

Hydraulik

Grundlagen

Einführung
Physikalische Grundlagen
Hydraulikkreis (Prinzip)
Hydraulikmedium
Berechnungsgrundlagen
Pumpen und Motore
Hydrozylinder und Druckspeicher
Steuerelemente und Schaltzeichen
Verbindungen und Leitungen
Hydraulische Schaltungen
Sonstiges

Hydraulik

Einführung

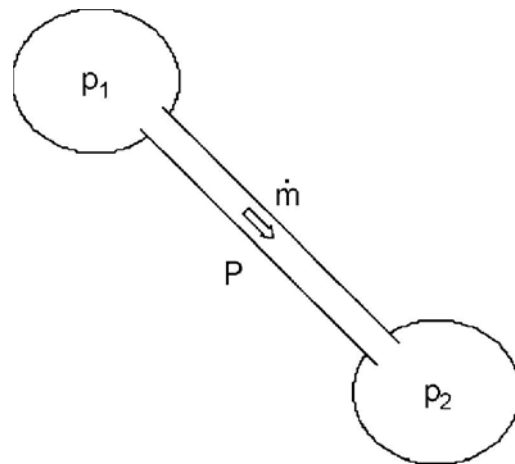
Wesentliche Aufgabe im Maschinenbau = Verteilung von Energie

mechanische Energieübertragung

elektrische Energieübertragung

fluidische Energieübertragung

Energieübertragung durch das Strömen einer Flüssigkeit von einem Bereich höheren Drucks in einen Bereich niedrigeren Drucks



Massenstrom beschreibt Leistungsübertragung

Hydraulik

physikalische Grundlagen

Daraus lässt sich folgern:

Energietransport nur bei Druckdifferenz

Zur Energieübertragung muss ein Fluid zwischen Bereichen unterschiedlichen Druckes strömen

Wichtiger Aspekt = Dosierung der Energiemenge

über Druckdifferenz
oder über Massenstrom

Hydraulik

Hydraulikkreis **prinzipieller Aufbau**

Hydraulischer Kreis zur Energieübertragung

Wandler mechanische in hydraulische Energie

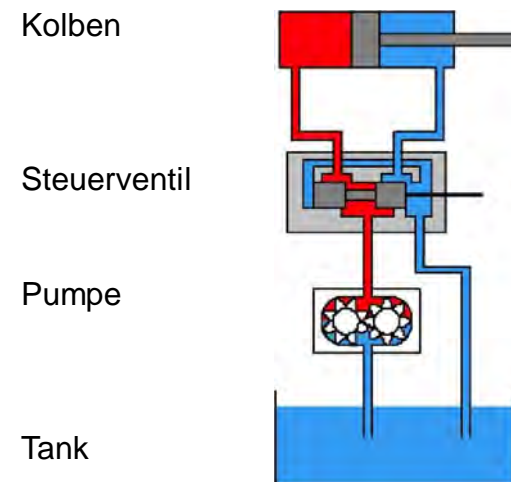
Steuerung

Wandler hydraulische in mechanische Energie

Pumpe

Ventil

Kolben



Rot = höherer Druck
Blau = geringerer Druck

Hydraulik

Berechnungsgrundlagen

Unterscheidung Hydrostatik -- Hydrodynamik

Hydrostatik

geht von unbewegten Systemen aus

Hydrodynamik

geht von kontinuierlich fließenden Strömen aus

Hydraulik

Berechnungsgrundlagen Hydrostatik

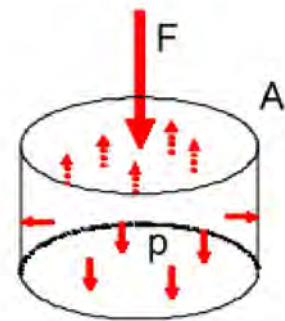
Grundlage ist das Gesetz von Pascal

Der hydrostatische Druck breitet sich in geschlossenen Räumen in allen Richtungen gleichmäßig aus und wirkt auf stets senkrecht auf die benetzte Fläche.

Der Druck wird definiert durch eine Kraft, die auf eine Fläche wirkt

Randbedingungen

Konstante Dichte des Fluids, keine Kompressibilität
Viskosität = 0, keine innere Reibung



$$F = p \cdot A$$

Hydraulik

Berechnungsgrundlagen Absolut- und Differenzdruck

Energietransport erfordert Druckdifferenz

Druckangaben beziehen sich auf den Referenzdruck der Atmosphäre (vereinfacht mit 1 bar angenommen)

Messgeräte zeigen immer den Differenzdruck des Hydrauliksystems zur Umgebungsdruck. Der Wert stimmt also mit dem Differenzdruck überein

Hydraulik

Berechnungsgrundlagen Wirkprinzip

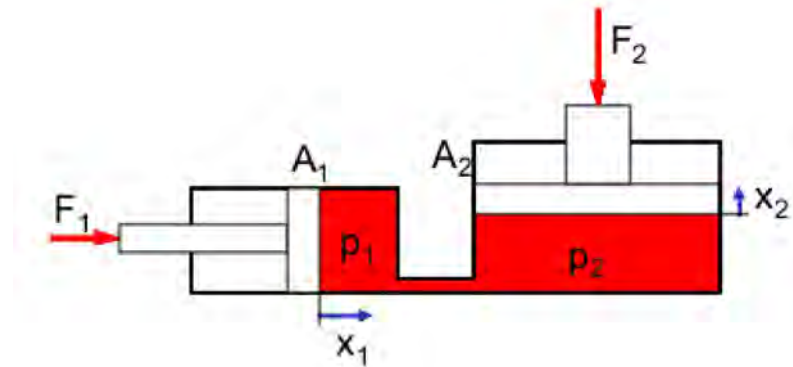
Das Gesetz von Pascal kann auf 2 Arten genutzt werden

Kraft-/Wegübersetzung

Druckübersetzung

Hydraulik

Berechnungsgrundlagen Wirkprinzip Kraftübersetzung



Es gilt :

$$p_1 = p_2 = p$$

Kräfte auf die Kolbenstangen:

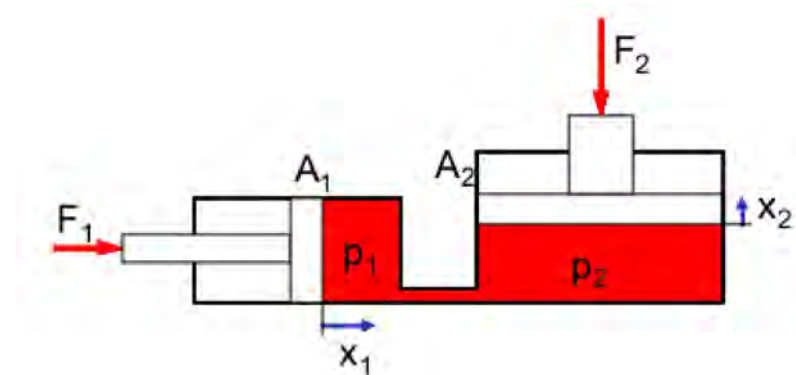
$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} = p_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

Daraus Berechnung der Kraftübersetzung:

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1$$

Hydraulik

Berechnungsgrundlagen Wirkprinzip Wegübersetzung



Es gilt :

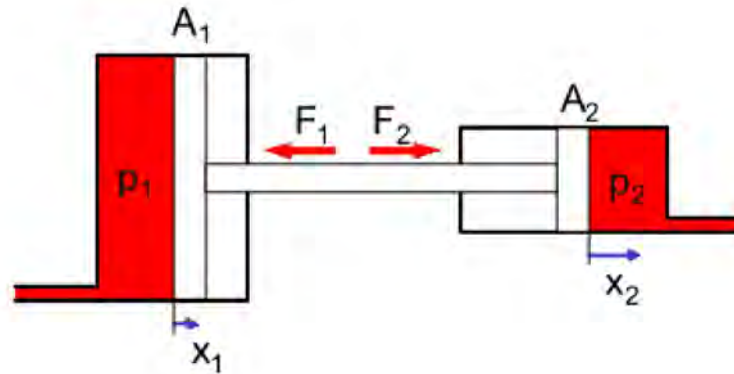
$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = A_1 \cdot x_1 = A_2 \cdot x_2$$

Daraus Berechnung der Kraftübersetzung:

$$x_2 = \frac{A_1}{A_2} x_1$$

Hydraulik

Berechnungsgrundlagen Wirkprinzip Druckübersetzung



Durch die starre Verbindung der Kolbenstange ist die übertragene Kraft

$$F_1 = F_2 = F$$

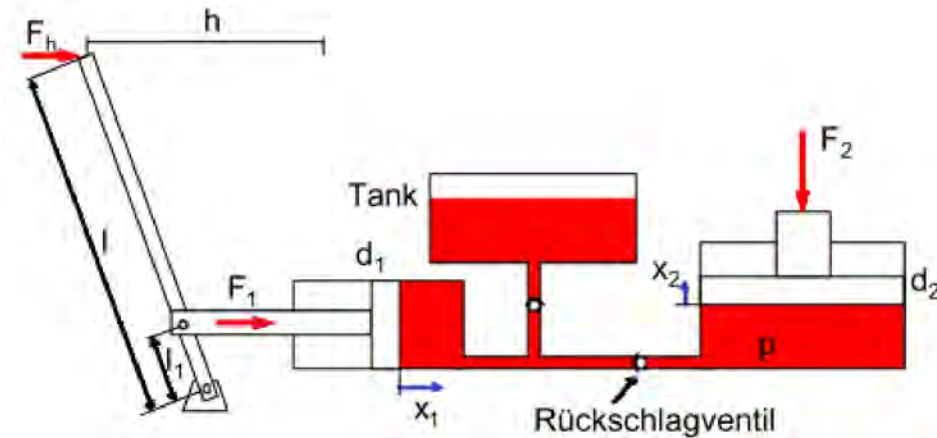
Daraus ergibt sich für die Druckübersetzung

$$F_1 = A_1 \cdot p_1 = F_2 = A_2 \cdot p_2$$

$$p_2 = \frac{A_1}{A_2} \cdot p_1$$

Hydraulik

Berechnungsgrundlagen Beispielaufgabe



Wagenheber

Hubkraft 2 Tonnen, Pumpenarmlänge (l) 500 mm, Anlenkung Pumpenarm (l_1) 50 mm
Kolbendurchmesser des Hubkolbens 50 mm, Kolbendurchmesser des Pumpenkolbens 5 mm,
Hub (am Pumpenarm) (h) 300 mm

Fragen

Wie groß ist die erforderliche Kraft am Pumpenarm (F_h) ?

Wie groß ist der Druck im Hydraulikkreis ?

Wieviel Pumpenhübe sind erforderlich, um die Last 100 mm zu heben ?

Hydraulik

Hydraulikkreis Wirkungsgrad

Bei jeder Energieübertragung treten Verluste auf

Den Quotienten aus Nutzenergie und Primärenergie bezeichnet den Wirkungsgrad

Bei einer elektrisch angetriebenen Pumpe im Hydraulikkreis wie vor dargestellt, ergibt sich folgender Gesamtwirkungsgrad:

$$\eta_{\text{ges}} = \eta_{\text{el-mech}} * \eta_{\text{mech-hydr}} * \eta_{\text{hydr}} * \eta_{\text{hydr-mech}}$$

Hydraulik

Hydraulikkreis Einsatzbereiche

Mobilhydraulik (Einsatz in Fahrzeugen, Baumaschinen, usw.)

Stationärhydraulik (auch Industriehydraulik)

In der Praxis kann aus einer Vielzahl unterschiedlicher Hydraulikmedien, Pumpen, Steuerventilen und Hydrozylinder bzw. Hydromotoren ausgewählt werden.

Hydraulik

Hydraulikkreis Einsatzbereiche

Pressen, Walzwerke (große Kräfte)

Kunststoff-Spritzgießmaschine (Bewegung und konstante Kraft)

Baumaschinen, Landwirtschaft (extreme Umweltbedingungen, große Kräfte, geringer Bauraum)

Bergbau

Hebeanlagen (große Kräfte)

Hydraulik

Hydraulikkreis Vorteile

hydraulische Motoren und Zylinder bauen deutlich kleiner als direkte andere Antriebe gleicher Leistung (bis Faktor 10)

einfache Erzeugung linearer Bewegungen durch Zylinder

sehr gute Steuer- und Regelbarkeit großer Verstellleistungen

Erzeugung konstanter Kräfte ohne Vorschubbewegung

bei Antrieb mehrerer Achsen großer Leistung günstiger als z.B. elektrische Direktantriebe

robust gegenüber extremen Umweltbedingungen.

Hydraulik

Hydraulikkreis Nachteile

höhere Betriebskosten durch schlechten Wirkungsgrad

Gefährdung der Umwelt bei Einsatz von Mineralöl als Fluidmedium

höherer Wartungsaufwand (Tausch Hydrauliköl, Filter)

Hydraulik

Druckflüssigkeit Allgemein

Übertragungsmedium der Energie ist ein Fluid, in der Hydraulik eine Flüssigkeit

Die Flüssigkeit überträgt den Druck, daher im Sprachgebrauch Druckflüssigkeit (DF)

Meist werden dazu Mineralöle oder synthetische Öle verwendet (85%)

Wichtige Eigenschaften der Druckflüssigkeit:

Dichte

Viskosität

Kompressibilität

Hydraulik

Druckflüssigkeit Dichte

Die Dichte ρ wird beschrieben durch die Masse pro Volumen

$$\rho = m / V \quad (\text{gebräuchliche Einheit} = \text{Kg/dm}^3)$$

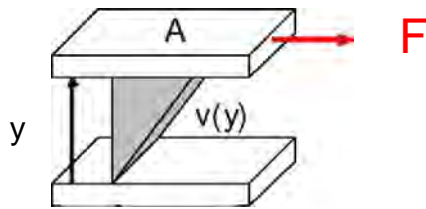
Die Dichte ist abhängig von der Temperatur, für Berechnungen von Hydrauliken kann dies in der Regel vernachlässigt werden

Hydraulik

Druckflüssigkeit dynamische Viskosität

Flüssigkeiten weisen eine innere Reibung auf

Ein einfaches Experiment:



Zwischen zwei Platten der Fläche „A“ befindet sich eine Flüssigkeit der Dicke „y“. Um die obere Platte gegenüber der feststehenden unteren Platte mit einer bestimmten Geschwindigkeit zu bewegen, muss man eine definierte Kraft „F“ aufbringen.

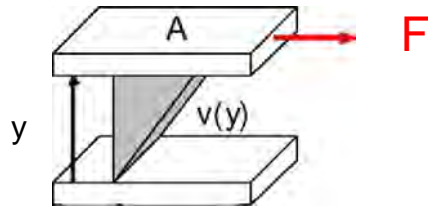
Diese errechnet sich zu $F = h \cdot v \cdot A / y$

Neben der Fläche „A“ und dem Abstand „y“ beschreibt die Kraft „F“ und die Geschwindigkeit „v“ die dynamische Viskosität

$$h = F / v$$

Hydraulik

Druckflüssigkeit dynamische Viskosität



Je größer die aufzuwendende Kraft, desto größer die dynamische Viskosität

Die Viskosität ist ein Maß für die innere Reibung der Flüssigkeit. Sie sagt aus, wie zähflüssig ein Medium ist.

Die Einheit der Viskosität ist wie folgt

$$h = F \cdot y / (A \cdot v) = \text{N} \cdot \text{m} / (\text{m}^2 \cdot \text{m} / \text{s}) = \text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2 = \text{Pa} \cdot \text{s} \text{ (pascalsekunde)}$$

Hydraulik

Druckflüssigkeit kinematische Viskosität

Bei der Berechnung von Strömungseffekten ist die kinematische Viskosität von Interesse

Dabei wird die Masse der Flüssigkeit berücksichtigt

$$\nu = \eta / \rho$$

$$\text{Einheit} = \text{m}^2/\text{s}$$

Sie erlaubt in der Berechnung von Hydraulikkreisen die Massenträgheit des Fluids zu berücksichtigen

Hydraulik

Druckflüssigkeit Anforderungen an die Viskosität

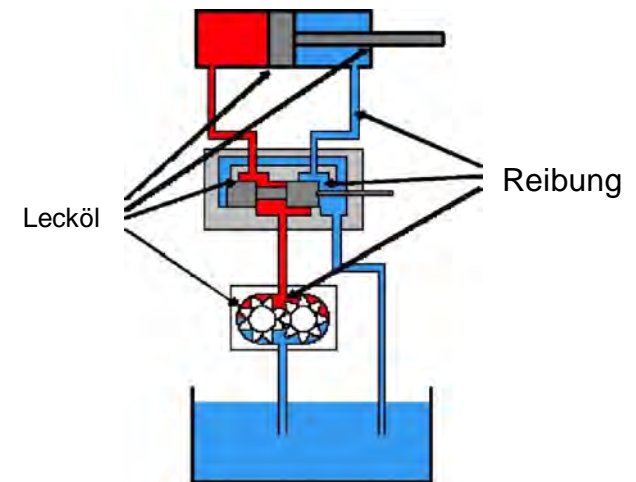
Die Anforderungen an die Viskosität in Hydraulikkreisen sind gegenläufig

Möglichst gering

zur Vermeidung von Leckölverlusten an Pumpe, Ventilen, Zylindern,.....

Möglichst hoch

zur Vermeidung von Verlusten durch innere Reibung in den Bauteilen eines Hydraulikkreises

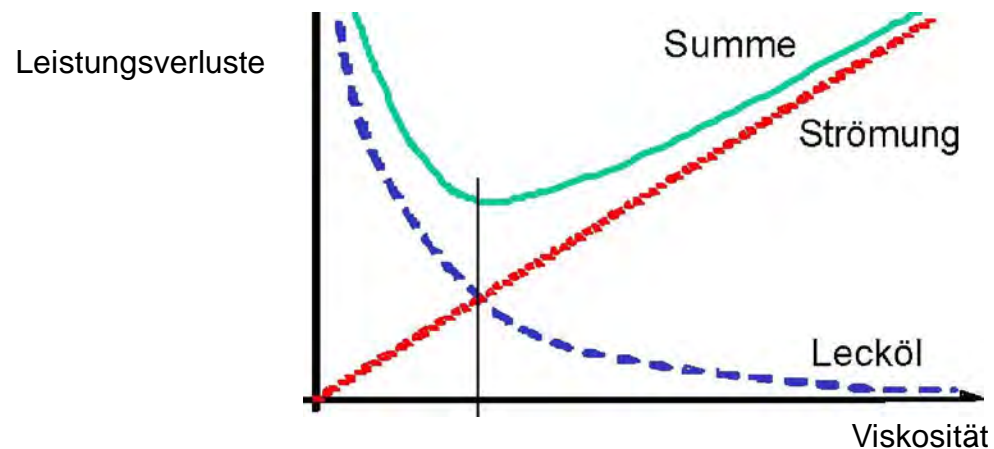


Hydraulik

Druckflüssigkeit optimale Viskosität

Verluste durch Lecköl und Verluste durch innere Reibung führen zu erhöhtem Leistungsbedarf, wenn diese durch den Antrieb ausgeglichen werden sollen.

Die Abhängigkeit der auszugleichenden Leistungsverluste in Abhängigkeit von der Viskosität stellt sich wie folgt dar:



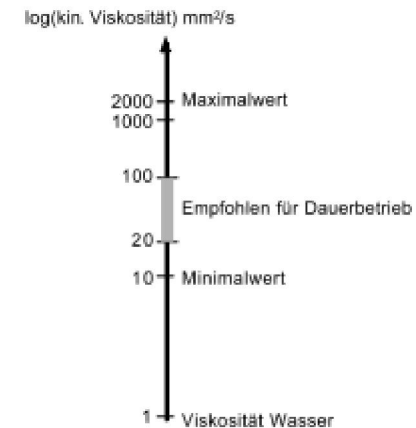
Hydraulik

Druckflüssigkeit Viskositätsskala

Leistungsverluste sind stark von der Konstruktion der Hydraulikkreis Komponenten abhängig

Hersteller von Hydraulikkomponenten schreiben meist die zu verwendende Viskosität vor, und machen ggf. die Garantie von der Verwendung abhängig

Meist wird ein Bereich von 20 – 100 mm²/s empfohlen, typisch liegt das Optimum bei 36 mm²/s



Hydraulik

Druckflüssigkeit Viskositätsgruppen

Mineralöle werden in verschiedenen Viskositäten angeboten, sie sind in Viskositätsgruppen (VG) eingeteilt

VG 15, 22, 32, 46, 68, 100, 150

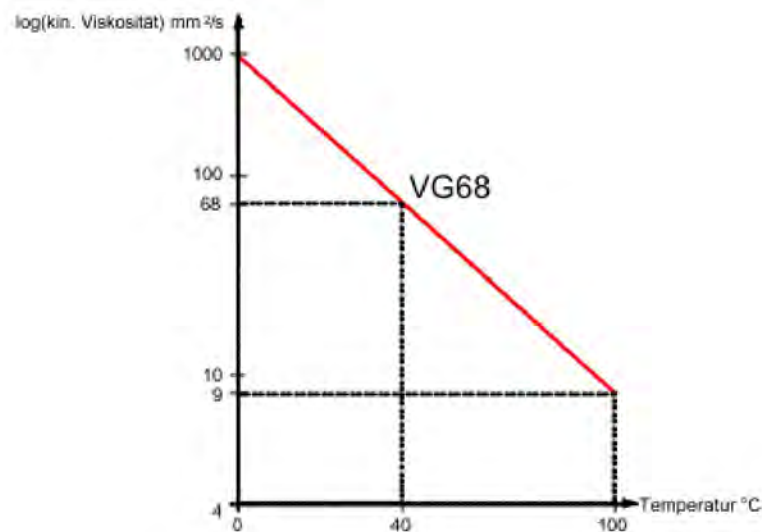
VG 68 z.B. bedeutet, daß das Mineralöl eine Viskosität von 68 mm²/s besitzt.

Die Viskosität ist stark temperaturabhängig, die Angaben beziehen sich auf ein Temperatur von 40°C

Hydraulik

Druckflüssigkeit Temperaturabhängigkeit

Das Bild zeigt die Temperaturabhängigkeit des häufig verwendeten Mineralöls VG68



Über einen Temperaturbereich von 100°C ist der Bereich der Viskosität von ~10 – 1000 mm²/s gespreizt

Einfluss :
Anfahrwiderstand bei Mobilhydraulik in Extrem-Niedrigtemperaturen

Positioniergenauigkeit bei Hydraulikachsen ausserhalb Auslegungstemperatur

Hydraulik

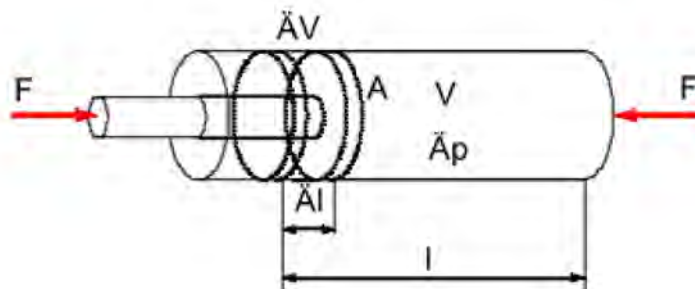
Druckflüssigkeit Kompressibilität

Jede Materie verändert unter Last ihre Gestalt

Die Formänderung ist proportional der aufgebrauchten Last

Das Verhältnis zwischen Last und Formänderung bezeichnet man als Elastizitätsmodul

Bei einer Flüssigkeit bezeichnet man die Volumenänderung in Abhängigkeit von der Last als Kompressionsmodul



Ein Vergleich des Elastizitätsmoduls von Stahl mit dem Kompressionsmodul von Öl zeigt, daß Öl ~ 130 mal „weicher“ ist als Stahl

Hydraulik

Druckflüssigkeit Funktionen

Primäre Funktionen

- Energieübertragung
- Signalübertragung

Sekundäre Funktionen

- Schmierung
- Wärmabfuhr
- Abfuhr von Verunreinigungen
- Korrosionsschutz

Hydraulik

Druckflüssigkeit Anforderungen

- Geringe Kompressibilität
- Angemessene Viskosität
- Gute Schmiereigenschaften
- Schwer entflammbar
- Umweltunschädlich
- Alterungsbeständigkeit
- Kostengünstig

Hydraulik

Druckflüssigkeit Einsatzgruppen

- Mineralöle, Einsatzgebiet: wo keine besonderen Randbedingungen zu beachten sind, ca. 75% aller Anwendungen
- Biologisch schnell abbaubare DF, Einsatzgebiet: Gefährdung der Umwelt, z.B. landwirtschaftliche Geräte und Fahrzeuge, ca. 13% aller Anwendungen
- Schwer entflammbare DF, Einsatzgebiet: brandgefährdete Bereiche, ca. 9% aller Anwendungen
- Wasser, Einsatzgebiet: Brandschutz und umweltgefährdete Bereiche wie z.B. Lebensmittelindustrie, Einsatz ca. 3%

Hydraulik

Druckflüssigkeit schwer entflammbar

Wenn bestimmte Sicherheitsvorschriften einer Anlage es erfordern, schwer entflammbare DF einzusetzen, stehen folgende Gruppen zur Verfügung:

- HFA mit bis zu 20% brennbare Anteile. HFA stellt die günstigste, schwer entflammbare DF dar. Nachteilig ist jedoch die hohe Viskosität und die damit verbundenen hohen Leckölverluste. Typischer Einsatzbereich sind Arbeitsmaschinen im Bergbau.
- HFB mit bis zu 60% brennbaren Anteilen. Aufgrund des hohen Anteils brennbarer Stoffe wird diese Variante nur selten eingesetzt.
- HFC hierbei handelt es sich um eine Polyglykol-Wasserlösung. Unter den schwer entflammbaren DF stellt HFC die häufigste Verwendung dar.
- HFD sind wasserfreie, synthetische Flüssigkeiten.

Hydraulik

Druckflüssigkeit biologisch abbaubar

Umweltschonende DF besitzen allgemein den Nachteil, dass sie nur in eingeschränkten Temperaturbereich eingesetzt werden können. Darüber hinaus ist die Alterungsbeständigkeit der DF nicht sehr groß. Varianten dieser DF sind:

- HPG Polyglykole,
- HTG Rapsöle,
- HT synthetische Ester.

Hydraulik

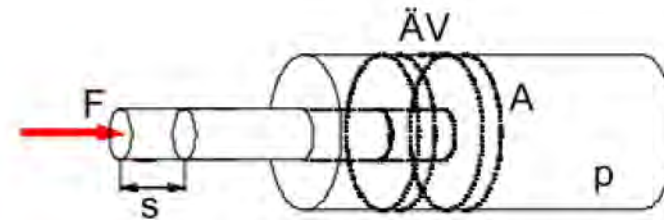
Berechnungsgrundlagen mechanisch hydraulischer Wirkungsgrad

In der Praxis ergeben sich bei der Umsetzung von Energie Verluste.

