

## TEIL 4:

# HYDRAULISCHE KOMPONENTEN ZUR ENERGIESTEuerung

1	Einleitung .....	4-2
2	Betätigung bzw. Ansteuerung von Ventilen .....	4-3
2.1	Schaltende elektromechanische Wandler .....	4-4
2.2	Proportional wirkende elektromechanische Wandler .....	4-5
2.3	Torque-Motoren .....	4-6
2.4	Proportionalmagnete .....	4-7
3	Wegeventile .....	4-10
3.1	Nichtdrosselnde Wegeventile .....	4-14
3.2	Drosselnde Wegeventile .....	4-17
3.3	Betriebsverhalten von Wegeventilen .....	4-20
4	Sperrventile .....	4-26
5	Druckventile .....	4-28
5.1	Druckbegrenzungsventile .....	4-28
5.2	Druckverhältnisventile .....	4-29
5.3	Folgeventile .....	4-30
5.4	Druckregel- oder Druckreduzierventile .....	4-30
5.5	Differenzdruckregelventile .....	4-31
5.6	Verhältnisdrukregelventile .....	4-31
5.7	Proportional-Druckventile .....	4-32
5.8	Betriebsverhalten von Druckventilen .....	4-33
6	Stromventile .....	4-35
6.1	Drosselventile .....	4-35
6.2	Stromregelventile .....	4-37
6.3	Stromteilerventile .....	4-38
7	Literatur .....	4-40

# 1 EINLEITUNG

Im letzten Kapitel wurden verschiedene Maschinen zur Energieumwandlung vorgestellt und erläutert. Mit Hilfe der Maschinen kann z. B. mechanische in hydraulische Energie umgeformt werden. Dabei bleibt aber jeweils die umgesetzte Energie, abzüglich etwaiger Verluste, gleich. Damit jedoch hydraulische Anlagen ordentlich betrieben werden können, ist es notwendig, die Leistung zu steuern bzw. zu regeln.

In diesem Kapitel werden Ventile näher erläutert, mit denen in der Hydraulik Energie- bzw. Leistungssteuerung oder -regelung vorgenommen wird. In der DIN/ISO 1219 werden sie zusammenfassend wie folgt beschrieben:

Definition

**„Ventile sind Geräte zur Steuerung und Regelung von Start, Stop und Richtung sowie Druck und Durchfluß (Volumenstrom) des von der Hydraulikpumpe geförderten oder in einem Behälter gespeicherten Druckmittels“.**

Entsprechend der so definierten Aufgaben können Ventile in vier Gruppen eingeteilt werden. Dies sind

- Weeventile,
- Sperrventile,
- Druckventile und
- Stromventile.

Diese Ventile werden heutzutage weitestgehend in standardisierten Ausführungen verwendet. Die dazu von Komponenten-Herstellern angebotenen Komponenten decken üblicherweise den technischen Bedarf ausreichend ab. Dies beinhaltet sowohl die unterschiedlichen Energie- und Leistungsniveaus als auch die dynamischen Eigenschaften. In diesem Abschnitt sollen die wichtigsten Ventile in ihrem Aufbau und in ihrer Funktion dargestellt werden.

Zuvor werden die verschiedenen Betätigungs- bzw. Ansteuerungsformen erläutert, mit denen Ventile betätigt werden. Die unterschiedlichen Formen der Betätigung von Ventilen sind dabei oft unabhängig von der eigentlichen Funktion des Ventils.

## 2 BETÄTIGUNG BZW. ANSTEUERUNG VON VENTILEN

Die Betätigung bzw. Ansteuerung von Ventilen kann in die drei Gruppen

- Mechanische Elemente,
- elektrische Elemente und
- hydraulische Elemente

unterteilt werden.

mechanische  
Ansteuerungen

Die mechanische Betätigung von Ventilen dient nahezu ausschließlich der Steuerung von hydraulischen Systemen. Die Betätigung erfolgt dabei über Handhebel, Pedale, Taster usw. Diese Betätigungsmittel müssen jedoch im allgemeinen direkt am Ventil angebracht werden, so daß sie nicht für Fernsteuerungen verwendet werden können. Darüber hinaus sind sie nur für begrenzte Stellkräfte geeignet und für viele Anwendungen zu ungenau.

druckbetätigte  
Ansteuerungen

Eine Alternative dazu stellen druckbetätigte Ansteuerungen von Ventilen dar. Sie ermöglichen deutlich größere Stellkräfte, die mittels Leitungen auch über größere Entfernungen übertragen werden können. Dabei wird zwischen direkter Druckbetätigung und indirekter Druckbetätigung durch Vorsteuerventile unterschieden. Bei direkter Druckbetätigung wird der Steuerkolben des Ventils direkt mit Druck beaufschlagt. Diese Ventile werden als einstufige Ventile bezeichnet.

Bei der indirekten Druckbetätigung wird der Ölvolumenstrom zur Ansteuerung des Hauptventils über ein Vorsteuerventil gesteuert bzw. geregelt. Diese Ventile werden als zweistufige Ventile bezeichnet. Der Vorteil dieser Ansteuerung liegt in der geringen Kraft zur Betätigung des Vorsteuerventils. Zweistufige Ventile werden in hydraulischen Systemen mit hohen Drücken und großen Volumenströmen verwendet.

elektrische  
Ansteuerung

Mit dem Einzug der digitalen Informationsverarbeitung in technische Systeme finden natürlich auch elektrisch betätigte Ventile stärker Verwendung in hydraulischen Systemen. Dabei wird der Steuerschieber eines Ventils durch Eingabe eines elektrischen Stroms in einen mit dem Schieber verbundenen Elektromagneten betätigt. Da hier die elektrische Eingangsgröße in eine mechanische Ausgangsgröße umgewandelt wird, werden diese Ansteuerungen als elektromechanische Wandler bezeichnet.

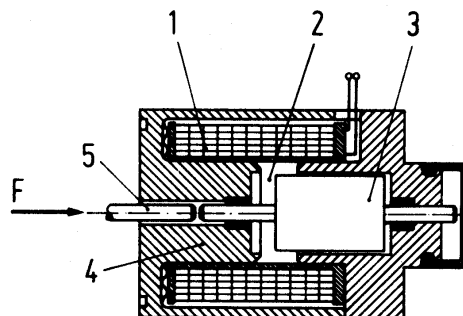
Bei elektromechanischen Wandlern wird zwischen schaltenden und

proportional wirkenden Wandlern unterschieden. Bei schaltenden Wandlern wird der Steuerkolben des Ventils durch einen mit Strom erregten Elektromagneten in die jeweils vorgegebene Endstellung bewegt. Der Rückhub des Steuerkolbens bei Ausschalten des Stroms erfolgt mittels einer Feder.

Die proportional wirkenden Wandler arbeiten mit Proportionalmagneten. Diese Magneten stellen entweder einen dem Strom proportionalen Weg oder eine dem Strom proportionale Kraft. Die schaltenden und die proportional wirkenden Wandler werden in den folgenden beiden Abschnitten näher erläutert.

## 2.1 SCHALTENDE ELEKTROMECHANISCHE WANDLER

Als schaltende elektromechanische Wandler werden Hubmagnete verwendet, die den Ventilschieber in seine beiden Endstellungen bewegen. Bild 4.1 zeigt einen schematisiert dargestellten Gleichstrommagneten. Sobald die Spule des Magneten erregt wird, werden die einander im Luftspalt gegenüberliegenden Stirnflächen des Ankers und des Polkerns polarisiert. Die dadurch entstehende Anziehungskraft bewegt den Anker bei Verringerung des Luftspalts bis zum Anschlag an den Polkern. Über die Führungsstange wird der Ventilschieber betätigt.



**Bild 4.1: Gleichstrom-Hubmagnet (nach Bosch)**  
[Spule (1), Luftspalt (2), Anker (3), Polkern (4), Führungsstange (5)]

Der schaltende elektromechanische Wandler kann ebenfalls mit einem Wechselstrommagneten betrieben werden. Der Wechselstrommagnet schaltet deutlich schneller als der Gleichstrommagnet, d. h. innerhalb 1/3 der Zeit, die ein Gleichstrommagnet benötigt. Darüber hinaus besitzt er eine größere Anzugskraft und eine einfachere Baustruktur. Die schlechten Schaltzeiten des Gleichstrommagneten können jedoch durch Maßnahmen, wie Schnellerregung oder Übererregung, teilweise ausgeglichen werden.

Für den Betrieb schaltender Ventile werden Gleichstrom- und Wechsel-

strommagnete verwendet, die es als sogenannte trockene und nasse Magnete gibt. Nasse Magnete arbeiten in Öl und müssen daher nicht abgedichtet werden. Trockene Magnete müssen jedoch gegen den Ölraum abgedichtet werden. Bei nassen Magneten übt das Öl eine stoßdämpfende Wirkung aus.

Der Gleichstrommagnet ist sehr unempfindlich gegen häufiges Schalten und gegen Durchbrennen bei Verklemmung. Darüber hinaus arbeitet er auch weicher als der Wechselstrommagnet. Da er sich auch bei voll ausgefahrenem Anker wenig erwärmt, gilt er als sehr betriebssicher und wird daher auch am häufigsten verwendet.

Allgemein können Elektromagnete wegen ihrer relativ geringen Kraft- bzw. Leistungsdichte nur begrenzt für die direkte Betätigung von Ventilen verwendet werden. Daher haben sie eine größere Bedeutung für die Betätigung von Vorsteuerventilen.

## 2.2 PROPORTIONAL WIRKENDE ELEKTROMECHANISCHE WANDLER

Proportional wirkende elektromechanische Wandler finden immer stärker Verwendung in der Entwicklung hydraulischer Steuer- und Regelungseinrichtungen. Damit verlieren die bereits beschriebenen schaltenden Wandler an Bedeutung. Mit den proportional schaltenden Wandlern können die Betriebsgrößen, wie Kräfte, Drehmomente, Drehzahlen oder Geschwindigkeiten, stufenlos eingestellt werden. Dies erfolgt mittels Wege-, Strom- oder Druckventilen, die das Eingangssignal des Stroms in eine proportionale Ausgangsgröße, d. h. in einen stufenlos einstellbaren Volumenstrom oder Druck, umwandeln. Für Signaleingabe, Signalübertragung und Signalverarbeitung haben sich in erster Linie elektrische bzw. elektronische Mittel durchgesetzt [Matthies].

Servoventile	Der Ursprung der proportional wirkenden Wandler liegt in der Luft- und Raumfahrttechnik, wo für Präzisionsaufgaben elektrohydraulische Servoventile entwickelt wurden. Diese Ventile erfüllen hohe Ansprüche an ihr Betriebsverhalten, stellen aber selbst sehr hohe Ansprüche an Fertigung und Wartung. Ihre Eigenschaft, einen dem elektrischen Signal proportionalen Ölvolumenstrom zu liefern, erwies sich ebenfalls als wünschenswert für andere Einsatzbedingungen, wie die Regelung von Fertigungsmaschinen und in der Mobilhydraulik.
Industrie-	Für diese rauheren Einsatzbedingungen mußten die sehr feinen Servo-

Servoventilen ventile der Luft- und Raumfahrttechnik entfeinert und verbilligt werden. Diese Entwicklung führte zu sogenannten Industrie-Servoventilen, die überwiegend als vorgesteuerte Ventile gebaut werden. Sowohl bei Industrie-Servoventilen als auch bei elektrohydraulischen Servoventilen werden sogenannte Torque-Motoren als elektromechanische Wandler verwendet. Elektromechanische Wandler mit Tauschspulen finden dagegen seltener Verwendung.

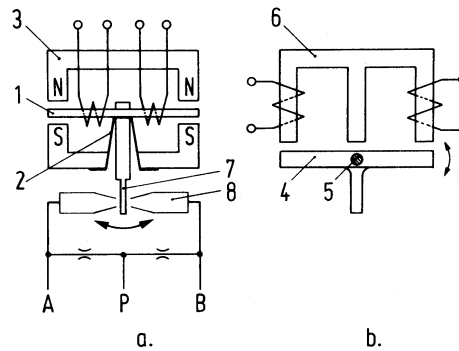
Proportional-ventilen Das Bestreben, unter Verzicht auf höhere Genauigkeit der Servoventile noch weitere vereinfachte, proportional wirkende Ventile zu entwickeln, führte schließlich zu den sogenannten Proportionalventilen. Diese werden von einem Gleichstrommagneten angesteuert, der eine Kraft oder eine Hubbewegung erzeugt, die proportional zum eingegebenen elektrischen Signal ist. Mit dieser Kraft bzw. Hubbewegung wird über das Ventil ein ebenfalls dem elektrischen Strom proportionaler Volumenstrom oder Druck erzeugt.

Ein Unterschied zwischen den zur Ansteuerung von Servoventilen verwendeten Torque-Motoren und den für Proportionalventile verwendeten Proportionalmagneten besteht in der benötigten Eingangsleistung. Torque-Motoren benötigen ca.  $10^{-2}$  bis 10 Watt, Proportionalmagnete erfordern dagegen ca. 10 bis  $10^2$  Watt.

Im Vergleich zu den später behandelten Schaltventilen sind die Servo- und Proportionalventile schmutzempfindlicher und in der Anschaffung teurer.

## 2.3 TORQUE-MOTOREN

Torque-Motoren können in Bezug auf ihr Magnetfeld unterschieden werden. Das für den Motor benötigte Magnetfeld kann entweder mit einem Permanentmagneten (Bild 4.2 links) oder mit einem Elektromagneten (Bild 4.2 rechts) erzeugt werden. Bei der Erregung mit dem Permanentmagneten kann der Anker, der auf einer Biegefeder gelagert ist, eine kleine Drehbewegung zwischen den Polen des Magneten ausführen. Werden die Spulen des Ankers von entgegengesetzten, aber gleich großen Strömen durchflossen, so heben die Magnetfelder der Spulen in der dargestellten Neutralstellung des Ankers einander auf. Werden die Spulen jedoch von unterschiedlichen Strömen durchflossen, so verdreht sich der Anker.



