

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Einführung	1
1.1 Begriffe und Abgrenzung des Sachgebietes	1
1.2 Aufbau eines Hydrauliksystems (Hydrosystem)	2
1.3 Vor- und Nachteile der Ölhydraulik	3
1.4 Benennung, Erklärung und Symbole der Ölhydraulik nach der DIN ISO 1219	4
1.4.1 Symbole für Hydropumpen und Hydromotoren	4
1.4.1.1 Hydropumpen	4
1.4.1.2 Hydromotoren	5
1.4.1.3 Pumpenmotoren	5
1.4.1.4 Zylinder	6
1.4.1.5 Druckübersetzer	6
1.4.1.6 Druckmittelwandler	6
1.4.2 Symbole für Ventile	7
1.4.2.1 Ventile mit mehreren festgelegten Schaltstellungen	7
1.4.2.2 Ventile ohne festgelegte Schaltstellungen	8
1.4.2.3 Ventilbetätigung	8
1.4.2.4 Kennzeichnung der Anschlüsse	8
1.4.2.5 Wegeventile	9
1.4.2.6 Wegeventile mit Proportionalverhalten (stetig verstellbare Ventile)	10
1.4.2.7 Sperrventile	10
1.4.2.8 Druckventile	11
1.4.2.9 Stromventile	12
1.4.3 Symbole für Hydraulikleitungen und Zubehör	12
1.4.3.1 Leitungen und Behälter	12
1.4.3.2 Hydrospeicher	13
1.4.3.3 Filter	13
1.4.3.4 Vorwärmer	13
1.4.3.5 Kühler	13
1.4.4 Symbole für Betätigungen	13
1.4.4.1 Muskelkraftbetätigung	13
1.4.4.2 Mechanische Betätigung	14
1.4.4.3 Elektrische Betätigung	14
1.4.4.4 Druckbetätigung	14
1.4.5 Symbole verschiedener Geräte und Energiequellen	15
1.5 Das S.I.-Maßsystem und praktische Berechnungen	16

2	Physikalische Grundlagen	17
2.1	Hydrostatik	17
2.2	Hydrodynamik	19
2.2.1	Gleichung von Bernoulli	19
2.2.2	Kontinuitätsgleichung	19
2.2.3	Beschleunigungsdruck	19
2.2.4	Hydraulische Leistung	21
2.3	Strömungsverluste (Druckverluste)	21
2.3.1	Reynoldssche Zahl	22
2.3.2	Strömungsverluste in geraden Leitungen	23
2.3.2.1	Druckverlust bei laminarer Strömung	24
2.3.2.2	Druckverlust bei turbulenter Strömung	25
2.3.3	Strömungsverluste in Krümmern, Verzweigungen, Erweiterungen, Verengungen (Drosseln) usw.	26
2.3.4	Strömungsverluste in Blenden (kurzen Verengungen)	27
2.3.5	Strömungsverlust in Ventilen	28
2.3.6	Druckverlust bei einer anderen Betriebsflüssigkeit	29
2.3.7	Hintereinander- und Parallelschaltung von Ventilen	29
2.3.8	Wirkungsgrad des Leitungs- und Steuerungssystems	29
2.4	Die Kompressibilität der Druckflüssigkeit und ihre Auswirkungen	30
2.4.1	Kompressibilitätsfaktor und Kompressionsmodul	30
2.4.2	Auswirkung der Kompressibilität auf die Bewegung eines Arbeitszylinders	31
2.4.2.1	Bewegungsgenauigkeit	31
2.4.2.2	Schwingungserscheinungen	33
2.4.3	Druckstöße als Folge von Schaltvorgängen	35
2.4.3.1	Druckstöße durch schlagartiges Abschließen einer Leitung	35
2.4.3.2	Druckerhöhung bei langsamem Schließen einer Leitung	38
2.4.4	Anlaufzeit eines Hydromotors oder Zylinders	40
2.5	Kraftwirkung eines Flüssigkeitsstromes	40
2.5.1	Kraft eines Flüssigkeitsstrahles auf eine ebene Platte bei stationärer Strömung	40
2.5.2	Kraftwirkung auf einen rotationssymmetrischen Steuerkolben	41
2.5.3	Kraftwirkung auf einen Steuerkolben mit rechteckigen Kanten	42
2.6	Strömung in Spalten	43
2.6.1	Spalte mit parallelen Wänden ohne äußeren Druck und Einführung des Viskositätsbegriffs	44
2.6.2	Spalt mit parallelen unbewegten Wänden unter Druck	46
2.6.3	Korrekturen der Spaltformel	48
2.6.3.1	Exzentrischer Kolben	48
2.6.3.2	Spalte geringer Breite	48
2.6.4	Kräfte im Spalt – Hydrostatisches Lager	49
2.6.4.1	Kraft, mit der die Spaltwände auseinandergedrückt werden	49
2.6.4.2	Der Gleitschuh als Grundform des hydrostatischen Lagers	50