Mechanische Energie

Wird der Kolben über einen Weg s bewegt, ist die mechanische Energie

$$W_{mech} = F \cdot s$$



Ohne Verlust wäre die mechanische Energie Gleich der hydraulischen Energie

$$W_{mech} = F \cdot s = p \cdot A \cdot s = p \cdot \Delta V$$

Verluste werden über den Wirkungsgrad berücksichtigt

$$W_{mech} = \eta_{hm} \cdot W_{hydr}$$

Mit Berücksichtigung der Verluste ergibt sich

$$F \cdot s = \eta_{hm} \cdot p \cdot \Delta V = \eta_{hm} \cdot p \cdot A \cdot s$$

$$F = \eta_{hm} \cdot p \cdot A$$

Hydraulik

Berechnungsgrundlagen mechanisch hydraulischer Wirkungsgrad

Beispiel

Zylinderwirkungsgrade in Abhängigkeit vom Arbeitsdruck

Druck	Wirkungsgrad η_{tm} , η_{mh}
20 bar	85%
120 bar	90%
160 bar	95%

Hydraulik

Berechnungsgrundlagen hydraulische Leistung

Die hydraulische Leistung errechnet sich aus der hydraulischen Energie dividiert durch Zeit

$$P_{hydr} = \frac{W_{hydr}}{t} = \frac{p \cdot \Delta V}{t}$$

$$\boxed{P_{hydr} = p \cdot Q}$$

Q ist der Volumenstrom, meist in Liter/Minute angegeben (ISO m³/sec)

Hydraulik

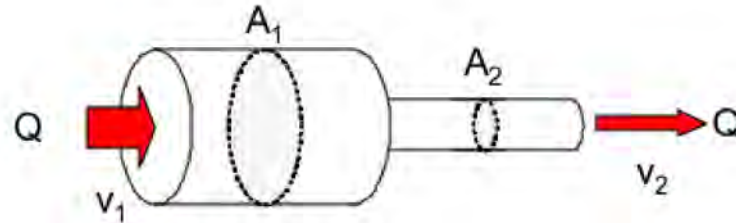
Berechnungsgrundlagen Hydrodynamik

Die Hydrodynamik betrachtet kontinuierlich fließende Druckflüssigkeit

Beschleunigungsvorgänge werden nicht betrachtet
Insofern sind Massenträgheitseffekte nicht involviert

Hydraulik

Berechnungsgrundlagen Kontinuitätsgesetz



Fließt eine Druckflüssigkeit durch eine Leitung mit unterschiedlichen Querschnitten, so gilt

$$Q = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

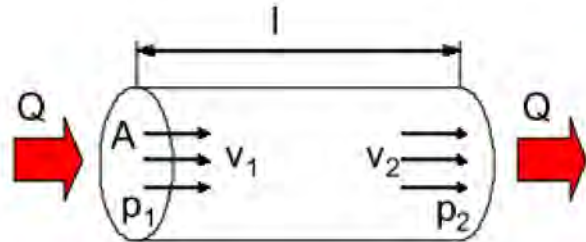
Ausgedrückt mit Dichte und Volumen stellt sich die Formel so dar

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + p = const$$

(gilt nur für inkompressible Fluide)

Hydraulik

Berechnungsgrundlagen Druckverlust einer Rohrleitung



Bei gleichen Querschnitten an Ein- und Ausgang gilt

$$Q = v_1 \cdot A_1 = v_1 \cdot A = v_2 \cdot A_2 = v_2 \cdot A$$

Durch Reibungsverluste wird eine Druckdifferenz erzwungen

v=Strömungsgeschwindigkeit, ξ Widerstandsbeiwert, ρ Dichte

$$\Delta p_{12} = \xi \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

Der Widerstandsbeiwert ist keine Konstante, er ist von der Geometrie der Leitung abhängig

Lambda Rohrreibungsbeiwert, l Länge, d Durchmesser

$$\xi = \lambda \cdot \frac{l}{d}$$

Der Rohrreibungsbeiwert ist ebenfalls keine Konstante

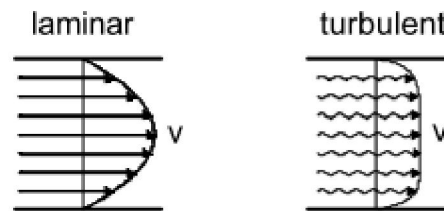
Er ist von der Reynoldszahl abhängig

V Strömungsgeschwindigkeit, d Durchmesser, ν Strömungsgeschwindigkeit

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

Hydraulik

Berechnungsgrundlagen **Strömungsart**



Übergang bei Wasser $Re \sim 2300$

Übergang bei Hydrauliköl $Re \sim 1900 - 3000$

Übergang bei VG 68 und 10 mm Leitungsdurchmesser

$$v_m = \frac{Re \cdot \nu}{d} = \frac{2320 \cdot 68 \frac{mm^2}{s}}{10mm} = 15,78 \frac{m}{s}$$

Bei laminarer Strömung ist der Rohreibungswiderstand etwa

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Hydraulik

Berechnungsgrundlagen Druckverlust einer Rohrleitung

$$\Delta p_{12} = \xi \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = \frac{64}{\text{Re}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = \frac{64}{\frac{v \cdot d}{\nu}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

Oder bei Einbezug des Volumenstroms

$$\Delta p_{12} = \frac{128}{\pi} \cdot \nu \cdot \rho \cdot Q \cdot \frac{l}{d^4}$$

Den größten Einfluss hat der Rohrdurchmesser (4te Potenz)

Optimale Strömungsgeschwindigkeit

Druck	Strömungsgeschwindigkeit	Anwendung
<1 bar	0,5...1,5m/s	Saugleitung
1 bar	2,0...4,0m/s	Rücklauf
25bar	2,5...3,0m/s	Druckleitung
50bar	3,5...4,0m/s	
100bar	4,5...5,0m/s	
200bar	5,0...6,0m/s	
über 300bar	7,0m/s	

Auswahl einer Rohrleitung (Durchmesser)

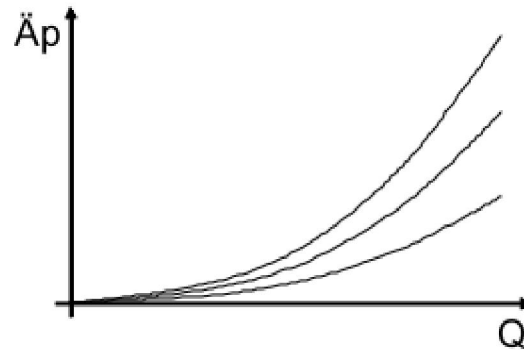
$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

Hydraulik

Berechnungsgrundlagen Durchflusskennlinie

Für Steuerelemente kann eine mathematische Berechnung des Druckverlustes kaum vorgenommen werden.

Statt dessen kann man die Druckverluste aus sogenannten Durchflußkennlinien ermitteln



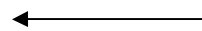
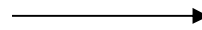
Hydraulik

Pumpen und Motore

Mechanische Energie

hydraulische Energie

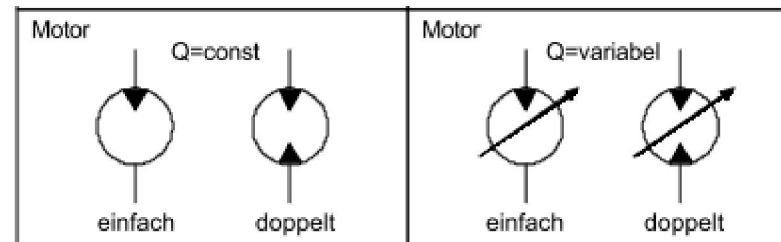
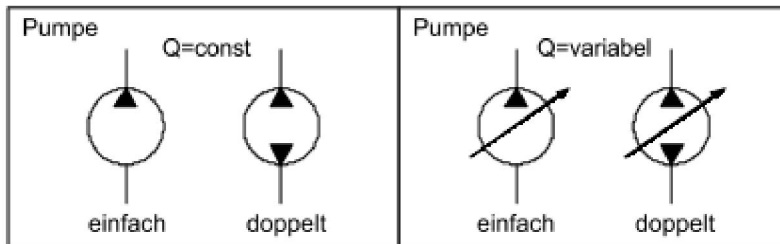
Hydraulikpumpe



Hydromotor

Hydraulik

Pumpen und Motore Arten



Unterscheidung durch:

Richtung des Volumenstroms (einfach / doppelt)

Größe des Volumenstroms (fest / verstellbar)

Art der Fördererlemente

Bemerkung:

Verstellpumpen können hinsichtlich des Volumenstromes an den akuten Bedarf angepasst werden. So lassen sich Verluste minimieren.

Verstellpumpen sind jedoch sehr viel teurer als Konstantpumpen.

Hydraulik

Pumpen und Motore Unterscheidung nach Fördererelement

Pumpen werden nach Art ihrer Fördererelemente unterschieden in

Kolbenpumpe / -motor

Zahnradpumpe / - motor

Flügelzellenpumpe / -motor

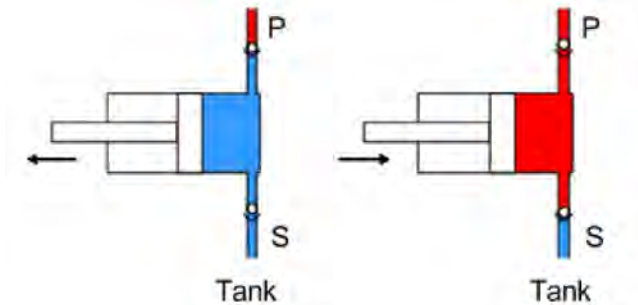
???pumpe / -motor

Alle Pumpen- / Motorarten haben spezifische Vor- und Nachteile

Hydraulik

Pumpen und Motore Kolbenmaschinen

Wirkprinzip



Erforderliche Mechanismen zur Verwendung

Umsetzung rotatorische Bewegung in oszillierende Bewegung

Integration Rückschlagventile

Eliminierung der Pulsation

Vorteile

Gute Abdichtbarkeit am Kolben, daher Eignung

Für hohe Drucke

Gute Schmierung des Förderlements, daher

Lange Lebensdauer

Nachteile

Pulsation des Volumenstroms, Verringerung durch

Einsatz von Mehrkolbenpumpen

teure Herstellung

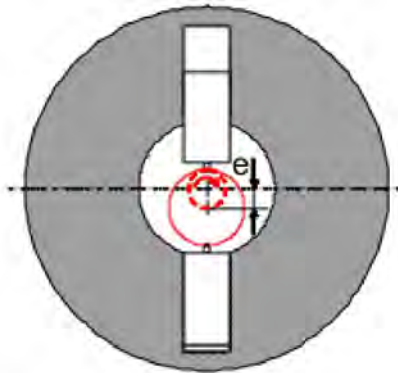
Lärm durch oszillierende Bewegung

Hydraulik

Pumpen und Motore Kolbenmaschinen Varianten

Radiale Kolbenanordnung

Innere Kolbenabstützung

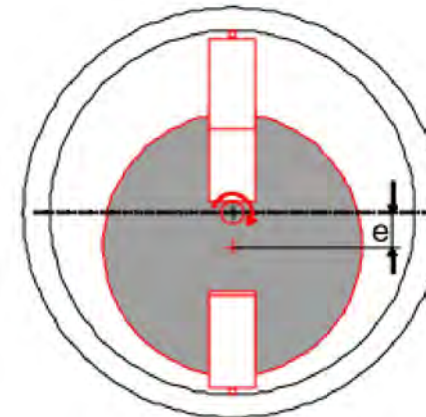


Vorteile

Hohe Drehzahlen möglich

Geringe Pulsation durch kleine Fördervolumina

äußere Kolbenabstützung



Vorteile

große Drehmomente bei kleiner Drehzahl

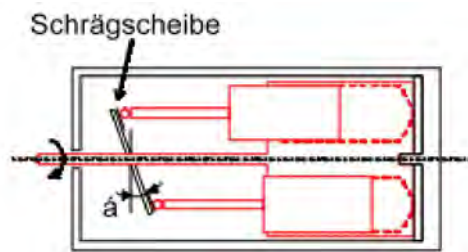
möglich

Hydraulik

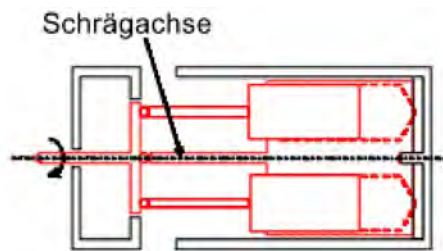
Pumpen und Motore Kolbenmaschinen Varianten

Axiale Kolbenanordnung

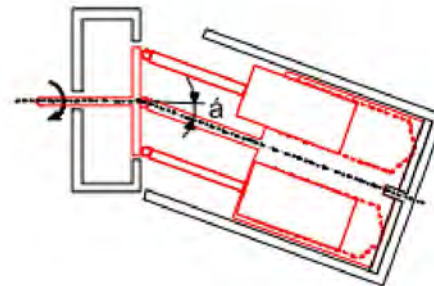
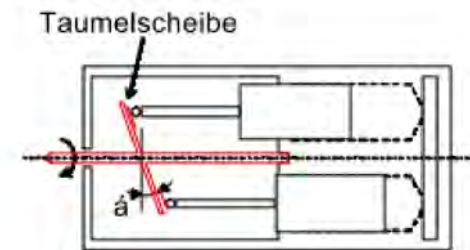
Schrägscheibe



Schrägachse



Taumelscheibe



Hydraulik

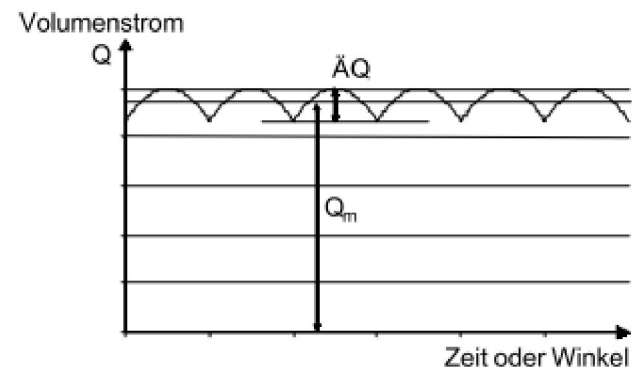
Pumpen und Motore Kolbenmaschinen Pulsation

Bei allen Kolbenmaschinen ist die Pulsation des Förderstroms problematisch

Die Größe der Pulsation nennt Ungleichförmigkeit.

Sie ist das Maß der Volumenstromschwankung im Verhältnis zum mittleren Volumenstrom

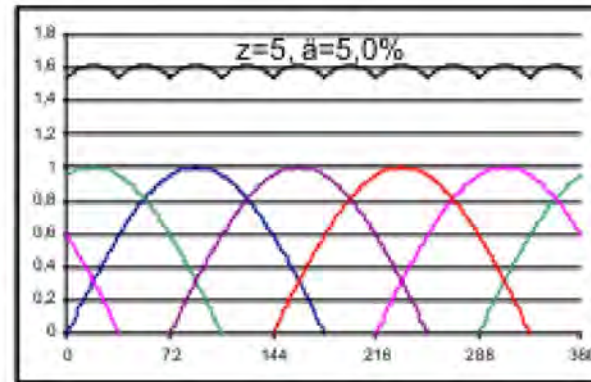
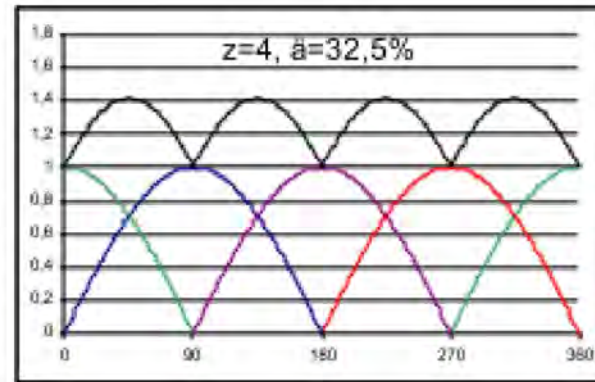
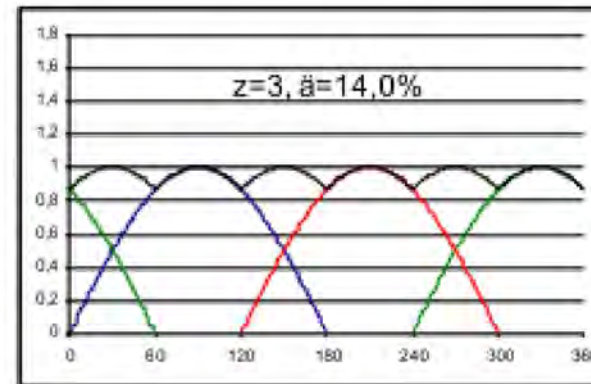
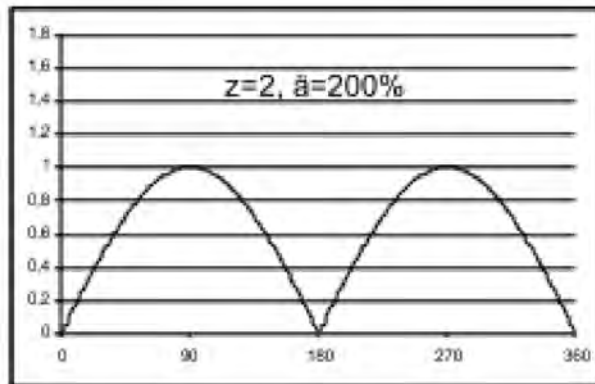
$$\delta = \frac{\Delta Q}{Q_m}$$



Hydraulik

Pumpen und Motore Kolbenmaschinen Pulsation

Die Ungleichförmigkeit hängt von der Anzahl der Kolben ab

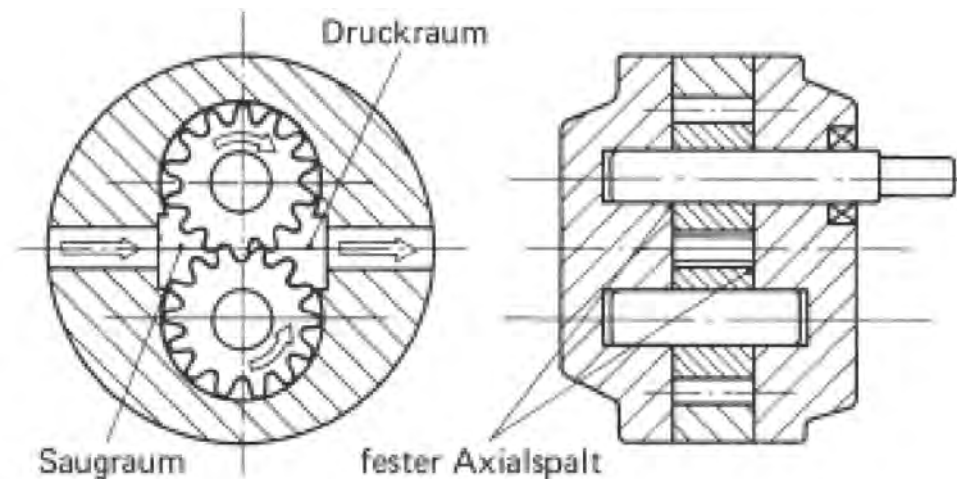


Hydraulik

Pumpen und Motore Zahnradmaschinen

Außenverzahnte Zahnradpumpe

Anwendung: In offenen Kreisläufen in Industrie- und Mobilhydraulik.

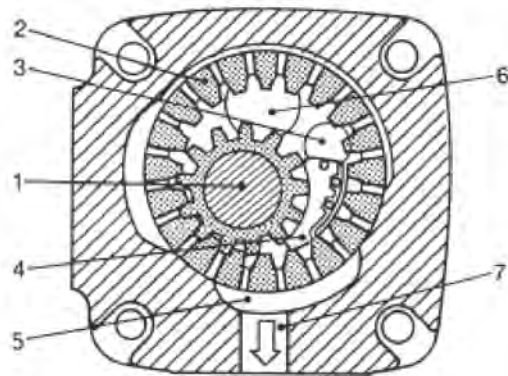


Vorteile	Nachteile
Preiswerte Standardpumpe. Wirkungsgrad hoch. Zu Mehrstrompumpen zusammenflanschbar.	Geräuschpegel hoch durch großen Ungleichförmigkeitsgrad (günstiger bei Duo-Pumpen).

Hydraulik

Pumpen und Motore Zahnradmaschinen

Innenverzahnte Zahnradpumpe



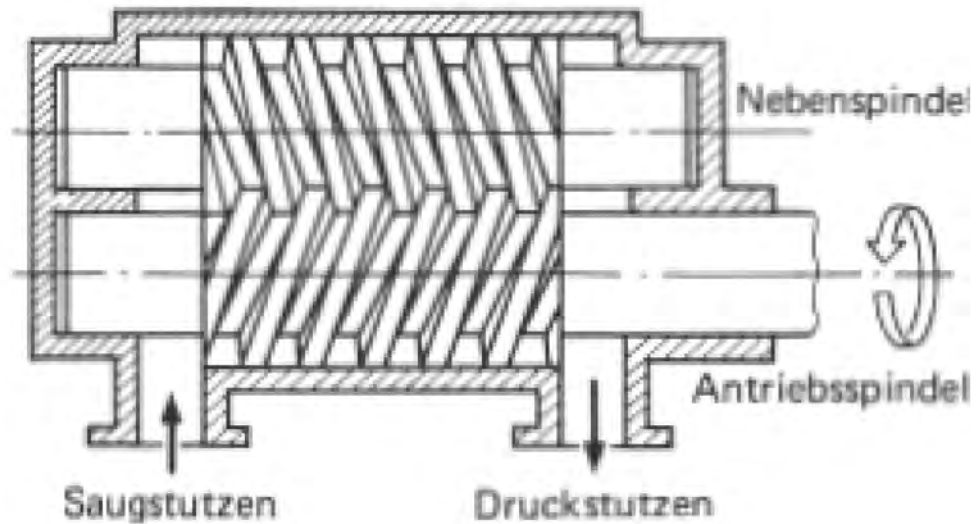
- 1 Ritzelwelle
- 2 Hohlrade
- 3 Füllstückstift
- 4 Füllstück
- 5 Hydrostatisches Lager
- 6 Sauganschluss
- 7 Druckanschluss

Anwendung: In offenen Kreisläufen in Mobil- und Industriehydraulik bei erhöhter Anforderung an Laufruhe im Vergleich zur Außenzahnradpumpe.

Vorteile	Nachteile
Geräuschpegel geringer als bei Außenverzahnung. Wirkungsgrad sehr hoch. Zu Mehrstrompumpen zusammenflanschbar.	Teurer als außenverzahnte Zahnradpumpe.

Hydraulik

Pumpen und Motore Schraubepumpe

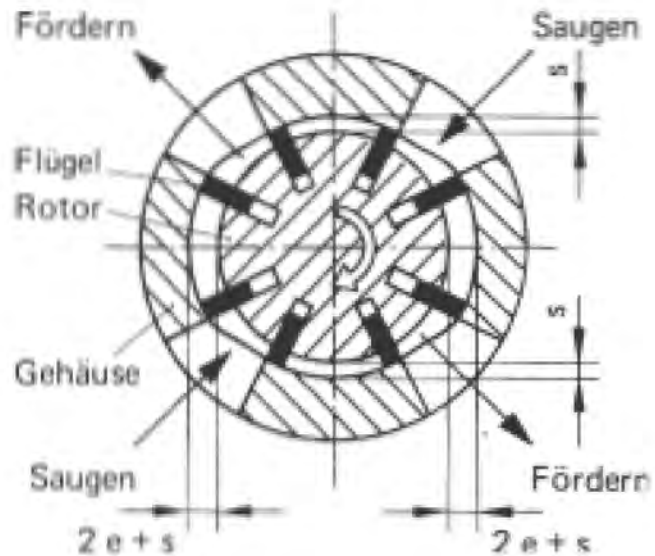


Anwendung: Im offenen Kreislauf in der Industriehydraulik, z.B. bei Präzisionsbewegungen an Werkzeugmaschinen und bei hydraulischen Aufzügen. Für große Förderströme.

Vorteile:	Nachteile
Pulsationsfreier Förderstrom. Niedriger Geräuschpegel.	Relativ niedriger Wirkungsgrad durch hohe volumetrische Verluste. Daher hohe Ölviskosität erforderlich.

Hydraulik

Pumpen und Motore Flügelzellenpumpe

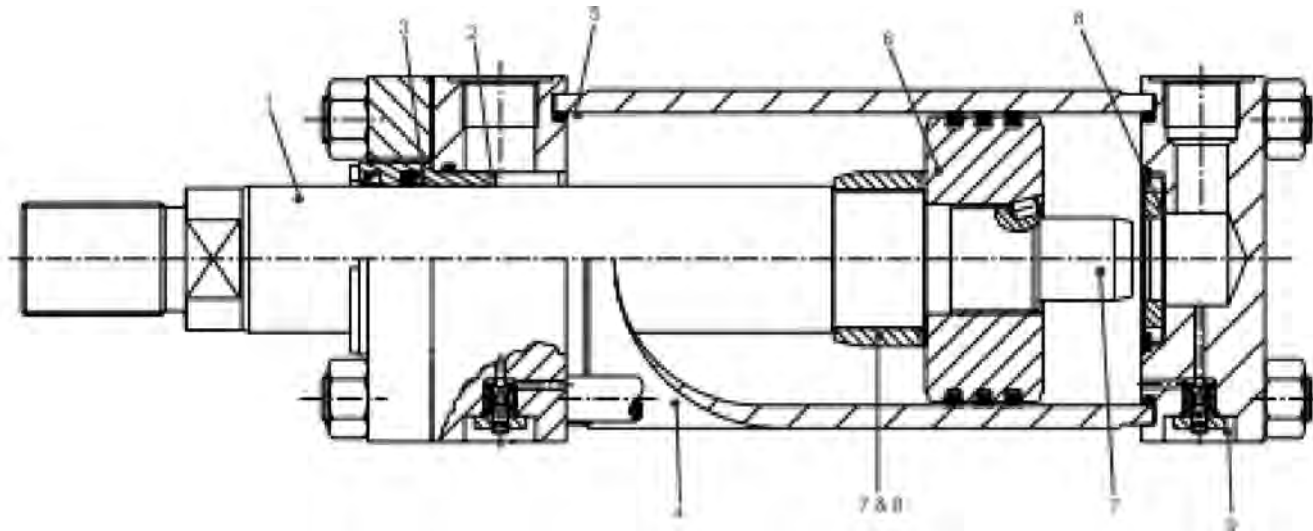


Anwendung: Im offenen Kreislauf in Industrie- und Mobilhydraulik bei niedrigem und mittlerem Druck.

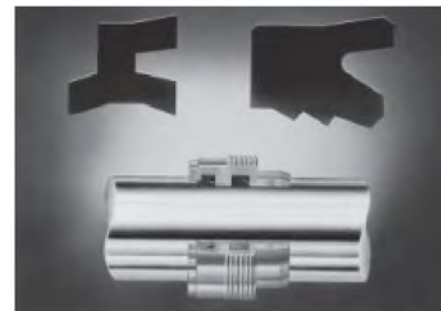
Vorteile	Nachteile
Geringe Förderstrom- und Druckpulsation. Geringer Geräuschpegel. Zu Mehrstrom- pumpen zusammenflanschbar.	Wirkungsgrad kleiner als bei Zahnrad- pumpen. Schmutzempfindlicher als Zahnradpumpen.