**Bild 4.2: Torque-Motoren**  
**[Anker (1), Biegefeder (2), Permanentmagnet (3),**  
**Anker (4), Drehfeder (5), Elektromagnet (6)]**

Bei der Ausführung mit Elektromagneten (Bild 4.2 rechts) ist der Anker an einer Drehfeder befestigt. Die Bewegung des Ankers, d. h. seine Drehung, wird durch zwei gegeneinander wirkende Elektromagneten erzeugt.

Torque-Motoren werden üblicherweise für die Betätigung der ersten Stufe eines Servoventils verwendet. Diese erste Stufe hat eine energieverstärkende Funktion, bei der mit geringen Energien große Energien gesteuert werden. Diese Verstärkung erfolgt oft mit sogenannten Düse-Prallplatten-Verstärkern (Bild 4.2)

Düse-  
Prallplatten-  
Verstärker

Bei Düse-Prallplatten-Verstärkern werden zwei Düsen von einer Pumpe über Drosseln mit Öl beaufschlagt. Befindet sich der Anker in Neutralstellung, so herrscht gleicher Druck in den Leitungen A und B. Wird in einer Spule jedoch der Strom verändert, so verdreht sich der Anker, und die Abstände zwischen der Prallplatte und den Düsen verändern sich. Dadurch wird der Strömungswiderstand auf derjenigen Seite größer, auf der sich der Abstand verringert hat. Damit ergibt sich für diese Seite ein größerer Druck. Wird beispielsweise die Prallplatte zur rechten Düse bewegt, so wird der Druck in der Leitung B steigen und in A sinken. Sind die beiden Kammern A und B mit einem Ventilkolben verbunden, so wird dieser verschoben.

## 2.4 PROPORTIONALMAGNETE

Proportionalmagnete sind in der Lage, die Ausgangsgrößen Kraft und Weg proportional zu dem aufgeschalteten Spulenstrom zu steuern (Bild 4.3).

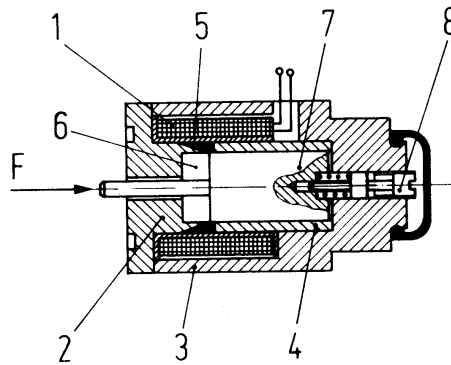


Bild 4.3: Proportionalmagnet

Sobald die Spule (1) des Magneten durch die Eingabe eines Stroms erregt wird, wird im Polkern (2), im Gehäuse (3) und im Führungsrohr (4) ein Magnetfeld aufgebaut. Infolge der Tatsache, daß Polkern und Führungsrohr durch den nichtmagnetischen Ring (5) getrennt sind, kann das Magnetfeld vom Führungsrohr nur über den Radialspalt zum Anker (7) und über den Luftspalt (6) zum Polkern (2) übertreten, so daß der Anker mit entsprechender Kraft angezogen wird. Die Magnetfeld-Hubkraft-Kennlinie kann über die Ausbildung des Steuerkonus am Polkern, ihr Nullpunkt über die Justierschraube (8) verändert werden. Die stufenlose elektrische Ansteuerung des Magneten ermöglicht so eine stufenlose Steuerung von Ventilen.

Proportionalmagnete werden sowohl als kraftgesteuerte wie auch als lagegeregelte Proportionalmagnete verwendet. Bei kraftgesteuerten Proportionalmagneten wird das magnetische Feld über Potentiometer und Verstärker eingestellt. Üblicherweise ist im Verstärker eine Stromregelung integriert, so daß mittels Stromrückführung und Soll-/Istwert-Vergleich im Verstärker Störeinflüsse kompensiert werden. Damit wird der Magnetstrom und somit die Magnetkraft auch bei Änderung des Magnetwiderstands konstant gehalten.

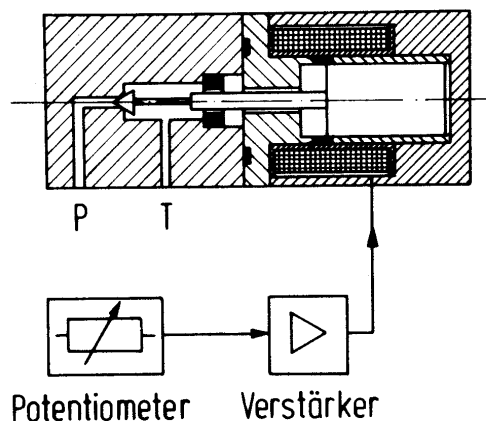


Bild 4.4: Kraftgesteuerter Proportionalmagnet



kraftgesteuerte  
Proportional-  
magnete

Kraftgesteuerte Proportionalmagnete wirken auf einen Ventilkolben gegen eine Feder mit sehr hoher Federsteifigkeit oder können, wie in Bild 4.4 gezeigt, gegen den Kegel eines Druckbegrenzungsventils wirken. Im ersten Fall entsteht nur ein sehr kleiner Magnethub, im zweiten Fall gar kein bzw. nur dann ein kleiner Hub, wenn die aus dem Öldruck resultierende Kraft die Magnetkraft übersteigt.

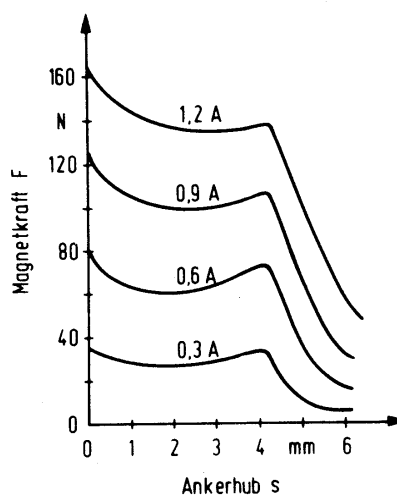
Am Beispiel des Druckbegrenzungsventils kann die auf das Sitzventil wirkende Magnetkraft durch Veränderung des Stroms verändert werden, ohne daß der Anker einen Hub ausführen muß. Der Anker wirkt auf das Ventil wie eine „elektromagnetische Feder“. Durch die Änderung der elektrischen Stromstärke und somit der Magnetkraft kann eine Druckänderung im Hydrauliksystem erreicht werden.

lagegeregelte  
Proportional-  
magnete

Bei lagegeregelten Proportionalmagneten wird der Verstärker durch einen Regler ersetzt, der gewährleistet, daß der Ankerhub bzw. Kolbenweg dem geforderten Sollwert entspricht. Dazu wird der vom Anker zurückgelegte Weg, der proportional zur Stromstärke und zur Magnetkraft ist, mit Hilfe eines induktiven Wegaufnehmers bestimmt und dem Regler als Istwert übergeben. Dieser vergleicht den Istwert mit dem Sollwert und versucht die Differenz durch Veränderung des Magnetstroms zu Null zu machen. Lagegeregelte Proportionalmagnete haben eine sehr geringe Hysterese, da reibungs- und systembedingte Einflüsse mit Hilfe des Reglers kompensiert werden können.

Magnetkraft-Hub-  
Kennlinie

Die Magnetkraft-Hub-Kennlinie zeigt, daß für einen recht großen Bereich der Kraftverlauf relativ unbeeinflusst durch den Ankerhub ist.



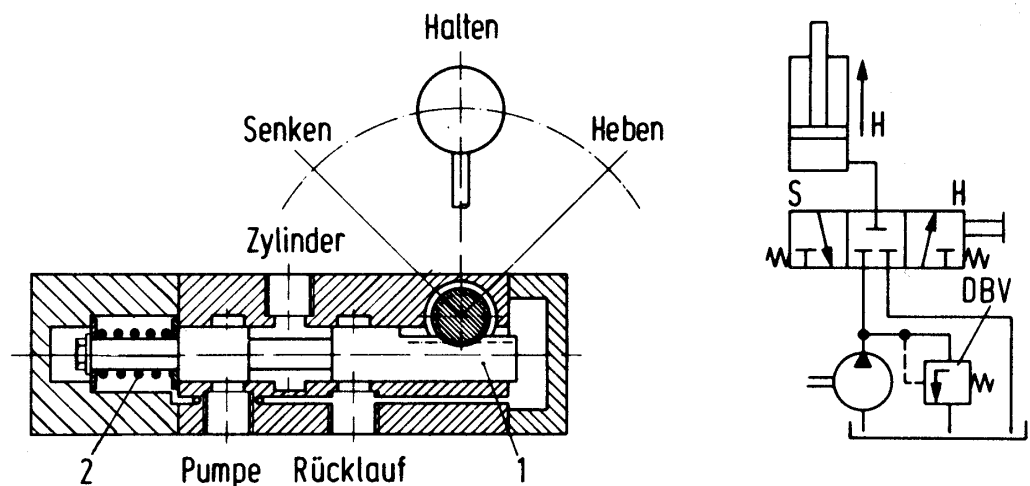
**Bild 4.5: Magnet-Hub-Kennlinie eines lagegeregelten Proportionalmagneten**

### 3 WEGEVENTILE

nichtdrosselnde  
und drosselnde  
Wegeventile

Wegeventile können in nichtdrosselnde und drosselnde Wegeventile unterteilt werden. Nichtdrosselnde Wegeventile besitzen feste Schaltstellungen und können Start, Stop und Richtung von Volumenströmen steuern. Sie haben jedoch nicht die Möglichkeit, den Volumenstrom in seiner Stärke zu variieren. Die Variation des Volumenstroms in Bezug auf seine Stärke ist mit dem drosselnden Wegeventil möglich. Es erlaubt eine stufenlose Verstellung zwischen den beiden Endstellungen des Ventils.

Hinsichtlich ihrer Bauarten unterscheidet man zwischen Schieberventilen und Sitzventilen. Schieberventile wiederum werden in Längsschieberventile und Drehschieberventile unterteilt.



**Bild 4.6: 3/3-Wege-Längsschieberventil  
(mit Handbetätigung und Federrückstellung)**

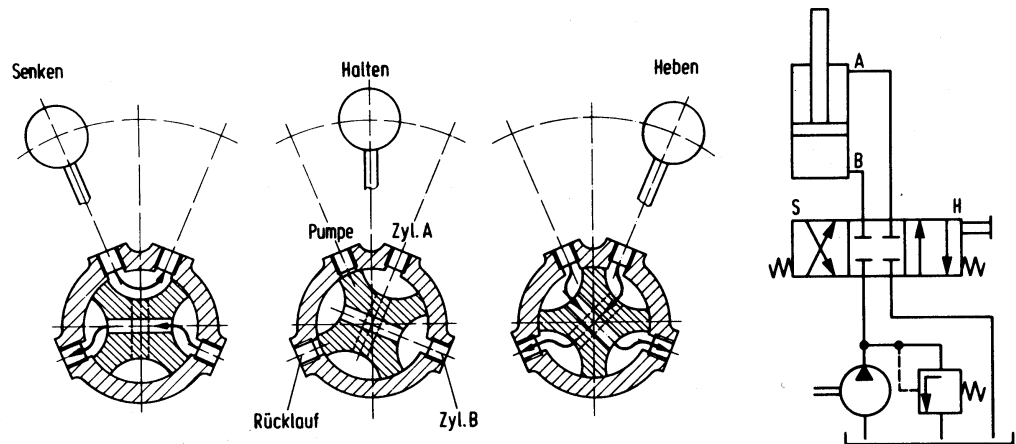
Längsschieber-  
ventil

Das in Bild 4.6 dargestellte Längsschieberventil ist in Ruhestellung gezeichnet. Dabei sind Pumpenanschluß und Rücklauf abgesperrt. Somit muß der kontinuierlich geförderte Volumenstrom der Pumpe durch das Druckbegrenzungsventil abfließen. Der Kolben verharrt in seiner Position. Wird der Handhebel nach links bewegt, so wird der Zylinder mit dem Rücklauf verbunden. Normalerweise wird der Hubzylinder durch eine äußere Kraft (z. B. die Last einer Hebebühne) nach unten gedrückt, so daß das Öl in den Rücklauf verdrängt wird. Wird der Handhebel nach rechts bewegt, so wird die Pumpe mit dem Zylinder verbunden. Damit strömt Öl in den Zylinder und hebt ihn. Eine Besonderheit bei diesem Längsschieberventil ist die Rückstellung des Ventilschiebers in Nullage aus beiden Richtungen mit nur einer Feder.

