Sprung- antwort			
Übertragungs- funktion	$K \frac{1+T_2 p}{1+T_1 p}$	$K \frac{1+T_2 p}{1+T_1 p}$	$K \frac{(T_2-T_1)p}{(1+T_1 p)(1+T_2 p)}$
Parameter	$K=A_a+A_i, T_1=W \frac{V}{RT}$ $T_2=\frac{T_1}{1+\frac{A_i}{A_a}}$	$K=A_1-A_2, T_1=W \frac{V}{RT}$ $T_2=\frac{T_1}{(1-\frac{A_2}{A_1})}$	$K=A_i, T_1=W_1 \frac{V_1}{RT}, T_2=W_2 \frac{V_2}{RT}$

Bild 8.48. Korrekturglieder

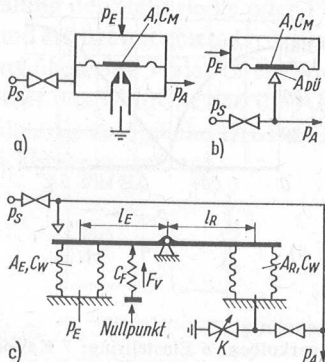
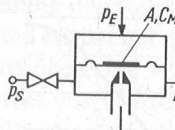
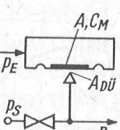
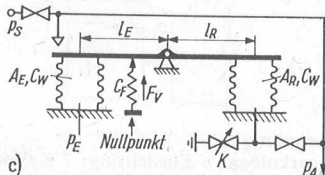
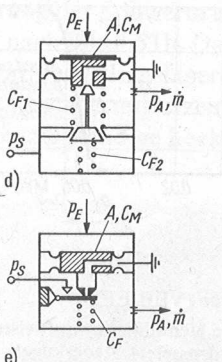
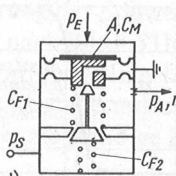
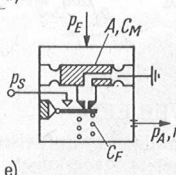
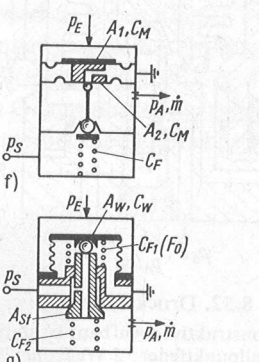
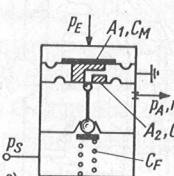
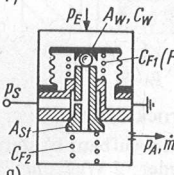
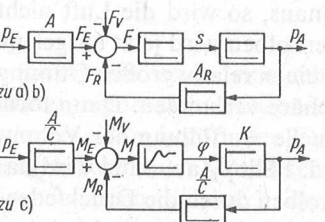
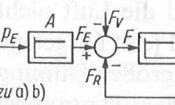
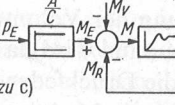
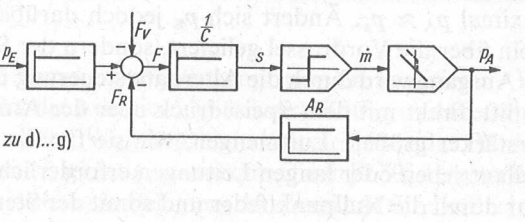
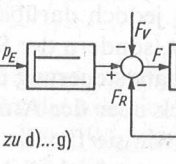
Typ	Druck-Verstärker	Leistungsverstärker	Druck-Mengen-Verstärker
Prinzip	<div></div> <p>a) </p> <p>b) </p> <p>c) </p>	<div></div> <p>d) </p> <p>e) </p>	<div></div> <p>f) </p> <p>g) </p>
Verstärkung	$V = 1; V < 1000; V = f(k)$ einstellbar	$V \approx 1$ $\dot{m}_{\max} \approx 25 \dots 50 \frac{\text{liN}}{\text{min}}$	$V \approx 2 \dots 5; \text{ bzw. } V \approx 20$ $\dot{m}_{\max} \approx 25 \dots 50 \frac{\text{liN}}{\text{min}}$
Fehlereinfluß	$\Delta\left(\frac{p_A}{p_E}\right) = f(A_w; C_M);$ $\Delta\left(\frac{p_A}{p_E}\right) = f\left(\frac{A_{Dü}}{A}; C_M; F_{Str.}\right)$ $\Delta\left(\frac{p_A}{p_E}\right) = f\left(\frac{l_R}{l_E}; \frac{A_R}{A_E}; F_V; C_W; K; F_{Str.}\right)$	$\Delta\left(\frac{p_A}{p_E}\right) = f(A; C_M; C_{F1})$ $\Delta\left(\frac{p_A}{p_E}\right) = f(A; C_M)$	$\Delta\left(\frac{p_A}{p_E}\right) = f\left(C_M; \frac{A_2}{A_1}\right)$ $\Delta\left(\frac{p_A}{p_E}\right) = f\left(\frac{A_w}{A_{St}}; C_w; C_{F1}\right)$
Signalfußbild	<div></div> <p>zu a) b) </p> <p>zu c) </p>	<div></div> <p>zu d) ... g) </p>	

Bild 8.51. Typen pneumatischer Verstärker

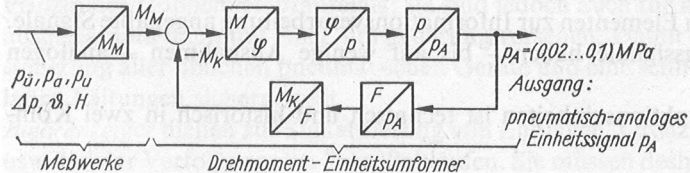


Bild 8.66. Strukturplan von Meßumformersystemen mit Drehmomentenkompensation

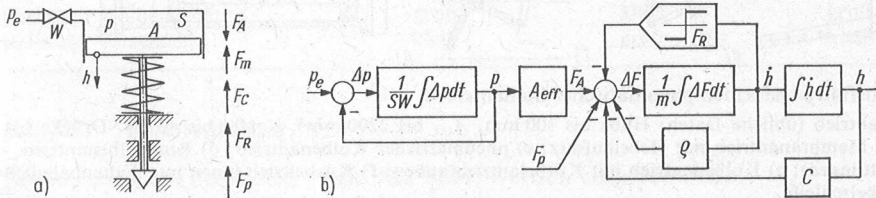


Bild 8.82. Statisches und dynamisches Verhalten pneumatischer Antriebe

a) Kräfte am einfachwirkenden Antrieb; b) Blockschaltbild