Hydraulik

Hydraulikzylinder Aufbau

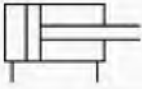
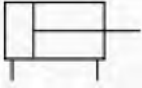



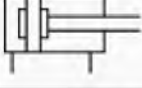
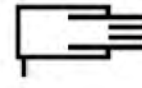
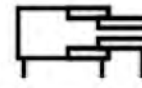


- 1 Kolbenstange
- 2 Dichtungsbüchse
- 3 Stangendichtungen
- 4 Zylinderrohr
- 5 Zylinderrohrdichtungen
- 6 Kolben
- 7 Endlagendämpfung
- 8 Dämpfungsring
- 9 Einstellung Dämpfung



Hydraulik

Hydraulikzylinder Bauarten / Schaltzeichen

	Zylinder einfach wirkend mit Rückhub-Feder
	Zylinder doppelt wirkend
	Zylinder doppelt wirkend, vereinfachte Darstellung
	Zylinder doppel wirkend mit zweiseitiger Kolbenstange
	Zylinder mit kolbenseitiger Dämpfung
	Zylinder mit kolbenseitiger einstellbarer Dämpfung
	Zylinder mit beidseitiger Dämpfung
	Teleskopzylinder einfach wirkend
	Teleskopzylinder doppelt wirkend

Hydraulik

Druckspeicher Allgemein

Einsatzzweck

Einsparung von Antriebsleistung
Energiereserve
Dämpfung von Druckstößen
Glättung von Pumpenpulsationen
Druckkonstanthaltung

Einteilung

Blasenspeicher
Membranspeicher
Kolbenspeicher
Pulsationsdämpfer
Sonderformen

Hydraulik

Druckspeicher Blasenspeicher



Blasenspeicher sind hydropneumatische Speicher mit einer flexiblen Blase als Trennglied zwischen einem kompressiblen Gaspolster und der Betriebsflüssigkeit.



- (1) Der Speicher ist mit Stickstoff vorgefüllt.
Das Trennglied (Kolben, Blase, Membran) verschließt den Flüssigkeitsanschluss.
- (2) Der minimale Betriebsdruck soll höher liegen als der Gasfülldruck.
Dies soll verhindern, dass das Trennglied nach jedem Entnahmevergang am Flüssigkeitsanschluss aufschlägt.
- (3) Nach Erreichen des maximalen Betriebsdruckes steht das Nutzvolumen V im Speicher zur Verfügung:

Hydraulik

Druckspeicher Membranspeicher



Membranspeicher sind hydropneumatische Speicher mit einer flexiblen Membrane als Trennglied zwischen einem kompressiblen Gaspolster und der Betriebsflüssigkeit.



- (1) Der Speicher ist mit Stickstoff vorgefüllt. Das Trennglied (Kolben, Blase, Membran) verschließt den Flüssigkeitsanschluss. Der minimale Betriebsdruck soll höher liegen als der Gasfülldruck.
- (2) Dies soll verhindern, dass das Trennglied nach jedem Entnahmevergang am Flüssigkeitsanschluss aufschlägt.
- (3) Nach Erreichen des maximalen Betriebsdruckes steht das Nutzvolumen V im Speicher zur Verfügung:

Hydraulik

Druckspeicher Pulsationsdämpfer



Sammelbegriff für **Saugstromstabilisatoren**, **Druckstoßdämpfer** bzw. Schockabsorber und **Silencer** (Geräuschkämpfer). Auch standardmäßige Blasenspeicher, Kolbenspeicher und Membranspeicher sind als Dämpfer geeignet.

Hydraulik

Steuerelemente

Als Steuerelemente dienen in der Hydraulik Ventile

Sie werden gemäß ihrer Funktion eingeteilt:

Wegeventile

Sperrventile

Druckventile

Stromventile

Hydraulik

Steuerelemente Wegeventile

Mit Wegeventilen wird die Richtung des Volumenstromes gesteuert

Unterscheidung nach:

Bauart des Steuerelements, z. B. Schieber, Ventilkegel

Anzahl der Schaltstellungen

Art der Betätigung, z. B. elektrisch (Elektromagnet), pneumatisch, hydraulisch, mechanisch, manuell

Anzahl der Durchflusswege

Anzahl, Größe und Art der Anschlüsse, z. B. Nennweite, Gewinde,

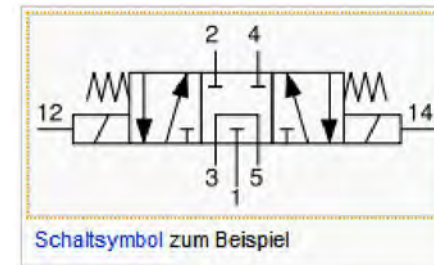
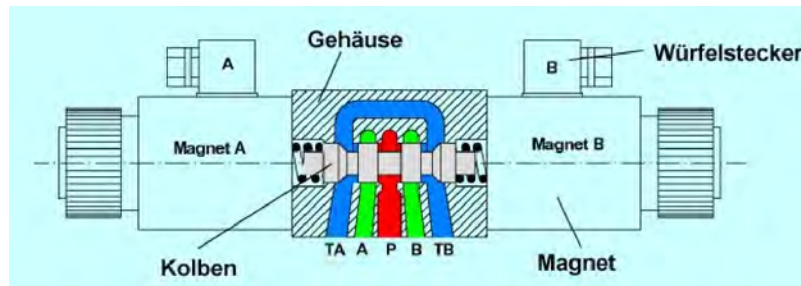
Wegeventile werden nach der Anzahl der Schaltstellungen sowie der Anzahl der Anschlüsse beschrieben:

Ein 3/2 (gesprochen: drei-strich-zwei oder oft auch drei-zwei)-Wegeventil besitzt drei Anschlüsse und zwei Schaltstellungen.

Hydraulik

Steuerelemente Wegeventile

Beispiel eines Wegeventils



Anschlussbezeichnungen

Typ	Pneumatik: Neue Bezeichnung	Pneumatik: Alte Bezeichnung	Hydraulik
Druckquelle (Pumpe)	1	P	P
Arbeitsleitung	2, 4	A, B	A, B
Entlüftung bzw. Abfluss	3, 5	R, S, T	R, T
Steueranschluss	12, 14	Y, Z	X, Y
Leckölanschluss	—	—	L

Hydraulik

Steuerelemente Wegeventile

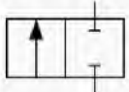
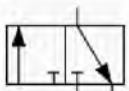
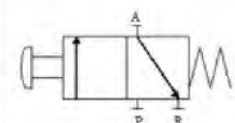
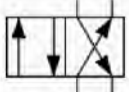
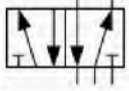
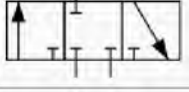
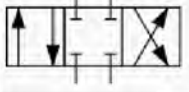
Schaltzeichen

	Wegeventil mit zwei Schaltstellungen allgemeines Symbol
	Wegeventil mit drei Schaltstellungen allgemeines Symbol
	Wegeventil mit drei Schaltstellungen und vier Anschlüssen allgemeines Symbol
	Wegeventil mit Zwischenstellungen und zwei Endstellungen, auch Proportionalventil genannt allgemeines Symbol
	Ein Durchflussweg
	Zwei gesperrte Anschlüsse
	Zwei Durchflusswege
	Zwei Durchflusswege und ein gesperrter Anschluss
	Zwei Durchflusswege mit Verbindung
	Ein Durchflussweg in Nebenschlussschaltung

Hydraulik

Steuerelemente Wegeventile

Beispiele

	2/2-Wegeventil
	3/2-Wegeventil
	3/2-Wegeventil mit Betätigung durch Druckknopf und Rückstellung durch Feder
	4/2-Wegeventil
	5/2-Wegeventil
	3/3-Wegeventil mit Sperr-Mittelstellung
	4/3-Wegeventil mit Sperr-Mittelstellung

Hydraulik

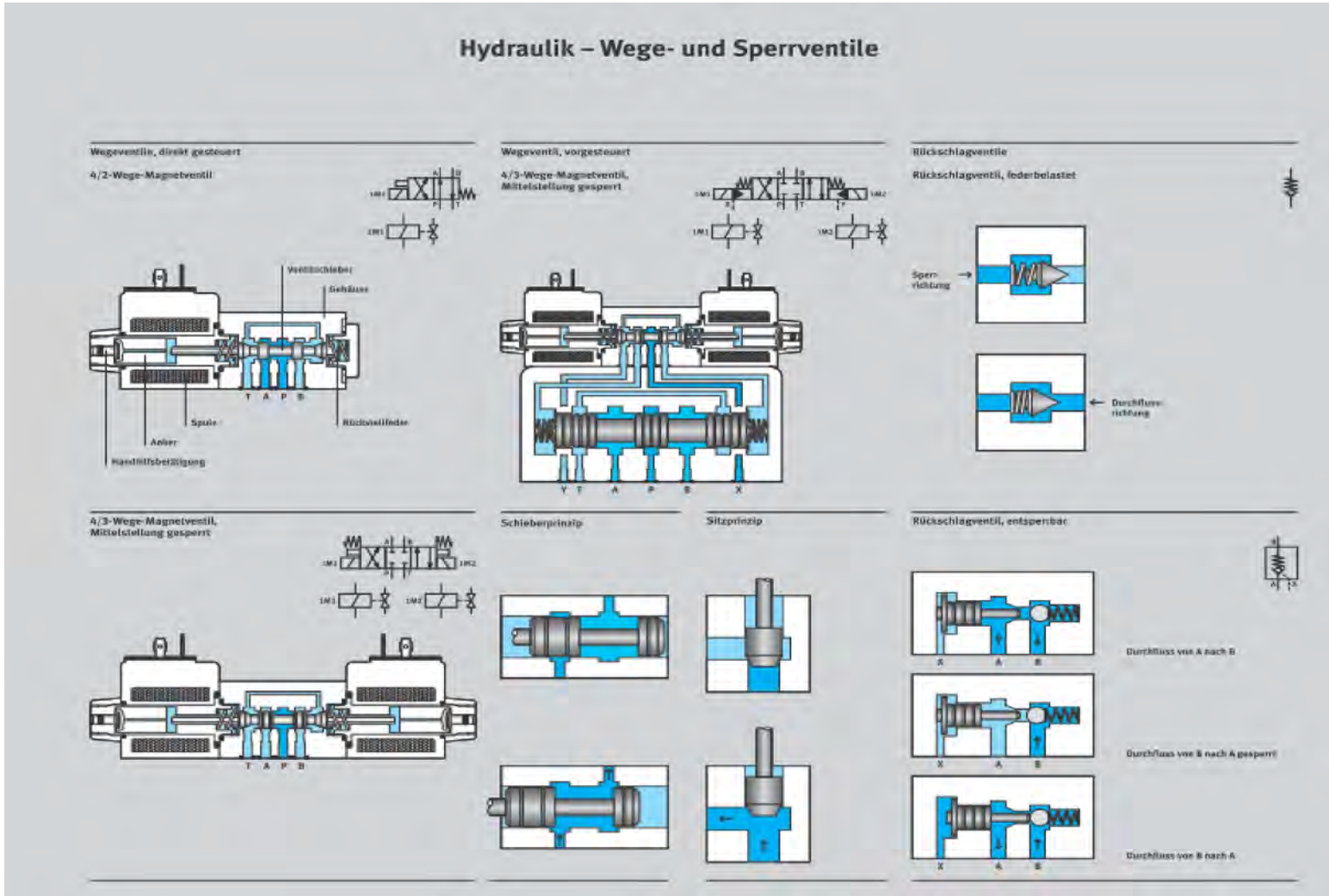
Steuerelemente Wegeventile

Beispiele

	<p>5/3-Wegeventil mit Sperr-Mittelstellung</p>
	<p>4/3-Wegeventil mit Schwimm-Mittelstellung</p>
	<p>4/3-Wegeventil mit Sperr-Mittelstellung; in Sperstellung pumpt die Pumpe in den Tank</p>
	<p>4/3-Wegeventil weiches Abschalten bei Halt</p>
	<p>5/3-Wegeventil Ausführliche Darstellung mit beschrifteten Anschlüssen, Elektromagnetischer Ansteuerung und Mittelstellung durch Federn</p>

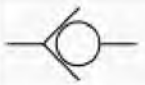

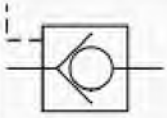
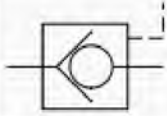
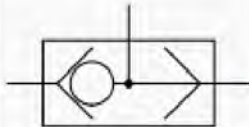
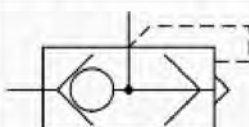
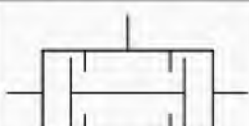

Hydraulik

Steuerelemente Wegeventile / Sperrventile



Hydraulik

Steuerelemente Sperrventile

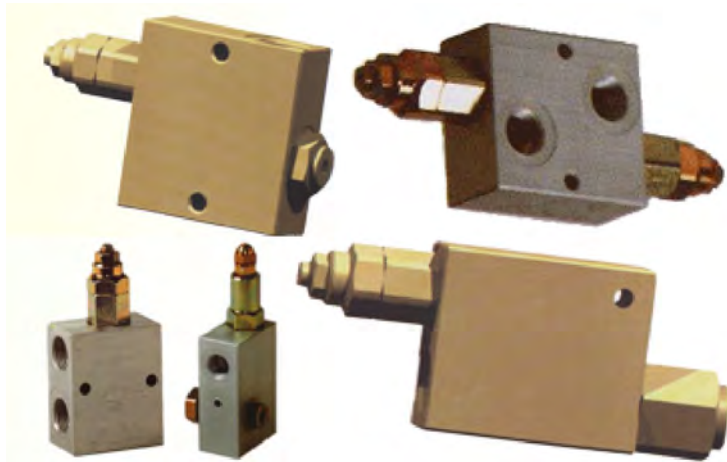
	Rückschlagventil
	Rückschlagventil Federbelastet
	Gesteuertes Rückschlagventil Schließen wird bei Ansteuerung verhindert
	Gesteuertes Rückschlagventil Öffnen wird bei Ansteuerung verhindert
	Wechselventil; Doppelrückschlagventil
	Schnellentlüftungsventil
	Zweidruckventil
	Absperrventil

Hydraulik

Steuerelemente Druckventile

Druckventile regeln den Betriebsdruck in einer hydraulischen Anlage oder beeinflussen den Druck in Teilen eines Hydrosystems.

Die Ventile können direkt oder vorgesteuert sein.



Hydraulik

Steuerelemente Druckventile

Arten nach Zweck:

Druckbegrenzungsventil

auch als Überdruckventil bezeichnet, bei Erreichen eines vorbestimmten Drucks z.B. Ablauf zum Tank, häufig Absicherung Pumpe gegen Überdruck

Druckreduzierventil

Das Druckreduzierventil reduziert den in einem System bestehenden Druck auf einen eingestellten Wert. Der Druck vor diesem Ventil wird durch das Druckbegrenzungsventil bestimmt, der Druck nach diesem Ventil (Druckminderventil) nimmt den eingestellten (niedrigeren) Druck an.

Druckzuschaltventil

Das Druckzuschaltventil sperrt eine Leitung so lange ab, bis der an diesem Ventil eingestellte Druck erreicht ist. Ist der Einstelldruck erreicht, öffnet dieses Ventil und die Hydraulikflüssigkeit fließt ungehindert durch das Ventil.

Druckabschaltventil


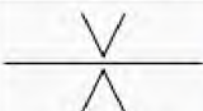

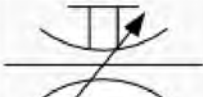
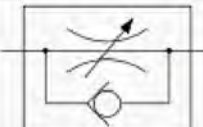

Hydraulik

Steuerelemente Druckventile

	<p>Druckbegrenzungsventil einstellbar</p>
	<p>Folgeventil einstellbar</p>
	<p>Folgeventil mit Abflussöffnung</p>
	<p>Druckregelventil einstellbar</p>
	<p>Druckregelventil einstellbar; mit Abflussöffnung</p>

Hydraulik

Steuerelemente Stromventile

	Drosselventil Querschnitt konstant
	Messblende Querschnitt konstant
	Drosselventil Querschnitt einstellbar
	Drosselventil Querschnitt durch Handbetätigung einstellbar
	Drosselrückschlagventil
	Stromregelventil

Hydraulik

Schaltzeichen Speicher

	Speicher, Gasflasche oder Behälter
	Speicher mit Gasspannvorrichtung
	Luftbehälter
	Druckluftbehälter
	(Flüssigkeits-)Behälter Verbindung mit Atmosphäre
	(Flüssigkeits-)Behälter Verbindung mit Atmosphäre; Rohrverbindung über dem Flüssigkeitsspiegel
	(Flüssigkeits-)Behälter Verbindung mit Atmosphäre; Rohrverbindung unter dem Flüssigkeitsspiegel







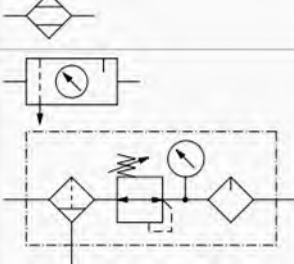
Hydraulik

Schaltzeichen Pumpen

	Hydraulikpumpe
	Pneumatikpumpe
	Kompressor oder Verdichter
	Hydraulikpumpe mit fester Drehrichtung (rechts oder links)

Hydraulik

Schaltzeichen Aufbereiter

	Filter
	Filter mit Verschmutzungsanzeige
	Abscheider mit manueller Entwässerung
	Abscheider mit automatischer Entwässerung
	Öler zum ölen von Teilen, die durch die Druckluft versorgt werden
	Lufttrockner z. B. mittels Chemikalien oder kurzfristige Temperatur- und Druckwechsel
	Wartungseinheit Filter, Abscheider, Druckreduzierungsventil, Überdruckmesser, Öler

	Kühler ohne Angabe der Fließrichtung des Kühlmittels
	Kühler mit Angabe der Fließrichtung des Kühlmittels
	Heizer
	Temperaturregler Zu- oder Abführung von Wärme
	Schalldämpfer

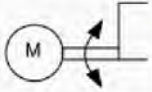










Hydraulik

Schaltzeichen Betätigungsarten

	Muskelkraftbetätigung (allgemein)
	Muskelkraftbetätigung mit Druck- und Zugknopf
	Muskelkraftbetätigung mit Druckknopf
	Muskelkraftbetätigung mit Zugknopf
	Hebel
	Pedal
	Pedal mit zwei Betätigungsrichtungen
	Elektrische Betätigung mit magnetischer Spule. Bei Spannung an der Spule rückt der Ventilblock in Richtung des oberen Endes des Schrägstrichs, der die Spule symbolisiert, und die Durchleitung des in die Mitte gerückten Quadrats wird aktiv. Hier rückt der Block nach rechts und die Durchleitung des linken Quadrates wäre aktiv.

Hydraulik

Schaltzeichen Betätigungsarten

	Elektrische Betätigung mit Elektromotor
	Druckbetätigung direkt, allgemein
	Druckbetätigung direkt, durch Druckluft
	Druckbetätigung direkt, durch Flüssigkeit
	Stößel
	Rollenstößel
	Rollenhebel
	Feder
	Druckbetätigung indirekt mit pneumatisch betätigter Vorstufe
	Parallelbetätigung z. B. Betätigung durch Druckknopf oder pneumatischer Vorstufe
	Serienbetätigung z. B. elektrischer Magnet betätigt Druckventil welches das Hauptventil betätigt

Hydraulik

Schaltzeichen Anzeigeeinstrumente

	Manometer, Druckmessgerät
	Differenzdruckmessgerät
	Temperaturmesser (Thermometer)
	Flüssigkeitsniveaumesser
	Volumenstrommessgerät
	Volumenstromanzeiger
	Drehzahlmessgerät
	Drehmomentmessgerät

Hydraulik

Verbindungen und Leitungen

Hydraulikrohre

Verschraubungen

Hydraulikschläuche

Schlaucharmaturen

Schnellkupplungen

Hydraulik

Verbindungen und Leitungen **Hydraulikrohr**

HRV Hydraulikleitungsrohr galvanisch verzinkt

nahtlos, maximale Zinkschicht 12 µm
Toleranz nach DIN 2391/1

Werkstoff: ST 37.4

Artikel-	Bestell-	RA	Wandstärke	Berechnungsdruck		Bem.druck	Gewicht
nummer	bezeichnung	mm	mm	I	II	bar	kg/m
030.0092	HRV 04x0,7	04	0,70	439	370	-	0,057
030.0126	HRV 06x1,0	06	1,00	389	374	1680	0,123
030.0148	HRV 06x1,5	06	1,50	549	528	3050	0,166
030.0127	HRV 08x1,0	08	1,00	333	289	1190	0,173
030.0128	HRV 08x1,5	08	1,50	431	414	1860	0,240
030.0129	HRV 10x1,0	10	1,00	262	249	870	0,222
030.0130	HRV 10x1,5	10	1,50	373	358	1380	0,314
030.0150	HRV 10x2,0	10	2,00	478	480	2100	0,395
030.0131	HRV 12x1,0	12	1,00	235	210	760	0,271
030.0132	HRV 12x1,5	12	1,50	353	305	1150	0,388
030.0133	HRV 12x2,0	12	2,00	409	393	1580	0,493
030.0155	HRV 14x2,0	14	2,00	403	343	1340	0,562
030.0134	HRV 15x1,0	15	1,00	188	171	590	0,345
030.0135	HRV 15x1,5	15	1,50	262	249	980	0,499
030.0136	HRV 15x2,0	15	2,00	376	323	1250	0,641
030.0137	HRV 16x1,5	16	1,50	264	234	820	0,536
030.0138	HRV 16x2,0	16	2,00	353	305	1170	0,691
030.0159	HRV 16x2,5	16	2,50	366	372	1470	0,832
030.0139	HRV 18x1,5	18	1,50	235	210	780	0,610
030.0140	HRV 18x2,0	18	2,00	313	274	1040	0,789
030.0141	HRV 20x2,0	20	2,00	282	249	920	0,888
030.0164	HRV 20x2,5	20	2,50	353	305	1220	1,079
030.0176	HRV 20x3,0	20	3,00	373	358	1450	1,258
030.0143	HRV 22x2,0	22	2,00	256	228	850	0,996
030.0175	HRV 22x2,5	22	2,50	320	280	1040	1,202
030.0168	HRV 25x2,5	25	2,50	282	249	920	1,387
030.0169	HRV 25x3,0	25	3,00	338	294	1050	1,628
030.0145	HRV 28x2,0	28	2,00	201	182	620	1,282
030.0173	HRV 30x3,0	30	3,00	282	249	920	1,998
030.0180	HRV 30x4,0	30	4,00	376	323	1250	2,565
030.0178	HRV 35x2,0	35	2,00	161	147	470	1,628
030.0179	HRV 35x3,0	35	3,00	242	216	720	2,388
030.0181	HRV 38x4,0	38	4,00	297	261	970	3,354
030.0187	HRV 38x5,0	38	5,00	371	319	1350	4,069
030.0188	HRV 42x2,0	42	2,00	134	124	390	1,973
030.0183	HRV 42x3,0	42	3,00	201	182	580	2,885



Berechni

Berechnungsdrücke

Die angegebenen Berechnungsdrücke werden errechnet nach:

DIN 2413 Geltungsbereich I für vorwiegend ruhende Beanspruchung

$$P = \frac{20 \cdot K \cdot s \cdot c}{S \cdot d_a} \quad (\text{bar}) \quad \text{Werkstoffkennwert } K = 235 \text{ N/mm}^2$$

und

DIN 2413 Geltungsbereich III für schwellende Beanspruchung

$$P = \frac{20 \cdot K \cdot s \cdot c}{S \cdot (d_a + s \cdot c)} \quad (\text{bar}) \quad \text{Werkstoffkennwert } K = 226 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Dauerschwellfestigkeit})$$

S Sicherheitsbeiwert

S = 1,5 für ruhende und schwellende Beanspruchung

c Faktor zur Berücksichtigung der Wanddickenabweichung für ruhende und schwellende Beanspruchung

c = 0,8 für Rohr-Außendurchmesser 04 und 05
c = 0,85 für Rohr- Außendurchmesser 06 und 08
c = 0,9 für größere Rohr-Außendurchmesser

d_a Rohr-Außendurchmesser RA

s Wandstärke

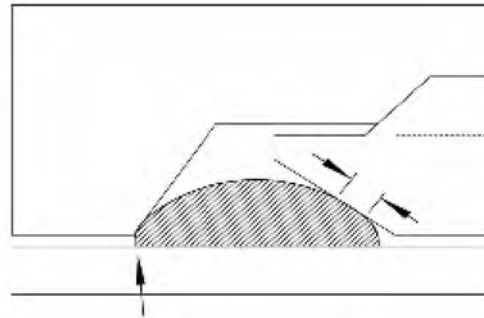
Hydraulik

Verbindungen und Leitungen Rohrverschraubung

Klemmverschraubung

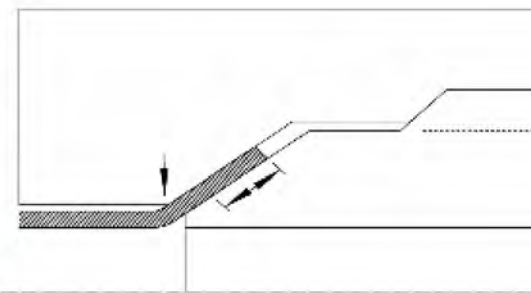
Die Klemmverschraubung wurde als erste Rohrverschraubung auf den Markt gebracht und besteht in der Regel aus drei Bestandteilen: Überwurfmutter, Körper und Dichtungs- bzw. Klemmring.

Diese Art von Verbindung hat den Nachteil, dass sie nur minimalem Druck standhalten kann und dass Wiedermontagen aufgrund der Konstruktion des Dichtungsringes extrem schwierig sind.



Die Bördelverschraubung war die nächste Variation von Rohrverschraubungsdesigns. Diese Verschraubung besteht in der Regel aus einer Überwurfmutter, einer Hülse und einem Körper mit einem kegelförmigen Ende.

Um das Rohr für die Montage vorzubereiten, sind in der Regel spezielle Bördelwerkzeuge erforderlich. Außerdem kann das Bördeln des Rohrs zu Belastungskerbem am Ansatz der Bördelung führen oder Längsrisse an dünnen oder brüchigen Rohren verursachen.



Bördelverschraubung

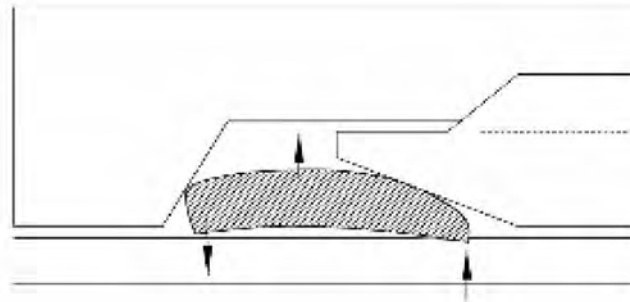
Hydraulik

Verbindungen und Leitungen Rohrverschraubung

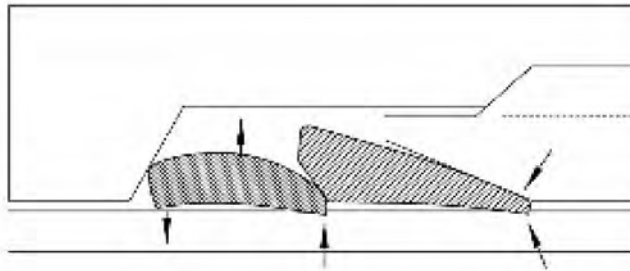
Schneidringverschraubungen

Können im Gegensatz zu den originalen Klemmverschraubungen bei Anwendungen mit höherem Druck eingesetzt werden. Diese Verschraubungen bestehen aus Überwurfmutter, Körper und Schneidring(en) mit einer scharfen Kante, die in die Oberfläche des Rohrs eingreifen und dadurch einen festen Halt erzeugen.

