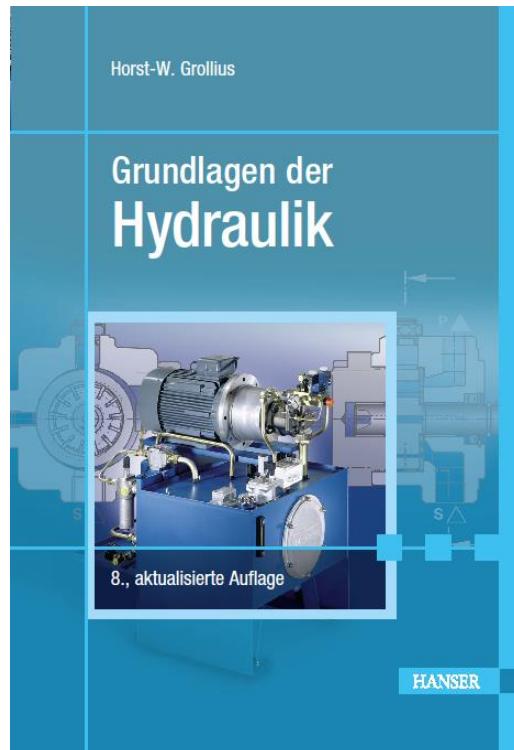


HANSER



Leseprobe

zu

Grundlagen der Hydraulik

von Horst-W. Grollius

Print-ISBN 978-3-446-46049-2

E-Book-ISBN 978-3-446-46050-8

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-fachbuch.de/buch/Grundlagen+der+Hydraulik/9783446460492>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Zum Erhalt der Konkurrenzfähigkeit auf den Weltmärkten ist es für industrialisierte Gesellschaften unverzichtbar, den Automatisierungsgrad von Produktionsabläufen ständig zu erhöhen, um Produkte in der nachgefragten Menge bei marktgerechten Preisen anbieten zu können. Trotz der damit verbundenen gesellschaftlichen Probleme (Freisetzung von Arbeitskräften, negative Einflüsse auf die Umwelt) besteht zum Zwang der Entwicklung immer effizienterer Technik keine Alternative, da nur die Nationen Mittel für die soziale Absicherung aufbringen können, die sich auf den globalen Märkten behaupten. Den in der Verantwortung stehenden Fachleuten stellen sich damit auch ethische und ökologische Fragen, die es zu beantworten gilt. Insofern sind die von *Albert Einstein* im Jahre 1931 geäußerten Worte weiterhin aktuell:

„Die Sorge um den Menschen und ihr Schicksal muss stets Hauptinteresse allen technischen Strebens bilden, die großen ungelösten Fragen der Organisation der Arbeit und der Güterverteilung, damit die Erzeugnisse unseres Geistes dem Menschengeschlecht zum Segen gereichen und nicht zum Fluche. – Vergesst dies nie über Euren Zeichnungen und Gleichungen.“

Zur Steigerung der Effizienz von Produktions- und Arbeitsabläufen ist Wissen und dessen Anwendung aus vielfältigen Technikdisziplinen erforderlich. Hierzu gehört auch die mit dem Oberbegriff **Fluidtechnik** bezeichnete Disziplin, die sich in **Hydraulik** und **Pneumatik** untergliedert.

Das vorliegende Buch verfolgt die Absicht, den Leser mit den **wesentlichen Grundlagen der Hydraulik** vertraut zu machen, wobei sein gestraffter Umfang der von Politik und Industrie gewünschten Reduzierung der Studienzeiten Rechnung trägt.

So wird beispielsweise im Kapitel 6 (Hydropumpen) zur Erläuterung der Wirkungsweise der in der Hydraulik verwendeten Bauarten von Hydropumpen lediglich auf das ihnen zugrunde liegende Prinzip eingegangen; auf eine umfassende Darlegung konstruktiver Details dieser Aggregate muss – um den Zweck des Buches zu erfüllen – verzichtet werden.

