

# Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Indizes .....	XIV
<b>1 Einführung.....</b>	<b>1</b>
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

<b>2 Physikalische Grundlagen .....</b>	<b>17</b>
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 Reynoldsche 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 Schwingungerscheinungen .....	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 auseinander gedrückt werden ....	49
2.6.4.2 Der Gleitschuh als Grundform des hydrostatischen Lagers ....	50

<b>3 Druckflüssigkeiten .....</b>	<b>54</b>
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 Luftplosevermögen und der Einfluss von Luft in Hydrauliksystemen .....	59
3.2 Schwerentflammbarer 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
<b>4 Filter, Flüssigkeitsbehälter, Wärmeanfall und Kühlung .....</b>	<b>65</b>
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 .....	69
4.3.1 Verluste in einem Hydraulik-System .....	69
4.3.2 Erwärmungsvorgang einer ölhydraulischen Anlage .....	70
4.3.3 Wärmeabgabe über den Ölbehälter und zusätzliche Kühlung .....	71
4.3.4 Vorwärmer (Heizer) .....	72
<b>5 Hydropumpen .....</b>	<b>73</b>
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 .....	79
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 Zahrringpumpe .....	85
5.2.1.4 Schraubenspindelpumpe .....	85

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	Sicherheitsanforderungen .....	184
<b>10</b>	<b>Verbindungselemente und Ventilmontagesysteme .....</b>	<b>185</b>
10.1	Rohrleitungen .....	185
10.2	Rohrverbindungen .....	186
10.3	Schlauchleitungen .....	187
10.4	Ventilmontagesysteme .....	188
<b>11</b>	<b>Dichtungen .....</b>	<b>190</b>
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 .....	194
<b>12</b>	<b>Anwendung von Kennlinien bei der Berechnung von Hydrokreisläufen .....</b>	<b>195</b>
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
<b>13</b>	<b>Hydrostatische Getriebe .....</b>	<b>200</b>
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
<b>14</b>	<b>Steuerung im Leistungsbereich .....</b>	<b>207</b>
14.1	Widerstandssteuerung (Ventilsteuerung) .....	207
14.2	Verdrängersteuerung .....	208
14.3	Drehzahlvariabler Pumpenantrieb .....	209
<b>15</b>	<b>Prinzipbedingte Leistungsverluste bei Hydrauliksystemen .....</b>	<b>210</b>
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 druckgeregelte Verstellpumpe .....	213

15.3	Ventilsteuерung 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
<b>16</b>	<b>Einführung in die Steuerungstechnik der Signalflüsse .....</b>	<b>219</b>
16.1	Die Steuerkette .....	219
16.2	Steuerungsarten nach DIN 19226 .....	221
16.3	Steuerungsbeispiele der Ölhydraulik .....	222
<b>17</b>	<b>Anwendungsbeispiele der Ölhydraulik .....</b>	<b>226</b>
17.1	Hydraulische Folgesteuierung 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 Fahr'antrieb eines Kommunalfahrzeuges .....	238
17.11	Hydrostatische Lüfterantriebe für Verbrennungsmotoren .....	240
<b>Anhang .....</b>	<b>243</b>	
Literaturangaben .....	243	
Normen und Richtlinien (Beispiele) .....	245	
Lösungen zu den Übungsbeispielen .....	246	
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>251</b>	