Drehschieber-  
ventil

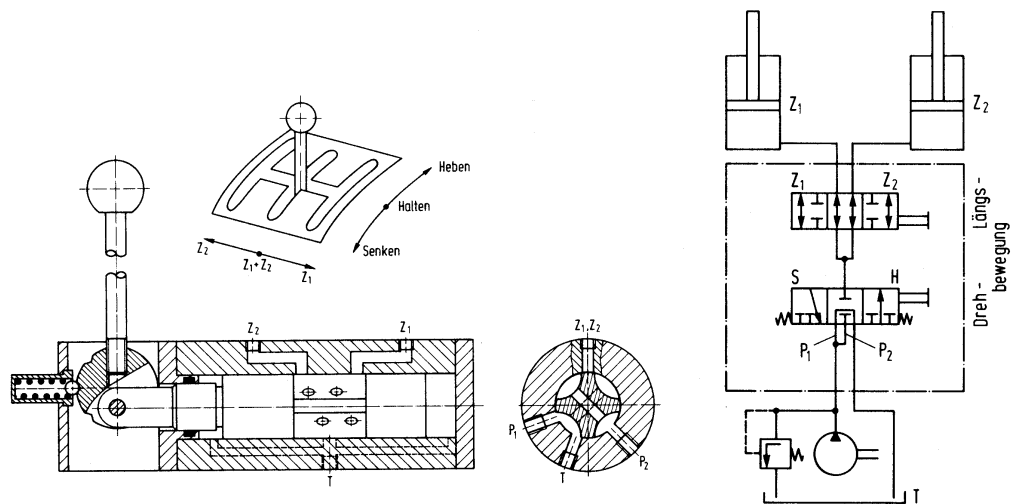
Mit Hilfe des in Bild 4.7 dargestellten Drehschieberventils kann die Pumpe wahlweise mit dem Anschluß A oder B verbunden werden. Dabei

wird jeweils der nicht mit der Pumpe verbundene Anschluß mit dem Rücklauf verbunden.



**Bild 4.7: 4/3-Wege-Drehschieberventil (mit Handbetätigung)**

Diese beiden Schieberventile verbindet man häufig miteinander, um z. B. mit einem Handhebel zwei Zylinder bedienen zu können. Damit können der eine oder der andere oder beide Zylinder gehoben oder gesenkt werden (Bild 4.8). Es können jedoch keine gegenläufigen Bewegungen erzwungen werden.

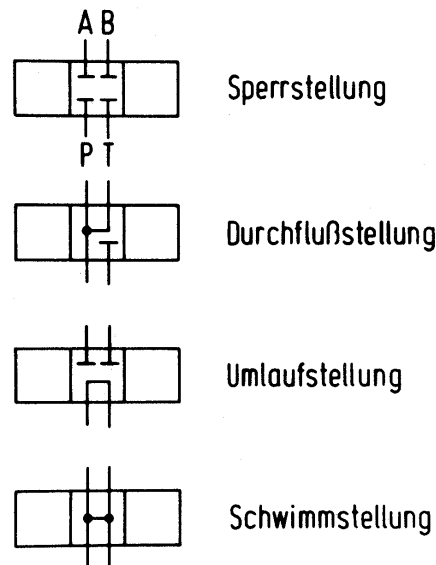


**Bild 4.8: Kombiniertes Dreh-Längsschieberventil mit Einhandbetätigung zur wahlweisen Steuerung von 1 oder 2 Zylindern**

Öldurchfluß in Ruhestellung

Schieberventile werden neben der Art der Betätigung und der Anzahl der Anschlüsse auch durch ihren Öldurchfluß in Ruhestellung unterschieden. Als Ruhestellung wird die Ventilstellung betrachtet, bei welcher der Ventilschieber unbetätigt ist und nur durch interne Kräfte (z. B. Druck-

oder Federkräfte) in seiner Position gehalten wird. Es ergeben sich vier unterschiedliche Durchflüsse (Bild 4.9):



**Bild 4.9: Unterscheidung der Wegeventile nach ihrer Ruhestellung**

- |                   |   |
|-------------------|---|
| Sperrstellung     | Bei der Sperrstellung sind alle Anschlüsse gesperrt, so daß aus dem Verbraucher kein Öl abfließen kann und somit z. B. ein Zylinder in seiner Stellung verharrt. In diesem Fall ist der Anschluß zu einer Pumpe ebenfalls gesperrt, so daß der von ihr geförderte Volumenstrom über ein Druckbegrenzungsventil abgelassen werden muß. |
| Durchflußstellung | Bei der Durchflußstellung kann mittels eines Differentialzylinders, der zwei unterschiedliche Wirkflächen hat, ein Eilgang realisiert werden. Der von der Pumpe geförderte Volumenstrom geht dabei in eine Kammer des Zylinders. Das Öl, das aus der anderen Kammer verdrängt wird, läuft ebenfalls in diese Kammer.                  |
| Umlaufstellung    | Die Umlaufstellung ist der Sperrstellung ähnlich, da hier ebenfalls die Verbraucher abgesperrt sind. Hier wird jedoch der Pumpenvolumenstrom direkt und ohne große Energieverluste in den Tank gefördert.   |
| Schwimmstellung   | In der Schwimmstellung kann der Verbraucher (z. B. der Kolben eines Hydrozylinders) unabhängig von der Hydraulik durch äußere Kräfte frei bewegt werden. Hier würde der Volumenstrom aus einer Kammer in die andere gefördert.  |
| Überdeckung       | Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal für Schieberventile ist die Wahl der Überdeckung. In der Ruhestellung eines Längsschieberventils überdeckt der Kolben des Schiebers die Steuerkanten des Gehäuses um ein gewisses Maß. Dadurch können Leckölverluste vermieden werden.  |

Von besonderer Bedeutung ist die Art der Überdeckung während des Schaltvorgangs, wobei der Schieber die Verbindung zwischen Pumpenanschluß und Rücklaufanschluß auf unterschiedliche Weise herstellen kann.

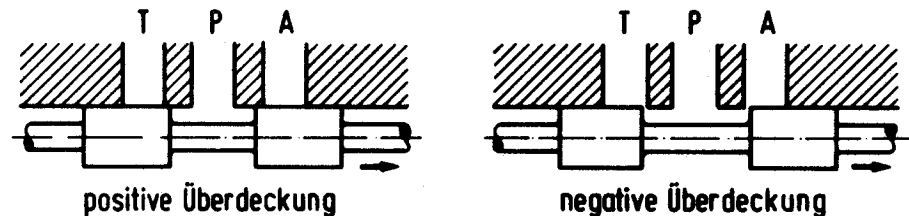


Bild 4.10: Überdeckung von Schieberventilen

positive  
Überdeckung

Verschließt der Kolben beim Öffnen des Ventils zuerst den Rücklauf T und öffnet dann erst den Anschluß A, so spricht man von „positiver Überdeckung“. Dabei sind kurzzeitig Pumpenanschluß P, Verbraucheranschluß A und Rücklauf T voneinander getrennt. Aus Bild 4.10 wird deutlich, daß der Ventilschieber erst einen Weg zurücklegen muß, damit überhaupt Öl durch das Ventil fließt.

negative  
Überdeckung

Wird umgekehrt zuerst die Verbindung zwischen Pumpe und Verbraucher hergestellt und dann erst der Rücklauf abgesperrt, so spricht man von „negativer Überdeckung“. Bei einem Ventil mit negativer Überdeckung sind also kurzzeitig Pumpenanschluß, Verbraucheranschluß und Rücklauf miteinander verbunden.

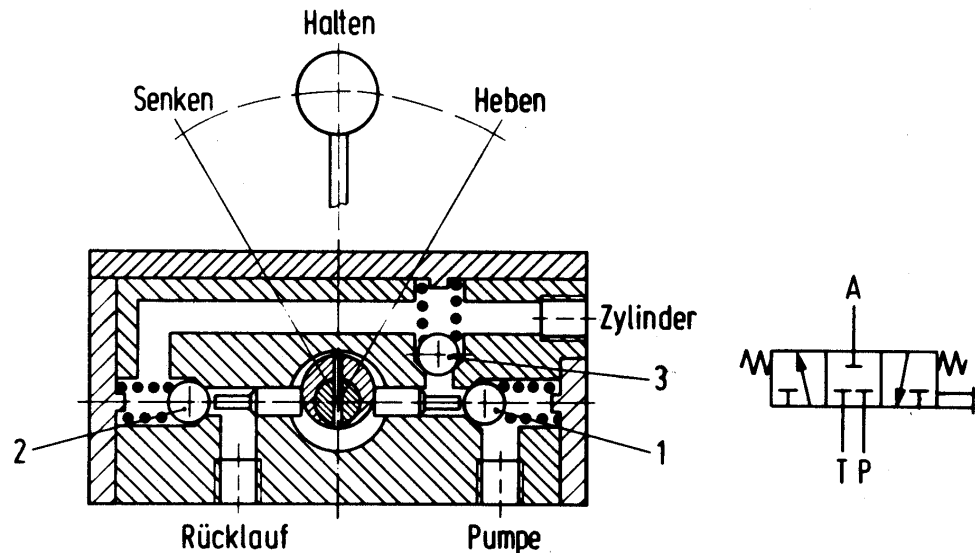
Dies führt zwar zu höheren Leckölverlusten, jedoch mindert eine negative Überdeckung Druckspitzen. Umgekehrt sind bei Ventilen mit positiver Überdeckung die Druckspitzen bzw. Schaltstöße zu erwarten, wohingegen die Leckölverluste geringer sind. Die geringen Leckölverluste können z. B. das Absinken eines unter Druck stehenden Verbrauchers verhindern. Die Druckspitzen bzw. Schaltstöße können dadurch gemindert werden, daß man Kerben im Schieberkolben vorsieht.

Ventile mit negativer Überdeckung besitzen einen Öldurchfluß in Ruhestellung, welcher der Schwimmstellung entspricht. Ventile mit positiver Überdeckung besitzen einen Öldurchfluß in Ruhestellung, welcher der Sperrstellung entspricht.

Sitzventile

Bei Sitzventilen wird der Volumenstrom durch eine Kugel abgesperrt, die durch Federn oder auch zusätzlich durch Öldruck in ihren Sitz gedrückt wird (Bild 4.11). Will man den Volumenstrom zum Heben in den Zylinder leiten, so wird die Kugel durch einen Exzenter und einen Stößel gegen die Federkraft aus ihrem Sitz gedrückt. Beim Senken des Zylinder-

kolbens kann das Öl nur über das dann geöffnete Rückschlagventil 2 in den Rücklauf zurückfließen. Das Rückschlagventil 3 ist durch die Federkraft und durch den Öldruck geschlossen.



**Bild 4.11: 3/3-Wege-Sitzventil mit Stößelbetätigung durch Exzenter**

Die überwiegend verwendeten Längsschieberventile haben gegenüber den Sitzventilen eine Reihe von Vorteilen. Sie sind einfacher und übersichtlicher aufgebaut, erlauben größere Volumenströme, und ihre Kolben können hydrostatisch entlastet werden. Dagegen ist mit gewissen Leckölverlusten durch die Spalte zwischen Kolben und Gehäuse zu rechnen und bei Verunreinigungen auch mit dem Festklemmen des Kolbens.

Die Sitzventile erlauben demgegenüber eine völlige Abdichtung, auch und gerade bei hohen Drücken. Sie neigen jedoch u. U. zum Schwingen des Kugel- oder Kegelkörpers, wodurch Leckölverluste und Betriebsstörungen entstehen können. Darüber hinaus sind sie nur für kleinere Volumenströme geeignet.

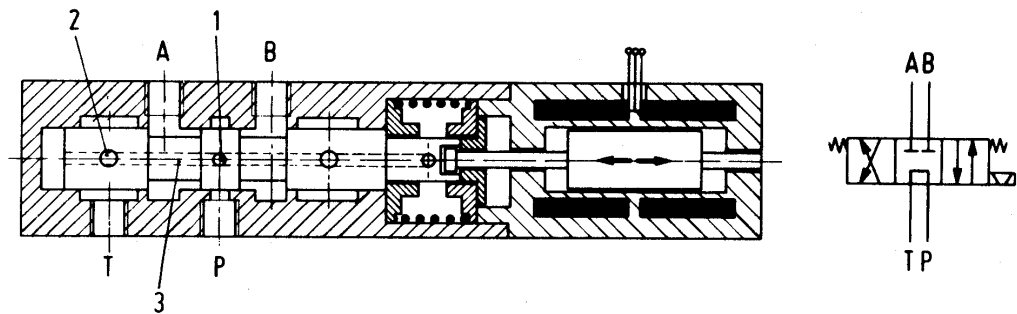
### 3.1 NICHTDROSSELNDE WEGEVENTILE

Mit nichtdrosselnden Wegeventilen können nur zwei Endstellungen und die Mittelstellung eingenommen werden. Es ist nicht möglich, Zwischenstellungen einzunehmen, in denen der durch das Ventil gelassene Volumenstrom gedrosselt werden kann.

Somit erlauben nichtdrosselnde Ventile ausschließlich das Steuern von Start, Stop und der Richtung des Ölstroms. Sie werden auch als „Wegeventil mit festgelegten Schaltstellungen“ oder als „schaltende Wege-

ventile“ bezeichnet.

Die Betätigung der Ventile erfolgt mechanisch, aber auch elektro-mechanisch oder durch Öldruck. Bei Hydraulikanlagen mit kleinen Volumenströmen und niedrigen Drücken erfolgt die Betätigung des Ventils direkt. Werden größere Volumenströme und Drücke gesteuert, so verwendet man vorgesteuerte Wegeventile.



