

# Inhalt

<b>1 Einführung</b>	
1.1 Begriffe . . . . .	11
1.2 Aufbau und Funktion ölhydraulischer Antriebe . . . . .	12
1.3 Technische Eigenschaften ölhydraulischer Antriebe . . . . .	15
1.4 Geschichtliche Entwicklung der Ölhydraulik . . . . .	16
<b>2 Grundlagen für Entwicklung und Betrieb ölhydraulischer Antriebe</b>	
2.1 Grundlagen über Druckflüssigkeiten . . . . .	20
2.1.1 Aufgaben und Anforderungen . . . . .	20
2.1.2 Arten und Stoffdaten . . . . .	21
2.1.3 Physikalisches Verhalten . . . . .	24
2.1.3.1 Viskositätsverhalten. 2.1.3.2 Dichteverhalten.	
2.1.3.3 Luftaufnahmevermögen	
2.2 Grundlagen aus der Hydrostatik . . . . .	31
2.2.1 Hydrostatisches Verhalten von Flüssigkeiten . . . . .	31
2.2.2 Energiewandlung mit Kolben und Zylinder . . . . .	32
2.2.3 Energiewandlung mit rotierendem Verdränger . . . . .	33
2.3 Grundlagen aus der Hydrodynamik . . . . .	34
2.3.1 Kontinuitätsgleichung . . . . .	34
2.3.2 Bernoulli'sche Bewegungsgleichung . . . . .	35
2.3.3 Druckverlust in Rohrleitungen . . . . .	36
2.3.3.1 Grundlegende Betrachtungen. 2.3.3.2 Laminare Rohrströmung. 2.3.3.3 Turbulente Rohrströmung	
2.3.4 Druckverlust in Krümmern und Leitungselementen . . . . .	43
2.3.5 Druckverlust in Ventilen und Geräten . . . . .	46
2.3.6 Volumenstrom durch Drosseln . . . . .	46
2.3.7 Leckölverlust durch Spalte . . . . .	48
2.3.8 Kraftwirkung strömender Flüssigkeiten . . . . .	49
2.4 Grundlagen aus der Gleitlagertechnik . . . . .	50
2.5 Schaltzeichen . . . . .	53
<b>3 Energiewandler für stetige Bewegung (Hydropumpen und -motoren)</b>	
3.1 Axialkolbenmaschinen . . . . .	59
3.1.1 Schrägachsenmaschinen . . . . .	59
3.1.2 Schrägscheibenmaschinen . . . . .	62
3.1.3 Taumelscheibenmaschinen . . . . .	64
3.1.4 Berechnung von Axialkolbenmaschinen . . . . .	65

3.2	Radialkolbenmaschinen . . . . .	68
3.2.1	Innenbeaufschlagte Maschinen . . . . .	68
3.2.2	Außenbeaufschlagte Maschinen . . . . .	70
3.2.3	Berechnung von Radialkolbenmaschinen . . . . .	70
3.3	Zahnrad- und Zahnringmaschinen . . . . .	71
3.3.1	Außenzahnradmaschinen . . . . .	71
3.3.2	Innenzahnradmaschinen . . . . .	73
3.3.3	Zahnringmaschinen . . . . .	74
3.3.4	Berechnung von Zahnrad- und Zahnringmaschinen . . . . .	75
3.4	Flügelzellenmaschinen . . . . .	75
3.4.1	Einhubige Maschinen . . . . .	76
3.4.2	Mehrhubige Maschinen . . . . .	76
3.4.3	Berechnung von Flügelzellenmaschinen . . . . .	77
3.5	Sperr- und Rollflügelmaschinen . . . . .	77
3.5.1	Sperrflügelmaschinen . . . . .	77
3.5.2	Rollflügelmaschinen . . . . .	78
3.5.3	Berechnung von Sperr- und Rollflügelmaschinen . . . . .	78
3.6	Schraubenmaschinen . . . . .	79
3.7	Betriebsverhalten von Verdrängermaschinen . . . . .	80
3.7.1	Betriebseigenschaften der Bauarten . . . . .	80
3.7.2	Wirkungsgrade und Kennlinienfelder . . . . .	80
3.7.3	Förderstrom- und Druckpulsation . . . . .	88
3.7.4	Pulsationsdämpfung . . . . .	92

