

# Inhaltsverzeichnis

		Seite
<b>Formel- und Kurzzeichen</b>		10
<b>1 Einführung</b>		15
1.1 Definition des Fachgebietes		15
1.2 Grundkreisläufe der Hydrostatik		16
1.3 Anwendungsgebiete		19
1.4 Hydraulische Leistungsübertragung im Vergleich		23
1.5 Historische Entwicklung		25
<b>2 Hydromechanische Grundlagen</b>		33
2.1 Hydrostatik		34
2.2 Grundgleichungen der Hydrodynamik		35
2.2.1 Kontinuitätsgleichung		38
2.2.2 Energieerhaltungssatz für ideale Flüssigkeiten (Bernoulli-Gleichung)		40
2.2.3 Impulssatz für ideale Flüssigkeiten		45
2.3 Einfluss der Viskosität von Druckflüssigkeiten		52
2.3.1 Viskosität		52
2.3.2 Widerstandscharakteristik hydraulischer Strömungswiderstände		53
2.3.3 Druckverluste in hydraulischen Steuerungen		61
2.3.4 Squeeze-Film-Effekt		70
2.4 Einfluss der Kompressibilität von Druckflüssigkeiten		72
2.5 Kavitation		79
2.5.1 Definition und physikalische Zusammenhänge		79
2.5.2 Kavitationszahl und Einflussgrößen auf die Kavitation		81
2.5.3 Kavitationsarten und Erscheinungsformen in hydraulischen Systemen		82
2.5.4 Auswirkungen von Kavitation und Maßnahmen zu deren Minderung		83
<b>3 Druckflüssigkeiten</b>		85
3.1 Einteilung der Druckflüssigkeiten		87
3.2 Physikalische Eigenschaften und Kennwerte von Druckflüssigkeiten		89
3.2.1 Einflussgrößen auf die Viskosität		89
3.2.2 Dichte		96
3.2.3 Luft in der Druckflüssigkeit		98
3.2.4 Kompressionsmodul		99
3.2.5 Wassergefährdung durch Druckflüssigkeiten		103
3.2.6 Biologische Abbaubarkeit von Druckflüssigkeiten		103
3.2.7 Weitere wichtige Eigenschaften		105
3.3 Druckflüssigkeiten auf Mineralölbasis		108
3.4 Schwerentflammbare Druckflüssigkeiten		111
3.5 Biologisch schnell abbaubare Druckflüssigkeiten		114
3.6 Sonstige Druckflüssigkeiten		120
3.7 Wichtige Normen, Gesetze und Verordnungen für Druckflüssigkeiten		125