**Bild 4.12: Direkt betätigtes,  
durch Hubmagnet geschaltetes 4/3-Wegeventil  
mit Federrückstellung**

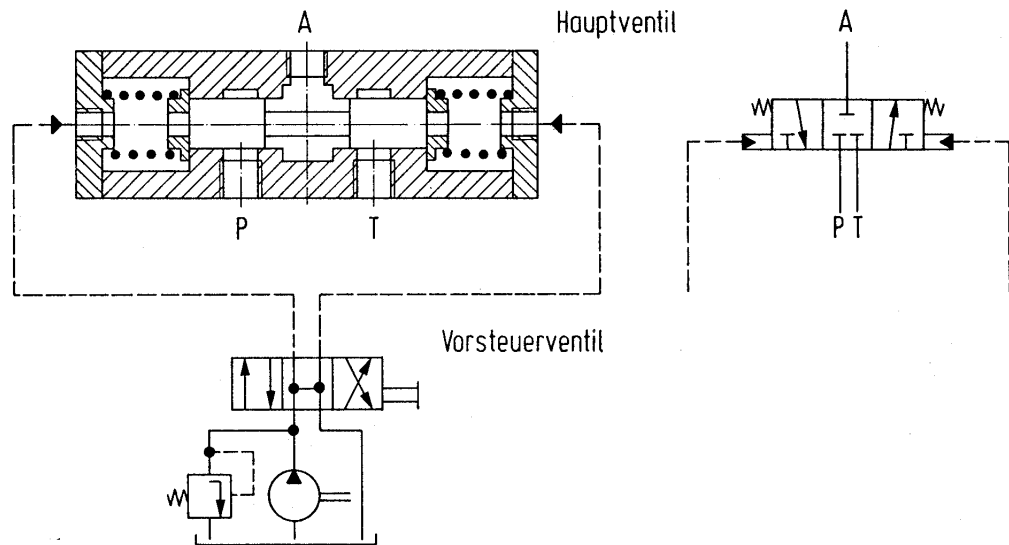
direkt betätigte  
Wegeventile

In Bild 4.12 ist ein direkt betätigtes 4/3-Wegeventil abgebildet, bei dem der Steuerkolben mit Hilfe zweier Hubmagnete bewegt wird. Die Hubmagnete ziehen den Kolben gegen eine Druckfeder in die jeweilige Endstellung. Wenn die Hubmagnete keine Kräfte stellen, dann zieht die Druckfeder den Steuerkolben zurück in die Mittelstellung.

In Mittelstellung fließt der Ölstrom durch die Bohrungen 1, 2 und 3 direkt von der Pumpe in den Tank, muß also nicht verlustreich über ein Druckbegrenzungsventil abgeführt werden. Wird der linke Magnet mit Strom beaufschlagt, so bewegt sich der Steuerkolben nach links. Dadurch wird der Pumpenvolumenstrom von der Pumpe zum Anschluß B gefördert, und der Volumenstrom vom Anschluß A kann zum Tank abfließen.

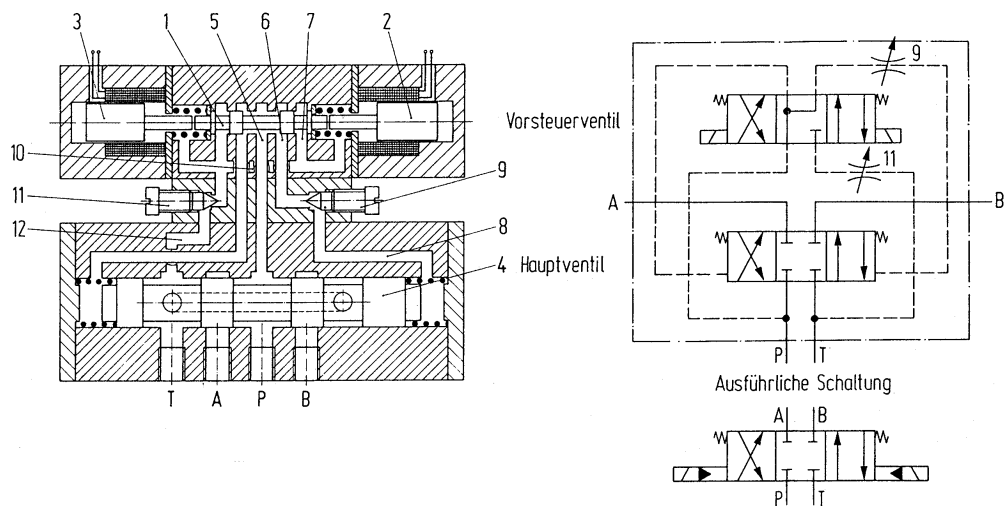
vorgesteuerte  
Wegeventile

Bild 4.13 zeigt ein 3/3-Wegeventil, das sich für größere Volumenströme eignet, da es eine Vorsteuerstufe besitzt. Als Vorsteuerstufe wird ein 4/3-Wegeventil mit Schwimmstellung verwendet. Somit kann sich bei Mittelstellung des Vorsteuerventils der Ventilschieber des Hauptventils entsprechend den Federn einstellen, da sich der Druck, der an beiden Enden des Schiebers anliegt, ausgleichen kann. Wird der Steuerschieber des Vorsteuerventils nach links bewegt, so wird der Steuerkolben des Hauptventils nach links bewegt.



**Bild 4.13: Über Vorsteuerventil betätigtes, durch Öldruck geschaltetes 3/3-Wegeventil mit Federrückstellung**

Das Vorsteuerventil kann auch elektromagnetisch geschaltet werden (Bild 4.14). Befindet sich der Vorsteuerschieber in Mittelstellung, so werden beide Seiten des Hauptsteuerschiebers durch Pumpenöldruck und Federn gleichmäßig belastet.



**Bild 4.14: Über elektromagnetisch geschaltetes Vorsteuerventil betätigtes 4/3-Wegeventil**

Wird der Vorsteuerschieber durch die Magnete nach links bewegt, so wird der Pumpenzufluß zur rechten Seite des Hauptsteuerschiebers abgesperrt und die linke Seite weiter mit Pumpendruck beaufschlagt. Damit bewegt sich der Hauptsteuerschieber nach rechts.

Anmerkung

Der Begriff „nichtdrosselnde“ Ventile besagt nicht, daß ein Volumenstrom



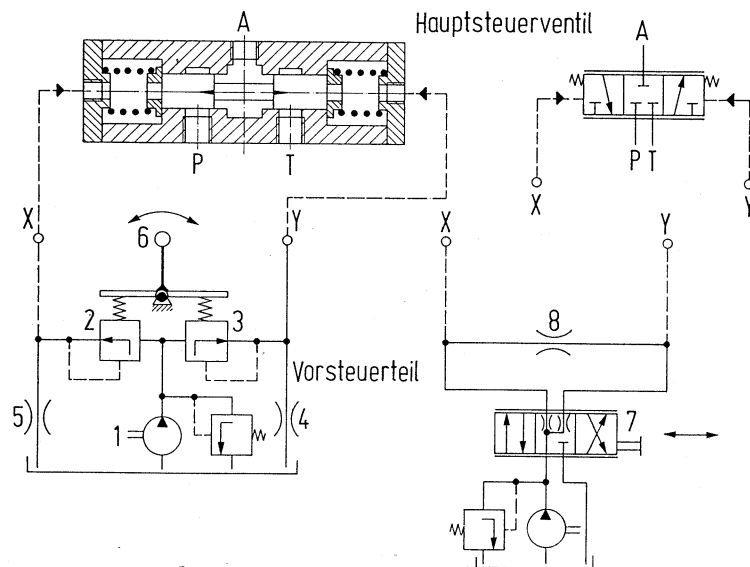
durch das Ventil überhaupt nicht gedrosselt wird. Bedingt durch die jeweils gewählte Bauart, existieren natürlich Verluste. Jedoch ist deren Größe nicht veränderlich, wie bei den im folgenden vorgestellten drosselnden Wegeventilen.

### 3.2 DROSSELNDE WEGEVENTILE

Im Gegensatz zu den nichtdrosselnden Ventilen erlauben drosselnde Ventile eine kontinuierliche, d. h. stufenlose Verstellung. Neben dem Steuern von Stop, Start und der Richtung können sie die Stärke eines Ölstroms steuern. So kann z. B. die Geschwindigkeit eines Kolbens oder die Drehzahl eines Hydraulikmotors variiert werden. Drosselnde Wegeventile werden auch als „Wegeventile ohne festgelegte Schaltstellung“ oder als „stetig verstellbare Wegeventile“ bezeichnet. Die Betätigung der Ventile erfolgt mechanisch oder elektromechanisch.

mechanisch  
betätigt

Die mechanische Betätigung drosselnder Wegeventile wird dort verwendet, wo man, z. B. bei der Handhabung von Hydraulikbaggern, feinfühlig steuern und positionieren muß. Man kann dabei direkt gesteuerte oder indirekt gesteuerte Ventile nutzen. Für die jeweilige Anwendung gilt auch hier, daß vorgesteuerte Ventile für hohe Drücke und Volumenströme verwendet werden.



**Bild 4.15: Handgesteuertes, drosselndes 3/3-Wegeventil mit Vorsteuerventil**

In Bild 4.15 ist ein handbetätigtes, vorgesteuertes 3/3-Wegeventil abgebildet. Die Vorsteuerstufe ist mittels zweier Druckminderventile realisiert, die gewährleisten, daß der Ausgangsdruck unabhängig vom

Eingangsdruck auf einem bestimmten einstellbaren Wert gehalten wird, der kleiner als der Eingangsdruck ist.

Wird der Handhebel des abgebildeten Ventils nach links verstellt, so wird das linke Druckregelventil auf einen höheren Druck eingestellt. Gleichzeitig wird das rechte Druckminderventil auf einen kleineren Druck eingestellt. Somit ergibt sich für den Hauptsteuerkolben des 3/3-Wegeventils ein größerer Druck auf der linken und ein kleinerer Druck auf der rechten Seite. Durch diese Druckänderung wird der Hauptsteuerkolben nach rechts verschoben, so daß der Tankanschluß T mit den Anschluß A verbunden ist.

Diese Vorsteuerart erlaubt die stufenlose Verstellung des Hauptsteuerschiebers und damit eine stufenlose Verstellung des von P nach A fließenden Volumenstroms.

elektro-  
mechanisch  
betätigt

Zu den elektromechanisch betätigten drosselnden Ventilen gehören die schon eingeführten Servo- und Proportionalventile. Der Übergang zwischen den Bauarten ist fließend, so daß die praktischen Ausführungen oftmals schwierig voneinander zu unterscheiden sind.

Servoventile

Elektrohydraulische Servoventile werden für den Einsatz in Regelkreisen verwendet. Abgesehen von ihrer Fähigkeit, einen dem eingegebenen Stromsignal proportionalen Volumenstrom zu erzeugen, erlauben sie eine sehr schnelle Umsetzung des Eingangssignals in die gewünschte Ausgangsgröße und auch eine größere Verstärkung. Sie sind daher überall dort besonders vorteilhaft einzusetzen, wo es auf schnelle und präzise Einstellung von Bewegungen oder Drücken ankommt.

Vorsteuerstufe

Servoventile werden überwiegend zweistufig, in seltenen Fällen auch dreistufig ausgeführt. In die erste Stufe wird über einen Regler das Stromsignal eingegeben. Der Regler ermittelt durch Soll-/Istwert-Vergleich der Spannung und einen Verstärkungsfaktor das benötigte Stromsignal.

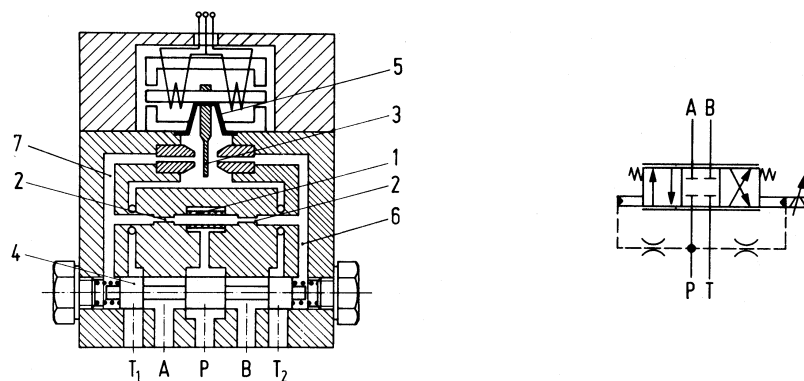
Gleichzeitig wird in die Vorsteuerstufe hydraulische Energie in Form eines Steuerölstroms gegeben. Dieser Steuerölstrom ermöglicht eine bis zu 100-fache Verstärkung der Energie des elektrischen Eingangssignals zum hydraulischen Ausgangssignal. Die Vorsteuerstufe besteht normalerweise aus einem Torquemotor, der mit einem Düse-Prallplatten-Verstärker zusammenarbeitet.

Hauptsteuerstufe

Der in der Vorsteuerstufe verstärkte Steuerölstrom bewirkt in der Hauptsteuerstufe die Verstellung des Hauptsteuerschiebers. Diese Verstellung liefert wiederum einen dem Steuerölstrom proportionalen Arbeitsvolumenstrom, wobei eine Verstärkung von 100 bis 1000 erreicht werden

kann. Der Arbeitsvolumenstrom ist somit in der Lage, auch große Verbraucher ausreichend mit hydraulischer Energie zu versorgen.

**Rückführsystem** Um den durch das Eingangssignal und den Steuerölstrom aus der Vorsteuerstufe in Bewegung versetzten Hauptsteuerschieber an der gewünschten, durch die Proportionalitätsforderung gegebenen Stelle anzuhalten, ist ein Rückführsystem erforderlich. Es werden durch Federn oder hydraulischen Druck (Bild 4.16) bewirkte Rückführungen (Folgekolben-System) und mechanische oder elektrische Rückführsysteme verwendet. Bei letzteren wird der Weg des Hauptsteuerkolbens mechanisch bzw. elektrisch abgetastet und der Vorsteuerstufe zurückgemeldet.