3 Druckflüssigkeiten	54
3.1 Mineralöle	54
3.1.1 Dichte	55
3.1.2 Kompressibilität	55
3.1.3 Viskosität und Ölauswahl	56
3.1.4 Spezifische Wärme	58
3.1.5 Stockpunkt	59
3.1.6 Flammpunkt	59
3.1.7 Alterung	59
3.1.8 Wasserabscheidevermögen	59
3.1.9 Luftlösevermögen und der Einfluss von Luft in Hydrauliksystemen	59
3.2 Schwerentflammbare Druckflüssigkeiten	61
3.2.1 Wasserhaltige Druckflüssigkeiten (HFA, HFB, HFC)	62
3.2.2 Wasserfreie Druckflüssigkeiten (Kennbuchstaben HDF)	63
3.3 Umweltverträgliche Druckflüssigkeiten	63
3.3.1 Polyglykole (Kennbuchstaben HEPG)	63
3.3.2 Native (pflanzliche) Öle (HETG)	63
3.3.3 Synthetische Ester (HEES)	63
3.4 Pflege und Wechsel der Druckflüssigkeit	64
4 Filter, Flüssigkeitsbehälter, Wärmeanfall und Kühlung	65
4.1 Filter	65
4.1.1 Filteranordnung	66
4.1.2 Bauarten von Filterelementen	67
4.1.2.1 Oberflächenfilter	67
4.1.2.2 Tiefenfilter	67
4.1.2.3 Magnetfilter	68
4.2 Flüssigkeitsbehälter	68
4.3 Wärmeanfall und Kühlung	68
4.3.1 Verluste in einem Hydraulik-System	68
4.3.2 Erwärmungsvorgang einer ölhydraulischen Anlage	69
4.3.3 Wärmeabgabe über den Ölbehälter und zusätzliche Kühlung	71
4.3.4 Vorwärmer (Heizer)	72
5 Hydropumpen	73
5.1 Berechnungsgrundlagen	74
5.1.1 Förderdruck und Leistung	74
5.1.2 Grundgleichungen ohne Verluste	75
5.1.3 Wirkungsgrade und Grundgleichungen mit Verlusten	76
5.1.4 Saugverhalten	78
5.1.5 Einfluss der Kompressibilität auf den effektiven Förderstrom	78
5.1.6 Ungleichförmigkeitsgrad	80
5.2 Bauarten hydrostatischer Pumpen	82
5.2.1 Zahnpumpen	82
5.2.1.1 Außenzahnradpumpe	82
5.2.1.2 Innenzahnradpumpe	84
5.2.1.3 Zahnringpumpe	85
5.2.1.4 Schraubenspindelpumpe	85