Den an Universitäten, Technischen Hochschulen, Fachhochschulen, Technikerschulen und Meisterschulen in der Ausbildung stehenden Studentinnen und Studenten bietet das Buch deshalb die Möglichkeit, sich ohne allzu großen zeitlichen Aufwand **Grundwissen** auf dem Gebiet der Hydraulik anzueignen.

Das Buch soll darüber hinaus aber auch denjenigen eine Hilfe sein, die als technisch Tätige in der beruflichen Praxis stehen und ihr Grundwissen auf dem Gebiet der Hydraulik in kurzer Zeit auffrischen möchten.

Zum Erwerb vertiefter Kenntnisse auf dem außergewöhnlich vielfältigen Gebiet der Hydraulik kann auf das Studium weiterführender Literatur nicht verzichtet werden.

In Kapitel 16 findet der Leser einige Aufgaben, die neben der Aufgabenstellung die ausführliche Darlegung des Lösungsweges in Lösungsschritten beinhalten,

wobei jeder Lösungsschritt kommentiert wird. Dadurch sollen Klarheit und leichtes Nachvollziehen der Lösungswege sichergestellt werden.

Neben dem Lernen aus Büchern bieten sich den Studentinnen und Studenten heutzutage durch die mediale Vielfalt weitere Möglichkeiten für den Erwerb von Wissen, wodurch leicht der Eindruck entstehen könnte, dass der Wissenserwerb heute weniger Mühe macht als früher. Doch zur „Kultur der Anstrengung“ besteht keine Alternative: Mit Selbstdisziplinierung sind Erkenntnisblockaden zu beseitigen und Verständnisprobleme zu meistern, um so die Genugtuung der den Widerständen abgerungenen eigenen Leistung zu erfahren.

Möge die Beschäftigung mit diesem Buch nicht nur Mühe bereiten, sondern den Leser nach dem Einstieg in die grundlegenden Zusammenhänge der Hydraulik auch motiviert haben, sich noch tiefer in dieses faszinierende und volkswirtschaftlich bedeutsame Gebiet der Technik mit weiterführender Literatur einzuarbeiten.

Der Verfasser dankt Frau *Ute Eckardt*, Frau *Katrin Wulst* und Herrn *Jochen Horn* vom Fachbuchverlag Leipzig (im Carl Hanser Verlag) für die vielen nützlichen Hinweise zur Gestaltung des Buches und die jederzeit gute Zusammenarbeit.

Weiterhin ist zu danken der Firma Technobox (Bochum), deren Software CAD6 zur Erstellung von Bildern gedient hat und allen Firmen der Hydraulikindustrie, die Bilder und Diagramme für dieses Buch bereitwillig zur Verfügung gestellt haben. Diese Firmen werden an geeigneter Stelle namentlich genannt.

Köln, im Februar 2019

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	11
2 Physikalisches Basiswissen	12
2.1 Druck, Absolutdruck, Überdruck, Einheiten	12
2.2 Gesetz von Pascal	14
2.3 Schweredruck	16
2.4 Kraft- und Wegübersetzung	17
2.5 Druckübersetzung	18
2.6 Hydraulische Arbeit, Leistung, Wirkungsgrade	19
2.7 Kontinuitätsgleichung	21
2.8 Bernoulli-Gleichung	22
2.9 Strömungsformen	23
2.10 Viskosität	25
2.11 Druckverluste in Rohren, Formstücken und Ventilen	26
2.12 Strömung durch Drosselgeräte – Volumenstrommessung	33
2.13 Spaltströmungen	35
2.14 Hydraulische Widerstände	39
2.15 Kompressibilität und Kompressionsmodul	42
2.16 Kavitation	45
3 Genormte Symbole	47
4 Grundsätzlicher Aufbau eines Hydrosystems	60
5 Einfache Schaltpläne	62
6 Hydropumpen	67
6.1 Allgemeines	67
6.2 Verdrängungsvolumen, theoretischer Förderstrom	68
6.3 Theoretische Pumpenleistung, theoretisches Pumpenmoment	69
6.4 Volumetrischer Wirkungsgrad	69
6.5 Hydraulisch-mechanischer Wirkungsgrad, Pumpenleistung	71
6.6 Gesamtwirkungsgrad	71
6.7 Anordnung von Hydropumpen	72
6.8 Bauarten von Hydropumpen	75
6.8.1 Vorbemerkung	75
6.8.2 Zahnradpumpen	76
6.8.3 Flügelzellenpumpen	78
6.8.4 Schraubenspindelpumpen	80
6.8.5 Radialkolbenpumpen	81
6.8.6 Axialkolbenpumpen	84
6.9 Kennlinien/Kennfelder	89
7 Hydromotoren	95
7.1 Allgemeines	95
7.2 Verdrängungsvolumen, theoretischer Schluckstrom	96