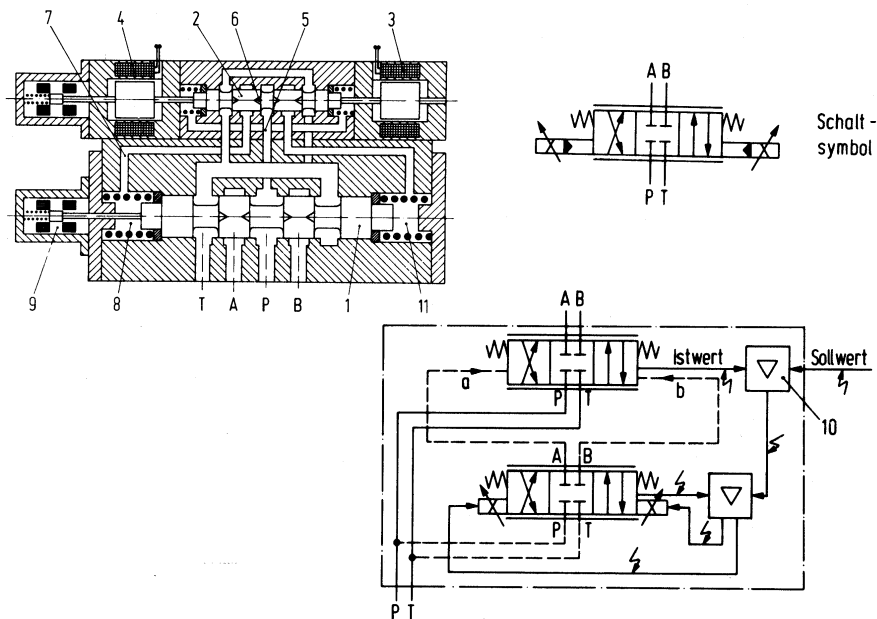
**Bild 4.16: Zweistufiges Servoventil mit Düse-Prallplattenverstärker und manometrischer Rückführung**

**Eigenschaften Servoventile** Elektrohydraulische Servoventile werden für die Regelung verwendet. Ihr dynamisches Verhalten ist besser und ihre Genauigkeit größer als die von Proportionalventilen. Bei sehr kleinen Eingangsleistungen von  $10^{-2}$  bis 10 Watt erlauben sie eine Verstärkung der Ausgangsleistung bis zum  $10^5$ -fachen (mit Vorsteuerstufe) und eine Einstellung der maximalen Ausgangsleistung innerhalb von Millisekunden. Ihre Druckverluste liegen jedoch in der Größenordnung von etwa 70 bar.

**Proportional-Wegeventile** Proportionalventile haben grundsätzlich die gleiche Funktion wie Servoventile, bis auf die Tatsache, daß sie vor allem in Steuerketten eingesetzt werden. Sie werden ebenfalls sehr häufig als zweistufige Ventile ausgeführt.

Bild 4.17 zeigt ein 2-stufiges 4/3-Proportional-Wegeventil, das mit einer Lageregelung versehen ist. Dabei wird der Vorsteuerkolben durch zwei lagegeregelt Proportionalmagnete betätigt. Bei Ansteuerung des rechten Magneten bewegt sich der Vorsteuerkolben nach links. Dadurch wird die linke Seite des Hauptsteuerkolbens mit Druck beaufschlagt.

Die Stellung des Hauptsteuerschiebers wird mit einem induktiven Wegaufnehmer erfaßt und im Regler mit dem Sollwert verglichen.



**Bild 4.17: 2-stufiges 4/3-Propotional-Wegeventil mit Lageregelung**

Eigenschaften der Proportional-Wegeventile

Proportional-Wegeventile haben nicht die Genauigkeit von Servoventilen, und sie benötigen höhere Eingangsleistung (10 bis 100 Watt). Dafür sind sie jedoch deutlich preiswerter und robuster. Darüber hinaus zeichnen sie sich durch einen deutlich geringeren Druckabfall aus (ca. 10 bar).

### 3.3 BETRIEBSVERHALTEN VON WEGEVENTILEN

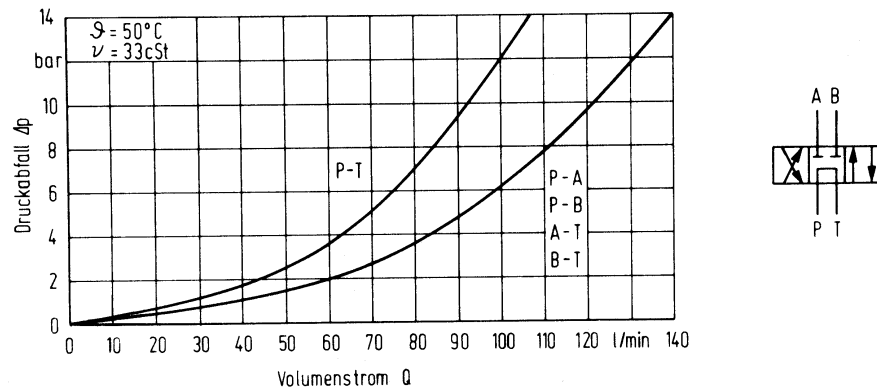
Druckabfall in Wegeventilen

Ventile verursachen grundsätzlich einen Druckabfall, der mit einem Verlust an Leistung verbunden ist. Dabei wird hydraulische Energie üblicherweise in thermische Energie umgesetzt, so daß sich Öl und Ventil erwärmen.

Die eigentliche Aufgabe eines Ventils ist, den Ölstrom zu steuern. Der Volumenstrom berechnet sich dabei aus

$$\dot{V} = \alpha \cdot A_D \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (4.1)$$

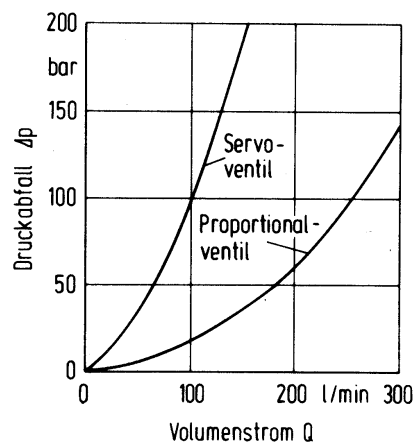
Der Druckabfall, der zu einem bestimmten Volumenstrom führt, hängt dabei sehr stark von der Gestaltung und Fertigungsqualität des Ventils ab. Die für ein Ventil gültigen Werte sind üblicherweise in Herstellerinformationen enthalten. Normalerweise werden Durchflußkennlinien angegeben, d. h. der Druckabfall über den durch das Ventil fließenden Volumenstrom (Bild 4.18).



**Bild 4.18: Durchfluß-Kennlinie eines 4/3-Wegeventils**

Die vom Hersteller angegebene Durchflußkennlinie gilt jedoch nur für eine bestimmte Öltemperatur und eine mittlere Viskosität.

Die Anforderung an die Drosselverluste sind bei drosselnden und nicht drosselnden Ventilen unterschiedlich. Nichtdrosselnde Ventile sollen einen möglichst geringen Druckabfall verursachen, wohingegen drosselnde Ventile einen bestimmten Strömungswiderstand benötigen. Nur so können Servo- und Proportionalventile der Leistungssteuerung dienen.

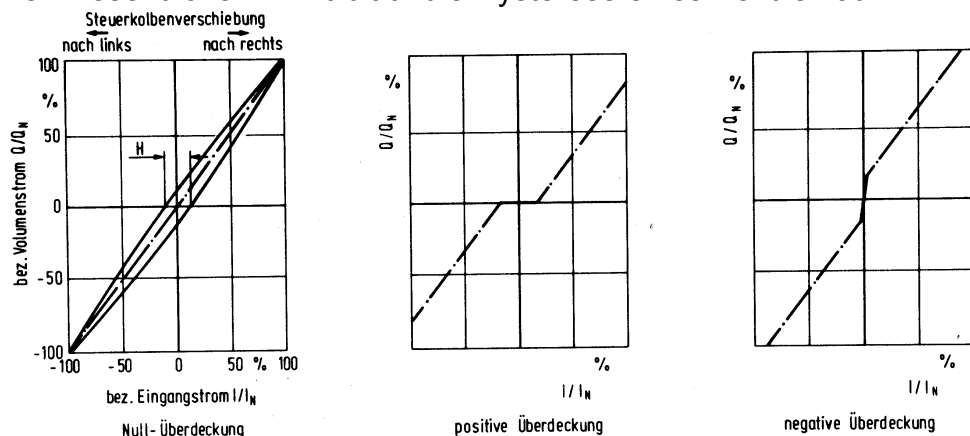


**Bild 4.19: Durchfluß-Kennlinie eines Servo- und Proportionalventils von gleichem Nenndurchfluß bei voller Öffnung**

statisches Verhalten von Proportionalventilen

Das statische Verhalten eines Servo- oder Proportionalventils beschreibt für den nach Ende des Einschwingens vorliegenden stationären Zustand den Zusammenhang zwischen Eingangsgröße und Ausgangsgröße des Ventils. Es wird durch die folgenden wichtigen Begriffe und Kennlinien beschrieben:

Durchfluß- verstärkung	Die Durchflußverstärkung gibt den prozentualen Zusammenhang zwischen Eingangssignal (elektr. Strom $I$ ) und dem Ausgangssignal (Ölvolumenstrom) an.
Druck- verstärkung	Die Druckverstärkung gibt den proportionalen Anstieg des Lastdrucks in Abhängigkeit vom eingegebenen Steuerstrom $I$ bei blockiertem Verbraucheranschluß an.
Ansprech- empfindlichkeit	Die Ansprechempfindlichkeit gibt den Anteil des elektrischen Eingangsstroms an, der aufgebracht werden muß, um nach einem Stillstand (z. B. des Hauptsteuerkolbens) eine Änderung des Ausgangsvolumenstroms zu bewirken, wenn das Signal in gleicher Richtung verändert wird, in der es ursprünglich gegeben wurde.
Umkehrspanne	Die Umkehrspanne gibt den Anteil des elektrischen Eingangsstroms an, der aufgebracht werden muß, um nach einem Stillstand eine Änderung des Ausgangsvolumenstroms zu bewirken, wenn das Signal in derjenigen Richtung verändert wird, die der ursprünglich eingestellten Richtung entgegengesetzt ist.
Hysterese	Für das Hoch- bzw. Herunterfahren des Ventils ergeben sich voneinander abweichende Kurvenverläufe. Die Hysterese ist der prozentuale Anteil $H$ des Eingangsstroms, wie er sich aus dem linken Diagramm aus Bild 4.20 ergibt. Dabei wird deutlich, daß die Überdeckung eines Ventils einen wesentlichen Einfluß auf die Hysterese eines Ventils hat.

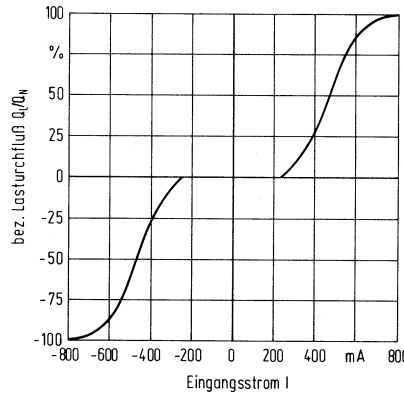


**Bild 4.20: Idealisierte Durchfluß-Eingangsstrom-Kennlinie von proportional wirkenden Wegeventilen bei unterschiedlichen Überdeckungen ( $Q_N$ : Nenndurchfluß;  $I_N$ : elektr. Nennstrom;  $H$ : Hysterese)**

Für die Beurteilung des statischen Verhaltens werden folgende Kennlinien genutzt:

Durchfluß-Signal-Kennlinie

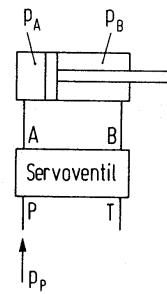
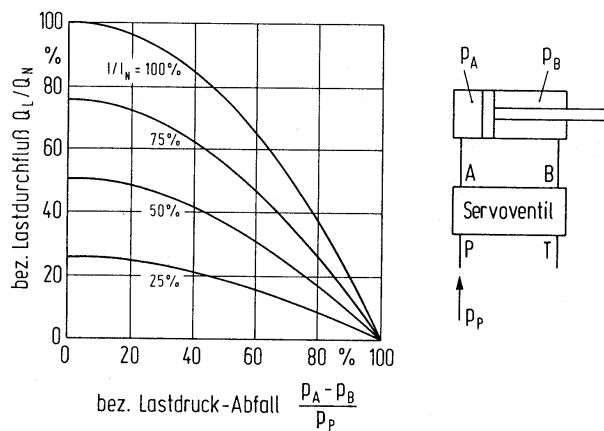
Diese Kennlinie gibt an, welchen Ölvolumenstrom ein Ventil bei Eingabe eines bestimmten Eingangs-Stromsignals bei gleichbleibendem Druckabfall zwischen Ventilein- und Ventilausgang übertragen kann. Volumenstrom und elektrischer Strom werden dabei in Prozentzahlen, bezogen auf die Nennwerte, angegeben, d. h. normiert. Diese Kennlinie gibt dem Anwender Auskunft über die Linearität zwischen Eingangsstrom und Ölvolumenstrom, über die Ansprechempfindlichkeit und die Umkehrspanne des Ventils (Bild 4.21).



**Bild 4.21: Durchfluß-Eingangsstrom-Kennlinie eines vorgesteuerten Proportional-Wegeventils**

Durchfluß-Lastdruck-Kennlinie

In der Durchfluß-Lastdruck-Kennlinie ist der Durchfluß bei Belastung des Ventils ( $Q_L$ ) in Abhängigkeit vom Druckabfall ( $p_A - p_B$ ) zwischen beiden Ventilanschlüssen A und B angegeben. Der Lastdurchfluß  $Q_L$  ist dabei in Prozentwerten vom Nenndurchfluß  $Q_N$ , der Lastdruck  $p_A - p_B$  in Prozenten vom Eingangsöldruck  $p_P$  angegeben. Parameter ist der auf den Nennstrom bezogene Eingangsstrom  $I/I_N$ , d. h. für jedes Eingangssignal ergibt sich eine Kennlinie.



**Bild 4.22: Durchfluß-Lastdruck-Kennlinien eines Servoventils ( $Q_N$ : Nenndurchfluß;  $I_N$ : elektr. Nennstrom)**

Man erkennt, daß bei einem bezogenen Lastdruckabfall von 100 %, d. h.

dann, wenn der Pumpendruck gleich dem Lastdruck  $p_A - p_B$  ist, kein Ölstrom fließt. Umgekehrt ergibt sich für den Lastdruck null der maximale Durchfluß.