Schneidringverschraubungen können einen oder zwei Schneidringe haben. Bei Schneidringverschraubungen mit einem Schneidring erfüllt die Nase des Schneidrings zwei Funktionen: Eingreifen in das Rohr und Dichtungselement für den Körper. Bei Schneidringverschraubungen mit zwei Schneidringen wird der Griff vom hinteren Schneidring und die Dichtung vom vorderen Schneidring erzeugt.



Schneidringverschraubungen: einen Schneidringe



Hydraulik

Verbindungen und Leitungen Rohrverschraubung

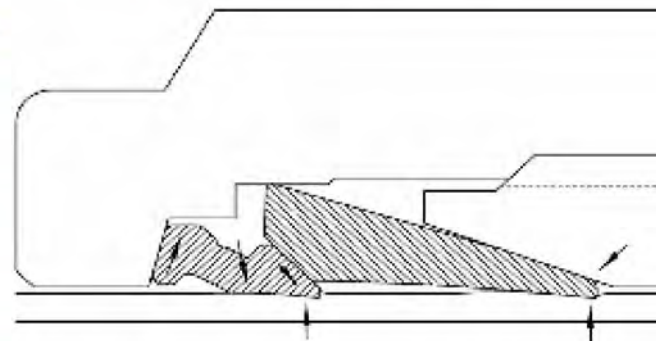
Schneidringverschraubungen: zwei Schneidringe

Klemmringverschraubungen (Greif-Typ-Rohrverschraubung mit Scharniereffekt)

Mechanische Greif-Typ-Rohrverschraubungen haben in der Regel zwei Klemmringe. Durch Festziehen der Verschraubung wird der vordere Klemmring gespannt, wobei die Dichtung entsteht, indem die Oberflächen des Rohrs und des Verschraubungskörpers gegeneinander gepresst werden.

Mit einem radialen Scharnier- oder Halteeffekt des hinteren Klemmrings wird das Rohr in einem Bereich knapp außerhalb der Stelle, an der das Rohr von das Klemmringnase gehalten wird, umgriffen, wodurch eine bessere Vibrationsbeständigkeit entsteht.

Ein weiterer großer Vorteil dieses Designs im Vergleich zur Schneidringverschraubung ist, dass die De- und Wiedermontage der Rohrverschraubung nach der Montage einfacher und ohne Beschädigung der Verschraubungskomponenten oder des Rohrs ausgeführt werden kann.



Klemmringverschraubungen
(Greif-Typ-Rohrverschraubung mit
Scharniereffekt)

Hydraulik

Verbindungen und Leitungen Rohrverschraubung

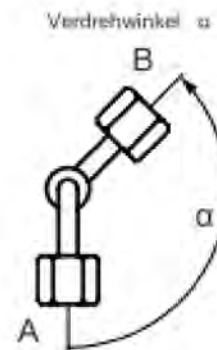
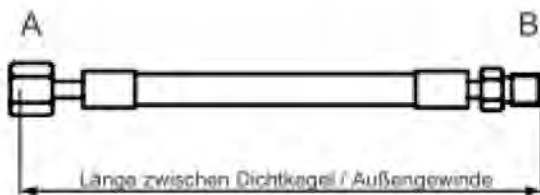
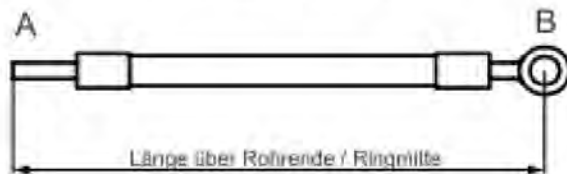


Zwei-Ring-Rohrverschraubung

Hydraulik

Verbindungen und Leitungen Schlauchleitung

Meßbeispiele für Schlauchleitungen

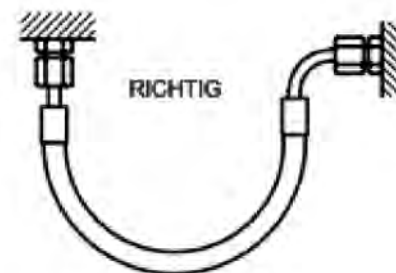
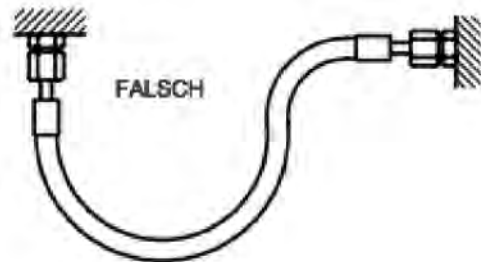
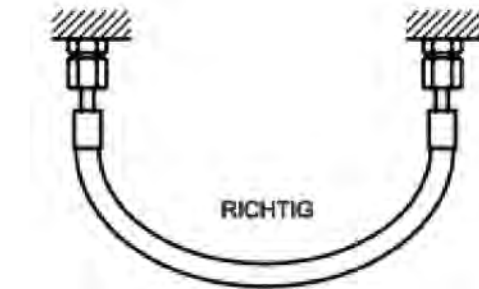


Die in der Beschreibung einer Leitung zuerst genannte Bogenarmatur (A) zeigt immer nach vorne/unten. Die zuletzt genannte Bogenarmatur (B) wird zu der ersten gegen den Uhrzeigersinn um α° versetzt.

Hydraulik

Verbindungen und Leitungen Schlauchleitung

Einbaubeispiele



Hydraulik

Verbindungen und Leitungen Schlauchherstellung



zum Verpressen für
4SP-Schlauch
2ST-Schlauch
HTP40-Waschgeräteschlauch

Werkstoff: Stahl / verzinkt / gelb chromatiert
andere Werkstoffe auf Anfrage



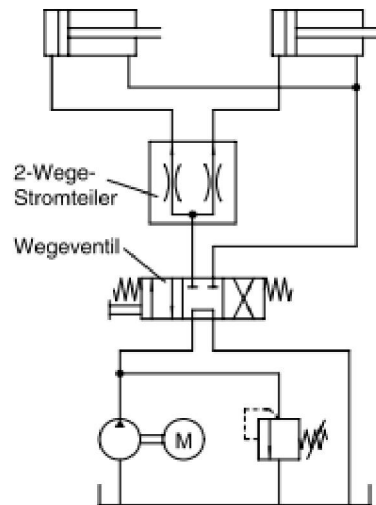
Dichtkegel mit O-Ring DIN 3865
für Stutzen 24³

Werkstoff: Stahl / verzinkt / gelb chromatiert
andere Werkstoffe auf Anfrage



Hydraulik

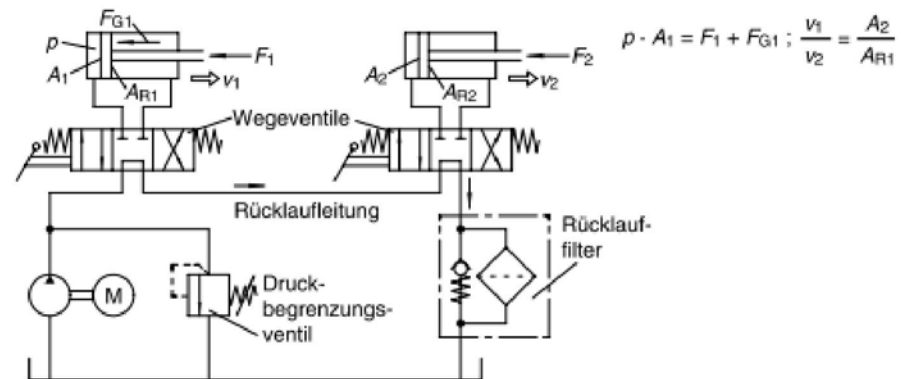
Schaltungen Gleichlaufschaltung



Gleichlaufschaltung mit Stromteiler

Hydraulik

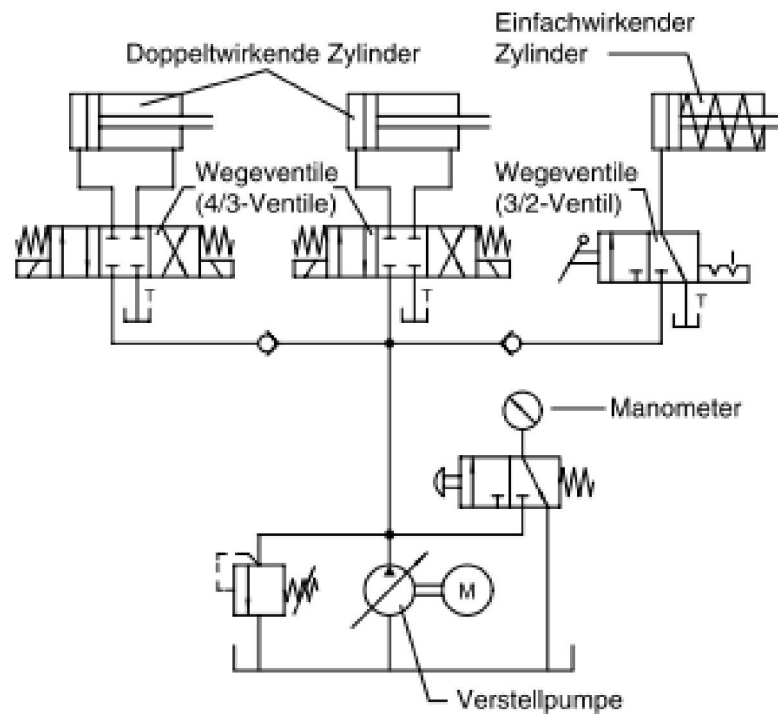
Schaltungen Serienschaltung



Serienschaltung

Hydraulik

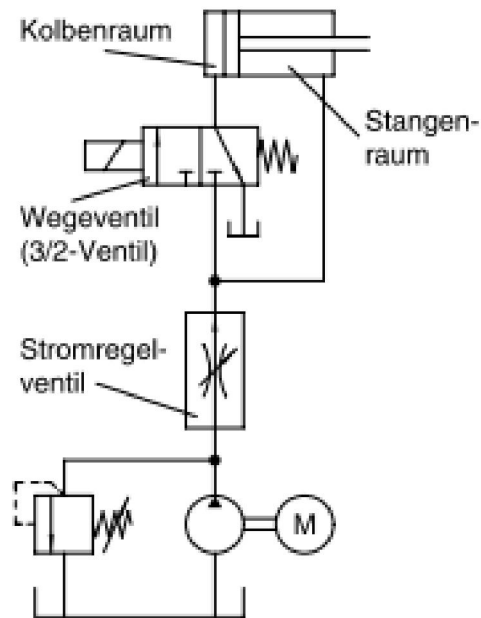
Schaltungen Parallelschaltung



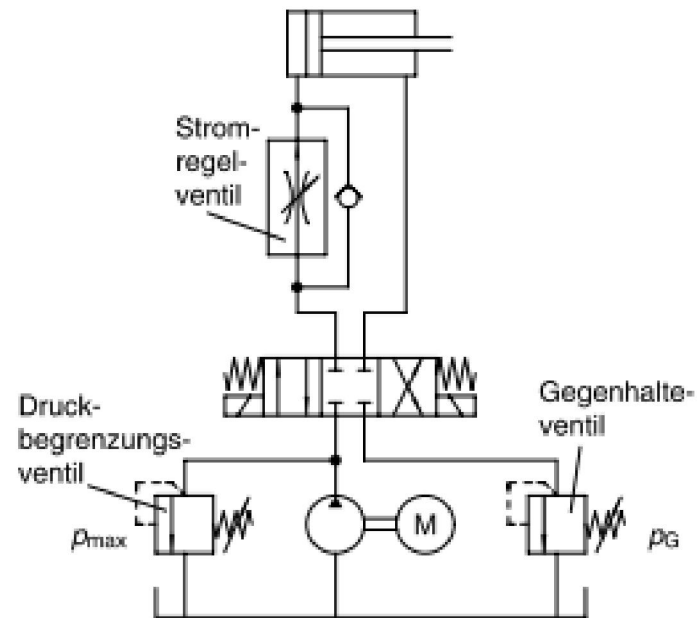
Parallelschaltung

Hydraulik

Schaltungen Parallelschaltung



Differenzialschaltung



Geschwindigkeitsregelung mit Stromregelventil im Zulauf

Hydraulik

Schaltungen Geschwindigkeitssteuerung

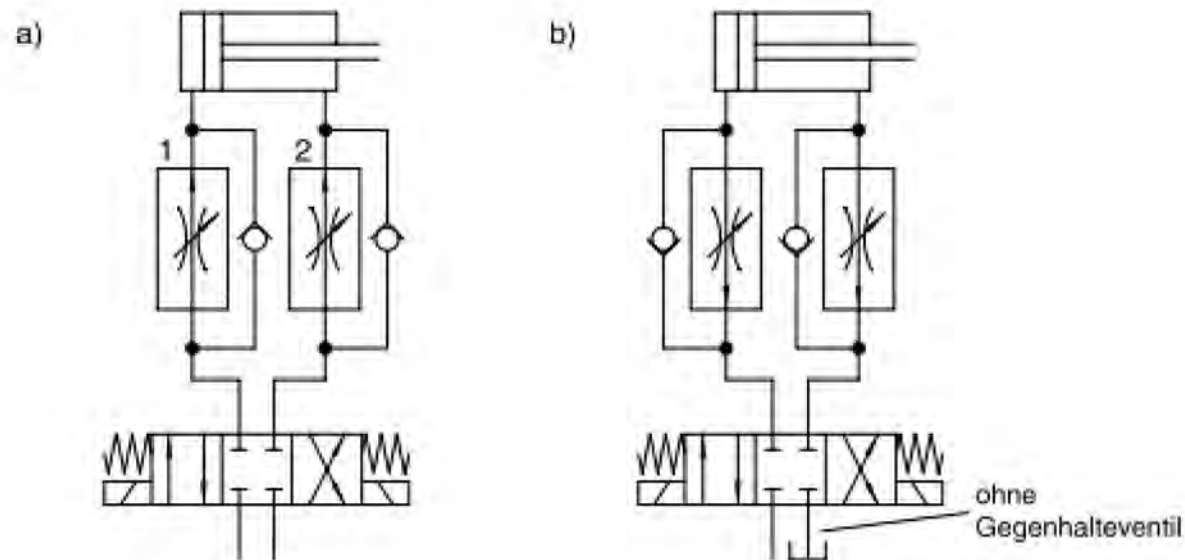
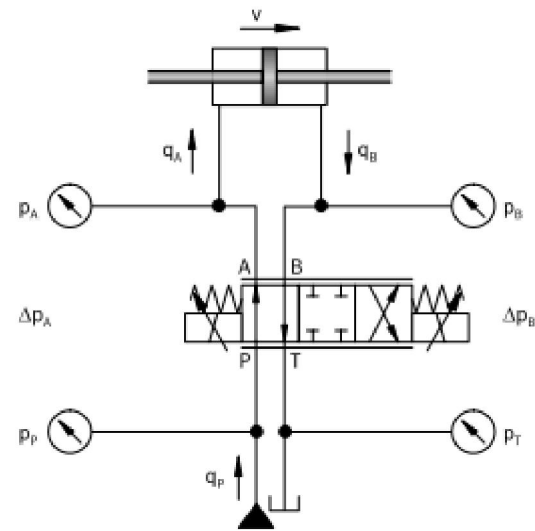


Bild MEC 347,1: Steuerung der Aus- und Einfahrgeschwindigkeit: a) durch Drosselung des Zulaufs (Primärsteuerung), b) durch Drosselung des Rücklaufs (Sekundärsteuerung).

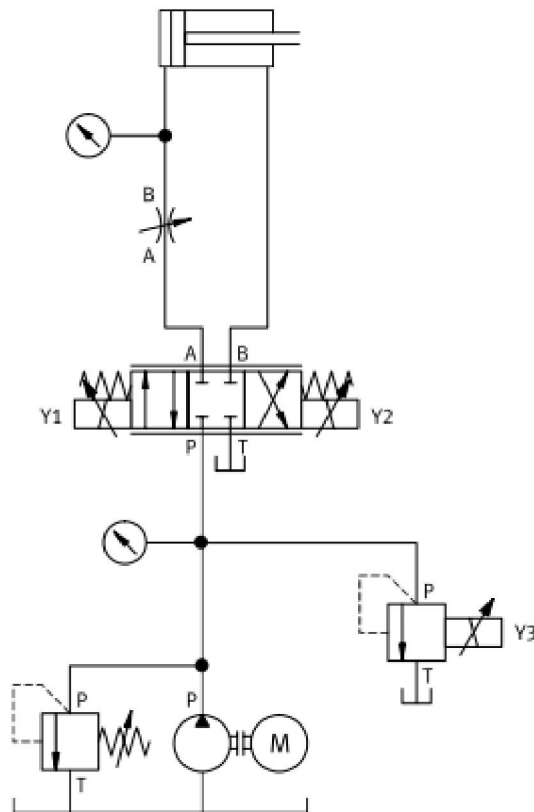
Hydraulik

Proportionalhydraulik



Hydraulik

Proportionalhydraulik



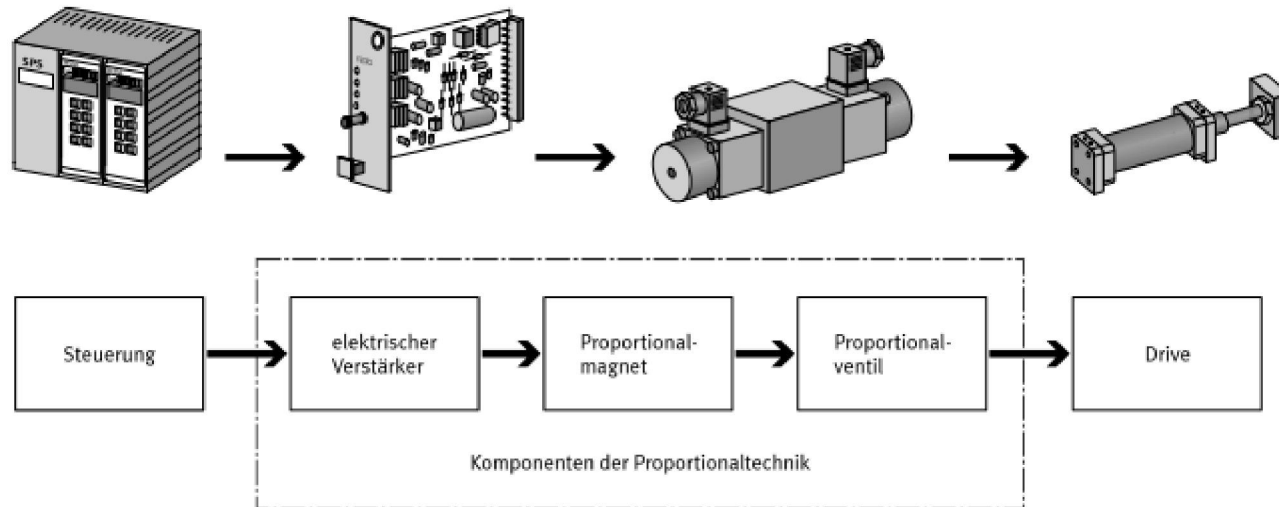
- Das Proportional-Wegeventil wird durch ein elektrisches Stellsignal angesteuert. Mit dem Stellsignal werden der Durchfluss und die Durchflussrichtung beeinflusst. Durch Verändern des Durchflusses lässt sich die Bewegungsgeschwindigkeit des Antriebs stufenlos verstellen.
- Ein zweites Stellsignal wirkt auf das Proportional-Druckbegrenzungsventil. Mit diesem Stellsignal lässt sich der Druck kontinuierlich verstellen.

Vorteile

Möglichkeit zur Energieabsenkung bei Stillstand
Sanftes Anfahren und Abbremsen

Hydraulik

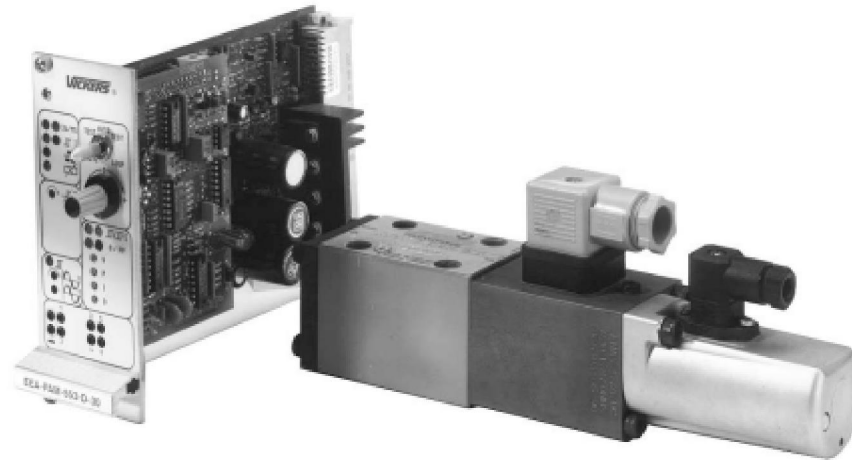
Proportionalhydraulik Signalfluß



- Eine elektrische Spannung (typisch zwischen -10 V und +10 V) wirkt auf einen elektrischen Verstärker.
- Der Verstärker wandelt die Spannung (Eingangssignal) in einen Strom (Ausgangssignal) um.
- Der Strom wirkt auf den Proportionalmagneten.
- Der Proportionalmagnet betätigt das Ventil.
- Das Ventil steuert den Energiefluss zum hydraulischen Antrieb.
- Der Antrieb wandelt die Energie in Bewegungsenergie um.

Hydraulik

Proportionalhydraulik Ventil (Beispiel)



4/3 Wege-Ventil (mit elektrischem Verstärker)

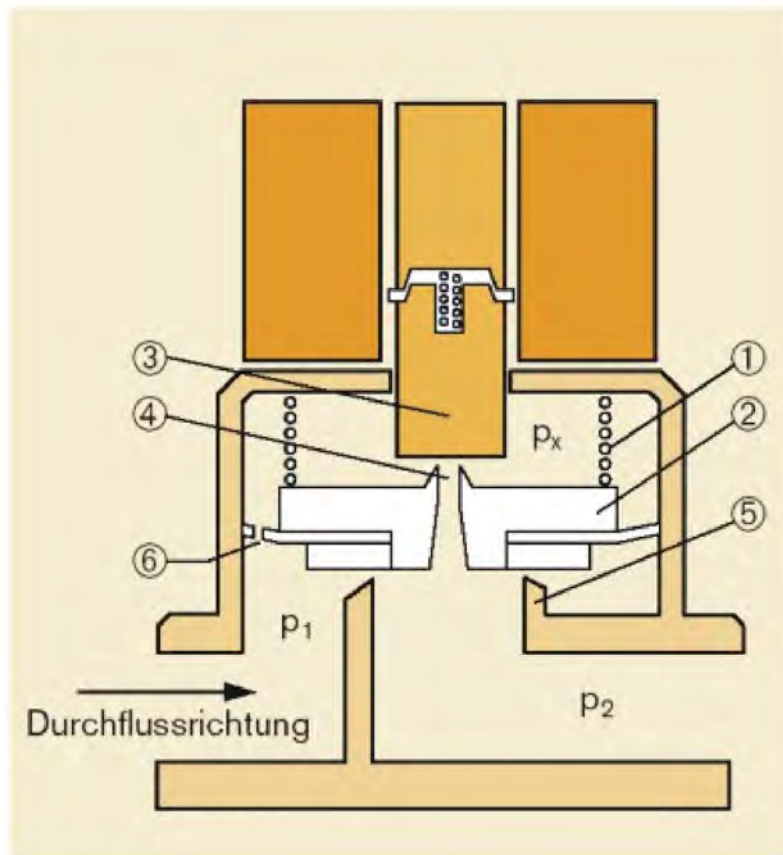
Hydraulik

Proportionalhydraulik Vorteile

Vorteile von elektrisch betätigten Proportionalventilen im Vergleich zu Schaltventilen	
Verstellbarkeit der Ventile	<ul style="list-style-type: none">– stufenlose Verstellung von Durchfluss und Druck durch elektrisches Eingangssignal– automatische Verstellung von Durchfluss und Druck während des Betriebs der Anlage
Auswirkung auf die Antriebe	automatisierbare, stufenlose und genaue Verstellung von <ul style="list-style-type: none">– Kraft bzw. Drehmoment– Beschleunigung– Geschwindigkeit bzw. Drehzahl– Lage bzw. Drehwinkel
Auswirkung auf den Energieverbrauch	– Energieverbrauch kann gesenkt werden durch bedarfsorientierte Steuerung von Druck und Durchfluss.
Schaltungsvereinfachung	– Ein Proportionalventil kann mehrere Ventile ersetzen, z.B. ein Wegeventil und ein Stromventil

Hydraulik

Proportionalventil Aufbau und Wirkungsweise

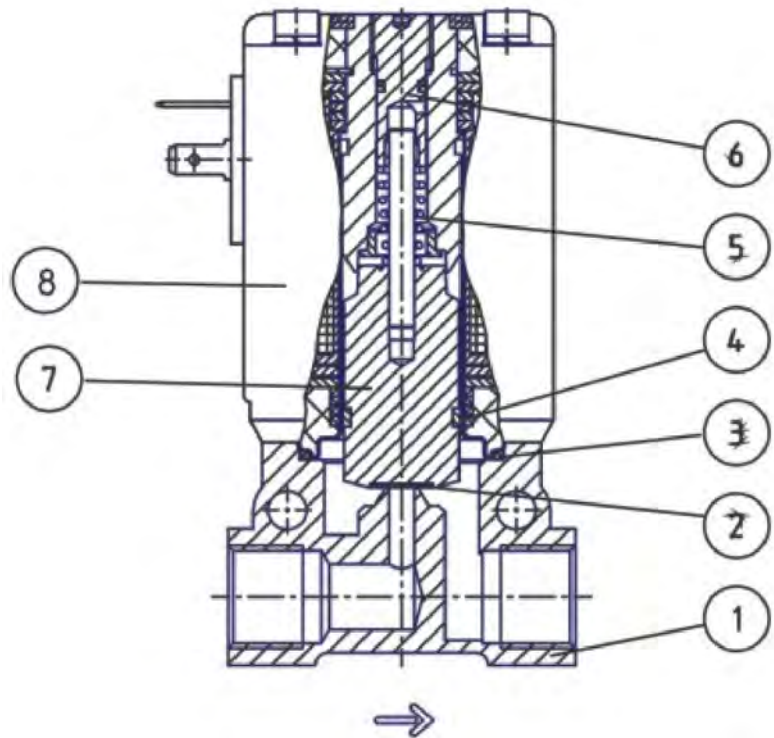


Die Abbildung verdeutlicht das Wirkprinzip.

