

Inhalt

1	Hydrostatische Antriebe	1
1.1	Einordnung des hydrostatischen Antriebs in die Getriebesystematik	5
1.2	Wirkschema hydrostatischer Antriebe und verallgemeinerte Getriebekennwerte	7
1.3	Gleichmäßig übersetzende hydrostatische Antriebe	11
1.4	Ungleichmäßig übersetzende hydrostatische Antriebe	17
1.5	Elektrohydraulische Präzisions-Stellantriebe für kontrolliertes Bewegen (hydraulische Aktoren)	22
1.5.1	Aktoren für spanende Werkzeugmaschinen	27
1.5.2	Aktoren für umformende Werkzeugmaschinen	30
1.5.3	Aktoren für kunststoffverarbeitende Maschinen	33
1.5.4	Aktoren für Handhabungseinrichtungen	36
1.5.5	Aktoren für Landmaschinen	42
1.5.6	Aktoren für Simulatoren	45
1.5.7	Aktoren für Werkstoffprüfmaschinen	50
	Literatur zu Kapitel 1	52
2	Druckflüssigkeit	58
2.1	Physikalische Grundgesetze für Flüssigkeiten	58
2.1.1	Gesetze der Hydrostatik	58
2.1.2	Kompressibilität	59
2.1.3	Kompression einer Flüssigkeitsmenge bei starrer Gefäßwandung	63
2.1.4	Kompression einer Flüssigkeitsmenge bei elastischer Gefäßwandung	65
2.1.5	Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten	70
2.1.6	Gesetze der Hydrodynamik idealer Flüssigkeiten	71
2.1.6.1	Kontinuitätsgleichung (Massenerhaltungssatz)	72
2.1.6.2	Bernoullische Gleichung für stationäre Strömung (Energiesatz)	73
2.1.6.3	Bernoullische Gleichung für instationäre Strömung	75
2.1.7	Gesetze der Hydrodynamik realer (newtonscher) Flüssigkeiten bei Innenströmung in Rohren	76
2.1.7.1	Strömungsformen realer Flüssigkeiten bei stationärer Strömung	77

2.1.7.2	Reynolds-Zahl als bestimmende Kennzahl für die Ausbildung der Strömungsform	80
2.1.7.3	Bernoullische Gleichung für stationäre Strömung (Energiesatz für reibungsbehaftete Fluide)	83
2.1.7.4	Druckverlust in geraden Rohrleitungen: Reibungsverlust	83
2.1.7.5	Druckverlust in Rohrkrümmern, Leitungsverbindungen und Steuerventilen: Verwirbelungsverlust	88
2.1.7.6	Gesamter Druckverlust und Wirkungsgrad von Energieübertragung und Energiesteuerung	96
2.2	Physikalische Eigenschaften der Hydraulikflüssigkeiten	101
2.2.1	Dichte	101
2.2.2	Viskosität	103
2.2.3	Luftabscheidevermögen	107
2.2.4	Verdampfungsdruck	112
2.3	Mindestanforderungen an Hydraulikflüssigkeiten	112
2.3.1	Hydrauliköle (Mineralöle)	113
2.3.2	ISO-Viskositätsklassifikation der Mineralöle	114
2.3.3	Schwerentflammbare Hydraulikflüssigkeiten	115
2.3.4	Umweltverträgliche Hydraulikflüssigkeiten	118
2.4	Hydraulikflüssigkeit und Betriebssicherheit der Hydroanlage	119
2.4.1	Physikalische Kennwerte zur Qualitätsbewertung von Hydraulikölen	121
2.4.1.1	Richtungskonstante und Viskositätsindex	123
2.4.1.2	Korrosionsschutz	123
2.4.1.3	Alterungsbeständigkeit	124
2.4.1.4	Verhalten gegen Dichtungswerkstoffe	124
2.4.1.5	Mechanische Prüfung in der FZG-Zahnrad-Verspannungs-Prüfmaschine	125
2.4.2	Verschmutzung von Hydraulikflüssigkeiten	125
2.4.2.1	Feststoffverschmutzung	125
2.4.2.2	Gas in Öl (Luft in Öl)	127
2.4.2.3	Wasser in Öl	127
2.5	Durchflußgesetze bei Innenströmung in Funktionsspalten ohne Querschnittsänderung	128
2.5.1	Spaltströmung infolge bewegter Wand (Schleppströmung)	128
2.5.2	Spaltströmung infolge Druckdifferenz (Leckströmung)	131
2.5.3	Überlagerte Spaltströmung	135
2.5.4	Rheologische Eigenschaften von Hydraulikflüssigkeiten mit VT-Verbesserer bei Strömung durch enge Kanäle	138
2.6	Durchflußgesetze bei Innenströmung in Einbauteilen mit Querschnittsänderung	139
2.6.1	Strömung durch Drossel (Kapillare)	139
2.6.2	Strömung durch Blende (Drosselscheibe)	140
	Literatur zu Kapitel 2	143

