

Inhaltsverzeichnis

1	Hydrostatische Leistungsübertragung	1
1.1	Einordnung in die Getriebesystematik: <i>Druckmittelglied, Druckmittelgetriebe, hydrostatisches Getriebe</i>	2
1.2	Hydrokreislauf als Energiepfad: <i>Wirkschema hydraulischer Schaltplan</i>	5
1.3	Energieumsatz längs des Energiepfads: <i>Dreiteilung des hydrostatischen Getriebes</i>	6
1.4	Verallgemeinerte Getriebekennwerte: <i>Kraftdichte, Arbeitsvolumen, Wirkungsgrad</i>	8
Literatur		10
2	Druckflüssigkeit	13
2.1	Grundlagen der Hydromechanik	14
2.1.1	Gesetze der Hydrostatik: <i>Pascalsches Gesetz, Kompressibilität, Schallgeschwindigkeit</i>	14
2.1.2	Gesetze der Hydrodynamik idealer Flüssigkeiten: <i>Kontinuitätsgleichung, Bernoullische Gleichung</i>	29
2.1.3	Gesetze der Hydrodynamik realer (newtonscher) Flüssigkeiten bei Innenströmung in Rohren: <i>Strömungsformen, Druckverluste</i>	34
2.1.4	Durchflussgesetze bei Innenströmung in Funktionsspalten: <i>Parallel-, Ringspalt</i>	61
2.1.5	Durchflussgesetze bei Innenströmung in Einbauteilen: <i>Drossel, Blende</i>	72
2.2	Physikalische Eigenschaften der Druckflüssigkeit	77
2.2.1	Dichte	77
2.2.2	Viskosität	79
2.2.3	Luftabscheidevermögen	84
2.2.4	Verdampfungsdruck	88

2.3	Technische Druckflüssigkeiten: <i>Stoffarten, Viskositätsklassen</i>	91
2.3.1	Druckflüssigkeiten auf Basis Mineralöl (H). <i>Hydrauliköle</i>	92
2.3.2	ISO-Viskositätsklassifikation der Druckflüssigkeiten	93
2.3.3	Schwerentflammbare Druckflüssigkeiten (HF). <i>Hydraulikflüssigkeiten</i>	94
2.3.4	Umweltverträgliche Druckflüssigkeiten (HE): <i>Biofluide</i>	97
2.4	Physikalische Kennwerte der Druckflüssigkeiten: <i>Mindestanforderungen</i>	102
2.4.1	Richtungskonstante und Viskositätsindex	103
2.4.2	Korrosionsschutzverhalten	104
2.4.3	Alterungsbeständigkeit	104
2.4.4	Verhalten gegen Dichtungswerkstoffe	105
2.4.5	Verschleißschutzverhalten	105
2.5	Verschmutzung von Druckflüssigkeiten. <i>Kontamination</i>	105
2.5.1	Feststoffverschmutzung	106
2.5.2	Gas in Öl (Luft in Öl)	108
2.5.3	Wasser in Öl	109
Literatur	110
3	Verdrängermaschinen	115
3.1	Hydropumpen	116
3.1.1	Pumpenkenngrößen	116
3.1.2	Pumpenkennlinien	143
3.1.3	Methodische Pumpenauswahl nach Konstruktionskatalog: <i>Nieder-/Hochdruckpumpen</i>	147
3.1.4	Pumpenbauarten nach Verdrängerprinzipien: <i>Dreh-/Hubkolbenmaschinen</i>	157
3.1.5	Zahnradpumpe: <i>Außen-/Innenzahnrad-, Zahnringspumpe</i>	161
3.1.6	Flügelzellenpumpe: <i>einhubig/doppelhubig</i>	174
3.1.7	Sperrflügelpumpe: <i>doppelhubig</i>	179
3.1.8	Schraubenpumpe: <i>Zwei-/Dreispindelpumpe</i>	181
3.1.9	Axialkolbenpumpe: <i>Taumel-/Schrägscheiben-, Schrägachsenbauart</i>	183
3.1.10	Radialkolbensystem: <i>außen/innen beaufschlagt</i>	200
3.1.11	Reihenkolbenpumpe	210
3.1.12	Pulsation des Förderstroms: <i>Ungleichförmigkeitsgrad</i>	211
3.1.13	Hydroanlage als Geräuschquelle. <i>Lärmschutzmaßnahmen</i>	215
3.1.14	Hydraulikbehälter: <i>Volumen, Wärmehaushalt, Ausstattung</i>	233
3.1.15	Antriebsaggregate: <i>Klein-, Standard-, Sonderaggregat</i>	247
3.1.16	Drehzahlvariable Pumpenantriebe. <i>Hybridantriebe</i>	250