Im geschlossenen Zustand steht Medium eingangsseitig mit einem Druck p_1 an, der Kern bzw. Anker (3) ist abgefallen und drückt somit auf den Vorsteuersitz (4). Dadurch und durch die Kraft der Kolbenfeder, die auf den Kolben (2) wirkt, ist der Hauptsitz (5) geschlossen. Eine Drosselbohrung (6) ermöglicht, dass im Steuerraum (1) Medium ansteht und mit einem Druck p_x von oben auf die Membran bzw. Dachmanschette drückt. Bei entsprechender Auslegung von Drosselbohrung, Vorsteuersitz und den Flächenverhältnissen an der Hauptstufe sind die Druckkräfte auf den Kolben bei einer bestimmten Öffnung des Sitzes gerade im Gleichgewicht. Der Kolben folgt dem bei einer proportionalen Vorsteuerung stetig axial verschiebbaren Kern im Idealfall genau in dem Abstand, der dieses Gleichgewicht realisiert.

Hydraulik

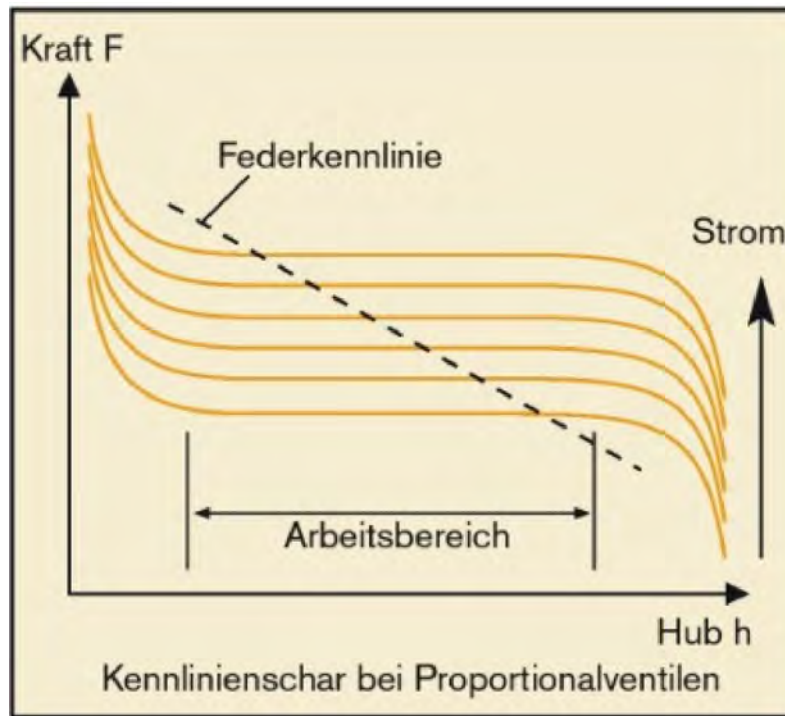
Proportionalventil Aufbau Beispiel



- 1 Ventilkörper, Messing oder Edelstahl
- 2 Sitzdichtung, FKM (Standard)
- 3 O-Ring, FKM (Standard)
- 4 Gleitring, PTFE-Compound
- 5 Rückstellfeder, Edelstahl
- 6 Stopfen mit integrierter Justierschraube, Edelstahl
- 7 Hubanker, Edelstahl
- 8 Epoxidharzumpresste Spule

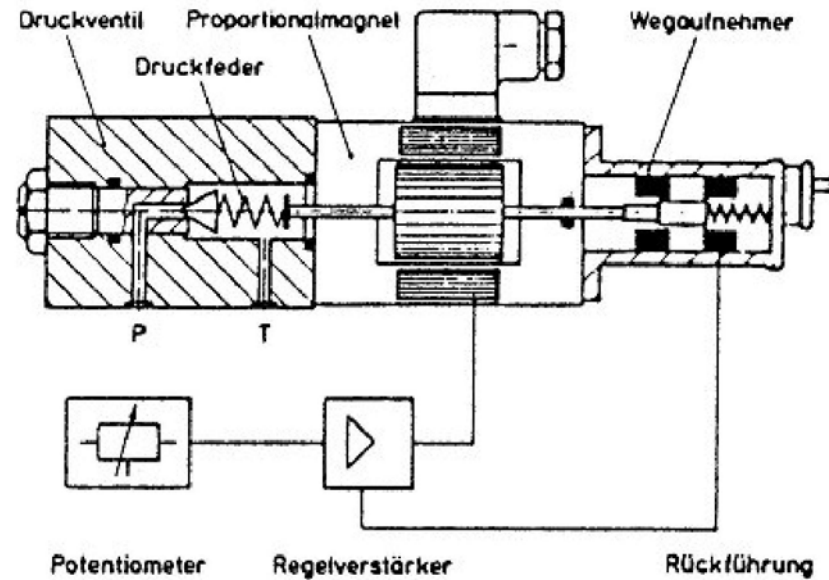
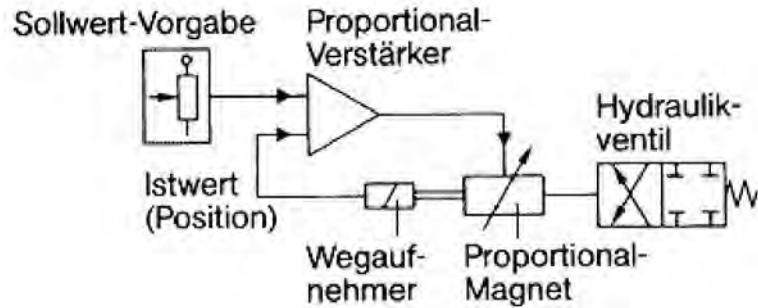
Hydraulik

Proportionalventil Kennlinie



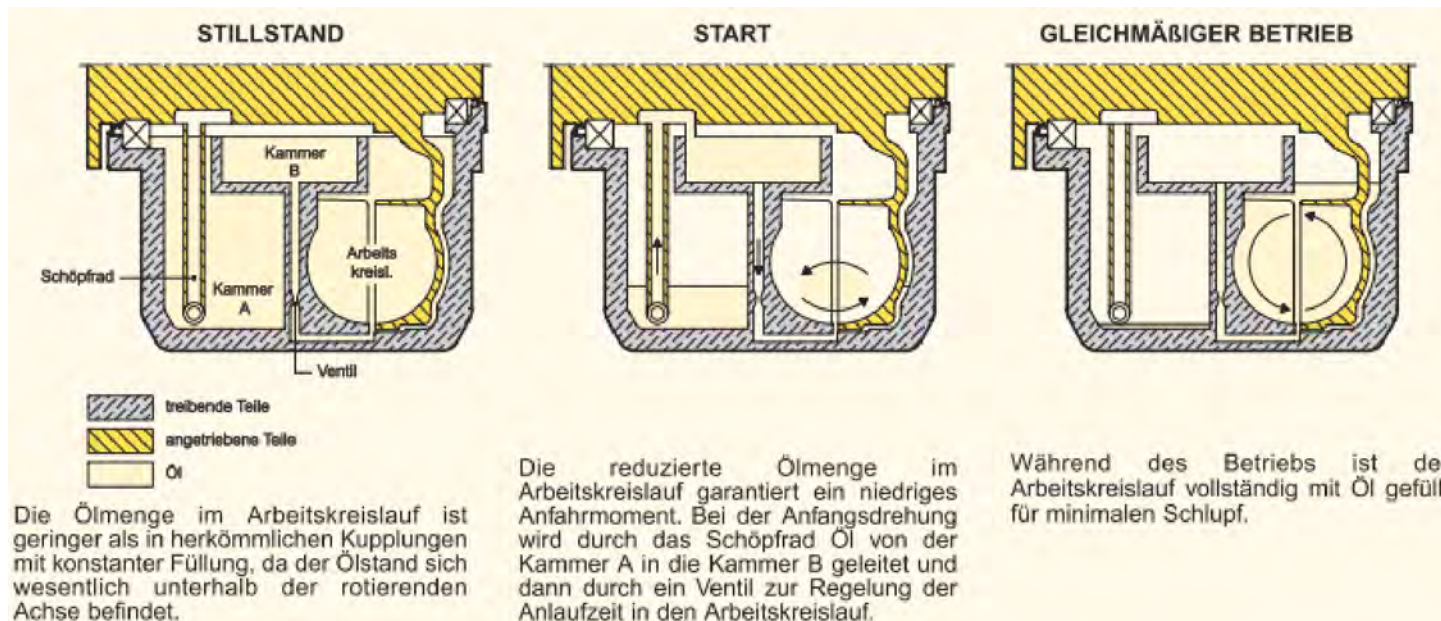
Hydraulik

Proportionalventil Systematik



Hydraulik

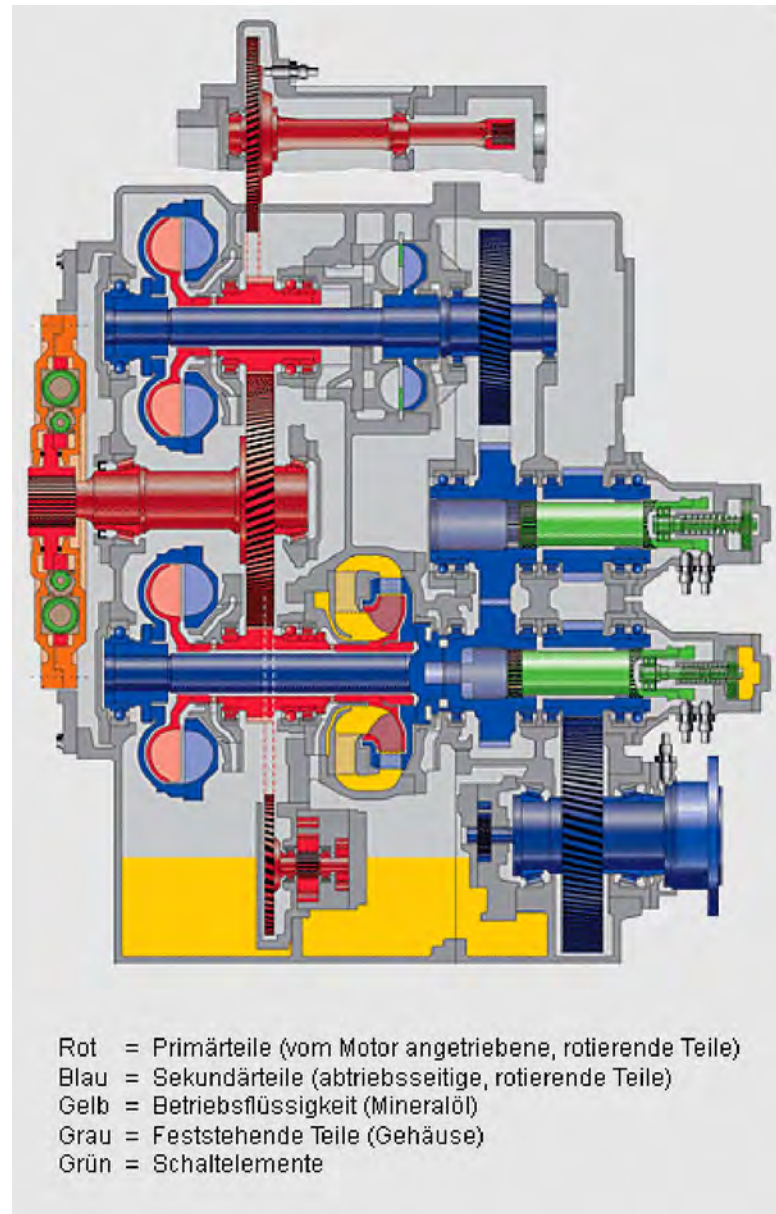
Hydraulikgetriebe Flüssigkeitskupplung



Hydraulik

Hydraulikgetriebe

Hydraulisches Getriebe
in Wandler-Bauart



Hydraulik

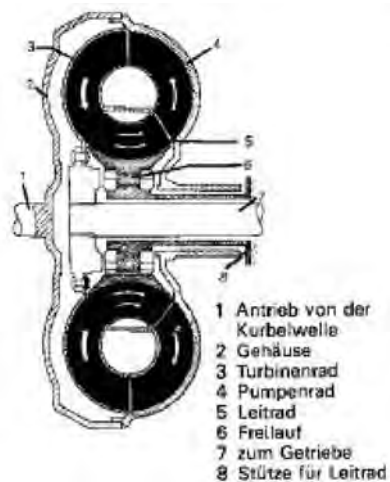
Hydraulikgetriebe Drehmomentwandler



Hydraulik

Hydraulikgetriebe Drehmomentwandler

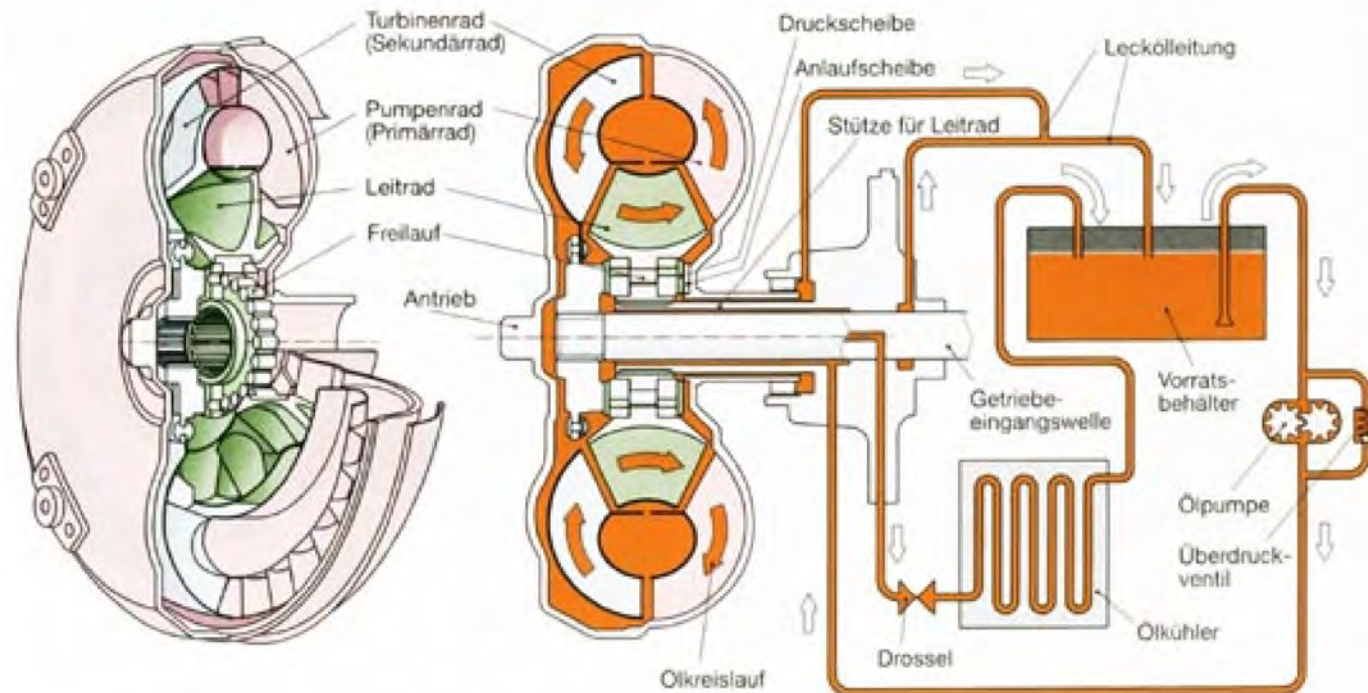
Der Drehmomentwandler gehört zu den hydrodynamischen Getrieben. Hauptbestandteil der hydrodynamischen Kraftübertragung ist der Strömungskreislauf. Dazu sind eine Kreiselpumpe (Primärteil) und eine Turbine (Sekundärteil) erforderlich, die in einem Gehäuse untergebracht sind. Im Gegensatz zu der Flüssigkeitskupplung ist beim Drehmomentwandler noch eine dritte Komponente, ein gegen das Gehäuse abgestütztes Schaufelrad (Leitrad) vorhanden



Die Kreiselpumpe wird von dem Verbrennungsmotor angetrieben und setzt die vom Motor erzeugte mechanische Energie in Strömungsenergie um. Die umlaufende Flüssigkeit treibt das Turbinenrad an. Dort wird die Strömungsenergie wieder in mechanische Energie zurückverwandelt und über den Antriebsstrang (Getriebe, Achse) auf die Antriebsräder des Fahrzeugs übertragen. Am feststehenden Leitrad (Reaktionsglied) entsteht zwischen Turbine und Pumpe ein Differenzmoment, wodurch das Antriebsdrehmoment je nach der Art des Drehmomentwandlers bis auf den sechsfachen Wert des Eingangsmoments gewandelt werden kann. Die einfache Bedienung beim Anfahren, Gangwechsel und Reversieren sowie die hohe Belastbarkeit haben zur weiten Verbreitung der hydrodynamischen Getriebe mit Drehmomentwandler in verbrennungsmotorischen Flurförderzeugen geführt.

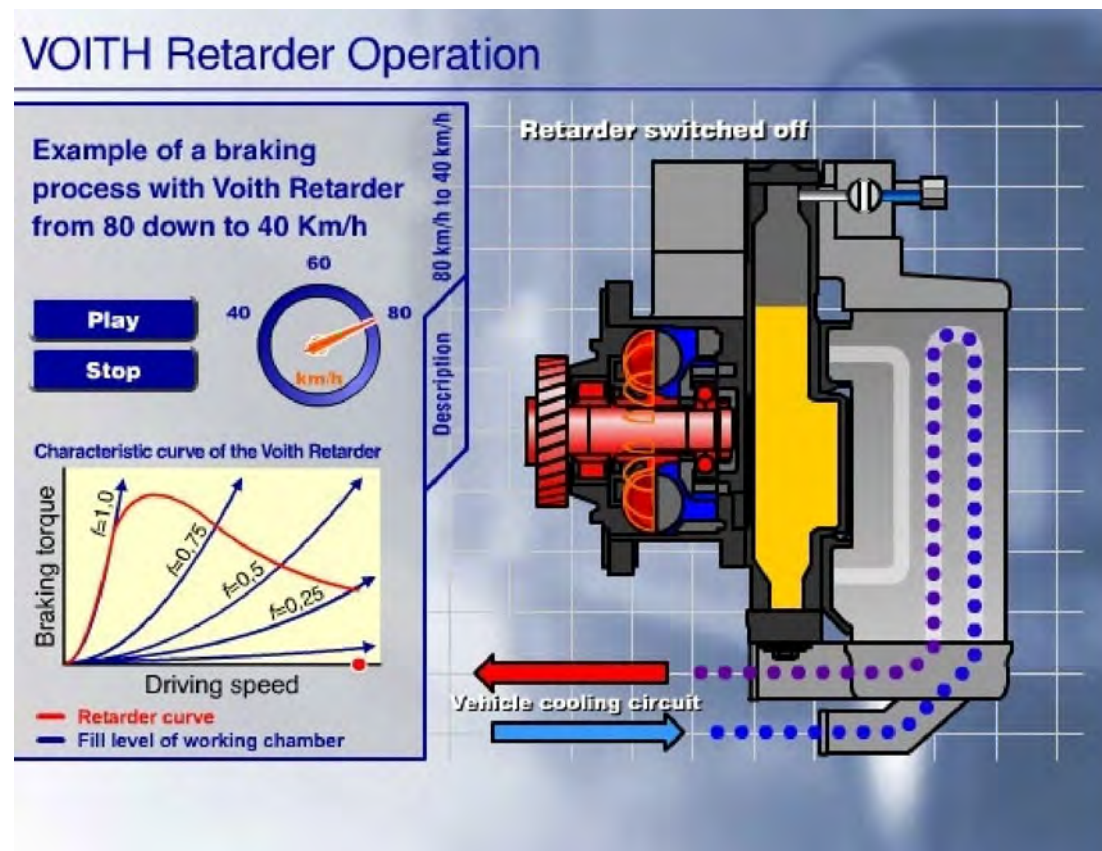
Hydraulik

Hydraulikgetriebe Drehmomentwandler



Hydraulik

Hydraulikgetriebe Retarder



Hydraulik

Wasserhydraulik

Die **Wasserhydraulik** ist der Vorläufer der Ölhydraulik. Speziell bei Schmiedepressen wurde die Wasserhydraulik schon im 19. Jahrhundert angewandt. In dieser Zeit war eine leistungsfähige Ölhydraulik nicht verfügbar.

Die historische Entwicklung der Wasserhydraulik hat die Ölhydraulik entscheidend beeinflusst. 2/2-Wegeventile, Nachsaug- und Füllventile haben ihren Ursprung in der Wasserhydraulik.

Vorteile

Wasser als [Fluidmedium](#) ist nicht brennbar.

Klarwasser (Trinkwasser) anstelle von Öl ist umweltfreundlich.

Klarwasser reduziert die Betriebskosten; es sind keine Vorkehrungen für Ölaustritt (Ölabscheider) zu treffen. Es entstehen keine Lager- und Entsorgungskosten für Hydraulikflüssigkeiten.

Leitungswiderstände sind bei Wasser deutlich geringer als bei Öl, dadurch kann sich der Wirkungsgrad verbessern.

Mit Wasser kann die Rückleitung entfallen, vergleichbar mit [pneumatischen](#) Anlagen.

Wasser hat aufgrund der geringeren [Kompressibilität](#) bessere [Regelungseigenschaften](#).

Nachteile

Wasser hat eine deutlich niedrige [Viskosität](#), damit sind die [Pumpen](#) und [Ventile](#) der Ölhydraulik nicht zu verwenden.

Plungerpumpen mit speziellen Dichtungen fördern das Druckwasser und Sitzventile steuern die Pressenfunktion die geringe Viskosität führt zu größeren Leckageströmen und damit zu einem geringeren Wirkungsgrad.

Ventile aus der Ölhydraulik mit ihren Spaltdichtungen haben eine zu große Leckage und damit Erosion an den Ventilkanten. Somit sind die bekannten Schieberventile sowie Proportional- und Servoventile in der Wasserhydraulik nicht verwendbar

Wasserhydraulische Anlagen sind vollständig aus hochwertigen Edelstählen aufgebaut und somit in den Anschaffungskosten vergleichsweise teuer

Wasser ist aufgrund des hohen [Dampfdrucks](#) anfällig für [Kavitation](#).

Wasserkreisläufen müssen in seltenen Einzelfällen [Biozide](#) beigemischt werden.

Hydraulik

Sicherheitsregeln



Gefährdungen bei Arbeiten an der Hydraulik

Bei Arbeiten an der Hydraulik können folgende Gefährdungen auftreten:

- Unkontrollierter Austritt des Druckmediums,
- unbeabsichtigte Maschinenbewegungen,
- wegfliegende oder berstende Teile ,
- Hauterkrankungen,
- Lärm.

Hydraulik

Sicherheitsregeln

Merke:

Fünf-Finger-Regel der Fluidtechnik:

1. Energiezufuhr trennen
2. Gegen Wiedereinschaltung sichern (Bild 3),
3. System drucklos machen, einschließlich vorhandener Druckspeicher, hochgehaltene Lasten absenken oder unterbauen, Restenergien abbauen
4. Druckfreiheit prüfen
5. Gefährdungen durch benachbarte Anlagen verhindern



Bild 3: Sichern gegen Wiedereinschalten durch abschließbare Kugelhähne

Hydraulik

Sicherheitsregeln



Bild 5: Persönliche Schutzausrüstungen beim Ölwechsel

Hydraulik

Sicherheitsregeln



Bild 7: Handwagen zum Transport von Ölbindemittel

Merke: Ausgelaufene Hydraulikflüssigkeit ist sofort und vollständig zu entfernen.

Hydraulik

Sicherheitsregeln Installation Rohrleitungen

Werden Rohrleitungen im Rahmen der Instandhaltungsarbeiten neu verlegt, sind diese ausreichend mittels Rohrklemmen zu befestigen. Bewährt haben sich folgende Abstände:

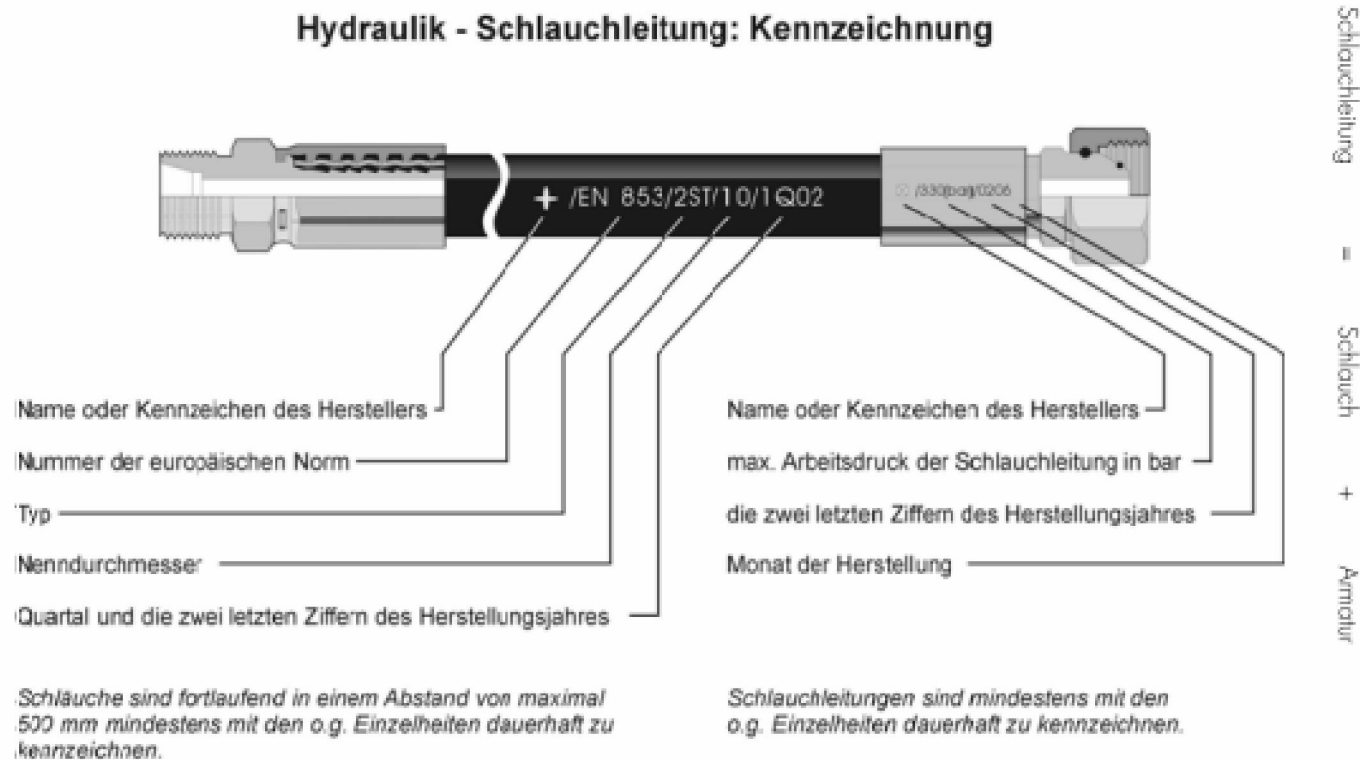
Leitungsaußendurchmesser	Befestigungsabstand
Bis 10 mm	1 Meter
Über 10 mm bis 25 mm	1,5 Meter
Über 25 mm bis 50 mm	2,0 Meter
Über 50 mm	3,0 Meter

Dabei ist darauf zu achten, dass die Rohrleitung nicht beschädigt wird, z.B. ist ein Befestigen durch Schweißen unzulässig. An Rohrleitungen dürfen keine anderen Bauteile befestigt werden.