Lastdruck-  
Eingangsstrom-  
Kennlinie

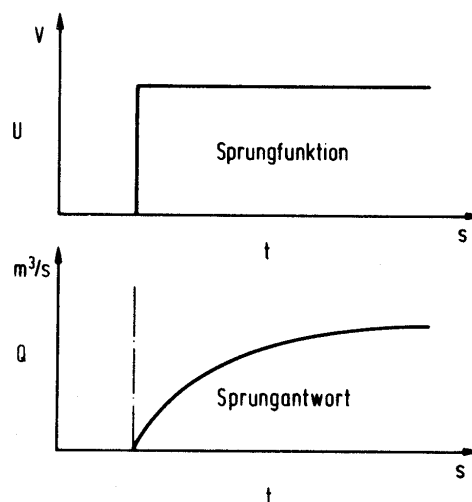
Diese Kennlinie bezeichnet das Verhältnis des Lastdruckabfalls oder Lastdrucks zu dem in das Ventil eingegebenen Strom. Auch hier sind beide Werte in Prozent angegeben und auf den Nenndruck bzw. auf den Nennstrom normiert. Wichtig ist die Steigung des geraden Teils der Kennlinie. Diese Steigung gibt die Druckverstärkung des Ventils in bar/mA an. Dabei ist eine hohe Druckverstärkung von Vorteil, da so für das Anfahren von Servoventilen nur ein kleiner Eingangsstrom aufgewendet werden muß.

dynamisches  
Verhalten

Die bisherigen Begriffe und Kennlinien charakterisierten ausschließlich das statische Verhalten von Ventilen. In heutigen Anwendungen rückt jedoch mehr und mehr das dynamische Verhalten der Komponenten in den Vordergrund.

Zeitverhalten

Dabei wird das Zeitverhalten von Ventilen betrachtet. Dieses Zeitverhalten beschreibt, welche Zeitspanne das Ventil benötigt, um das eingegebene Signal in die Ausgangsgröße zu verwandeln. Mit anderen Worten: Diese Zeitspanne ist die zeitliche Verzögerung, mit der die Ausgangsgröße der Eingangsgröße folgt. Das Zeitverhalten wird häufig mittels einer Sprungfunktion abgebildet (Bild 4.23). Dabei wird das Ventil sprunghaft mit einem Strom beaufschlagt und beobachtet, wie sich die Ausgangsgröße verändert.



**Bild 4.23: Sprungfunktion und Sprungantwort**

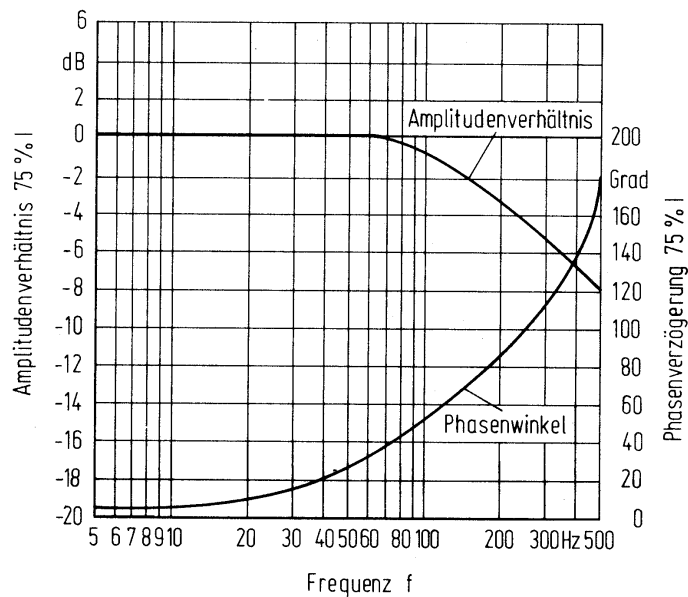
Frequenzgang

Eine detailliertere Angabe ist das sogenannte Bode-Diagramm [Föllinger]. Dieses betrachtet ebenfalls die zeitliche Verzögerung, d. h. die Phase des Ausgangs in Bezug auf den Eingang. Jedoch ist die zeitliche Verzögerung stark abhängig von der Frequenz, mit der das Ventil ange-



steuert oder angeregt wird. Der Phasengang im Bode-Diagramm bildet die Phase für einen ganzen Bereich von Anregungsfrequenzen ab.

Neben der Änderung der Phase bei unterschiedlichen Anregungsfrequenzen ändert sich auch die Verstärkung eines Ventils. Das bedeutet, daß für unterschiedliche Anregungsfrequenzen der Ausgangsvolumenstrom keinen konstanten proportionalen Faktor zum Eingangsstrom hat. Der Verstärkungsfaktor bei unterschiedlichen Anregungsfrequenzen wird ebenfalls im Bode-Diagramm abgebildet und als Amplitudengang oder Betragskennlinie bezeichnet.



**Bild 4.24: Bode-Diagramm für ein zweistufiges Servoventil**

Im Bode-Diagramm werden zwecks leichter Lesbarkeit die Frequenzen und die Beträge logarithmisch aufgetragen (Bild 4.24).

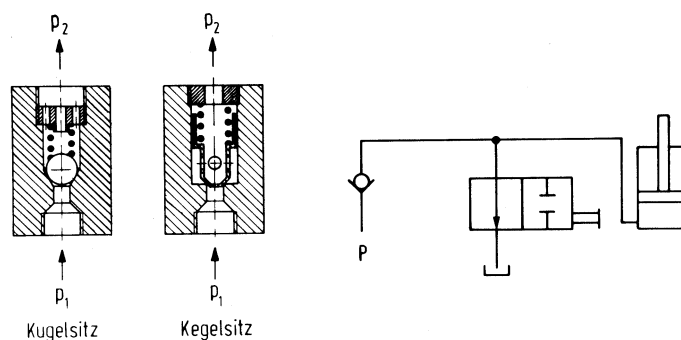
## 4 SPERRVENTILE

Das Sperrventil in einfacher Bauart sperrt den Volumenstrom in einer Richtung und gibt ihn in der anderen frei. Sperrventile werden als Sitzventile ausgebildet, bei denen das Verschlußstück eine Kugel oder ein Kegel ist. Insbesondere der Ventilkegel gewährleistet auch bei längerer Betriebsdauer absolut leckölfreies Sperrn des Volumenstroms.

Für Sperrventile existieren verschiedene Ausführungsmöglichkeiten, die im folgenden erläutert werden.

einfaches  
Rückschlagventil

Dieses Ventil ist gesperrt, wenn die Kraft aus dem Ausgangsdruck  $p_2$  und die Federkraft größer als die Kraft aus dem Eingangsdruck  $p_1$  ist. Der Widerstand gegen das Öffnen des Sperrventils ist durch die Vorspannung der Feder gegeben (Bild 4.25). Somit öffnet das Ventil erst bei einer Druckdifferenz  $p_1 - p_2$ , die größer als 0 bar ist. Der Differenzdruck, der zum Schalten des Ventils führt, liegt etwa zwischen 0,5 ... 4 bar.



**Bild 4.25: Einfache Rückschlagventile**

entsperrbares  
Rückschlagventil

Neben den einfachen gibt es entsperrbare Rückschlagventile. Sie werden etwa verwendet, um bei Ruhestellung eines Wegeventils das Absinken eines unter Last stehenden Kolbens zu verhindern. Die Entsperrung geschieht meistens durch Fernbedienung mit Hilfe eines Steuerölstroms. Ein Beispiel für ein entsperrbares Rückschlagventil zeigt Bild 4.26:

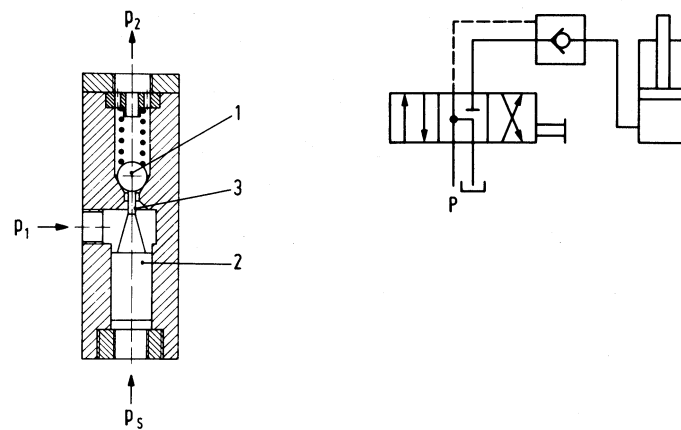


Bild 4.26: Entsperrbares Rückschlagventil

Die Funktionsweise ist analog zu der des einfachen Rückschlagventils, so daß bei  $p_1 > p_2$  die Kugel aus ihrem Sitz gedrückt wird und ein Volumenstrom durch das Ventil fließt. Dazu muß natürlich der Differenzdruck groß genug sein, um die Federkraft zu überwinden.

Soll jedoch ein Volumenstrom von  $P_2$  nach  $P_1$  fließen, so kann dies über den Steuerdruck  $p_s$  realisiert werden. Dazu erzeugt der Steuerdruck auf der Fläche des Kolbens (2) eine Kraft, die über den Stößel (3) die Kugel aus ihrem Sitz drückt.

Drosselrück-  
schlagventil

Drosselrückschlagventile setzen sich aus einfachen Rückschlagventilen und häufig einstellbaren Drosseln zusammen. Das Rückschlagventil sorgt für einen freien Durchfluß des Öls im Vorlauf des Zylinders (vgl. Bild 4.27), d. h. wenn der Druck  $p_1$  größer als  $p_2$  ist. Kehren sich die Druckverhältnisse um, so schließt das Rückschlagventil. In diesem Fall muß das Öl über die einstellbare Drossel abfließen. Auf diese Weise kann eine einstellbare Kolbenrücklaufgeschwindigkeit realisiert werden.

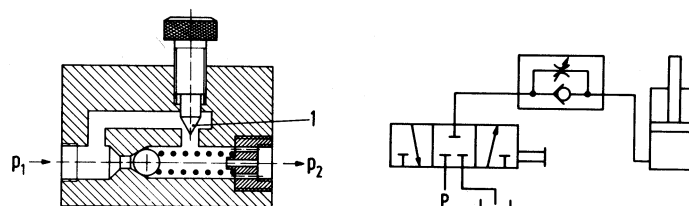


Bild 4.27: Drosselrückschlagventil

## 5 DRUCKVENTILE

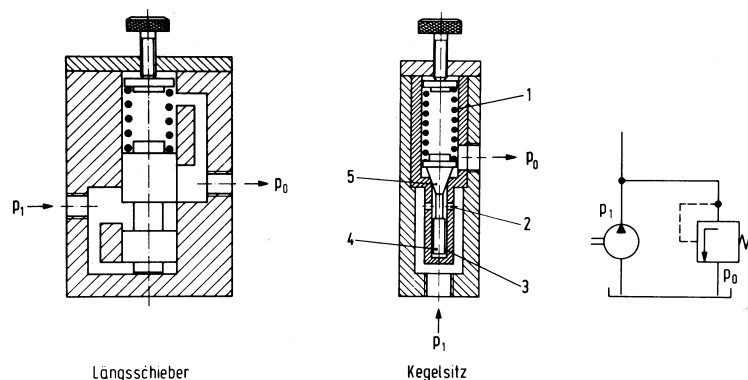
Wie schon zu Beginn dieses Kapitels erläutert, kann die Leistungssteuerung entweder über den Volumenstrom oder über den Druck erfolgen. Bei der Verwendung von Wegeventilen wird die Leistung über den Volumenstrom gesteuert bzw. geregelt. Die Leistungssteuerung durch die Steuerung des Drucks erfolgt mit Druckventilen. Dabei gibt es unterschiedliche Arten von Druckventilen, die sich in ihrer Funktion voneinander unterscheiden. Im folgenden werden einige dieser Druckventile in ihrer Funktion und in ihrem Aufbau beschrieben.

### 5.1 DRUCKBEGRENZUNGSVENTILE

Druckbegrenzungsventile sorgen dafür, daß der Druck in hydraulischen Systemen nicht über einen bestimmten Druck steigen kann. Sie sind somit Sicherheitsventile, welche die Zerstörung von Rohren, Schläuchen, Verbindungen usw. vermeiden. Wenn der Druck über die festgelegte Grenze steigt, öffnen sie automatisch und lassen das Öl direkt zum Tank zurückfließen. Bei Druckventilen wird ebenfalls zwischen direktgesteuerten oder mit Vorsteuerventil arbeitenden Druckbegrenzungsventilen unterschieden.

direkt gesteuerte  
Druck-  
begrenzungs-  
ventile

In Bild 4.28 sind direkt gesteuerte Druckbegrenzungsventile mit Längsschieber und mit Kegelsitz abgebildet. Das mit Längsschieber ausgeführte Druckbegrenzungsventile ermöglicht den Ölabfluß von  $p_1$  zu  $p_0$ , wenn der Druck  $p_1$  auf der Fläche des Schieberkolbens größer als die eingestellte Federkraft ist. In der Ausführung mit Kegelsitz muß der Druck  $p_1$ , der durch die Bohrung 2 und den Spalt 3 auf den Kolben 4 wirkt, ebenfalls größer als die eingestellte Federkraft sein.