3	Hydrogeräte zur Energieumformung (Verdrängermaschinen)	147
3.1	Antriebseinheiten als Energiequelle	147
3.1.1	Elektromotoren als Antriebseinheiten von Hydropumpen	147
3.1.1.1	Drehstrom-Asynchronmotor mit Käfigläufer	148
3.1.1.2	Gleichstrommotor mit Fremderregung	149
3.1.2	Verbrennungsmotoren als Antriebseinheiten von Hydropumpen	149
3.2	Hydropumpen	150
3.2.1	Hydraulische Kenngrößen der verlustfreien Pumpe	150
3.2.1.1	Betriebsdruck auf der Eingangsseite (Saugverhalten)	151
3.2.1.2	Betriebsdruck auf der Ausgangsseite (Förderverhalten)	159
3.2.1.3	Förderdruck als nutzbare Betriebsdruckdifferenz der Pumpe (Energieumsatz)	159
3.2.1.4	Geometrisches und theoretisches Fördervolumen	161
3.2.1.5	Theoretischer Förderstrom	164
3.2.2	Kenngrößen des verlustfreien Antriebs	164
3.2.2.1	Theoretisches Pumpendrehmoment	164
3.2.2.2	Theoretische Pumpenleistung	164
3.2.3	Hydraulische Kenngrößen der verlustbehafteten Pumpe	165
3.2.3.1	Effektiver Förderstrom und volumetrischer Wirkungsgrad	166
3.2.4	Kenngrößen des verlustbehafteten Antriebs	169
3.2.4.1	Effektives Pumpendrehmoment und hydraulisch-mechanischer Wirkungsgrad	170
3.2.4.2	Pumpenleistung und Gesamtwirkungsgrad	172
3.2.5	Pumpenkennlinien	175
3.2.5.1	Kennlinien hydraulischer Kenngrößen	177
3.2.5.2	Kennlinien von Kenngrößen des Antriebs	177
3.2.5.3	Pumpenkennfeld	178
3.2.6	Methodische Pumpenauswahl	
	– Arbeitshilfen Leitlinien und Konstruktionskatalog, Zugriffsteil mit Anhang	179
3.2.7	Pumpenbauarten nach Verdrängerprinzipien	
	– Arbeitshilfe Konstruktionskatalog, Gliederungsteil	189
3.2.7.1	Drehkolbenmaschinen	190
3.2.7.2	Hubkolbenmaschinen	191
3.2.8	Ausgeführte Pumpenbauarten	
	– Arbeitshilfe Konstruktionskatalog, Hauptteil	194
3.2.9	Pulsation des Förderstroms	237
3.2.10	Hydroanlage als Geräuschquelle, Lärmschutzmaßnahmen	242
3.2.10.1	Geräuschemission, Meßverfahren und Emissionskenngrößen	243
3.2.10.2	Grundsätze der Geräuschminderung	
	– Richtlinien des lärmarmen Gestaltens	246
3.2.10.3	Lärmreduktion an der Schallquelle	248
3.2.10.4	Lärmreduktion bei der Schallausbreitung	251