7.3	Theoretische Motorleistung, theoretisches Motormoment	97
7.4	Volumetrischer Wirkungsgrad	97
7.5	Hydraulisch-mechanischer Wirkungsgrad, Motorleistung	98
7.6	Gesamtwirkungsgrad	99
7.7	Kennlinien/Kennfelder	99
8	Hydrozylinder	102
8.1	Bauarten	103
8.1.1	Doppeltwirkende Zylinder	103
8.1.1.1	Differenzialzylinder	104
8.1.1.2	Gleichgangzylinder	106
8.1.2	Einfachwirkende Zylinder	107
8.1.3	Teleskopzylinder	107
8.1.3.1	Einfache Teleskopzylinder	107
8.1.3.2	Gleichlauf-Teleskopzylinder	109
8.2	Endlagendämpfung	110
8.3	Befestigungsarten	111
8.4	Knicksicherheit, wichtige Durchmesser	111
8.5	Kolbenstangenkraft	116
9	Schwenkmotoren	118
10	Hydroventile	123
10.1	Wegeventile	123
10.2	Sperrventile	130
10.2.1	Einfache Rückschlagventile	130
10.2.2	Entsperrbare Rückschlagventile	131
10.2.3	Drosselrückschlagventile	134
10.2.4	Wechselventile	135
10.2.5	Rohrbruchsicherungen	136
10.3	Druckventile	136
10.3.1	Druckbegrenzungsventile	137
10.3.2	Druckminderventile	139
10.3.3	Druckverhältnisventile	141
10.3.4	Differenzdruckregelventile	142
10.3.5	Verhältnisdruckregelventile	143
10.3.6	Folgeventile	144
10.4	Stromventile	144
10.4.1	Drosselventile	145
10.4.1.1	Konstantdrosselventile	145
10.4.1.2	Verstelldrosselventile	145
10.4.2	Stromregelventile	145
10.4.2.1	2-Wege-Stromregelventile	146
10.4.2.2	3-Wege-Stromregelventile	147
10.4.3	Stromteilventile	149
11	Servoventile	151

12 Weitere Schaltplanbeispiele	155
13 Hydrauliköle	160
13.1 Eigenschaften	160
13.1.1 Viskosität	162
13.1.2 Kompressibilität	165
13.1.3 Schmier- und Verschleißschutzvermögen	166
13.1.4 Schutz vor Korrosion	166
13.1.5 Flammpunkt und Brennpunkt	166
13.1.6 Stockpunkt und Pourpoint	167
13.1.7 Schaumbildung	167
13.1.8 Spezifische Wärmekapazität	167
13.2 Arten	168
14 Zubehörteile	175
15 Hinweise zur Projektierung von Hydrosystemen	177
16 Aufgaben	178
Quellen und weiterführende Literatur	217
Sachwortverzeichnis	222