5.2.2	Flügelpumpen	86
5.2.2.1	Flügelzellenpumpe (einhubig)	86
5.2.2.2	Drehflügelpumpe (zweihubige Flügelzellenpumpe)	87
5.2.2.3	Sperrflügelpumpe	88
5.2.3	Kolbenpumpen	89
5.2.3.1	Radialkolbenpumpen	89
5.2.3.2	Axialkolbenpumpen	92
5.2.4	Betriebsgrößen hydrostatischer Pumpen	96
5.3	Kennlinien	97
5.4	Verstell- und Regeleinrichtungen für Hydropumpen	98
5.4.1	Verstellrichtungen	99
5.4.1.1	Handverstellung	99
5.4.1.2	Elektromotorische Verstellung	99
5.4.1.3	Mengen- oder druckabhängige hydraulische Verstellung	99
5.4.1.4	Mechanisch-hydraulische Verstellung (Folgekolbenprinzip)	100
5.4.2	Elektrohydraulische Verstellung	101
5.4.3	Regeleinrichtungen	103
5.4.3.1	Leistungsregler	103
5.4.3.2	Druckregler	105
5.4.3.3	Stromregler (Förderstromregler)	106
5.4.3.4	Kombinierte Regelung	107
5.5	Servopumpen	107
6	Motoren	109
6.1	Zylinder	110
6.1.1	Bauformen	110
6.1.2	Aufbau eines Zylinders	110
6.1.3	Berechnung eines Hydrozylinders	111
6.1.4	Einfluss der Kompressibilität der Druckflüssigkeit	114
6.1.5	Endlagendämpfung	114
6.1.6	Befestigungsarten	115
6.2	Hydromotoren	116
6.2.1	Bauarten	116
6.2.2	Wirkungsgrade und Grundgleichungen mit Verlusten	119
6.2.3	Kompressibilitätseinfluss	121
6.3	Schwenkmotoren	122
6.4	Kräfte und Momente an Motoren	122
6.5	Berechnung von Hydrosystemen (Hydrokreisläufen)	124
7	Ventile als Steuergeräte und ihre Anwendungen	128
7.1	Druckventile	129
7.1.1	Druckbegrenzungsventile (DbV)	129
7.1.1.1	Direktgesteuertes Druckbegrenzungsventil	130
7.1.1.2	Indirekt- oder vorgesteuertes Druckbegrenzungsventil	131
7.1.1.3	Kennlinie	133
7.1.2	Druckminderventile (Druckregelventile)	133

7.1.3	Druckschaltventile	135
7.1.3.1	Zuschaltventil	135
7.1.3.2	Abschaltventil	136
7.2	Wegeventile (Schaltventile)	136
7.2.1	Wege-Kolbenventile (Schieberventile)	136
7.2.1.1	Bauformen von Schieberventilen	136
7.2.1.2	Schaltstellungen und Schaltvorgang	138
7.2.1.3	Betätigungsarten	139
7.2.1.4	Schaltungsbeispiele	141
7.2.2	Wege-Sitzventile	143
7.3	Sperrventile	144
7.3.1	Rückschlagventile	144
7.3.2	Ferngesteuerte Rückschlagventile	145
7.4	Stromventile	147
7.4.1	Kennlinien der Stromventile	147
7.4.2	Steuerungsarten mit Stromventilen	148
7.4.3	Einfache Stromventile (Drosselventile)	149
7.4.4	Stromregelventile	151
7.4.4.1	2-Wege-Stromregelventil	151
7.4.4.2	3-Wege-Stromregelventil	152
7.5	2-Wege-Einbauventile	155
7.5.1	Beschreibung eines 2-Wege-Einbauventils	156
7.5.2	Steuerung mit 2-Wege-Einbauventilen	156
8	Stetig verstellbare Ventile (Stetigventile)	159
8.1	Elektrohydraulische Servoventile	159
8.1.1	Wirkungsvergleich: Wegeschaltventil – Servoventil	160
8.1.2	Aufbau und Bauarten der Servoventile	161
8.1.3	Beispiel eines zweistufigen Servoventils	162
8.1.4	Kennlinien und Auswahl eines Servoventils	163
8.1.5	Dynamisches Verhalten eines Servoventils	166
8.2	Das Servoventil im elektrohydraulischen Regelkreis	167
8.3	Proportionalventile	168
8.3.1	Proportionalmagnete	169
8.3.2	Proportional-Druckventile	169
8.3.3	Proportional-Wegeventile	170
8.3.4	Auslegung von Steuerungen mit Proportional-Wegeventilen	174
8.3.5	Proportionale Stromregelung (Proportional-Stromventil)	177
8.4	Regelventile	178
9	Hydrospeicher	180
9.1	Anwendungsmöglichkeiten	180
9.1.1	Hydrospeicher als sekundäre Energiequelle	180
9.1.2	Hydrospeicher als Notenergiequelle	180
9.1.3	Hydrospeicher für Druckhaltung in abgesperrten Leitungen für Leckölausgleich und für Volumenausgleich bei Druck- und Temperaturschwankungen	180