	Seite	
<b>4</b>	<b>Hydraulikgeräte zur Energieumformung</b>	<b>129</b>
4.1	Hydrostatische Verdrängereinheiten (Hydropumpen und -motoren)	129
4.1.1	Funktionsweise und Aufbauprinzipien von Verdrängereinheiten	129
4.1.2	Berechnungsgrundlagen	134
4.1.3	Konstruktive Ausführungen von Verdrängereinheiten	146
4.1.4	Steuerungen und Regelungen	165
4.2	Hydrozylinder	172
4.2.1	Berechnungsgrundlagen	172
4.2.2	Bauformen von Hydrozylindern	175
4.2.3	Endlagendämpfung	180
4.2.4	Dichtsysteme für Hydrozylinder	182
4.3	Schwenkantriebe	189
<b>5</b>	<b>Steuerung der hydraulischen Leistung durch Ventile</b>	<b>191</b>
5.1	Wegeventile	188
5.1.1	Wegeventile in Schieberbauweise	189
5.1.2	Wegeventile in Sitzbauweise	197
5.2	Elektromagnetische Betätigung von Wegeventilen	199
5.2.1	Gleichstrommagnete	199
5.2.2	Wechselstrommagnete	206
5.3	Sperrventile	208
5.4	Druckventile	210
5.4.1	Druckbegrenzungsventile	210
5.4.2	Druckreduzierventile	218
5.5	Stromventile	221
5.5.1	Methoden der Geschwindigkeitssteuerung mit Stromventilen	221
5.5.2	Drosselventile	223
5.5.3	Stromregelventile	225
5.5.4	Volumenstromteiler-Ventile	228
5.6	Steuerungs- und Schaltungstechnik mit 2-Wege-Einbauventilen	232
5.6.1	Vergleich der Schaltungskonzepte	230
5.6.2	Funktionseinheiten aus 2-Wege-Einbauventilen	231
5.6.3	Einsatz der Schaltungstechnik mit 2-Wege-Einbauventilen	236
5.7	Steuerungstechnik mit Stetigventilen	239
5.7.1	Elektromagnetische Umformer	241
5.7.2	Direktgesteuerte Proportional-Wegeventile und Regelventile	250
5.7.3	Vorgesteuerte Proportional-Wegeventile, Regelventile und Servoventile	254
5.7.4	Statisches Verhalten von Proportional-Wegeventilen	260
5.7.5	Dynamisches Verhalten	268
5.7.6	Geschwindigkeitssteuerungen mit Proportional-Wegeventilen	271
5.7.7	Proportional-Druckventile	272
5.8	Energieeffizienz elektrohydraulischer Antriebe	275

	Seite	
<b>6      Hydrostatische Getriebe</b>	<b>277</b>	
6.1    Prinzipieller Aufbau und Bauformen	277	
6.2    Übertragungseigenschaften	280	
6.2.1    Statisches Verhalten	280	
6.2.2    Dynamisches Verhalten	281	
6.3    Stufenlose hydrostatische Getriebe mit Leistungsverzweigung	283	
6.3.1    Innere Leistungsverzweigung	284	
6.3.2    Äußere Leistungsverzweigung mit 3-welligem Planetengetriebe	285	
6.3.3    Anwendungsbeispiel mit 3-welligem Planetengetriebe	294	
6.3.4    Äußere Leistungsverzweigung mit 4-welligem Planetengetriebe	295	
<b>7      Hydrospeicher</b>	<b>301</b>	
7.1    Aufgaben und Bauarten von Hydrospeichern	301	
7.2    Auslegung von Hydrospeichern	304	
7.3    Richtlinien für den Einsatz von Hydrospeichern	310	
<b>8      Flüssigkeitsaufbereitung und -wartung</b>	<b>313</b>	
8.1    Verschmutzung in Hydraulikanlagen	313	
8.2    Reinheitsklassen für Druckflüssigkeiten	315	
8.3    Filter	320	
8.3.1    Reinigungsfilter	320	
8.3.2    Schutzfilter	321	
8.3.3    Belüftungsfilter	322	
8.3.4    Filteraufbau	325	
8.3.5    Auswahl eines Filters	327	
8.4    Flüssigkeitsbehälter	330	
8.5    Kühlung und Heizung	332	
<b>9      Sicherheit von Maschinen</b>	<b>335</b>	
9.1    Maschinenrichtlinie 2006/98/37/EG	335	
9.2    Verfahren zur Risikominderung	336	
9.3    Funktionale Sicherheit	338	
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>343</b>	
<b>Anhang 1</b>	<b>Graphische Symbole nach DIN ISO 1219</b>	<b>351</b>
<b>Anhang 2</b>	<b>Formelsammlung</b>	<b>357</b>
<b>Anhang 3</b>	<b>Elektrisch-hydraulische Analogien</b>	<b>361</b>
<b>Anhang 4</b>	<b>Momentenbilanz einer Axialkolben-Verdrängereinheit</b>	<b>363</b>
<b>Anhang 5</b>	<b>Eigenschaften verschiedener Energieträger</b>	<b>364</b>
<b>Anhang 6</b>	<b>Schaltungsbeispiel Werkzeugmaschine</b>	<b>366</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>371</b>	