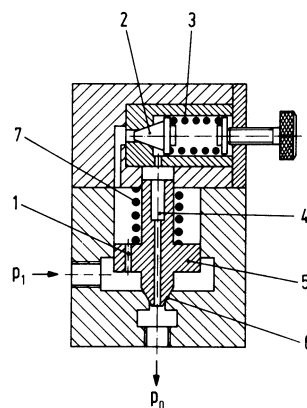
**Bild 4.28: Direkt gesteuerte Druckbegrenzungsventile**

Direkt gesteuerte Druckbegrenzungsventile werden für kleinere Drücke und besonders für kleinere Volumenströme ( $< 150 \text{ l/min}$ ) verwendet.

vorgesteuerte  
Druck-  
begrenzungs-  
ventile

Für größere Drücke, vor allem aber bei großen Volumenströmen (über 150 bis 200 l/min) ergeben sich für direktgesteuerte Druckbegrenzungsventile große Hübe und große Federkräfte. Somit müßten direkt gesteuerte Druckbegrenzungsventile unverhältnismäßig groß ausgeführt werden. Daher werden hierfür häufig vorgesteuerte Druckbegrenzungsventile verwendet.

In Bild 4.29 ist ein vorgesteuertes Druckbegrenzungsventil dargestellt. Dabei wirkt der Eingangsdruck  $p_1$  über die Drosselbohrung 1 auf den Sitzkegel des Vorsteuerventils. Ist der Druck groß genug, um die Federkraft zu überwinden, so öffnet sich der Sitzkegel, und das Öl kann durch die Bohrung 4 abfließen. Dadurch wird der Öldruck über dem Hauptkolben 5 kleiner, so daß sich auch das Sitzventil 6 infolge des größeren Drucks auf die untere Kolbenfläche öffnet.



**Bild 4.29: Vorgesteuertes Druckbegrenzungsventil**

Infolge der größeren Anzahl von Teilen sind vorgesteuerte Druckbegrenzungsventile teurer als direktgesteuerte Druckbegrenzungsventile. Vorgesteuerte Ventile lassen sich jedoch zusätzlich leichter fernsteuern.

## 5.2 DRUCKVERHÄLTNISVENTILE

Mit Druckverhältnisventilen kann der Eingangsdruck  $p_1$  proportional zu einem aufgegebenen Steuerdruck  $p_s$  gehalten werden. Dazu wirken die Drücke  $p_1$  und  $p_s$  auf die entgegengesetzten Flächen eines Steuerkolbens. Die Größe der Flächen, auf denen der Druck wirkt, bestimmt den Proportionalitätsfaktor. In dem in Bild 4.30 dargestellten Druckverhältnisventil sind die Flächen gleich groß. Sinkt in dem Beispiel der

Druck  $p_1$  unter  $p_s$ , so verschiebt sich der Kolben nach unten, und die Durchflußöffnung wird weiter geschlossen.

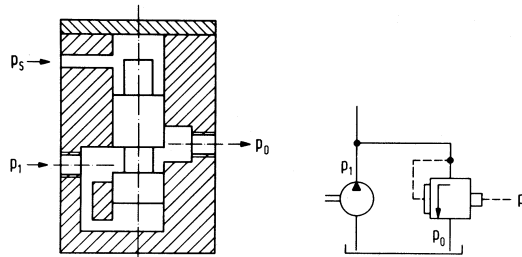


Bild 4.30: Druckverhältnisventil

### 5.3 FOLGEVENTILE

Die Aufgabe von Folgeventilen ist es, einen Verbraucher erst dann hinzuschalten, wenn der Eingangsdruck  $p_1$  einen bestimmten Wert erreicht hat. Dabei arbeitet das Folgeventil ähnlich wie das Druckbegrenzungsventil. Der Unterschied liegt darin, daß beim Schalten des Ventils der Ölstrom nicht zum Tank, sondern zu einem weiteren Verbraucher fließt (Bild 4.31).

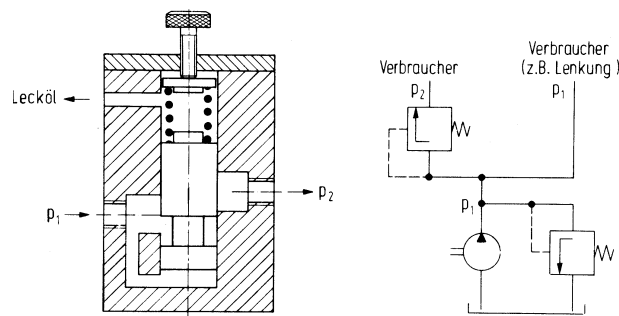


Bild 4.31: Folgeventil

### 5.4 DRUCKREGEL- ODER DRUCKREDUZIERVENTILE

Das Druckregelventil hat die Aufgabe, den Ausgangsdruck  $p_2$  konstant und kleiner zu halten als den veränderlichen Eingangsdruck  $p_1$ . Wie in Bild 4.32 deutlich wird, wirkt der Ausgangsdruck  $p_2$  auf die untere Kolbenfläche gegen den eingestellten Federdruck. Steigt der Ausgangsdruck  $p_2$  an, so wird die Durchflußöffnung gegen den Federdruck verkleinert, und  $p_2$  sinkt wieder auf den eingestellten Wert.

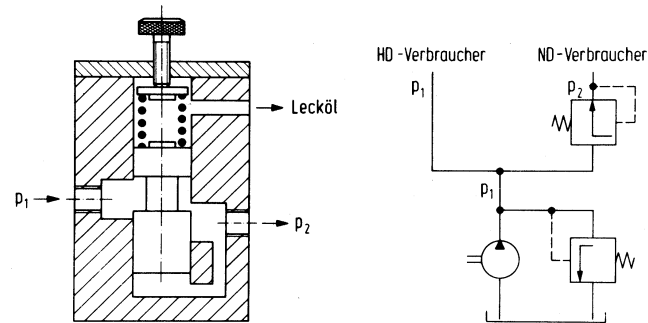


Bild 4.32: Druckregel- oder Druckreduzierventil

## 5.5 DIFFERENZDRUCKREGELVENTILE

Das Differenzdruckregelventil hält die Druckdifferenz zwischen Eingangsdruck  $p_1$  und Ausgangsdruck  $p_2$  konstant. Bei diesem Ventil wirkt der Druck  $p_1$  auf die untere Kolbenfläche und  $p_2$  auf die obere Kolbenfläche (Bild 4.33). Somit wirkt auf den Kolben der Differenzdruck, der mit der einstellbaren Federkraft im Gleichgewicht sein muß. Verändert sich die Druckdifferenz, so ändert sich ebenfalls die Durchflußöffnung, und der eingestellte Differenzdruck stellt sich wieder ein.

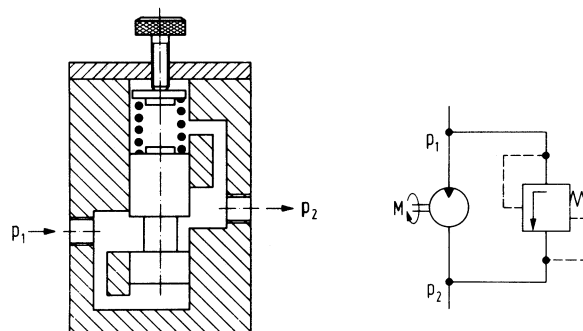


Bild 4.33: Differenzdruckventil

## 5.6 VERHÄLTNISDRUCKREGELVENTILE

Das Verhältnisdruckregelventil hält das Verhältnis zwischen Eingangsdruck  $p_1$  und Ausgangsdruck  $p_2$  konstant, und zwar unabhängig vom veränderlichen Eingangsdruck  $p_1$ . Dazu wirkt der Druck  $p_1$  auf die Fläche  $A_1$  eines Steuerschiebers (Bild 4.34). Der Druck  $p_2$  wirkt ebenfalls auf den Steuerschieber, jedoch auf die Fläche  $A_2$ . Ist die sich daraus ergebende Kraft ungleich Null, d. h. liegt das gewünschte Druckverhältnis nicht vor, so verschiebt sich der Steuerschieber. Dadurch verändert sich die Durchflußöffnung, so daß sich das gewünschte Druckverhältnis wieder einstellt.

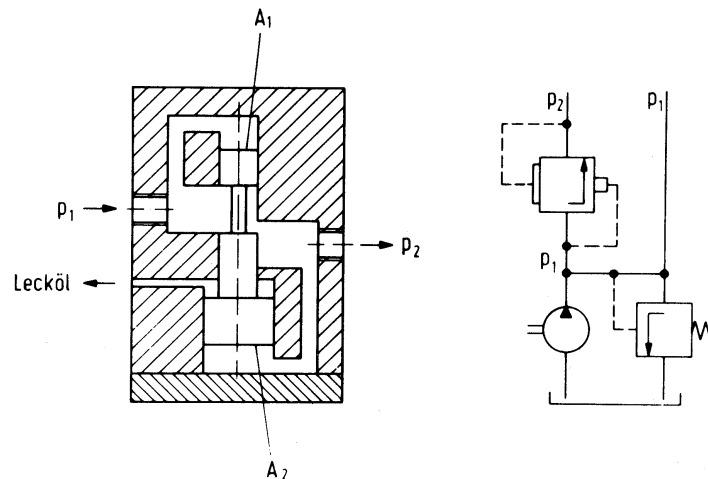


Bild 4.34: Verhältnisdrukregelventil

## 5.7 PROPORTIONAL-DRUCKVENTILE

Druckventile, wie Druckbegrenzungsventile oder Druckregelventile, können auch mit proportional wirkenden elektromagnetischen Wandlern ausgerüstet werden. Damit können die Ventile entweder direkt, meistens jedoch über ein Vorsteuerventil betätigt werden. Diese Ventile werden als Proportional-Druckventile bezeichnet und mit kraftgesteuerten oder lagegeregelten Proportionalmagneten ausgerüstet.

Bei den meisten auf dem Markt befindlichen Ventilen wirken die Magnete direkt auf das Steuerelement, seltener wie in Bild 4.35 über eine Druckfeder. Als Steuerelement werden überwiegend Sitzkegel, seltener Längsschieber oder Düsen-Prallplatten-Systeme verwendet. Proportional-Druckventile ermöglichen eine einfache Fernbedienung.

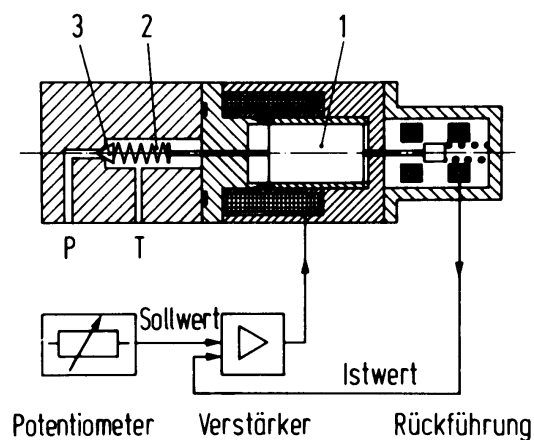


Bild 4.35: Druckbegrenzungsventil mit lagegeregeltem Proportionalmagneten



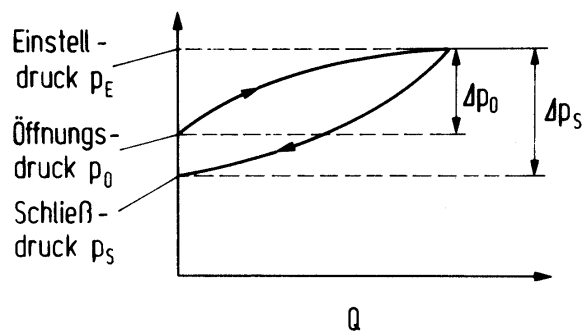
## 5.8 BETRIEBSVERHALTEN VON DRUCKVENTILEN

statisches  
Verhalten

Ähnlich wie bei den Wegeventilen wird hier zwischen dem statischen und dem dynamischen Verhalten unterschieden. Die Anforderungen an das statische Verhalten sind

- konstante Druckdifferenz über den Volumenstrom,
- geringe Druckdifferenz zwischen Öffnungsdruck und Schließdruck,
- geringe Leckölverluste vor dem Erreichen des Öffnungsdrucks.

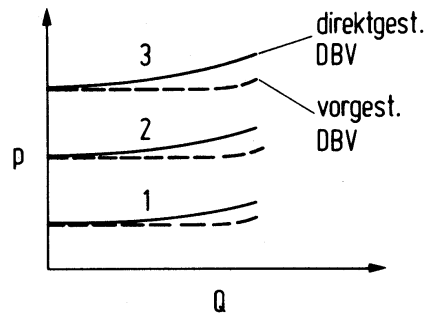
Das statische Verhalten wird durch die in Bild 4.36 dargestellte Kennlinie beschrieben. Das Druckbegrenzungsventil öffnet, sobald der Öffnungsdruck  $p_0$  erreicht ist. Dann erst beginnt der Volumenstrom zu fließen. Je größer der Volumenstrom wird, desto mehr öffnet sich die Durchflußöffnung (z. B. Kugelsitz) gegen den größer werdenden Federdruck.



**Bild 4.36: Statische Kennlinie eines direkt gesteuerten Druckbegrenzungsventils**

Infolge des größer werdenden Federdrucks, aber auch infolge der in Federdruckrichtung wirkenden Strömungskräfte, wächst der Druck von  $p_0$  bis zu einem Einstelldruck  $p_E$  an. Beim Schließen des Druckbegrenzungsventils fällt der Druck unter  $p_0$  auf den Schließdruck  $p_s$  ab. Dieser ist kleiner als  $p_0$ , infolge der Federhysterese und weil beim Schließen geringere Reibungskräfte zu überwinden sind als beim Öffnen.

Für praktisch ausgeführte Druckbegrenzungsventile ergeben sich Kennlinienfelder ähnlich den in Bild 4.37 dargestellten. Darin ist auch der günstigere Druckverlauf von vorgesteuerten Druckbegrenzungsventilen gegenüber den direkt gesteuerten zu erkennen.