9.1.4	Hydrospeicher als Energiequelle für schwingungsfreien hydraulischen Antrieb	181
9.1.5	Hydrospeicher zur Dämpfung von Druckstößen und zur Federung	181
9.2	Hydrospeicherbauarten	181
9.3	Berechnung des Gas-Hydrospeicher	182
9.4	Sicherheitsbestimmungen	184
10	Verbindungselemente und Ventilmontagesysteme	185
10.1	Rohrleitungen	185
10.2	Rohrverbindungen	186
10.3	Schlauchleitungen	187
10.4	Ventilmontagesysteme	188
11	Dichtungen	190
11.1	Statische Dichtungen	190
11.2	Dynamische Dichtungen	191
11.2.1	Kolbenringe	192
11.2.2	Elastische Dichtungen	192
11.3	Stick-Slip oder Ruckgleiten	193
12	Anwendung von Kennlinien bei der Berechnung von Hydrokreisläufen	195
12.1	Kennlinien der Bauelemente eines Hydrokreislaufes	195
12.2	Hintereinander- und Parallelschaltung	196
12.3	Kennlinie eines Pumpenaggregates	198
12.4	Beispiel für das Zusammenwirken Pumpenaggregat – Verbraucherkreis	199
13	Hydrostatische Getriebe	200
13.1	Schaltpläne und Wirkungsweise	200
13.1.1	Offener Kreislauf	200
13.1.2	Geschlossener Kreislauf	200
13.2	Leistungs-Momentenkennlinie und Berechnung	202
13.3	Wandlungsbereich	204
14	Steuerung im Leistungsbereich	207
14.1	Widerstandssteuerung (Ventilsteuerung)	207
14.2	Verdrängersteuerung	208
15	Prinzipbedingte Leistungsverluste bei Hydrauliksystemen	210
15.1	Pumpensteuerung (Pumpenverstellung)	210
15.2	Ventilsteuerung mit Stromventilen	211
15.2.1	2-Wege-Stromregelventil und Konstantpumpe	211
15.2.2	3-Wege-Stromregelventil und Konstantpumpe	211
15.2.3	2-Wege-Stromregelventil im Bypass	212
15.2.4	2-Wege-Stromregelventil und druckgeregelter Verstellpumpe	213
15.3	Ventilsteuerung mit stetig verstellbaren Wege-Ventilen	213

15.4	Load-Sensing-Systeme	213
15.4.1	Load-Sensing-System mit Konstantpumpe	214
15.4.2	Load-Sensing-System mit Verstellpumpe mit Druck-Förderstromregler	215
15.4.3	Elektrohydraulisches Load Sensing	216
15.5	Sekundärregelung (Motorsteuerung)	216
16	Einführung in die Steuerungstechnik der Signalflüsse	219
16.1	Die Steuerkette	219
16.2	Steuerungsarten nach DIN 19226	221
16.3	Steuerungsbeispiele der Ölhydraulik	222
17	Anwendungsbeispiele der Ölhydraulik	226
17.1	Hydraulische Folgesteuerung einer Spann- und Produktionsvorrichtung	226
17.2	Vorschubantrieb mit Primärsteuerung	227
17.3	Antrieb einer kleineren Oberkolbenpresse	229
17.4	Zentrifugenantrieb	230
17.5	Antrieb der Spritzeinheit einer Spritzgießmaschine	231
17.6	Geschwindigkeitsgeregelter Antrieb einer fliegenden Säge	233
17.7	Hydropulsanlage (Servohydraulische Prüfanlage)	234
17.8	Hubstaplerantrieb	235
17.9	Antrieb eines vollhydraulischen Mobilbaggers	236
17.10	Elektronisch geregelter Fahrtrieb eines Kommunalfahrzeuges	238
17.11	Hydrostatische Lüfterantriebe für Verbrennungsmotoren	240
Anhang	243
	Literaturangaben	243
	Normen und Richtlinien	245
	Lösungen zu den Übungsbeispielen	246
	Formelzeichen und Indizes	251
Sachwortverzeichnis	254