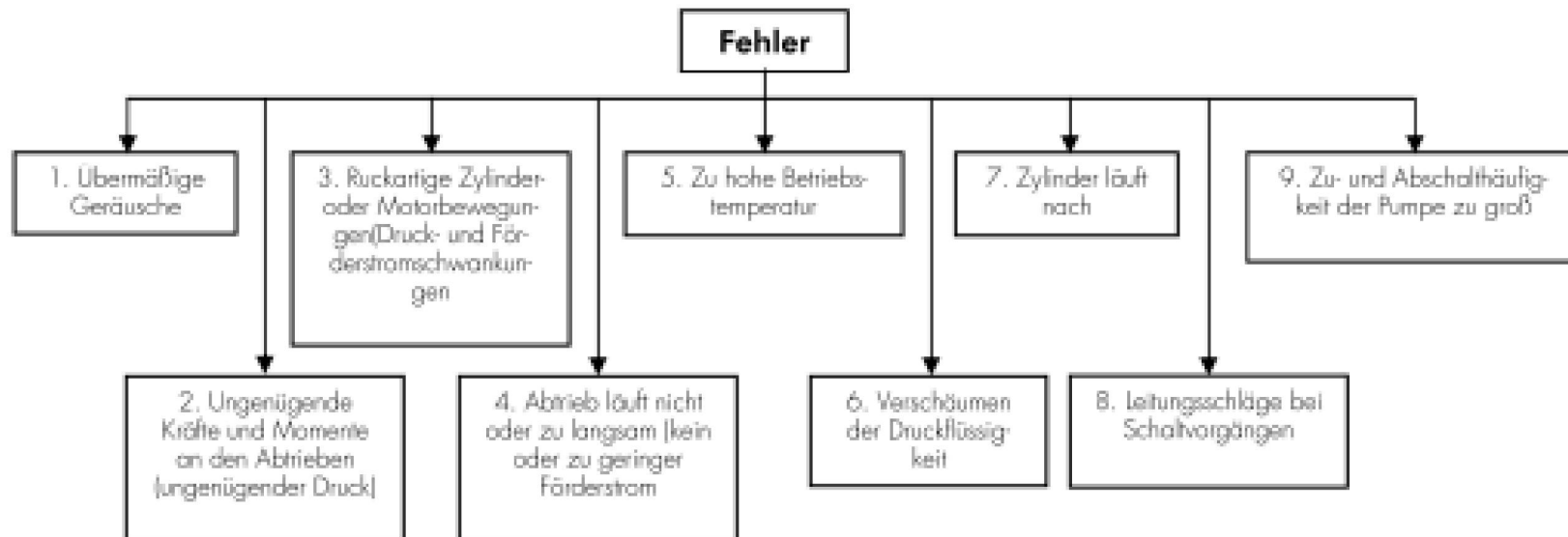
Hydraulik

Sicherheitsregeln Kennzeichnung Hydraulikschlauch



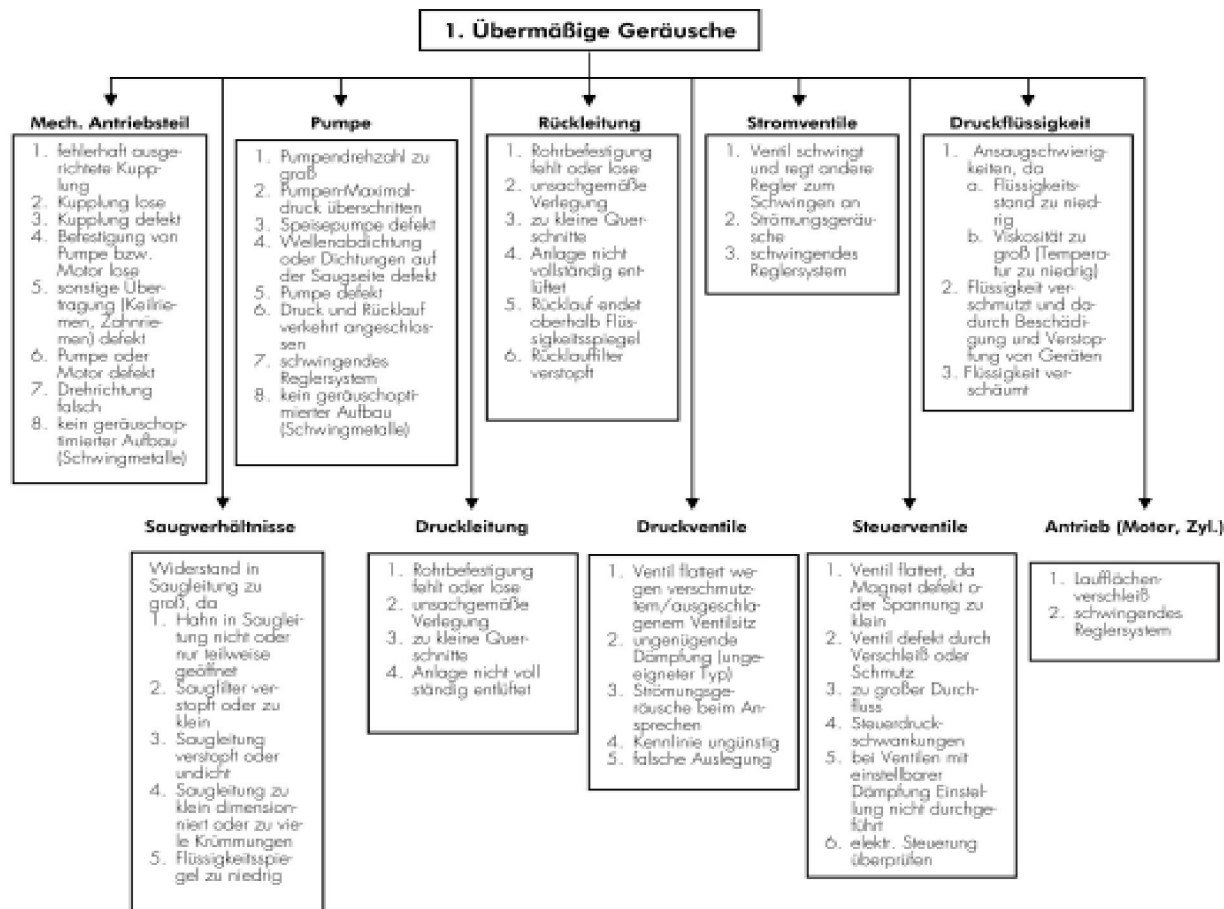
Hydraulik

Fehlersuche Fehlerarten



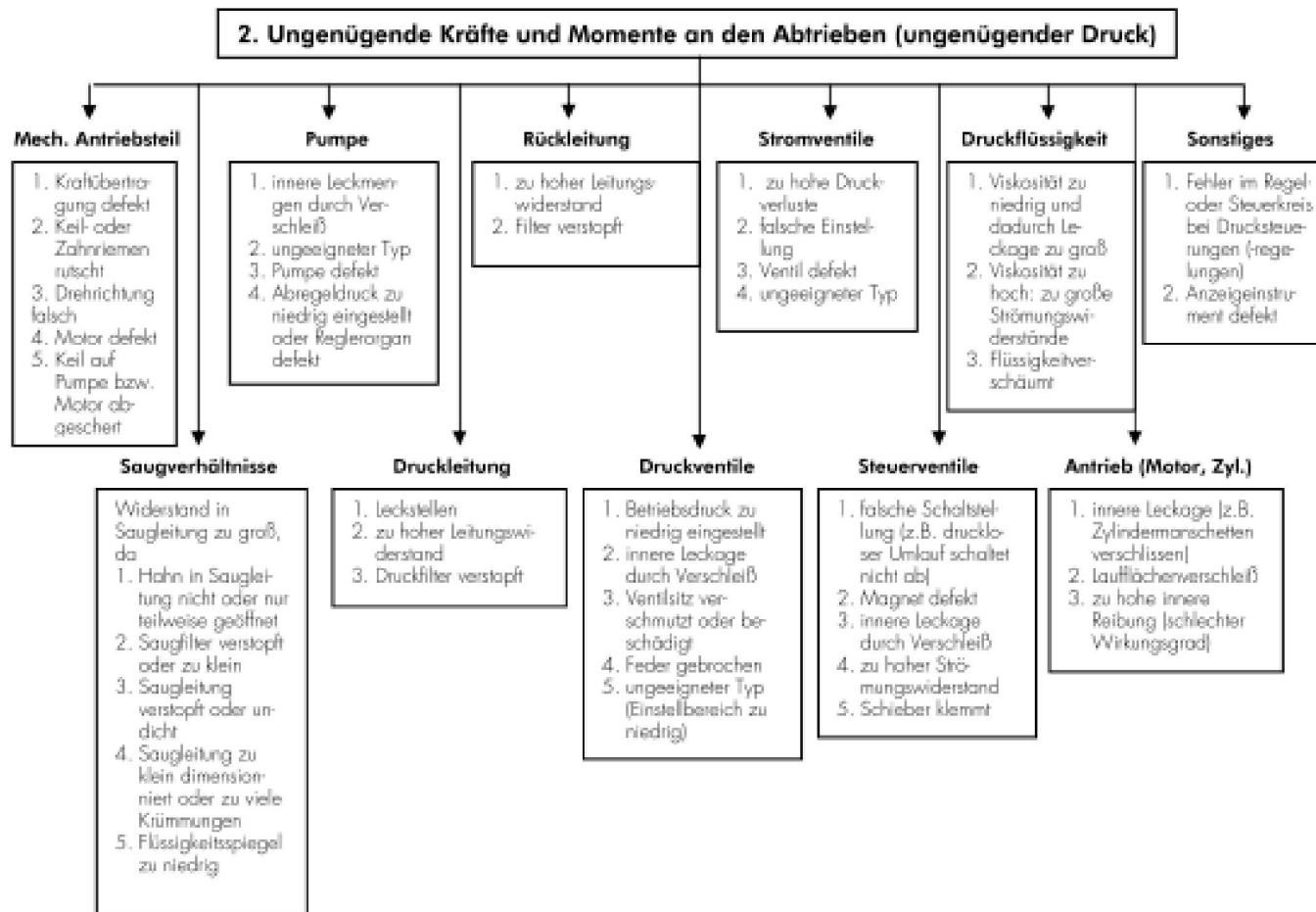
Hydraulik

Fehlersuche



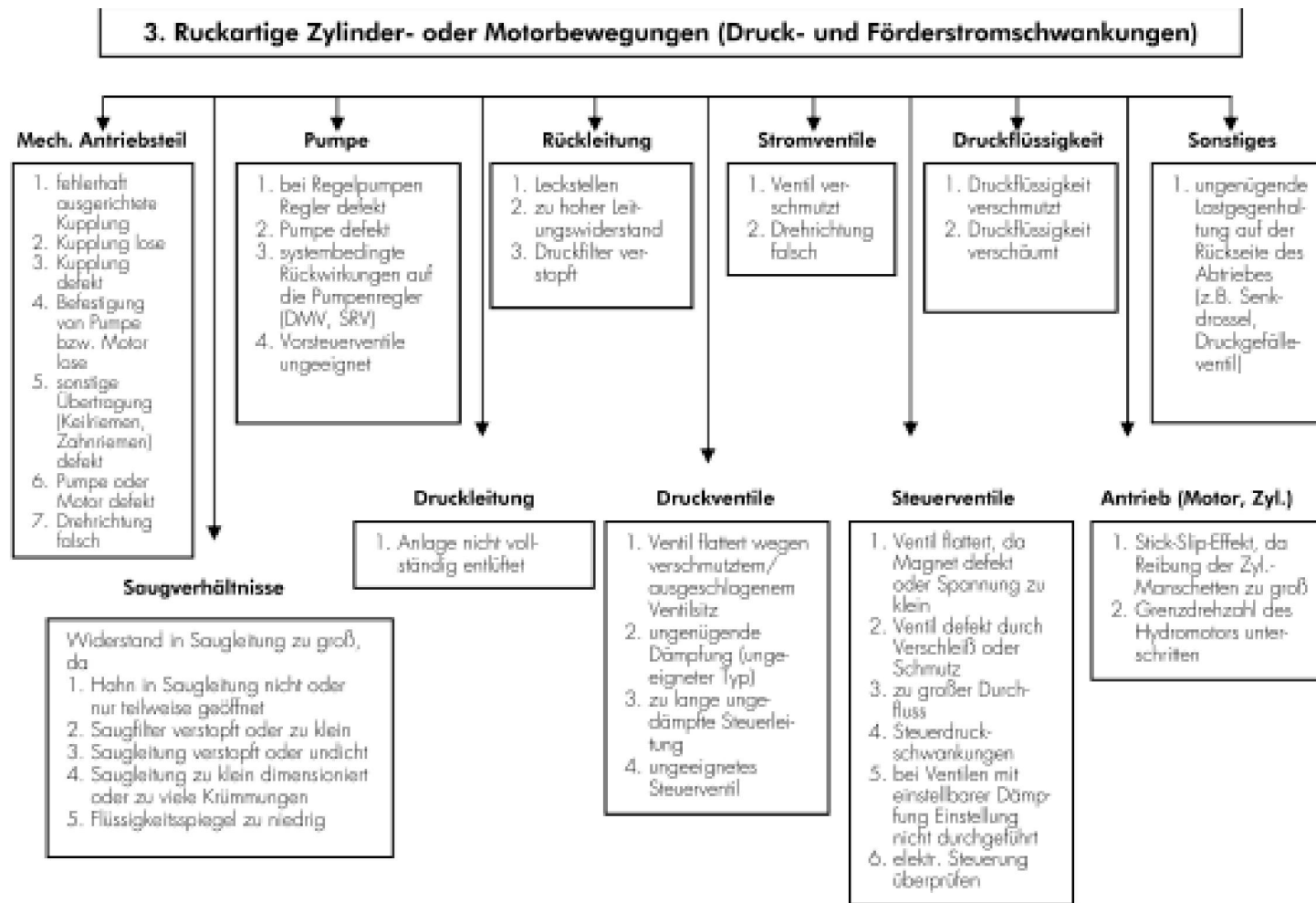
Hydraulik

Fehlersuche



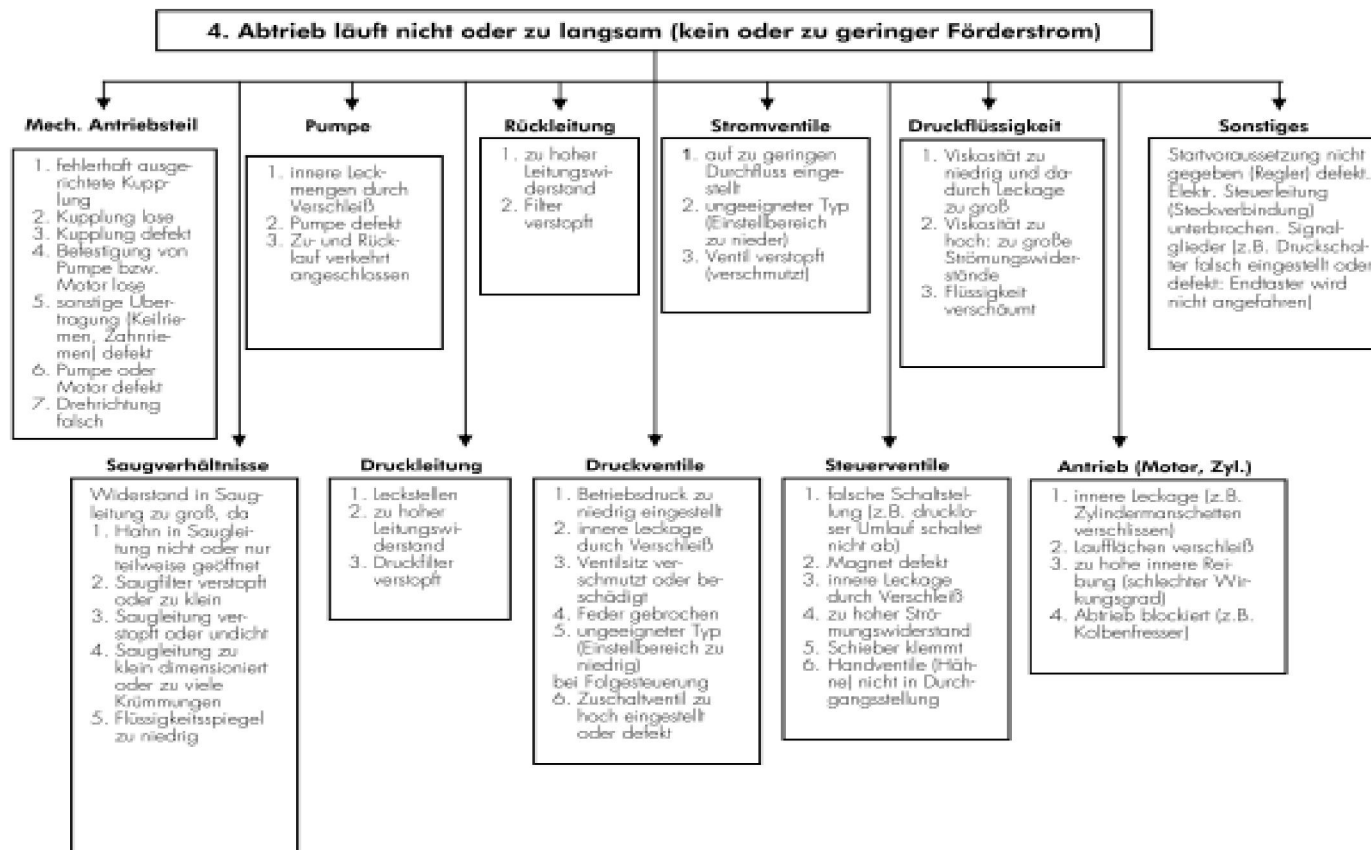
Hydraulik

Fehlersuche



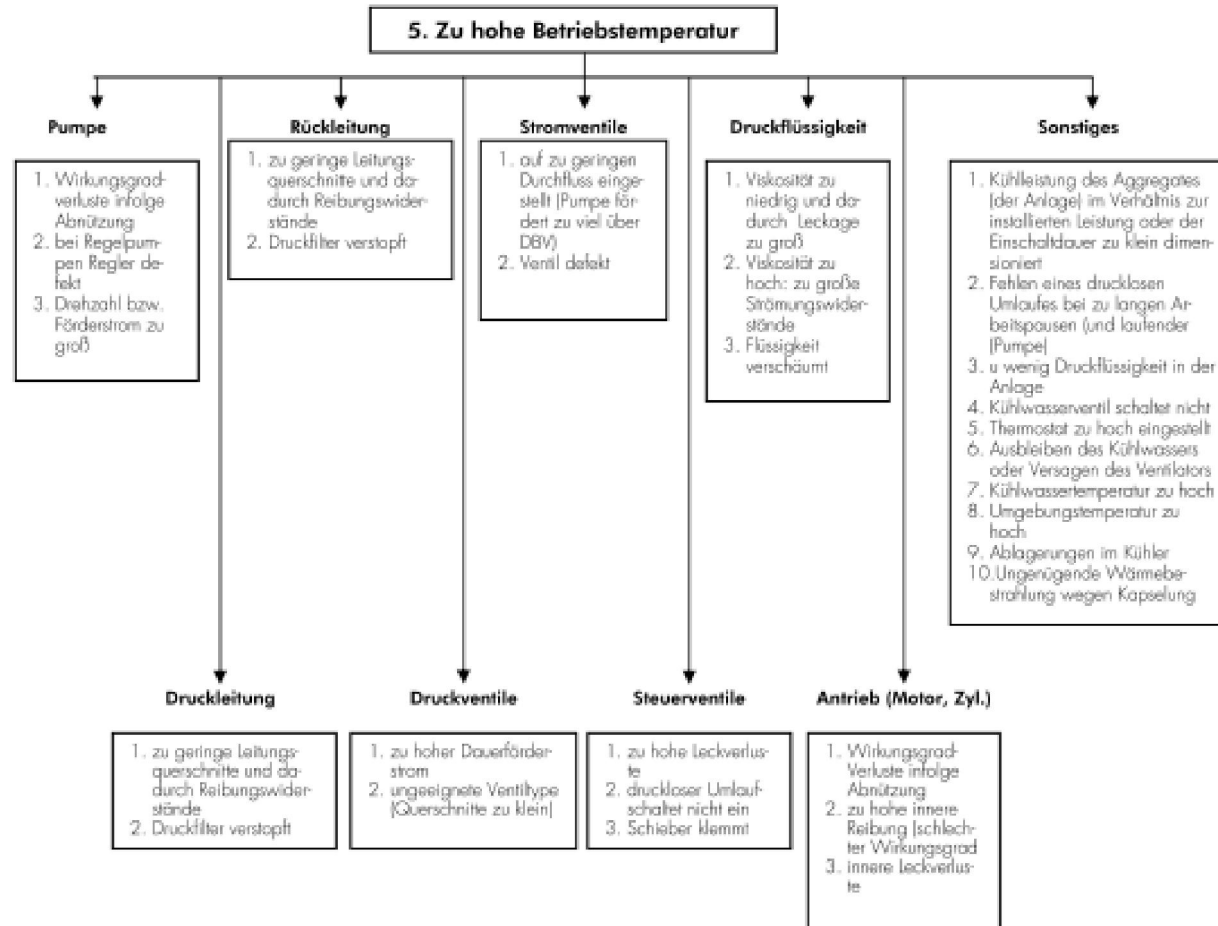
Hydraulik

Fehlersuche



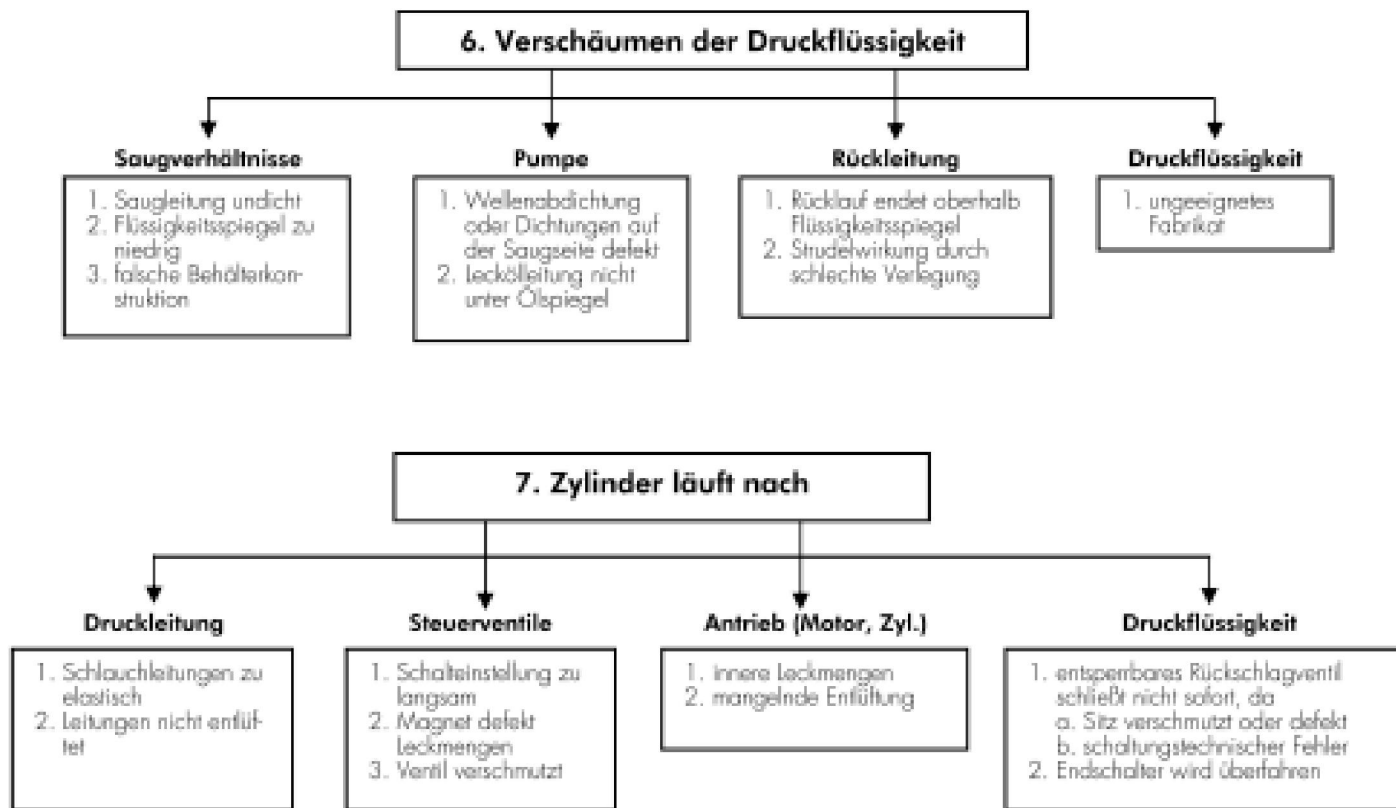
Hydraulik

Fehlersuche



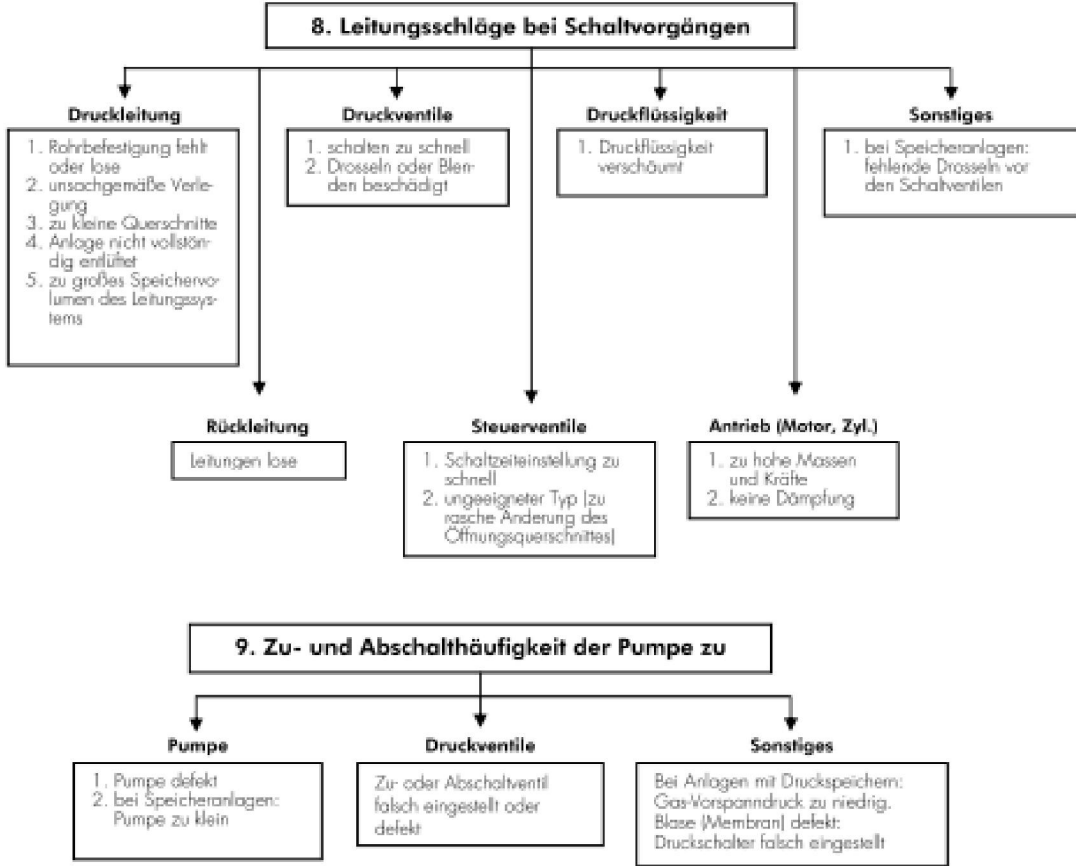
Hydraulik

Fehlersuche



Hydraulik

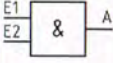
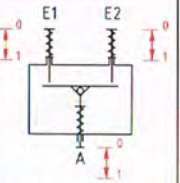
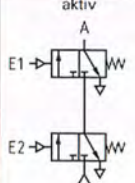
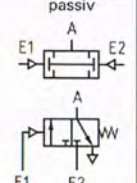