3.2	Hydromotoren	258
3.2.1	Motorkenngrößen	260
3.2.2	Motorkennlinien	265
3.2.3	Anlauf- und Langsamlaufverhalten: <i>Ungleichförmigkeitsgrad</i>	268
3.2.4	Dynamisches Verhalten: <i>dynamische Kenngrößen.</i> <i>Schwingungskennwerte</i>	276
3.2.5	Methodische Motorenauswahl nach Konstruktionskatalog: <i>Schnell-/Langsamläufer</i>	289
3.2.6	Motorbauarten nach Verdrängerprinzipien: <i>Dreh-/Hubkolbenmaschinen</i>	295
3.2.7	Zahnringmotor: <i>raumfeste/umlaufende Läuferachse</i>	296
3.2.8	Flügelzellenmotor: <i>mehrhubig</i>	299
3.2.9	Rollflügelmotor: <i>Hydrogetriebemotor</i>	301
3.2.10	Axialkolbenmotor: <i>Taumel-/Schrägscheiben-, Schrägachsen-, Hydrogetriebemotor, Hydroachse</i>	303
3.2.11	Radialkolbenmotor: <i>innen/außen abgestützt, Hydrogetriebemotor, Radmotor</i>	328
3.3	Hydraulische Schwenkmotoren	348
3.3.1	Motorkenngrößen	350
3.3.2	Dynamisches Verhalten: <i>Bewegungsphasen, dynamische Kenngrößen, Bremsphase</i>	353
3.3.3	Methodische Schwenkmotorenauswahl nach Konstruktionskatalog: <i>Schwenkwinkel/Abtriebsmoment</i>	358
3.3.4	Schwenkmotorbauarten nach Verdrängerprinzipien: <i>Dreh-/Schubkolbenmaschinen mit Umlenkmechanismus</i>	360
3.3.5	Drehflügelschwenkmotor: <i>Zwei-/Vierkammervariante</i>	360
3.3.6	Kolbenschwenkmotor: <i>Zahnstangen-, Kurvenrollen-, Steilgewindemotor</i>	367
3.3.7	Dreh-Hub-Zylinder: <i>Kurvenrollen, Steilgewindezylinder</i>	373
3.4	Hydrozylinder	374
3.4.1	Zylinderkenngrößen	375
3.4.2	Dynamisches Verhalten: <i>Bewegungsphasen, dynamische Kenngrößen, Bremsphase</i>	383
3.4.3	Methodische Zylinderauswahl nach Konstruktionskatalog: <i>Bewegungs-/Kraftzylinder</i>	397
3.4.4	Zylinderbauarten: <i>Einfach-/Zweifach-Schubkolbenmaschinen</i>	401
3.4.5	Tauchkolben-Zylinder: <i>Plungerkolben</i>	402