**Bild 4.37: Kennlinienfeld ausgeführter Druckbegrenzungsventile**

Die Druckabfall-Durchfluß-Kennlinie eines voll geöffneten Druckbegrenzungsventil entspricht im Grundsätzlichen dem Verlauf der Kennlinie einer Blende oder eines Wegeventils.

dynamisches Verhalten

Im Hinblick auf ein gutes dynamisches Verhalten von Druckventilen in hydraulischen Systemen sind eine kurze Ansprechzeit und ein möglichst schwingungsarmes Arbeiten erforderlich. Ein sehr gutes Ansprechverhalten kann erreicht werden, indem die zu bewegenden Massen in Druckventilen klein gehalten und sehr steife Federn verwendet werden. Jedoch hat eine hohe Federsteifigkeit eine Verschlechterung des statischen Verhaltens zur Folge.

## 6 STROMVENTILE

Stromventile dienen der Steuerung von Volumenströmen. Mit ihnen lassen sich Hydrozylinder bzw. Hydromotoren mit einer bestimmten, veränderlichen Geschwindigkeit bzw. Drehzahl betreiben, auch wenn eine Konstantvolumenpumpe verwendet wird. Bei der Verwendung von Verstellpumpen kann das Fördervolumen an die geforderte Zylinder-geschwindigkeit angepaßt werden.

Bei der Verwendung von Konstantpumpen wird jedoch ein konstanter Volumenstrom gefördert, der aber auch größer sein kann als der für den Betrieb eines Zylinders benötigte Volumenstrom. In diesem Fall muß der nicht benötigte Teil des Volumenstroms, meist unter großen Verlusten, über ein Druckbegrenzungsventil abgeführt werden. Der Volumenstrom, der für die Bewegung des Zylinders benötigt wird, wird in diesem Fall durch ein Stromventil geführt, das so für die gewünschte Geschwindigkeit sorgt.

Stromventile lassen sich in folgende Gruppen aufteilen:

- Drosselventile,
- Stromregelventile,
- Stromteilerventile,

die in den nächsten Abschnitten erläutert werden.

### 6.1 DROSSELVENTILE

Konstantdrossel-  
ventile

Drosselventile werden als Ventile mit konstantem oder variablem Querschnitt ausgeführt. Die einfachsten Ausführungen für Konstantdrosseln sind einfache Drosselbohrungen, die auch als Laminardrossel bezeichnet werden, und die Blende (Bild 4.38):

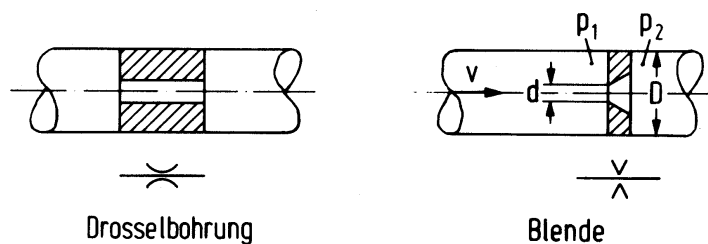


Bild 4.38: Konstantdrossel und Konstantblende

Die Drosselbohrung ist stark, die Blende infolge der in ihrem engsten Querschnitt turbulenten Strömung weniger stark viskositätsabhängig. Daher wird die Blende in der Regel vorgezogen.

Die Berechnung des durch die Blende fließenden Volumenstroms ergibt sich zu:

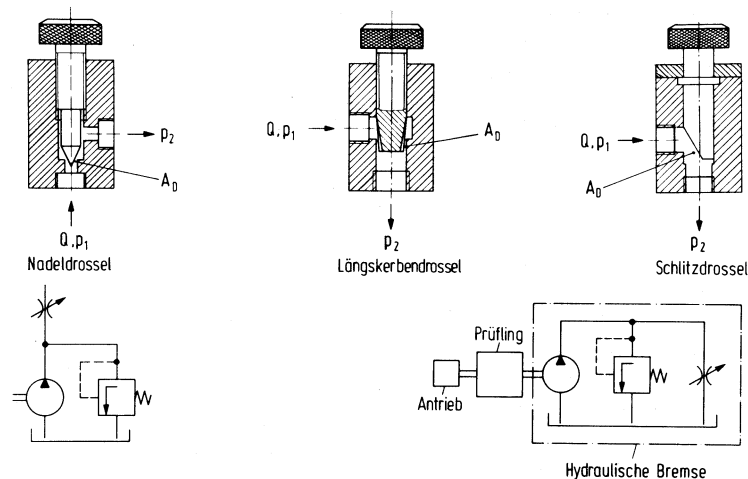
$$\dot{V}_{Blende} = \alpha_D \cdot A_D \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (4.2)$$

Die Berechnung des Volumenstroms durch die Drossel erfolgt mit der Beziehung:

$$\dot{V}_{Drossel} = \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} \cdot \Delta p \quad (4.3)$$

Verstelldrossel-  
ventile

Verstelldrosseln werden in verschiedenen Ausführungen angeboten. Bild 4.39 zeigt drei Bauarten und deren Anwendungsmöglichkeiten für eine hydraulische Bremse, wie sie z. B. für die Leistungs- und Wirkungsgradmessungen von Getrieben verwendet wird. Bei der hier wiedergegebenen Darstellung handelt es sich nur um eine Prinzipskizze. Bei ausgeführten Bremsanlagen dieser Art sind wesentlich mehr Bauteile erforderlich.



**Bild 4.39: Verstellbare Drosselventile**

Nachteilig bei Drosselventilen ist, daß der Volumenstrom auch abhängig von der Druckdifferenz am Ventil, der Temperatur und der Viskosität ist.

## 6.2 STROMREGELVENTILE

Will man die Geschwindigkeit eines Hydrozylinders oder die Drehzahl eines Hydromotors unabhängig von der am Stromventil herrschenden Druckdifferenz und unabhängig von Temperatur und Viskosität der Druckflüssigkeit konstant halten, so verwendet man Stromregelventile. Dabei unterscheidet man zwischen 2-Wege-Stromregelventilen und 3-Wege-Stromregelventilen.

2-Wege-  
Stromventil

Das 2-Wege-Stromventil hat die Aufgabe, den Volumenstrom  $\dot{V} \approx \sqrt{p_1 - p_2}$  unabhängig von Druckdifferenz und Viskosität auf einen konstanten Wert zu regeln.

Bild 4.40 zeigt die Wirkungsweise eines 2-Wege-Stromventils. Der Druckabfall  $p'_1 - p_2$  an der Meßblende 1 regelt dabei den Durchflußquerschnitt der Verstelldrossel 2. Der weggedrosselte, nicht durch das Stromventil fließende Ölstrom muß unter Verlusten über ein Druckbegrenzungsventil abgeführt werden.  $p'_1$  wirkt dabei auf die untere,  $p_2$  auf die obere Kolbenfläche, so daß die Druckdifferenz  $p'_1 - p_2$  bei einem bestimmten eingestellten Volumenstrom im Gleichgewicht zur Federkraft steht. Sinkt der Volumenstrom  $\dot{V}$ , so wird  $p'_1 - p_2$  kleiner, die Verstelldrossel öffnet den Querschnitt und  $\dot{V}$  steigt wieder.

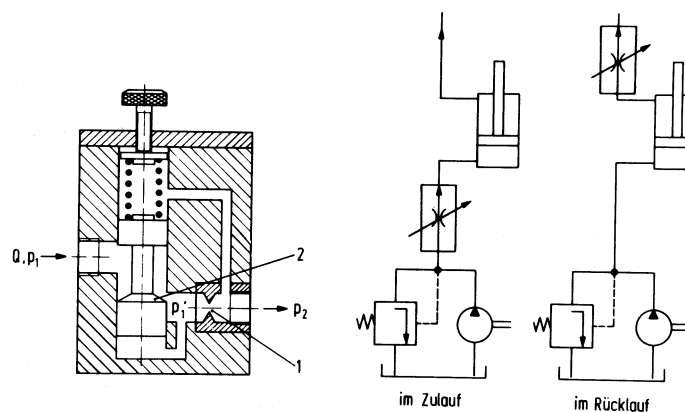


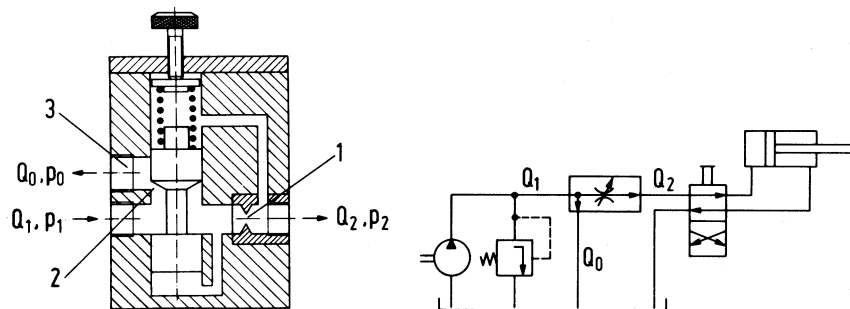
Bild 4.40: 2-Wege-Stromregelventil

Nachteilig wirkt sich bei der Verwendung von 2-Wege-Stromventilen die Tatsache aus, daß der vom Verbraucher nicht benötigte Restölstrom über ein Druckbegrenzungsventil weggedrosselt werden muß, d. h. die Pumpe muß ständig den maximalen Betriebsdruck erzeugen, unabhängig davon, wie hoch der geforderte Druck des Verbrauchers ist.

3-Wege-  
Stromventil

Das 3-Wege-Stromventil arbeitet grundsätzlich ähnlich wie das 2-Wege-Stromventil, nur wird hier der vom Verbraucher nicht benötigte Volumenstrom ohne größere Druckverluste über einen Bypass 3 in den

Behälter zurückgeführt. Der Pumpendruck liegt somit nur etwas höher als der geforderte Druck  $p_2$ .



**Bild 4.41: 3-Wege-Stromregelventil**

Bei dem in Bild 4.41 gezeigten Ventil wirkt der Eingangsdruck  $p_1$  auf die untere, der Differenzdruck  $p_1 - p_2$  auf die obere Fläche des Verstellkolbens 2. Die sich aus Druckdifferenz  $p_1 - p_2$  ergebende Kraft steht im Gleichgewicht mit der Federkraft. Sinkt  $\dot{V}_2$ , so wird  $p_1 - p_2$  kleiner, und die Durchflußöffnung durch den Bypass wird ebenfalls verkleinert, so daß  $\dot{V}_2$  wieder ansteigt.

Das 3-Wege-Stromventil kann nur im Zulauf zum Verbraucher eingesetzt werden.

### 6.3 STROMTEILERVENTILE

Stromteilverventile haben die Aufgabe, unabhängig vom Druck einen Förderstrom in zwei Teilförderströme aufzuteilen, deren Größen in einem vorbestimmten Verhältnis zueinander stehen. Auf Bild 4.42 bezogen, besteht die Forderung:

$$\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2, \quad (4.4)$$

wobei

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \text{const.} \quad (4.5)$$

Der Gesamtförderstrom  $\dot{V}$  wird dabei durch die Meßblenden 1 und 2 erfaßt und aufgeteilt. Die Teilströme entsprechen den Drosselquerschnitten der Blende. Sind die Querschnitte gleich groß, so wird der Gesamtstrom im Verhältnis 1:1 aufgeteilt.

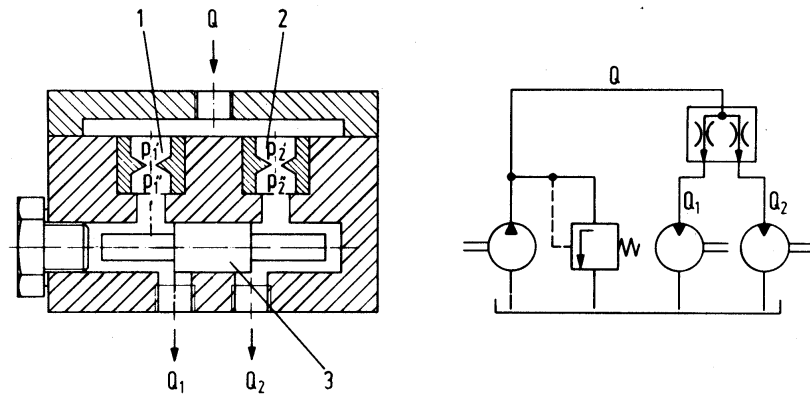


Bild 4.42: Stromteilventil

Der „schwimmende“ Druckschieber 3 stellt – infolge der auf seine beiden Stirnseiten wirkenden Druckkräfte – die Ausgangsquerschnitte so ein, daß gleicher Druck hinter beiden Blenden herrscht. Dies erfolgt unabhängig von Laständerungen der Verbraucher. Sinkt  $\dot{V}_1$ , so wird der Druck  $p''_1$  hinter Blende 1 größer, und der Kolben 3 wird nach rechts geschoben, so daß  $\dot{V}_1$  wieder anwächst.

## 7 LITERATUR

- [Backé] Backé, W.: Grundlagen der Ölhydraulik. Umdruck zur Vorlesung, Institut für hydraulische und pneumatische Antriebe und Steuerungen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 4. Auflage 1979.
- [Föllinger] Föllinger, O.: Regelungstechnik, Hüthig Buch Verlag, Heidelberg, 6. Auflage 1990.
- [Guillon] Guillon, M.: Hydraulische Regelkreise und Servosteuerungen. Carl Hanser Verlag, München, 1968.
- [Matthies] Matthies, H. J.: Einführung in die Ölhydraulik. Teubner Studienbücher, Stuttgart, 3. Auflage 1995.
- [Findeisen] Findeisen, D und F.: Ölhydraulik – Handbuch für die hydrostatische Leistungsübertragung in der Fluidtechnik, Springer Verlag, 4. Auflage 1994