6 Hydropumpen

6.1 Allgemeines

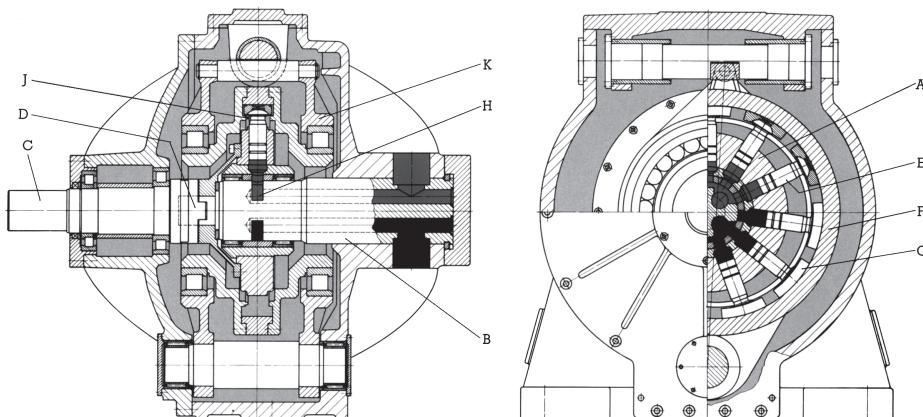
Als Herzstück eines hydraulischen Systems gilt die Hydropumpe. Die über ihre Antriebswelle zugeführte mechanische Energie wird dazu benötigt, die Energie des durch die Pumpe strömenden Öls zu erhöhen und alle in der Pumpe auftretenden Verluste zu decken.

Die Energie des am Druckanschluss der Pumpe austretenden Volumenstroms, die auch **hydrostatische Energie** genannt wird, steht dann für den Betrieb von Hydromotoren bzw. Hydrozylindern zur Verfügung und wird mit diesen wieder in mechanische Energie umgewandelt.

Als **Antriebsmotoren** von Hydropumpen werden meistens Elektromotoren, aber auch Verbrennungsmotoren (bei Baumaschinen z. B. Dieselmotoren) verwendet.

Hydrosysteme erfordern in aller Regel hohe Drücke bei kleinen Förderströmen, die nur in seltenen Fällen größer als 300 l/min sind. Kreiselpumpen können diese Forderungen nicht erfüllen. Deshalb arbeiten Hydropumpen ausnahmslos nach dem Verdrängerprinzip, das auf sich vergrößernden und verkleinernden Räumen basiert. Man spricht bei Maschinen, die nach diesem Prinzip arbeiten, auch von **Verdrängermaschinen**.

Bild 6.1 zeigt als Beispiel für eine Hydropumpe eine Radialkolbenpumpe der Firma *Wepuko Hydraulik* der Baureihe RX.



A = Zylinderstern (rotierend), B = Steuerzapfen (stillstehend), C = Welle, D = Kupplung, E = Kolben, F = Trommel, G = Gleitschuhe, H = Steuerschlitz, J = Rückzugsring

Bild 6.1: Beispiel für eine Hydropumpe – Radialkolbenpumpe (*Wepuko Hydraulik*)

Hinweis: Auf Radialkolbenpumpen wird in Abschnitt 6.8.5 noch näher eingegangen.

6.2 Verdrängungsvolumen, theoretischer Förderstrom

Eine für Hydropumpen bedeutende Kenngröße ist das Verdrängungsvolumen V_i , das auch **Hubvolumen** genannt wird. Darunter wird das bei einer Umdrehung der Antriebswelle geförderte Ölvolume verstanden, das durch Messungen ermittelt wird.

Hinweis: Die genaue Vorgehensweise bei der messtechnischen Ermittlung des Verdrängungsvolumens von Hydropumpen (und Hydromotoren) wird bei *Ivantysyn* erläutert.