3.4.6	Einfachwirkender Zylinder: <i>Scheibenkolben</i>	403
3.4.7	Doppeltwirkender Zylinder: <i>Differenzial-/Gleichlaufzylinder</i> . .	403
3.4.8	Teleskopzylinder: <i>einfach-/doppeltwirkend</i>	413
3.4.9	Elektrohydraulische Linearantriebe: <i>Hydraulische Achsen, Servozylinder</i>	416
3.4.10	Elastische Berührungs dichtungen. <i>Hydraulikdichtungen</i>	429
Literatur	438
4	Ventile	459
4.1	Wegeventile	460
4.1.1	Nichtdrosselnde Wegeventile: <i>Schieber-/Sitzventile</i>	463
4.1.2	Drosselnde Wegeventile: <i>Fühlerventile</i>	482
4.1.3	2-Wege-Einbauventile: <i>Gesteuerte Einzelwiderstände</i>	483
4.2	Druckventile	489
4.2.1	Druckbegrenzungsventile	490
4.2.2	Druckreduzierventile: <i>Folgeventile</i>	492
4.3	Stromventile.	494
4.3.1	Drosselventile	495
4.3.2	Stromregelventile: 2-Wege-/3-Wege-Stromregelventile	497
4.3.3	Stromteiler: <i>Stromteilerventil, Mehrfachstromteiler</i>	507
4.4	Sperrventile: <i>Rückschlagventile</i>	509
4.4.1	Rückschlagventile	510
4.4.2	Entsperrbare Rückschlagventile	512
4.5	Hydraulische Stetigventile: <i>elektrisch stetig ansteuerbare Ventile</i>	513
4.5.1	Stetigwegeventile: <i>elektrische Eingangs-, hydraulische Vorsteuerstufe, Kantengeometrie, Rückführungssysteme</i>	514
4.5.2	Proportional-Wegeventile: <i>einstufige, zweistufige, schnelle (Regel-) Ventile</i>	527
4.5.3	Servoventile: <i>zweistufige, dreistufige Ventile</i>	558
4.5.4	Stetigdruckventile	575
4.5.5	Stetigstromventile	581
4.6	Ventilmontagesysteme	582
4.6.1	Rohrmontage und Montagewand	584
4.6.2	Verkettungssysteme	585
4.6.3	Blockbauweise	598
Literatur	608
5	Zubehör	615
5.1	Leitungen und Leitungsanschlüsse: <i>Energieübertragung</i>	616
5.1.1	Rohrleitungen	616
5.1.2	Rohrverschraubungen	620

5.1.3	Schlauchleitungen	633
5.1.4	Trennbare Leitungsanschlüsse: <i>Hydraulikkupplungen</i>	644
5.2	Hydrospeicher: <i>Energiespeicherung</i>	647
5.2.1	Aufgaben	647
5.2.2	Bauarten und Wirkungsweise	649
5.2.3	Kenngrößen und Auslegung	658
5.2.4	Dynamische Eigenschaften und Kennwerte	672
5.2.5	Varianten zur Erhöhung der Energiekapazität	675
5.2.6	Zentrale Druckflüssigkeitsversorgung: <i>Zentralhydraulik</i>	676
5.3	Hydraulikfilter: <i>Flüssigkeitsaufbereitung</i>	681
5.3.1	Arten der Feststoffverschmutzung	682
5.3.2	Reinheitsforderungen an die Flüssigkeit: <i>ISO-Reinheitsklassen</i>	684
5.3.3	Anforderungen an die Filter: <i>Filterkenngrößen</i>	688
5.3.4	Filterkonzept	694
5.4	Wärmetauscher: <i>Flüssigkeitsaufbereitung</i>	704
5.4.1	Luftgekühlte Ölkuhler	704
5.4.2	Wassergekühlte Ölkuhler	706
Literatur		712
6	Elektrohydraulische Antriebssysteme	717
6.1	Entwicklung mechatronischer Systeme	717
6.1.1	Grundstruktur	719
6.1.2	Aktorprinzipien	724
6.1.3	Mechatronische Entwicklungsmethodik	728
6.2	Systemtechnische Grundlagen elektrohydraulischer Antriebe	733
6.3	Stationäre Übertragungseigenschaften gesteuerter Antriebe	737
6.3.1	Ventilsteuerungen mit aufgeprägtem Systemdruck	737
6.3.2	Ventilsteuerungen mit aufgeprägtem Volumenstrom	746
6.3.3	Verdrängersteuerungen	750
6.4	Elektrohydraulische Lageregelkreise	760
6.4.1	Einführung in die mathematische Beschreibung	760
6.4.2	Modell der Regelstrecke, Kenngrößen	766
6.4.3	Statisches und dynamisches Verhalten von Lageregelungen	774
6.5	Strategien zur Verbesserung des Übertragungsverhaltens	783
6.5.1	Einteilung der Maßnahmen	783
6.5.2	Regler mit Zeitverhalten bei einschleifigen Lageregelkreisen	783
6.5.3	Unterlagerung von Hilfsregelgrößen	785
6.5.4	Zustandsregelung	789
6.5.5	Nichtlineare Reglungsstrategien	792
6.6	Dezentrale Steuerungssysteme mit digitalem Feldbus	795
Literatur		802