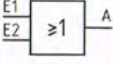
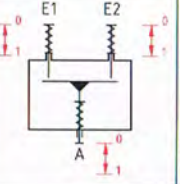
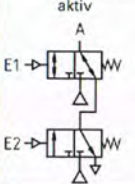
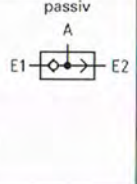


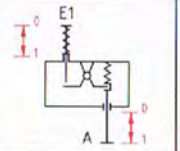
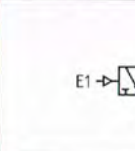
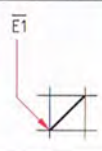
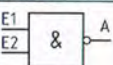
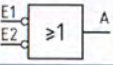
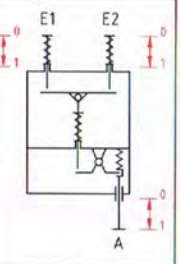
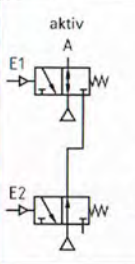
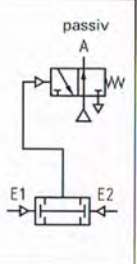

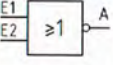
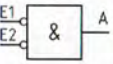
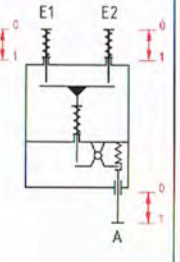
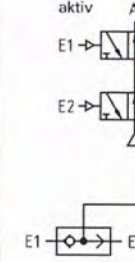
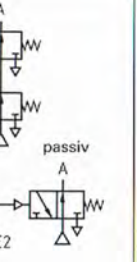

Fehlersuche



Steuerungs- und Regelungstechnik

Logische Verknüpfungen vgl. DIN EN 60617-12 (1999-04)

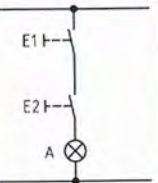
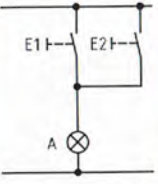
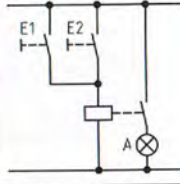
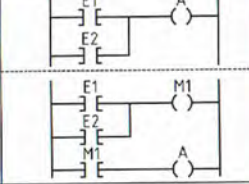
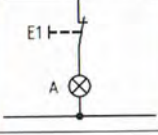
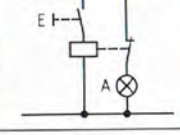
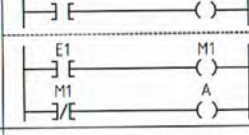
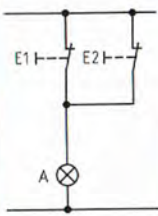
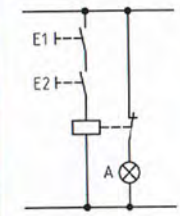
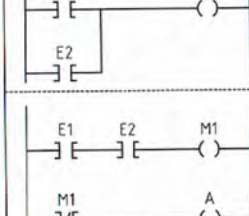
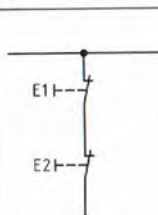
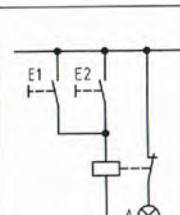
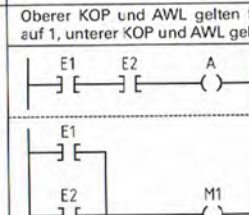






Grundfunktionen und Gegenüberstellungen

Logik/ Funktions- Baustein (FB)	Funktions- tabelle Wahrheitstafel	technische Realisierung		Signal- verknüpfung (Weg-Schritt)															
		mechanisch	pneumatisch und hydraulisch																
UND (AND)  Schreibweise: $A = E1 \wedge E2$	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><th>E1</th><th>E2</th><th>A</th></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		aktiv  passiv 	
E1	E2	A																	
0	0	0																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	1																	
ODER (OR)  Schreibweise: $A = E1 \vee E2$	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><th>E1</th><th>E2</th><th>A</th></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		aktiv  passiv 	
E1	E2	A																	
0	0	0																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	1																	
NICHT (NOT)  Schreibweise: $A = \bar{E1}$	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><th>E1</th><th>A</th></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	E1	A	0	1	1	0		aktiv 										
E1	A																		
0	1																		
1	0																		
UND-NICHT (NAND)  Schreibweise: $A = \overline{E1 \wedge E2}$ Ersatzweise 	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><th>E1</th><th>E2</th><th>A</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</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>0</td></tr> </table>	E1	E2	A	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0		aktiv  passiv 	
E1	E2	A																	
0	0	1																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	0																	
ODER-NICHT (NOR)  Schreibweise: $A = \overline{E1 \vee E2}$ Ersatzweise 	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><th>E1</th><th>E2</th><th>A</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</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>0</td></tr> </table>	E1	E2	A	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0		aktiv  passiv 	
E1	E2	A																	
0	0	1																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	0																	

Steuerungs- und Regelungstechnik

Logische Verknüpfungen

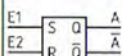
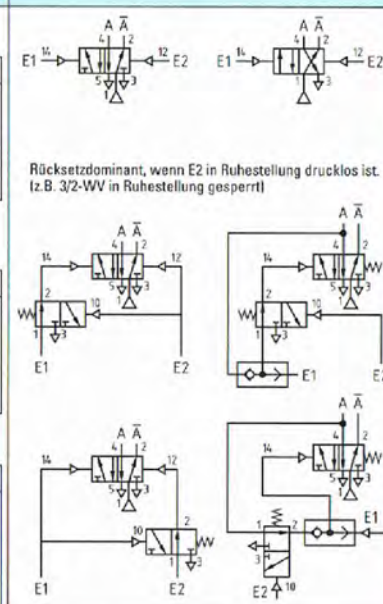

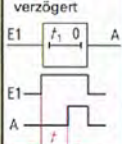
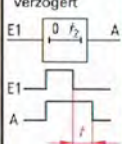
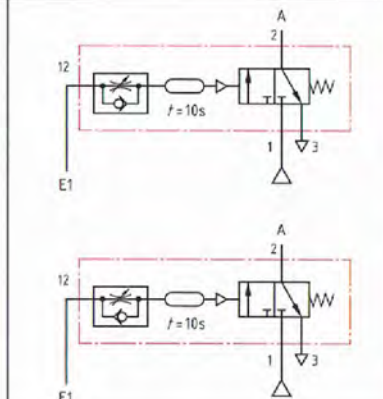

Grundfunktionen und Gegenüberstellungen

elektrisch direkt	elektrisch indirekt mit Relais	Kontaktplan einer SPS (KOP) Schalter am Eingang wie Bilder elektr. direkt. Abfrage auf „1“	Anweisungsliste AWL vgl. VDI 2880-4 (1985-09) vgl. DIN EN 61131 (2003-12)
			
			$L \quad E1$ $U \quad E2$ $= \quad M1$ $L \quad M1$ $= \quad A$
			$L \quad E1$ $= \quad A$
			$L \quad E1$ $O \quad E2$ $= \quad A$
			$L \quad E1$ $U \quad E2$ $= \quad M1$ $LN \quad M1$ $= \quad A$
		<p>Oberer KOP und AWL gelten für Eingangssignalabfrage auf 1, unterer KOP und AWL gelten für Abfrage auf 0.</p> 	$L \quad E1$ $U \quad E2$ $= \quad A$
			$L \quad E1$ $O \quad E2$ $= \quad M1$ $LN \quad M1$ $= \quad A$

Steuerungs- und Regelungstechnik

Logische Verknüpfungen

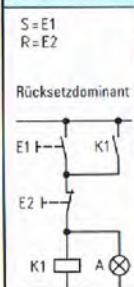
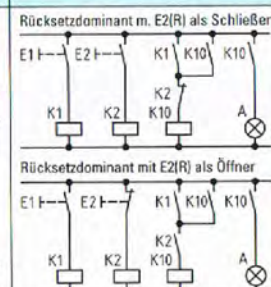
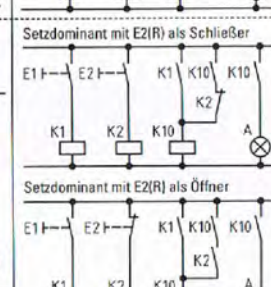
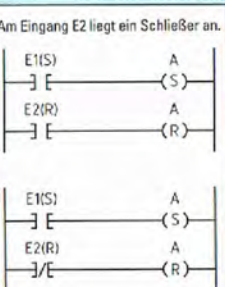
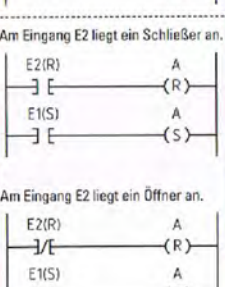
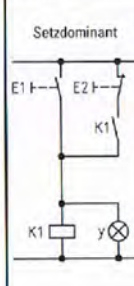
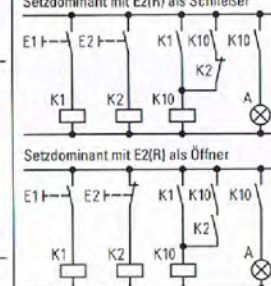
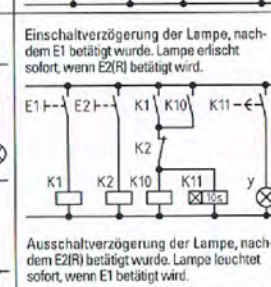
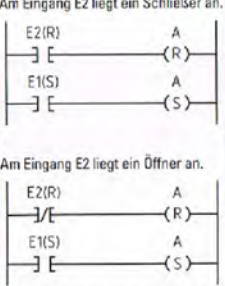
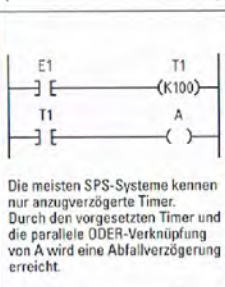
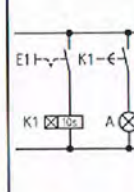
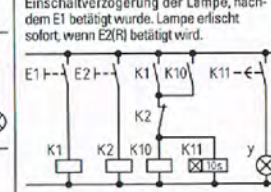
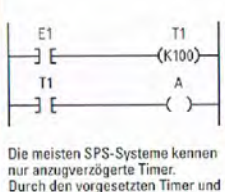
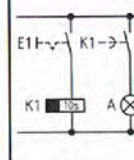

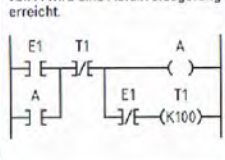
Grundfunktionen und Gegenüberstellungen

Logik/ Funktions- Baustein (FB)	Funktions- tabelle/ Wahrheitstafel	pneumatisch und hydraulisch	Signal- verknüpfung (Weg-Schritt)																																																												
SPEICHER (RS-Flip-Flop)  S (= J) = Setzen R (= K) = Rücksetzen A (= Q) = Ausgang E1 = A setzen E2 = rücksetzen * = behält den vorherigen Zustand bei □ = unbestimmter Zustand bzw. negierter Wert des vorherigen Zustandes	Allgemein/ unbestimmt <table border="1"> <tr><th>E1</th><th>E2</th><th>A</th><th>\bar{A}</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>*</td><td>*</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>□</td><td>□</td></tr> </table> Rücksetz- dominant <table border="1"> <tr><th>E1</th><th>E2</th><th>A</th><th>\bar{A}</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>*</td><td>*</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table> Setzdominant <table border="1"> <tr><th>E1</th><th>E2</th><th>A</th><th>\bar{A}</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>*</td><td>*</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	E1	E2	A	\bar{A}	0	0	*	*	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	□	□	E1	E2	A	\bar{A}	0	0	*	*	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	E1	E2	A	\bar{A}	0	0	*	*	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	 Rücksetzdominant, wenn E2 in Ruhestellung drucklos ist. (z.B. 3/2-WV in Ruhestellung gesperrt)	
E1	E2	A	\bar{A}																																																												
0	0	*	*																																																												
0	1	0	1																																																												
1	0	1	0																																																												
1	1	□	□																																																												
E1	E2	A	\bar{A}																																																												
0	0	*	*																																																												
0	1	0	1																																																												
1	0	1	0																																																												
1	1	0	1																																																												
E1	E2	A	\bar{A}																																																												
0	0	*	*																																																												
0	1	0	1																																																												
1	0	1	0																																																												
1	1	1	0																																																												
ZEITGLIED (TIMER) Ansprech- verzögert  Wird E1 = 1, so wird A = 1, wenn die Zeit t ₁ abgelaufen ist. Wird E1 = 0, so wird A = 0. Rückfall- verzögert  Wird E1 = 1, so wird A = 1. Wird E1 = 0, so wird A = 0, wenn die Zeit t ₂ abgelaufen ist.	 t = 10s																																																														

Steuerungs- und Regelungstechnik

Logische Verknüpfungen

Grundfunktionen und Gegenüberstellungen

technische Realisierung mit Relais		Kontakplan einer SPS (KOP) Schalter am Eingang wie Bilder Abfrage der Eingänge auf „1“	Anweisungsliste AWL vgl. VDI 2880-4 (1985-09) vgl. DIN EN 61131 (2003-12)																								
elektrisch direkt	elektrisch indirekt																										
S = E1 R = E2 Rücksetzdominant 	Rücksetzdominant m. E2(R) als Schließer  Rücksetzdominant mit E2(R) als Öffner 	Am Eingang E2 liegt ein Schließer an.  Am Eingang E2 liegt ein Öffner an. 	<table border="1"> <tr><td>L</td><td>E1</td></tr> <tr><td>S</td><td>A</td></tr> <tr><td>L</td><td>E2</td></tr> <tr><td>R</td><td>A</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>L</td><td>E1</td></tr> <tr><td>S</td><td>A</td></tr> <tr><td>LN</td><td>E2</td></tr> <tr><td>R</td><td>A</td></tr> </table>	L	E1	S	A	L	E2	R	A	L	E1	S	A	LN	E2	R	A								
L	E1																										
S	A																										
L	E2																										
R	A																										
L	E1																										
S	A																										
LN	E2																										
R	A																										
Setzdominant 	Setzdominant mit E2(R) als Schließer  Setzdominant mit E2(R) als Öffner 	Am Eingang E2 liegt ein Schließer an.  Am Eingang E2 liegt ein Öffner an. 	<table border="1"> <tr><td>L</td><td>E2</td></tr> <tr><td>R</td><td>A</td></tr> <tr><td>L</td><td>E1</td></tr> <tr><td>S</td><td>A</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>LN</td><td>E2</td></tr> <tr><td>R</td><td>A</td></tr> <tr><td>L</td><td>E1</td></tr> <tr><td>S</td><td>A</td></tr> </table>	L	E2	R	A	L	E1	S	A	LN	E2	R	A	L	E1	S	A								
L	E2																										
R	A																										
L	E1																										
S	A																										
LN	E2																										
R	A																										
L	E1																										
S	A																										
	Einschaltverzögerung der Lampe, nachdem E1 betätigt wurde. Lampe erlischt sofort, wenn E2(R) betätigt wird. 		<table border="1"> <tr><td>L</td><td>E1</td></tr> <tr><td>=</td><td>T1</td></tr> <tr><td>K100</td><td></td></tr> <tr><td>L</td><td>T1</td></tr> <tr><td>=</td><td>A</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>L</td><td>E1</td></tr> <tr><td>O</td><td>A</td></tr> <tr><td>UN</td><td>T1</td></tr> <tr><td>L</td><td>A¹⁾</td></tr> <tr><td>UN</td><td>E1</td></tr> <tr><td>=</td><td>T1</td></tr> <tr><td>K100</td><td></td></tr> </table>	L	E1	=	T1	K100		L	T1	=	A	L	E1	O	A	UN	T1	L	A ¹⁾	UN	E1	=	T1	K100	
L	E1																										
=	T1																										
K100																											
L	T1																										
=	A																										
L	E1																										
O	A																										
UN	T1																										
L	A ¹⁾																										
UN	E1																										
=	T1																										
K100																											
	Ausschaltverzögerung der Lampe, nachdem E2(R) betätigt wurde. Lampe leuchtet sofort, wenn E1 betätigt wird. 		<table border="1"> <tr><td>L</td><td>E1</td></tr> <tr><td>=</td><td>T1</td></tr> <tr><td>K100</td><td></td></tr> <tr><td>L</td><td>T1</td></tr> <tr><td>=</td><td>A</td></tr> </table> Die meisten SPS-Systeme kennen nur anzugverzögerte Timer. Durch den vorgesetzten Timer und die parallele ODER-Verknüpfung von A wird eine Abfallverzögerung erreicht. ¹⁾ Systembedingt, nicht immer notwendig	L	E1	=	T1	K100		L	T1	=	A														
L	E1																										
=	T1																										
K100																											
L	T1																										
=	A																										

GRAFSET vgl. DIN EN 60848 (2002-12)

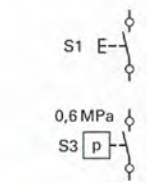
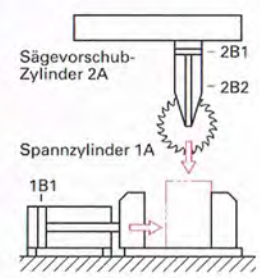
Transitionsbedingungen	Beispiele
Transitionsbedingungen in Textform, als grafischer Ausdruck oder Boole'scher Ausdruck (nach DIN vorzugsweise)	<p>1A eingefahren UND 2A eingefahren</p> <p>1S1 & 2S1</p> <p>1S1*2S1</p>

Transitionen (Übergangsbedingung)		
<p>2 → Zylinder 1A ausfahren</p> <p>Kontinuierlich wirkend: Zylinder 1A fährt aus, wenn Schritt 2 aktiv ist.</p>	<p>4 → 1M1 2M1</p> <p>2 kontinuierliche Aktionen gleichzeitig.</p>	<p>2 → 2B1 1M1</p> <p>Zuweisungsbedingung: Magnetspule 1Q1 wird aktiviert, solange Schritt 2 aktiv und 1B1 geschaltet ist.</p>
<p>8 → 2s/X8 2M1:=1</p> <p>Anzugsverzögert: Magnetspule 2Q1 wird aktiviert 2 Sekunden nachdem Schritt 8 aktiviert wurde.</p>	<p>6 → 20s/X6-S3 Lüfterventilator an</p> <p>Zeitbegrenzt: der Ventilator läuft 20 s, wenn Schritt 6 aktiviert UND S3 betätigt wird.</p>	<p>3 → C:=C+1</p> <p>Speichernd: Der Zähler C wird um 1 erhöht, wenn der Schritt 3 deaktiviert wird.</p>
<p>2 → K3:=1</p> <p>Zuweisungsbedingung: Eine Zuweisung erfolgt durch das Symbol „:=“. Beispiel: Relais K3 wird der Wert TRUE zugewiesen.</p>	<p>3 → 2M1:=1 1M2:=0</p> <p>Speichernd: Magnetspule 2Q1 wird speichernd eingesetzt und Magnetspule 1Q2 wird speichernd rückgesetzt bei Aktivierung des Schrittes 3.</p>	<p>5 → 3s/2B2 2M1:=0</p> <p>Speichernd und verzögernd: 2Q1 wird speichernd zurückgesetzt, nach Ablauf von 3 Sekunden wenn 2B2 geschaltet ist und Schritt 5 aktiv ist.</p>

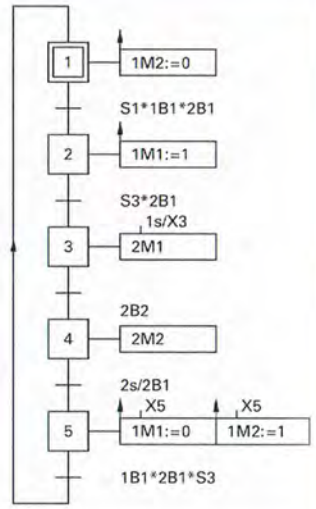
Beispiel: Spann- und Sägeeinrichtung

Ein Werkstück soll durch einen Zylinder gespannt und anschließend durch eine Kreissäge, angetrieben durch einen Vorschub-Zylinder, gesägt werden. Durch Betätigung des Starttasters S1 und wenn beide Zylinder eingefahren sind, fährt Spannzylinder A1 aus und spannt das Werkstück mit dem eingestellten Druck von mind. 0,6 MPa (S3). Ist der Druck erreicht, fährt Vorschub-Zylinder 2A mit einer Zeitverzögerung von 1 s aus und sägt das Werkstück.

In der Endposition betätigt Zylinder 2A den Grenzkontakt 2B2 und fährt wieder in die Ausgangsstellung zurück, betätigt Grenzkontakt 2B1, wodurch nach einer Zeitverzögerung von 2 s der Spannzylinder 1A löst und die Ruheposition zurückfährt. Sind beide Zylinder eingefahren und ist der Spanndruck abgebaut, kann der nächste Zyklus beginnen.



Hinweis:
1 bar = 0,1 MPa



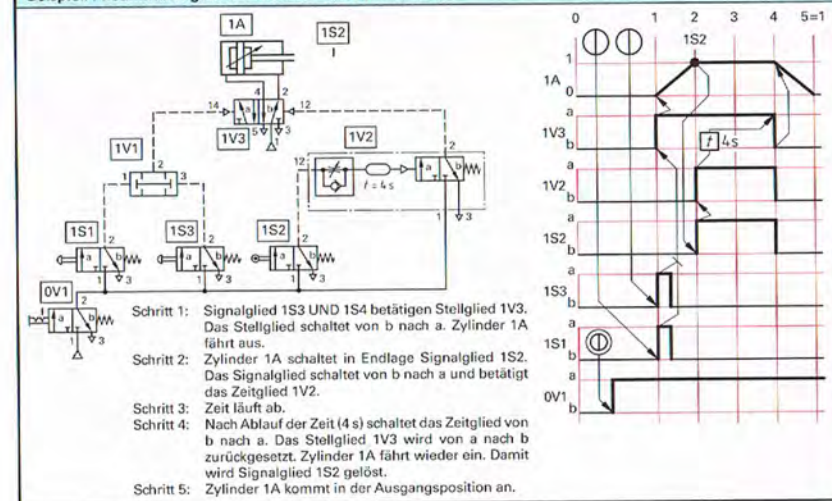
Funktionsdiagramme

Signalglieder	Signalverknüpfungen
<p>⊕ EIN/AUS (Schalter, Taster)</p> <p>⊖ EIN (Taster)</p> <p>⊙ AUS (Taster)</p> <p>⊕ AUTO-MATIK (Schalter, Taster)</p>	<p>⊕ TIPPEN bei Betätigung START bei Loslassen STOP (nur bei Einrichtbetrieb)</p> <p>⊖ Druckschalter mit Einstellwert, z.B. 0,8 MPa</p> <p>⊙ Zeitglied mit Einstellwert, z.B. 4 s</p> <p>⊕ Nicht muskelkraftbetätigtes Signalglied durch Punkt dargestellt</p>

Ausführung eines Funktionsdiagramms (nicht mehr genormt)

Signalglied muskelkraftbetätigt (Taster) EIN	Zylinder oder Hubmagnet
<p>⊕ S1</p> <p>⊖ S1</p> <p>Schritt 1: Signalglied schaltet bei Betätigung von 0 nach 1. Schritt 4: Signalglied schaltet bei Loslassen zurück von 1 nach 0.</p>	<p>1S2</p> <p>Schritt 1: Von Ausgangsstellung 0 (Eingefahren) zur Lage 1 (Ausgefahren) fahren. Schritt 2 und 3: Verharren. Schritt 4: Von der Lage 1 zur Ausgangsstellung 0 fahren.</p>
<p>⊕ S1</p> <p>Schritt 1: Signalglied schaltet bei 1. Betätigung von 0 nach 1. Schritt 4: Signalglied schaltet bei 2. Betätigung von 1 nach 0.</p>	<p>1S2</p> <p>Schritt 1: Zylinder fährt aus. Schritt 2: Zylinder betätigt in Endlage Signalglied 1S2 und steuert Zeitglied an. Schritt 3: Zeit läuft ab und Zylinder fährt ein.</p>

Beispiel: Pneumatisch gesteuerte Presse mit Einwirkdauer



Schaltzeichen der Pneumatik und Hydraulik		vgl. DIN ISO 1219-1 (2004-05)		
Funktionssinnbilder		Energieübertragung	Sperrventile	
	Hydrostrom			
	Druckluftstrom			
	Strömungsrichtung			
	Verstellbarkeit			
	Drehrichtung			
Energieumformer				
Pumpen, Kompressoren				
	Konstantpumpe mit 1 Stromrichtung.		Druck- und Regelventile	
	Verstellpumpe mit 2 Stromrichtungen.			
	Kompressor mit konstantem Verdrängungsvolumen.			
Motoren				
	Konstantmotor mit 1 Stromrichtung.			
	Verstellmotor mit 2 Stromrichtungen.		Stromventile	
	Schwenkmotor			
	Elektromotor			
Zylinder				
	einfach wirkender Zylinder. Rückhub durch Feder		Zeitventile	
	doppeltwirkender Zylinder mit einseitiger Kolbenstange			
	doppeltwirkender Zylinder mit beidseitig einstellbarer Endlagendämpfung			
	einfachwirkender Teleskopzylinder			