Das meist in der Einheit cm^3 angegebene Verdrängungsvolumen V_i ist geringfügig größer als das **geometrische Verdrängungsvolumen** V_g , das sich aus der Geometrie der **Verdrängungsräume** der Pumpe ermitteln lässt. Es ist also

$$V_i \approx V_g. \quad (6.1)$$

Bild 6.2 veranschaulicht für eine **Radialkolbenpumpe** das geometrische Verdrängungsvolumen V_g , das meist an Stelle von V_i in den Datenblättern der Hersteller zu finden ist.

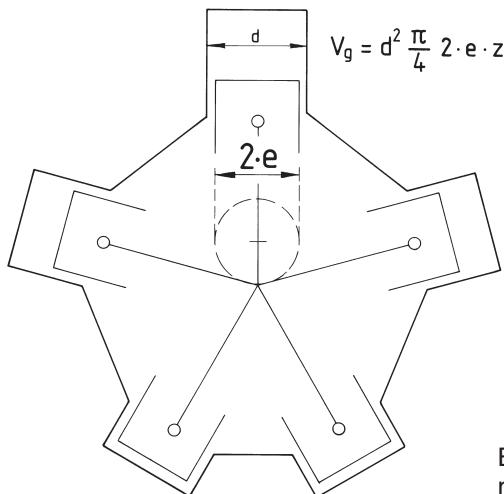


Bild 6.2: Zur Veranschaulichung des geometrischen Verdrängungsvolumens

Bei den Hydropumpen ist zu unterscheiden in Konstantpumpen und Verstellpumpen.

Bei **Konstantpumpen** kann das Verdrängungsvolumen V_i nicht verändert werden, es gilt $V_i = \text{konst.}$

Bei **Verstellpumpen** ist das Verdrängungsvolumen V_i eine veränderbare Größe. Es ist von der **Volumeneinstellung** α abhängig, wobei gilt

$$V_i = \alpha \cdot V_{i,\text{max}}. \quad (6.2)$$

Darin ist $V_{i,\max}$ das größte Verdrängungsvolumen, das von einer Verstellpumpe gefördert werden kann. Die Volumeneinstellung α nimmt bei Verstellpumpen, die nur in einer Richtung fördern, Werte zwischen 0 und 1 an ($0 \leq \alpha \leq 1$). Es gibt aber auch solche, bei denen ohne Änderung der Drehrichtung der Antriebswelle die Förderrichtung geändert werden kann. Für diese gilt dann $-1 \leq \alpha \leq 1$.

Der **theoretische Förderstrom** Q_i einer Hydropumpe ergibt sich durch Multiplikation des Verdrängungsvolumens V_i (Hubvolumen) mit der Drehzahl n der Antriebswelle:

$$Q_i = V_i \cdot n . \quad (6.3)$$

Hinweis: Bei Hydropumpen werden die Begriffe Förderstrom und Volumenstrom gleichbedeutend verwendet.

6.3 Theoretische Pumpenleistung, theoretisches Pumpenmoment

Durch Multiplikation des theoretischen Förderstroms Q_i mit der an der Pumpe anliegenden Druckdifferenz $\Delta p = p_A - p_E$ ergibt sich die **theoretische Pumpenleistung**

$$P_i = Q_i \cdot \Delta p = Q_i(p_A - p_E) . \quad (6.4)$$

Mit $P_i = T_i \cdot \omega = T_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$ wird das **theoretische Pumpenmoment**

$$T_i = \frac{P_i}{\omega} = \frac{P_i}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{Q_i(p_A - p_E)}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{Q_i \cdot \Delta p}{2 \cdot \pi \cdot n} . \quad (6.5)$$

Mit Gl. (6.3) geht Gl. (6.5) über in

$$T_i = \frac{V_i \cdot n \cdot \Delta p}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{V_i \cdot \Delta p}{2 \cdot \pi} . \quad (6.6)$$

6.4 Volumetrischer Wirkungsgrad

Die Definition des volumetrischen Wirkungsgrades lautet

$$\eta_v = \frac{Q_e}{Q_i} . \quad (6.7)$$

Darin bedeutet Q_e der am Druckanschluss der Pumpe (Pumpenausgang) austretende **tatsächliche Volumenstrom**, der auch **effektiver Förderstrom** genannt

wird. Es ist

$$Q_e = Q_i - Q_s \quad (6.8)$$

mit

$$Q_s = Q_{s,\text{in}} + Q_{s,\text{ex}} + Q_{s,\text{fü}} + Q_{s,\text{k}}. \quad (6.9)$$

als Summe der insgesamt auftretenden **volumetrischen Verluste**.