3.2.11	Hydraulikbehälter zur Flüssigkeitsaufbewahrung	257
3.2.12	Antriebsaggregate	270
3.3	Hydromotoren	274
3.3.1	Hydraulische Kenngrößen des verlustfreien Motors	275
3.3.2	Kenngrößen des verlustfreien Abtriebs	276
3.3.3	Hydraulische Kenngrößen des verlustbehafteten Motors . . .	276
3.3.3.1	Effektiver Schluckstrom und volumetrischer Wirkungsgrad .	276
3.3.4	Kenngrößen des verlustbehafteten Abtriebs	277
3.3.4.1	Effektives Motordrehmoment und hydraulisch-mechanischer Wirkungsgrad	277
3.3.4.2	Motorleistung und Gesamtwirkungsgrad	278
3.3.5	Motorkennlinien	280
3.3.6	Anlauf- und Langsamlaufverhalten	283
3.3.7	Dynamisches Verhalten	290
3.3.7.1	Anlaufvorgang und dynamische Kenngrößen	290
3.3.7.2	Schwingungskennwerte	295
3.3.7.3	Schwingungsanalyse und Simulation des Antriebssystems .	298
3.3.8	Methodische Motorenauswahl	
	– Arbeitshilfen, Leitlinie und Konstruktionskatalog,	
	Zugriffsteil mit Anhang	309
3.3.9	Motorbauarten nach Verdrängerprinzipien	
	– Arbeitshilfe Konstruktionskatalog, Gliederungsteil	315
3.3.10	Ausgeführte Motorbauarten	
	– Arbeitshilfe Konstruktionskatalog, Hauptteil	315
3.4	Hydraulische Schwenkmotoren	368
3.4.1	Hydraulische Kenngrößen des verlustbehafteten Schwenkmotors	369
3.4.2	Kenngrößen des verlustbehafteten Abtriebs	370
3.4.3	Dynamisches Verhalten	371
3.4.3.1	Bewegungsphasen und dynamische Kenngrößen	371
3.4.3.2	Bremsphase mit Endlagendämpfung	375
3.4.4	Methodische Schwenkmotorenauswahl	
	– Arbeitshilfe Konstruktionskatalog, Zugriffsteil	376
3.4.5	Schwenkmotorbauarten nach Verdrängerprinzipien	
	– Arbeitshilfe Konstruktionskatalog, Gliederungsteil	379
3.4.6	Ausgeführte Schwenkmotorbauarten	
	– Arbeitshilfe Konstruktionskatalog, Hauptteil	379
3.5	Hydrozylinder	394
3.5.1	Hydraulische Kenngrößen des verlustfreien Zylinders . . .	394
3.5.2	Kenngrößen des verlustfreien Abtriebs	396
3.5.3	Hydraulische Kenngrößen des verlustbehafteten Zylinders .	396
3.5.4	Kenngrößen des verlustbehafteten Abtriebs	397
3.5.4.1	Effektive Kolbenkraft und hydraulisch-mechanischer Wirkungsgrad	397
3.5.4.2	Zylinderleistung und Gesamtwirkungsgrad	400

3.5.5	Dynamisches Verhalten	402
3.5.5.1	Bewegungsphasen und dynamische Kenngrößen	402
3.5.5.2	Bremsphase mit Endlagendämpfung	406
3.5.5.3	Schwingungskennwerte	408
3.5.5.4	Schwingungsanalyse und Simulation des Antriebssystems . .	411
3.5.6	Methodische Zylinderauswahl	
	– Arbeitshilfe Konstruktionskatalog, Zugriffsteil	424
3.5.7	Zylinderbauarten für Schubkolbentriebe	
	– Arbeitshilfe Konstruktionskatalog, Gliederungsteil	428
3.5.8	Ausgeführte Zylinderbauarten	
	– Arbeitshilfe Konstruktionskatalog, Hauptteil	429
3.5.9	Elektrohydraulische Linearantriebe	443
3.5.9.1	Kompakte Linearantriebe (Aktoren)	443
3.5.9.2	Präzisionszylinder (Servozylindersysteme)	447
3.5.10	Elastische Berührungsabdichtungen (Hydraulikabdichtungen) .	452
3.5.10.1	Berührungsabdichtungen an ruhenden Flächen	453
3.5.10.2	Berührungsabdichtungen an gleitenden Flächen	454
	Literatur zu Kapitel 3	458

4	Hydrogeräte zur Energiesteuerung und -regelung (Ventile)	475
4.1	Wegeventile	479
4.1.1	Nichtdrosselnde Wegeventile	479
4.1.1.1	Mechanische Bauteile und Betätigungsarten	482
4.1.1.2	Bauarten	490
4.1.1.3	Betätigungsart am Wege-Schieberventil	493
4.1.1.4	Druckverlust bei voll geöffnetem Wege-Schieberventil . .	497
4.1.2	Drosselnde Wegeventile (Fühlerventile)	498
4.1.3	Hydraulische Stetigventile, insbesondere Stetigwegeventile .	499
4.1.3.1	Elektrische Eingangsstufe	504
4.1.3.2	Hydraulische Vorsteuerstufe (Verstärkerstufe)	506
4.1.3.3	Steuerkantengeometrie	509
4.1.3.4	Rückführungssysteme	513
4.1.4	Proportional-Wegeventile	517
4.1.4.0	Aufgabe und Anwendung in Antriebssteuerungen	517
4.1.4.0.1	Elektromagnetischer Umformer der Bauart	
	Proportionalmagnet	518
4.1.4.0.2	Hubgesteuerter Proportionalmagnet	518
4.1.4.0.3	Kraftgesteuerter Proportionalmagnet	519
4.1.4.0.4	Lagegeregelter Proportionalmagnet	521
4.1.4.0.5	Bauarten der Ansteuerelektronik	522
4.1.4.0.6	Integration der Elektronik in das Stetigventil	524
4.1.4.1	Einstufige (direktwirkende) Proportional-Wegeventile . . .	526
4.1.4.2	Zweistufige (vorgesteuerte) Proportional-Wegeventile . . .	530
4.1.4.3	Schnelle Proportional-Wegeventile (Regelventile)	534
4.1.5	Servoventile	549