#### 4 Energiewandler für absätzige Bewegung (Hydrozylinder, Schwenkmotoren)

4.1	Einfachwirkende Zylinder . . . . .	96
4.1.1	Plunger- oder Tauchkolbenzylinder . . . . .	96
4.1.2	Normaler einfachwirkender Zylinder . . . . .	96
4.1.3	Mehrfach- oder Teleskopzylinder . . . . .	97
4.2	Doppeltwirkende Zylinder . . . . .	99
4.2.1	Zylinder mit zweiseitiger Kolbenstange (Gleichlaufzylinder) . . . . .	99
4.2.2	Zylinder mit einseitiger Kolbenstange (Differentialzylinder) . . . . .	100
4.3	Detailgestaltung und Einbau von Hydrozylindern . . . . .	101
4.3.1	Endlagendämpfung . . . . .	101
4.3.2	Einbau von Hydrozylindern . . . . .	102
4.4	Schwenkmotoren . . . . .	102
4.4.1	Schwenkmotoren mit mechanischer Übersetzung . . . . .	103
4.4.2	Schwenkmotoren mit direkter Beaufschlagung . . . . .	104

#### 5 Elemente und Geräte zur Energiesteuerung und -regelung (Ventile)

5.1	Betätigungsmitte für Ventile . . . . .	105
5.1.1	Übersicht . . . . .	105
5.1.2	Schaltende elektromechanische Wandler . . . . .	107

## 6 Inhalt

5.1.3 Proportionalwirkende elektromechanische Wandler . . . . .	109
5.1.3.1 Geschichtliche Entwicklung. 5.1.3.2 Torque-Motoren.	
5.1.3.3 Tauchspulen. 5.1.3.4 Proportionalmagnete	
5.2 Wegeventile . . . . .	114
5.2.1 Konstruktive Gestaltung . . . . .	114
5.2.2 Nichtdrosselnde Wegeventile . . . . .	118
5.2.2.1 Direkt betätigte nichtdrosselnde Wegeventile. 5.2.2.2 Über Vorsteuerventil betätigte nichtdrosselnde Wegeventile	
5.2.3 Drosselnde Wegeventile . . . . .	120
5.2.3.1 Mechanisch betätigte drosselnde Wegeventile. 5.2.3.2 Elektromechanisch betätigte proportionalwirkende Wegeventile	
5.2.4 Betriebsverhalten von Wegeventilen . . . . .	126
5.2.4.1 Druckabfall in Wegeventilen. 5.2.4.2 Statisches und dynamisches Verhalten von proportionalwirkenden Wegeventilen	
5.3 Sperrventile . . . . .	131
5.3.1 Einfache Rückschlagventile . . . . .	132
5.3.2 Entsperrbare Rückschlagventile . . . . .	132
5.3.3 Drosselrückschlagventile . . . . .	132
5.4 Druckventile . . . . .	133
5.4.1 Druckbegrenzungsventile . . . . .	134
5.4.2 Druckverhältnisventile (Druckstufenventile) . . . . .	135
5.4.3 Folgeventile (Zuschaltventile) . . . . .	136
5.4.4 Druckregel- oder Druckreduzierventile (Druckminderventile) . .	137
5.4.5 Differenzdruckregelventile (Druckgefalleventile) . . . . .	137
5.4.6 Verhältnisdruckregelventile (Druckverhältnisventile) . . . . .	138
5.4.7 Kombinierte Druckventile . . . . .	138
5.4.8 Proportional-Druckventile . . . . .	140
5.4.9 Betriebsverhalten von Druckventilen . . . . .	141
5.5 Stromventile . . . . .	143
5.5.1 Drosselventile . . . . .	143
5.5.2 Stromregelventile . . . . .	144
5.5.3 Stromteilventile . . . . .	146
5.5.4 Proportional-Stromventile . . . . .	147
5.5.5 Betriebsverhalten von Stromventilen . . . . .	148
5.6 2-Wege-Einbauventile . . . . .	149
5.7 Ventilanschluß- und Verknüpfungsarten . . . . .	154
<b>6 Elemente und Geräte zur Energieübertragung</b>	
6.1 Verbindungselemente . . . . .	156
6.1.1 Rohr- und Schlauchleitungen . . . . .	156
6.1.2 Rohr- und Schlauchverbindungen . . . . .	159
6.2 Dichtungen . . . . .	160
6.2.1 Statische Dichtungen . . . . .	160
6.2.2 Dynamische Dichtungen . . . . .	161