Der im Innern der Pumpe auftretende **innere Leckstrom** $Q_{s,\text{in}}$ ist eine Folge des in der Pumpe herrschenden Druckgefälles und den aus technischen Gründen unvermeidlichen Spalte, beispielsweise zwischen feststehendem Gehäuse und sich darin bewegenden Bauteilen. Der **äußere Leckstrom** $Q_{s,\text{ex}}$ ist der die Pumpe verlassende – nach außen austretende – Leckstrom. Durch die **Füllungsverluste** $Q_{s,\text{fü}}$ wird die Herabsetzung des Förderstroms durch unvollständige Pumpenfüllung berücksichtigt, die insbesondere bei Kavitation auftritt: Teile der Verdrängungsräume werden dadurch mit einem Gemisch aus Öl und Luft gefüllt; am Druckstutzen der Pumpe liegt dann ein um die **Füllungsverluste** geringerer Förderstrom vor. Durch den **Kompressionsverlust** $Q_{s,\text{k}}$ wird berücksichtigt, dass es infolge der Kompressibilität des Öls ebenfalls zur einer Verringerung des Förderstroms kommt.

Bild 6.3 zeigt in qualitativer Darstellung die Verläufe des effektiven und theoretischen Förderstroms in Abhängigkeit von Druckdifferenz und Drehzahl.

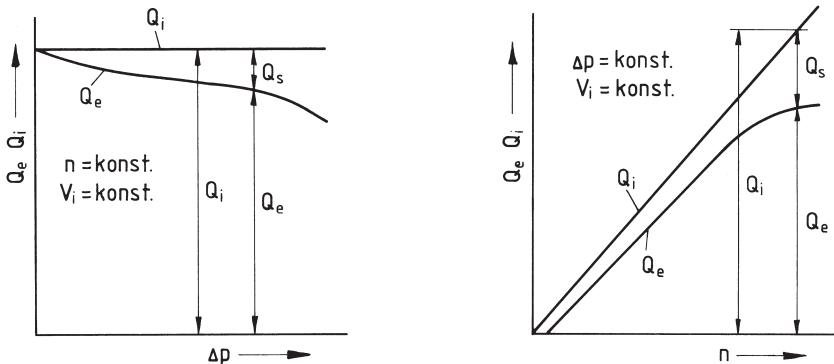


Bild 6.3: Verläufe des effektiven und theoretischen Förderstroms (qualitativ)

Werden die Gln. (6.3) und (6.8) in Gl. (6.7) eingesetzt, erhält man für den volumetrischen Wirkungsgrad

$$\eta_v = \frac{Q_i - Q_s}{Q_i} = 1 - \frac{Q_s}{Q_i} = 1 - \frac{Q_s}{V_i \cdot n}. \quad (6.10)$$

Ist der volumetrische Wirkungsgrad bekannt, lässt sich der effektive Förderstrom der Hydropumpe berechnen:

$$Q_e = Q_i \cdot \eta_v = V_i \cdot n \cdot \eta_v. \quad (6.11)$$

Sachwortverzeichnis

- Absolutdruck 13
Abtriebsleistung, mechanische 98
Abtriebsmoment, mechanisches 98
Additive 162
Alterungsbeständigkeit 168
Anschlussplatten 175
Antriebsleistung, mechanische 71
Antriebsmoment, mechanisches 71
Arbeit, hydraulische 19
Atmosphärendruck 13
Außenzahnradpumpe 76
Axialkolben-Konstantmotor 100
Axialkolbenpumpen 84
- Bauarten von Hydropumpen 75
Befestigungsarten 111
Betätigungsseinrichtungen 49
Blende 33
Brennpunkt 166
- Dampfblasen-Kavitation 45
Differenzdruckmessung 35
Differenzdruckregelventile 142
Differentialzylinder 103, 104
Drosselrückschlagventile 134
Drosselventile 145
Druck 12
Druckbegrenzungsventile 137
Druckdifferenz, atmosphärische 13
Druckflüssigkeiten, schwer entflammbare 168
Druckform 22
Druckmessgeräte 175
Druckminderventile 139
Druckreduzierventile 139
Druckregelventile 139
Druckübersetzung 18
Druckventile 136
Druckverhältnisventile 141
Druckverlust 28, 30
Durchflusskoeffizient 35
Durchflusszahl 35
Durchmesser, hydraulischer 30
Düse 33
- Einspannung, hydraulische 133
Endlagendämpfung 104, 106, 111
Energie, hydrostatische 67
- Energieform 22
Energiesteuerung 53
Energieumformung 52
Englergrade 162
Entlüftungsventile 175
Ersatzdurchmesser 30
Eulersche Knickkraft-Gleichung 113
Exzentrizität 79, 82
- Flammpunkt 166
Flügelzellenpumpe, direkt gesteuerte 80
Flügelzellenpumpen 78
Folgeventile 144
Förderstrom, effektiver 69
–, theoretischer 69
Formstücke 30
Fressverschleiß 166
Füllungsverluste 70
Funktionselemente 48
- Gesamtdruckverlust 41
Gesamtenergie 22
Gesamtvolumenstrom 41
Gesamtwiderstand 41
Gesamtwirkungsgrad 19, 20, 71, 99
Geschwindigkeit, kritische 25
Gesetz von Pascal 14
Gleichgangzylinder 103, 106
Gleichlaufzylinder 103
Gleichlauf-Teleskopzylinder 109
Graetzschaltung 156
Grundgesetz der Hydrostatik 14
Grundsymbole 47
- Haftvermögen 166
Hintereinanderschaltung 40
Höhenform 22
Hub-Schwenkeinheit 120
Hubfunktion 120
Hubverdrängermaschinen 75
Hubvolumen 68
Hydrauliköle 160, 169
Hydromotoren 95
Hydropumpen 67
Hydroventile 123
Hydrozylinder 102