4.1.5.0	Aufgabe und Anwendung in Antriebsregelungen	549
4.1.5.1	Zweistufige (vorgesteuerte) Servoventile	550
4.1.5.2	Dreistufige Servoventile	560
4.2	Sperrventile (Rückschlagventile)	563
4.3	Druckventile	567
4.3.1	Druckbegrenzungsventile	569
4.3.2	Druckreduzierventile und Folgeventile	569
4.3.3	Stetigdruckventile	572
4.3.3.1	Proportional-Druckventile	572
4.3.3.2	Servo-Druckventile	576
4.4	Stromventile	578
4.4.1	Drosselventile	579
4.4.2	Stromregelventile	581
4.4.3	Stetigstromventile	590
4.4.3.1	Proportional-Drosselventile	590
4.4.3.2	Proportional-Stromregelventile.	590
4.4.4	Stromteiler	592
4.5	2-Wege-Einbauventile	595
	Literatur zu Kapitel 4	601

5	Hydrogeräte zur Energieübertragung, Energiespeicherung und Flüssigkeitsaufbereitung (Zubehör)	605
5.1	Leitungen und Leitungsverbindungen zur Energieübertragung	605
5.1.1	Rohrleitungen	605
5.1.2	Rohrverschraubungen	609
5.1.2.1	Lötlose (lösbar) Rohrverschraubungen	611
5.1.2.2	Gelötete und geschweißte (lösbar) Rohrverschraubungen	616
5.1.2.3	Löt- und Schweißverbindungen (nicht lösbar)	617
5.1.2.4	Flanschverbindungen und richtungseinstellbare Verbindungen (lösbar)	617
5.1.3	Schlauchleitungen	622
5.1.3.1	Schläuche	627
5.1.3.2	Schlaucharmaturen	629
5.1.4	Anschlußelemente: Kupplungen	633
5.1.5	Ventilmontagesysteme	636
5.1.5.1	Rohrmontage und Montagewand	637
5.1.5.2	Verkettungssysteme	639
5.1.5.3	Blockbauweise	658
5.2	Hydrospeicher zur Energiespeicherung	669
5.2.0	Aufgaben und sicherheitstechnische Anforderungen	669
5.2.1	Bauarten und Wirkungsweise	671
5.2.2	Kenngrößen und Auslegung	681

5.2.2.1	Zustandsänderung und Arbeitsaustausch bei idealem Energieträger	684
5.2.2.2	Zustandsänderung und Arbeitsaustausch bei realem Energieträger	688
5.2.2.3	Bemessen nach thermischem Beharrungsverhalten: konventionelle Speicherauslegung	689
5.2.2.4	Bemessen nach thermischem Zeitverhalten: Simulationsauslegung	692
5.2.3	Dynamische Eigenschaften und Kennwerte	694
5.2.4	Möglichkeiten zur Erhöhung der Energiekapazität	697
5.2.5	Zentrale Druckflüssigkeitsversorgung (Zentralhydraulik)	698
5.3	Hydraulikfilter zur Flüssigkeitsaufbereitung	704
5.3.1	Arten der Feststoffverschmutzung	704
5.3.2	Reinheitsforderungen an die Hydraulikflüssigkeit: ISO-Reinheitsklassen	708
5.3.3	Anforderungen an die Filter: Filterkenngrößen	711
5.3.3.1	Abscheideleistung: Filterfeinheit x	711
5.3.3.2	Schmutzkapazität: ACFTD-Kapazität α	714
5.3.3.3	Anforderungen an das Filtermaterial	716
5.3.4	Filterkonzept	718
5.3.4.1	Begriffserläuterung zum Filterkonzept	718
5.3.4.2	Filterarten und Anforderungen	719
5.3.4.3	Filterbauformen und Anordnungen	723
5.4	Wärmetauscher zur Flüssigkeitsaufbereitung	729
5.4.1	Luftgekühlte Ölkühler	729
5.4.2	Wassergekühlte Ölkühler	731
	Literatur zu Kapitel 5	738
	Herstellerverzeichnis	745
	Sachverzeichnis	753