6.2.3	Betriebsverhalten von Dichtungen . . . . .	162
6.3	Ölbehälter . . . . .	163
6.3.1	Allgemeines . . . . .	163
6.3.2	Offene Ölbehälter . . . . .	163
6.3.3	Geschlossene Ölbehälter . . . . .	164
6.4	Filter . . . . .	165
6.4.1	Allgemeines . . . . .	165
6.4.2	Filterelemente . . . . .	166
6.4.3	Einsatzarten und Filterbauarten . . . . .	167
6.5	Hydrospeicher . . . . .	169
6.5.1	Allgemeines . . . . .	169
6.5.2	Speicherbauarten . . . . .	169
6.5.3	Berechnung von Speichern . . . . .	171
6.5.4	Sicherheitsbestimmungen . . . . .	173
6.6	Wärmetauscher . . . . .	174
6.6.1	Heizer (Vorwärmer) . . . . .	174
6.6.2	Kühler . . . . .	174
6.7	Schalt- und Meßgeräte . . . . .	176

## **7 Steuerung und Regelung hydrostatischer Antriebe**

7.1	Allgemeines . . . . .	178
7.2	Methoden zur Veränderung des Volumenstroms . . . . .	179
7.2.1	Verwendung von Doppel- oder Mehrfachpumpen . . . . .	180
7.2.2	Verwendung von Konstantpumpe und Drosselventil . . . . .	181
7.2.3	Verwendung von verstellbaren Verdrängermaschinen . . . . .	183
7.3	Steuerung mit Verstellpumpen . . . . .	185
7.3.1	Grundlagen . . . . .	185
7.3.2	Steuerungsarten . . . . .	186
7.3.2.1	Mechanische und elektrische Steuerungen. 7.3.2.2	
	Hydraulische Steuerungen. 7.3.2.3 Kombinierte Steuerungen	
7.4	Regelung mit Verstellpumpen . . . . .	192
7.4.1	Grundlagen . . . . .	192
7.4.2	Regelungsarten . . . . .	193
7.4.2.1	Druckregelungen. 7.4.2.2 Stromregelungen. 7.4.2.3	
	Leistungsregelungen. 7.4.2.4 Kombinierte Regelungen	

## **8 Planung und Betrieb hydrostatischer Anlagen**

8.1	Schaltungsbeispiele . . . . .	200
8.1.1	Schaltungen für einzelne Verbraucher . . . . .	201
8.1.2	Schaltungen für mehrere Verbraucher . . . . .	204
8.1.3	Systemschaltungen . . . . .	207
8.2	Planung und Berechnung . . . . .	211

## **8 Inhalt**

<b>8.2.1 Bestimmung der Grunddaten . . . . .</b>	<b>212</b>
8.2.1.1 Planungsschritte. 8.2.1.2 Funktionsdiagramme.	
8.2.1.3 Antriebsart und Betriebsdruck. 8.2.1.4 Planungsbeispiel	
<b>8.2.2 Leistungsfluß und Wirkungsgrade . . . . .</b>	<b>222</b>
<b>8.2.3 Wärmetechnische Auslegung . . . . .</b>	<b>223</b>
8.2.3.1 Grundlagen. 8.2.3.2 Erwärmungsverlauf. 8.2.3.3 Berechnungsbeispiel	
<b>8.3 Überlegungen zum Betriebsverhalten . . . . .</b>	<b>229</b>
8.3.1 Schwingungs- und Kavitationserscheinungen . . . . .	229
8.3.2 Eigenschaften der Druckflüssigkeit . . . . .	230
8.3.3 Sonstige Einflüsse . . . . .	231
<b>9 Anwendungsbeispiele</b>	
<b>9.1 Hydrostatische Getriebe . . . . .</b>	<b>232</b>
<b>9.2 Sekundärgegeregelte hydrostatische Antriebe . . . . .</b>	<b>236</b>
<b>9.3 Hydraulik in mobilen Arbeitsmaschinen . . . . .</b>	<b>242</b>
<b>9.4 Hydraulik in stationären Arbeitsmaschinen . . . . .</b>	<b>255</b>
<b>Normen und Richtlinien . . . . .</b>	<b>261</b>
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>263</b>
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>267</b>