- Implosion 46
Inhibitoren 166
Innenzahnradpumpe 78
- Kavitation 45
Kavitationserosion 46
Kavitationslärm 46
Kennlinien/Kennfelder 89, 99
Kennlinienfelder 77
Knickkraft 114
Knicksicherheit 113, 114
-, erforderliche 115
Kolbenhub 85
Kolbenstangenkraft 116
Kompressibilität 42, 165
Kompressibilitätskoeffizient, isothermer 43
Kompressionsmodul, mittlerer 43
-, wahrer 43
Kompressionsverlust 70
Kompressionsvolumen 43
Konstantdrosselventile 145
Konstantpumpen 68, 76, 78
Kontinuitätsgleichung 21
Korrekturfaktor 30
Korrosionsschutz-Inhibitoren 166
Kraft- und Wegübersetzung 17
Kraftübersetzung 17
Kugelsitzventil 132
- Längsschieberventile 127
Lastwiderstand 61
Leckstrom 35
-, äußerer 70
-, innerer 70
Leistung, hydraulische 19
Leitungen 49
Leitungsbruchsicherungen 136
Leitungsverbindungen 49
Linearmotoren 102
Load Sensing-Regler 92
Luftblasen-Kavitation 45, 167
- Massenströme 21
Mitschleppstrom 38
Motorleistung 98
-, theoretische 97
Motormoment 98
Motormoment, theoretisches 97
- Nullüberdeckung 129
- Öffnungsdruckverhältnis 133
- Parallelschaltung 41
Pourpoint 162, 167
Presse, hydraulische 17
Primärsteuerung 158
Projektierung von Hydrosystemen 177
Proportionalmagnet 151
Proportionalventile 123, 151
Pumpe, selbstansaugende 72
Pumpenleistung, theoretische 69
Pumpenmoment 71
-, theoretisches 69
Pumpenumlauf 127
- Radialkolben-Konstantmotor 99
Radialkolbenpumpe, außenbeaufschlagte 83
Radialkolbenpumpen 81
Reibungsgesetz, newtonsches 25
Reihenschaltung 40
Reynolds-Zahl 24
-, kritische 24
Rohrbruchsicherungen 136
Rohrleitungen 175
Rohreibungszahl 27
Rückschlagventil, federbelastetes 155
Rückschlagventile, einfache 130
-, entsperrbare 131
- Schaltplanbeispiele 155
Schaltpläne 62
Schaltüberdeckung 129
Schaltverhalten 129
Schaumbildung 167
Schlauchkupplungen 175
Schlauchleitungen 175
Schleppstrom 37, 38
Schluckstrom, theoretischer 96
Schluckstrom, effektiver 97
-, theoretischer 96
Schluckvolumen 96
Schmierfilm 160, 166
Schrägachsenpumpen 84, 87
Schrägscheibenpumpen 84
Schraubenspindelpumpen 80
Schwenkfunktion 120
Schwenkmotoren 118, 120
Schweredruck 16
Sekantenkompressionsmodul 43
Sekundärsteuerung 158, 159

- Selbstzündung 46
Servoventile 123, 151
Sicherheitsventile 137
Spaltformel 36
Spaltstrom 37
Speicherung 52
Sperrrichtung 131
Sperrventile 130
Spielausgleich, hydrostatischer 78
Steilgewinde-Schwenkmotor 119
Stetigventile 151
Steuerkanten 129
Stockpunkt 162, 167
Stromlinien 23
Stromregelventile 145, 156
Stromteilventile 149
Strömung, laminare 23
Strömung, turbulente 24
Strömungsverluste 20
Stromventile 144
Symbole, genormte 47

Taumelscheibenpumpen 84
Teleskopzylinder 107
Torquemotor 153

Überdruck 13
Umlaufverdrängermaschinen 75
Unterdruck 14
Unterschicht, laminare 24

Ventilkennlinien 32
Venturirohr 33
Verdrängermaschinen 67
Verdrängerprinzip 95
Verdrängungsräume 68
Verdrängungsvolumen 68
–, geometrisches 68, 82
–, maximales geometrisches 85

Verhältnisdruckregelventile 143
Verluste, volumetrische 70
Verschraubungen 175
Verstelldrosselventile 145
Verstellpumpen 68, 78
Viskosität 25, 160, 162
–, kinematische 25
Viskositäts-Polhöhe 164
Viskositäts-Richtungskonstante 164
Viskositäts-Temperatur-Druck-Verhalten 26
Viskositätsindex 164
Volumeneinstellung 68
Volumenstrom 19
Volumenstrommessgeräte 176
V,T-Diagramme 162

Wandrauigkeit, absolute 29
Wärmekapazität, spezifische 167
Wechselventile 135
2-Wege-Stromregelventile 146
3-Wege-Stromregelventile 147
Wegeventile 123
3/2-Wegeventil 62
3/3-Wegeventil 63
4/3-Wegeventil 64
Wegübersetzung 18
Wellenleistung 20
Widerstand, hydraulischer 39
Widerstandsbeiwert 30
Wirkdruck 35
Wirkungsgrad, hydraulisch-mechanischer 71, 98
Wirkungsgrad, volumetrischer 20, 97

Zahnradpumpen 76
Zubehörteile 175
Zusatzausrüstung 58
Zuschaltventile 144
Zylinder, doppeltwirkende 103
–, einfachwirkende 107