Schaltzeichen der Pneumatik und Hydraulik		vgl. DIN ISO 1219-1 (2004-05)	
Wegeventile	Bauarten (Auswahl)	Betätigungsarten	
Grundsinnbilder	2/-Wegeventile	Muskelfkraft betätigt	
Anzahl der Rechtecke = Anzahl der Schaltstellungen			allgemein
			Druckknopf (Hand)
			Zugknopf (Hand)
Anschlüsse an Ventilen werden mit kurzen Strichen markiert	3/-Wegeventile		Hebel (Hand)
			Pedal (Fuß)
		Mechanische Betätigung	
Durchflusswege	4/-Wegeventile		Feder
			Rollenstößel
			Rollenstößelhebel (Leerrücklaufstößel/-rolle)
			Stößel
		Druckbetätigung	
			direkt hydraul., pneum.
			indirekt durch Vorsteuerventil
Bezeichnung der Wege-Ventile		Elektrische Betätigung	
Die erste Zahl gibt die Anzahl der gesteuerten Anschlüsse und die zweite Zahl die Anzahl der Schaltstellungen an. Die Schaltstellungen werden gekennzeichnet: a = links, b = rechts, 0 = Mitte			Elektromagnet
	Beispiel: 3/2-Wegeventil		Elektromotor
	2 Schaltstellungen (a und b)	Kombinierte Betätigung	
	3 Anschlüsse (1, 2, 3)		Elektromagnet oder Vorsteuerventil
	5/3-Wegeventil		Elektromagnet und Vorsteuerventil
	3 Schaltstellungen (a, 0 und b)		Elektromagnet oder Feder
	5 Anschlüsse (1, 2, 3, 4, 5)		Druckluft oder Feder
		Mechanische Bestandteile	
			Raste, hält 2 vorgegebene Stellungen aufrecht
			hält 3 vorgegebene Stellungen aufrecht

Schaltpläne der Pneumatik und Hydraulik <small>vgl. DIN ISO 1219-2 (1996-11)</small>																	
Aufteilung des Schaltplanes <ul style="list-style-type: none"> Die Steuerung wird in einzelne, nebeneinanderliegende Steuerketten unterteilt. Zu jeder Steuerkette gehört ein Arbeitsglied. Dieses hat die Nummer der Steuerkette. Die Steuerketten werden von links nach rechts, entsprechend der Reihenfolge des Funktionsablaufes, aneinandergereiht. Der Schaltplan kann dabei aus mehreren Seiten bestehen. 	Bezeichnung der Ventilstellungen <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 10px;">a b</div> <div>Je nach Anzahl werden die Schalterstellungen mit a, b und 0 bezeichnet. Bei Ventilen mit 2 Schalterstellungen ist gewöhnlich die Stellung b die Ruhelage bzw. Ausgangsstellung.</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 10px;">a 0 b</div> <div>Bei Ventilen mit 3 Schalterstellungen ist die mittlere Stellung 0 die Ruhelage bzw. Ausgangsstellung.</div> </div>																
Anordnung der Bauglieder <ul style="list-style-type: none"> Bauglieder einer Steuerkette werden von unten nach oben in Richtung des Energieflusses angeordnet. Bauglieder gleicher Steuerfunktion sollten möglichst in gleicher Ebene nebeneinander angeordnet werden. Die gesamte Steuerkette wird in Ruhelage und in der Ausgangsstellung dargestellt; Pneumatikpläne werden unter Druck dargestellt. Die Zylinder sollten möglichst waagrecht und mit Ausfahren nach rechts dargestellt werden. 	Bezeichnung der Anschlüsse <p>Grundsätzlich sollten die Anschlüsse im Schaltplan so bezeichnet werden, wie die einzubauenden Originalbauteile.</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>P</td> <td>Druckanschluss, Zufluss</td> </tr> <tr> <td>2, 4</td> <td>B, A</td> <td>Arbeitsanschlüsse (gerade Nr.)</td> </tr> <tr> <td>3, 5</td> <td>S, R, bzw. T, L</td> <td>Entlüftung, Abfluss (ungerade Nr.)</td> </tr> <tr> <td>10, 12, 14</td> <td>X, Z, Y</td> <td>Steueranschlüsse, (12 bedeutet, bei Signal Anschlussverbindung von 1 nach 2)</td> </tr> </table>	1	P	Druckanschluss, Zufluss	2, 4	B, A	Arbeitsanschlüsse (gerade Nr.)	3, 5	S, R, bzw. T, L	Entlüftung, Abfluss (ungerade Nr.)	10, 12, 14	X, Z, Y	Steueranschlüsse, (12 bedeutet, bei Signal Anschlussverbindung von 1 nach 2)				
1	P	Druckanschluss, Zufluss															
2, 4	B, A	Arbeitsanschlüsse (gerade Nr.)															
3, 5	S, R, bzw. T, L	Entlüftung, Abfluss (ungerade Nr.)															
10, 12, 14	X, Z, Y	Steueranschlüsse, (12 bedeutet, bei Signal Anschlussverbindung von 1 nach 2)															
Kennzeichnung der Bauglieder <p>Beispiel eines Kennzeichnungsschlüssels:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin: 10px 0;"> 10 - 1 S 2 </div> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center; font-size: 0.8em;"> <tr> <td>Anlagen-Nummer</td> <td>Schaltkreis-Nummer</td> <td>Bauteil-Kennzeichnung</td> <td>Bauteil-Nummer</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> Das Bauteilkennzeichen wird mit einem Rahmen versehen. Nur wenn der Schaltplan aus mehreren Anlagen besteht, wird die Anlagennummer, beginnend mit 1, angegeben. Steuerketten erhalten eine Nummer. Alle Bauteile einer Steuerkette bekommen die gleiche Nummer, ausgenommen Signalglieder, die einem anderen Antriebsglied zugeordnet sind. Versorgungs-, Aufbereitungs-, Zubehör- und Hauptventilglieder beginnen vorzugsweise mit der Ziffer 0. Die Bauteilkennzeichnung besteht aus einem Buchstaben für: <table border="0" style="width: 100%; margin-top: 5px;"> <tr> <td>Pumpen, Kompressoren</td> <td>P</td> </tr> <tr> <td>Antriebe, Aktoren</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Motoren</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>Signalaufnehmer</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td>Ventile und willensabhängige Signalglieder</td> <td>V</td> </tr> <tr> <td>andere Bauteile (oder ein anderer nicht belegter Buchstabe)</td> <td>Z</td> </tr> </table> <p>Alle Bauteile innerhalb einer Steuerkette erhalten eine fortlaufende Bauteil-Nummerierung beginnend mit 1.</p>	Anlagen-Nummer	Schaltkreis-Nummer	Bauteil-Kennzeichnung	Bauteil-Nummer	Pumpen, Kompressoren	P	Antriebe, Aktoren	A	Motoren	M	Signalaufnehmer	S	Ventile und willensabhängige Signalglieder	V	andere Bauteile (oder ein anderer nicht belegter Buchstabe)	Z	Bezeichnungsbispiel von Steueranschlüssen¹⁾ <p>¹⁾ Die Anschlussbezeichnungen in Klammern können bei einigen Herstellern alternativ zu Anschlussnummern vorkommen. Insbesondere in der Hydraulik werden vorzugsweise nach Buchstaben verwendet.</p>
Anlagen-Nummer	Schaltkreis-Nummer	Bauteil-Kennzeichnung	Bauteil-Nummer														
Pumpen, Kompressoren	P																
Antriebe, Aktoren	A																
Motoren	M																
Signalaufnehmer	S																
Ventile und willensabhängige Signalglieder	V																
andere Bauteile (oder ein anderer nicht belegter Buchstabe)	Z																
	Bezeichnung der Einbaustellen an Zylindern <p>Bei Betätigung von Signal- oder Stellgliedern durch Arbeitsglieder wie Zylinder, wird die Betätigungsstelle durch einen senkrechten Strich am Zylinder gekennzeichnet und mit der Gerätenummer versehen.</p> <p>Die Signalaufnehmer an den Arbeitsgliedern (Zylindern) erhalten die Steuerketten-Nummer des Arbeitsgliedes. Der Signalaufnehmer, der den eingefahrenen Zustand signalisiert, bekommt immer die Kennung S1, der Signalaufnehmer, der den ausgefahrenen Zustand signalisiert, bekommt immer die Kennung S2.</p> <p>Beispiel: Pneumatikventile: Rollenventil 1S1 ist betätigt. Rollenventil 1S2 wird im ausgefahrenen Zustand betätigt. Rollenhebelventil 1S5 wird nur kurzzeitig beim Einfahren betätigt. Elektropneumatikventile: Näherungsschalter 1B1 ist durch magnetische Kolbenfläche betätigt. Näherungsschalter 1B2 und Rollentaster 1S2 werden im ausgefahrenen Zustand betätigt. Rollenhebel-taster 1S1 wird nur kurzzeitig beim Einfahren betätigt.</p>																

Pneumatische Steuerung

Beispiel einer pneumatischen Steuerung

Lageplan und Funktionsfolge

Funktionsfolge: A+ B+ B- A-

Funktionsdiagramm

— Schritt-Diagramm
 — Wege
 — Signallinien

Spannzyylinder A
 1A1
 vor 1
 zurück 0

Vorschubzylinder
 2A1
 hoch 0

Pneumatikschaltplan mit zwei Zylindern

Schaltkreis 1 (Steuerkette)

Schaltkreis 2 (Steuerkette)

Arbeitsglied

Zwischenglied (zwischen Stell- und Arbeitsglied)

Stellglied

Steuerglied

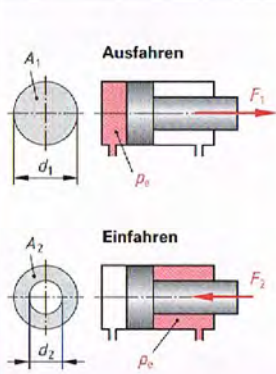
Signalglied

Energie-Verteilung

Versorgungsglieder

Berechnungen zur Pneumatik und Hydraulik

Kolbenkräfte



p_o Überdruck
 A_1, A_2 Kolbenflächen
 F_1 Kolbenkraft beim Ausfahren
 F_2 Kolbenkraft beim Einfahren
 d_1 Kolbendurchmesser
 d_2 Kolbenstangendurchmesser
 η Wirkungsgrad

Beispiel:
 Hydrozylinder mit $d_1 = 100$ mm, $d_2 = 70$ mm, $\eta = 0,85$ und $p_o = 6$ MPa.
 Wie groß sind die wirksamen Kolbenkräfte?

Ausfahren:
 $F_1 = p_o \cdot A_1 \cdot \eta = 600 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ cm})^2}{4} \cdot 0,85 = 40\,055 \text{ N}$

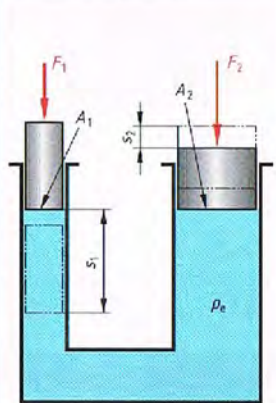
Einfahren:
 $F_2 = p_o \cdot A_2 \cdot \eta = 600 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{\pi \cdot [(10 \text{ cm})^2 - (7 \text{ cm})^2]}{4} \cdot 0,85 = 20\,428 \text{ N}$

Wirksame Kolbenkraft

$$F = p_o \cdot A \cdot \eta$$

Hinweis:
1 MPa = 10 bar

Hydraulische Presse



Druck breitet sich in abgeschlossenen Flüssigkeiten oder Gasen nach allen Richtungen gleichmäßig aus.

F_1 Kraft am Druckkolben
 F_2 Kraft am Arbeitskolben
 A_1 Fläche des Druckkolbens
 A_2 Fläche des Arbeitskolbens
 s_1 Weg des Druckkolbens
 s_2 Weg des Arbeitskolbens
 i hydraulisches Übersetzungsverhältnis

Beispiel:
 $F_1 = 200$ N; $A_1 = 5$ cm²; $A_2 = 500$ cm²;
 $s_2 = 30$ mm; $F_2 = ?$; $s_1 = ?$; $i = ?$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot A_2}{A_1} = \frac{200 \text{ N} \cdot 500 \text{ cm}^2}{5 \text{ cm}^2} = 20\,000 \text{ N} = 20 \text{ kN}$$

$$s_1 = \frac{s_2 \cdot A_2}{A_1} = \frac{30 \text{ mm} \cdot 500 \text{ cm}^2}{5 \text{ cm}^2} = 3000 \text{ mm}$$

$$i = \frac{F_1}{F_2} = \frac{200 \text{ N}}{20\,000 \text{ N}} = \frac{1}{100}$$

Verhältnisse:
Kräfte, Flächen, Wege

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$$

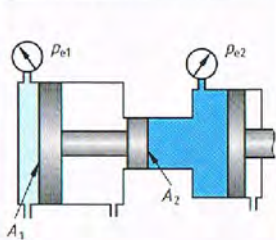
$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

Übersetzungsverhältnis

$$i = \frac{F_1}{F_2}$$

Druckübersetzer



A_1, A_2 Kolbenflächen
 p_{o1} Überdruck an der Kolbenfläche A_1
 p_{o2} Überdruck an der Kolbenfläche A_2
 η Wirkungsgrad des Druckübersetzers

Beispiel:
 Druckübersetzer mit
 $A_1 = 200$ cm²; $A_2 = 5$ cm²; $\eta = 0,88$;
 $p_{o1} = 0,7$ MPa = 70 N/cm²; $p_{o2} = ?$
 $p_{o2} = p_{o1} \cdot \frac{A_1}{A_2} \cdot \eta = 70 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{200 \text{ cm}^2}{5 \text{ cm}^2} \cdot 0,88 = 2\,464 \text{ N/cm}^2 = 24,64 \text{ MPa}$

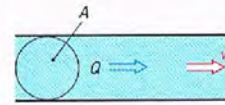
Überdruck

$$p_{o2} = p_{o1} \cdot \frac{A_1}{A_2} \cdot \eta$$

Hinweis:
1 MPa = 10 bar

Berechnungen zur Hydraulik

Durchflussgeschwindigkeiten



v, v_1, v_2 Durchflussgeschwindigkeiten
 Q, Q_1, Q_2 Volumenströme
 A, A_1, A_2 Querschnittsflächen

Durchflussgeschwindigkeit

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

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Kontinuitätsgleichung

In einer Rohrleitung mit wechselnden Querschnittsflächen fließt in der Zeit t durch jeden Querschnitt der gleiche Volumenstrom q_v .

Beispiel:

Rohrleitung mit $A_1 = 19,6$ cm²; $A_2 = 8,04$ cm² und $Q = 120$ l/min; $v_1 = ?$; $v_2 = ?$

$$v_1 = \frac{Q}{A} = \frac{120\,000 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}}{19,6 \text{ cm}^2} = 6162 \frac{\text{cm}}{\text{min}} = 1,02 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

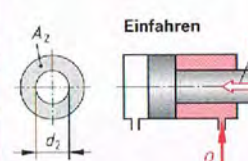
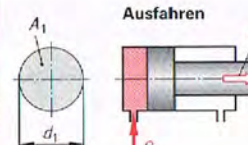
$$v_2 = \frac{v_1 \cdot A_1}{A_2} = \frac{1,02 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 19,6 \text{ cm}^2}{8,04 \text{ cm}^2} = 2,49 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Volumenstrom

$$Q_1 = Q_2$$

$$Q = A \cdot v$$

Kolbengeschwindigkeiten



Q Volumenstrom
 A_1, A_2 wirksame Kolbenflächen
 v_1, v_2 Kolbengeschwindigkeiten

Kolbengeschwindigkeit

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

Beispiel:

Hydrozylinder mit Kolbendurchmesser $d_1 = 50$ mm, Kolbenstangendurchmesser $d_2 = 32$ mm und $Q = 12$ l/min.
Wie hoch sind die Kolbengeschwindigkeiten?

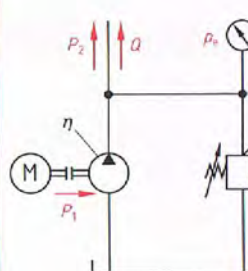
Ausfahren:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{12\,000 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}}{\pi \cdot (5 \text{ cm})^2 / 4} = 611 \frac{\text{cm}}{\text{min}} = 6,11 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Einfahren:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{12\,000 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}}{\pi \cdot (5 \text{ cm})^2 / 4 - \pi \cdot (3,2 \text{ cm})^2 / 4} = 1035 \frac{\text{cm}}{\text{min}} = 10,35 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Leistung von Pumpen und Zylindern



P_1 zugeführte Leistung
 P_2 abgegebene Leistung
 Q Volumenstrom
 p_o Überdruck
 η Wirkungsgrad der Pumpe
 M Drehmoment
 n Drehzahl
 60 Umrechnungsfaktor
 9550 Umrechnungsfaktor

Abgegebene Leistung

$$P_2 = \frac{Q \cdot p_o}{60}$$

Zugeführte Leistung

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}$$

$$P_1 = \frac{M \cdot n}{9550}$$

Als Zahlenwertgleichung mit:
 P in kW, Q in l/min, p_o in MPa

Beispiel:
 Pumpe mit $Q = 40$ l/min; $p_o = 12,5$ MPa; $\eta = 0,84$;
 $P_1 = ?$; $P_2 = ?$

$$P_2 = \frac{Q \cdot p_o}{60} = \frac{40 \cdot 12,5}{60} = 8,333 \text{ kW}$$

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{8,333 \text{ kW}}{0,84} = 9,920 \text{ kW}$$

Hinweis:
1 MPa = 10 bar

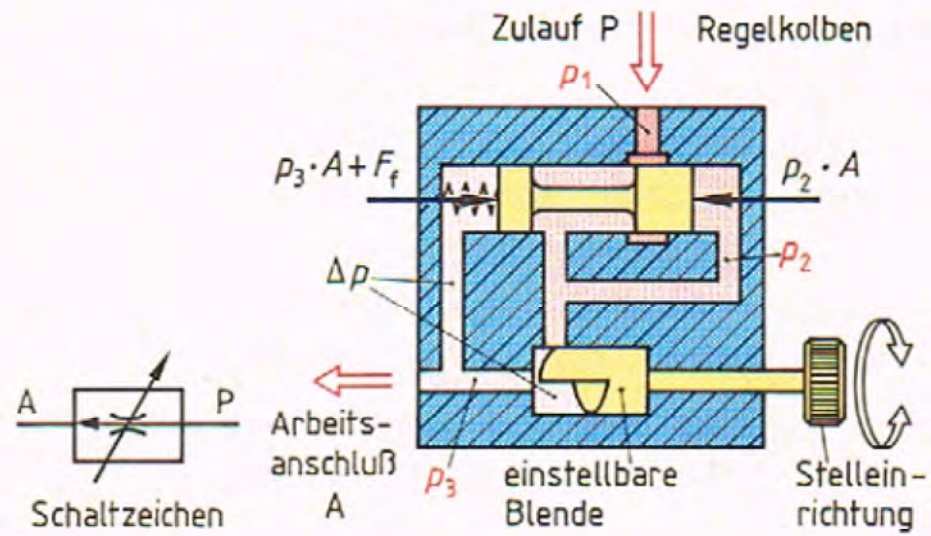


Bild 3: Stromregelventil

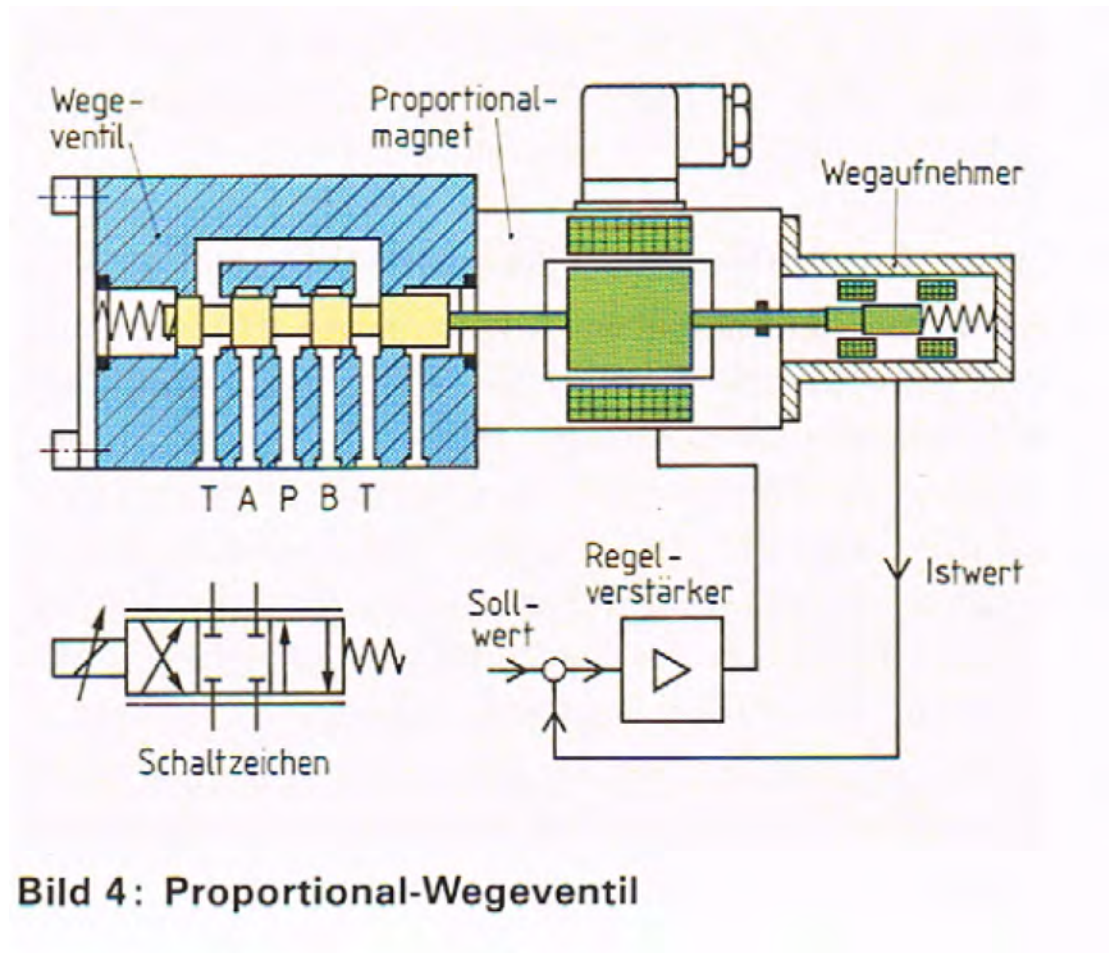
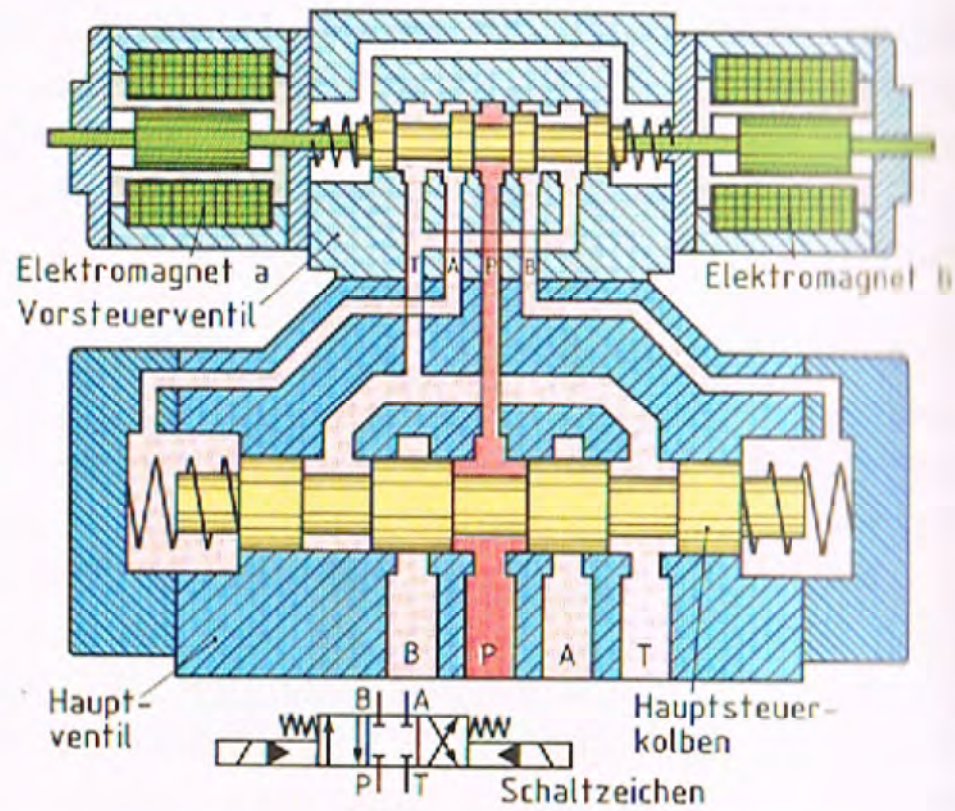


Bild 4: Proportional-Wegeventil

Bild 1: 4/2-Wegeventil



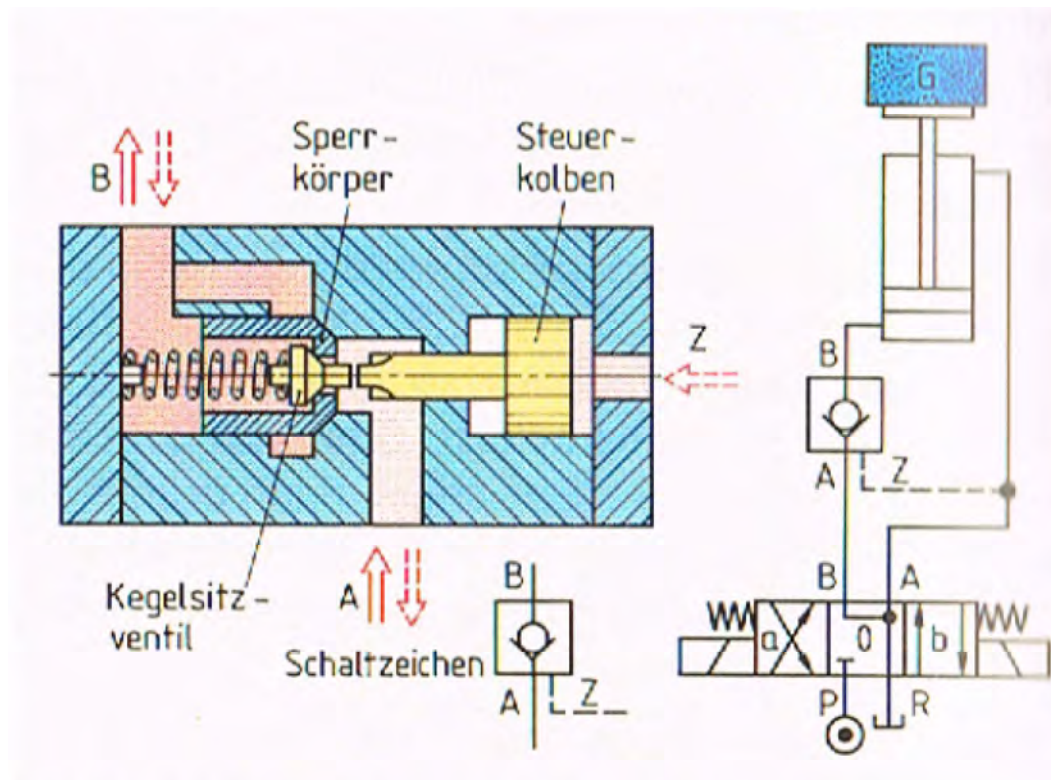


Bild 3: Entsperrbares Rückschlagventil