7 Simulation elektrohydraulischer Komponenten und Systeme	807
7.1 Simulation im Entwicklungsprozess mechatronischer Systeme	807
7.2 Nichtlineare Dynamiksimulation mit konzentrierten Parametern	814
7.2.1 Anforderungen an multidisziplinäre Modellbildung und Simulationssoftware	814
7.2.2 Beispiele für multi-domain Simulationswerkzeuge	824
7.2.3 Simulationsbeispiele	834
7.3 Numerische Strömungsberechnung (CFD)	853
7.3.1 CFD in der Hydraulik	853
7.3.2 Diskretisierung des Strömungsgebiets	854
7.3.3 Turbulenzmodellierung	856
7.3.4 Modellierung von Kavitation	859
7.3.5 Anwendungsbeispiele	860
7.3.6 Rechnergestützte Simulation von Tribosystemen	866
7.4 Numerische Optimierung fluidtechnischer Systeme	869
7.4.1 Formalisierung der Systembeschreibung	869
7.4.2 Parameterbasierte Optimierungsverfahren	873
7.4.3 Optimierung am Beispiel eines Tauchspulenreglers	875
Literatur	880
8 Sicherheit von Maschinen mit hydraulischem Antriebssystem	885
8.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen und Normen	885
8.2 Verfahren zur Risikominderung und sicherheitstechnischer Entwurfsprozess	889
8.3 Funktionale Sicherheit bei mechatronischen Systemen	892
8.3.1 Zuverlässigkeit ($MTTF_d$)	894
8.3.2 Kategorie (Grundtypen)	896
8.3.3 Diagnose Deckungsgrad (DC)	896
8.3.4 Fehler gemeinsamer Ursache (CCF)	898
8.4 Entwurf einer Sicherheitsfunktion am Beispiel einer Drehmaschine	898
8.5 Integrierte Sicherheit, neue Sicherheitskonzeptionen	908
Literatur	911
9 Hydraulische Antriebe und Steuerungen im Maschinen- und Fahrzeugbau	913
9.1 Anwendungsbeispiele im stationären Maschinenbau	913
9.1.1 Aufbereitungs- und Entsorgungstechnik: <i>Rohrmühle, Schredder, Innenkneter</i>	914
9.1.2 Hütten- und Walzwerke	917
9.1.3 Spanende Werkzeugmaschinen	920
9.1.4 Umformende Werkzeugmaschinen	924
9.1.5 Prüfstände und Simulatoren	932

9.2 Anwendungsbeispiele in mobilen Arbeitsmaschinen	941
9.2.1 Hydrostatischer Fahrantrieb	941
9.2.2 Hydraulik in der Arbeitsausrüstung	948
9.2.3 Fahrzeug-Management-System	954
9.2.4 Bagger und Radlader	956
9.2.5 Hebezeuge und Fahrzeugkrane	960
9.2.6 Landmaschinen	964
9.3 Montage- und Handhabungseinrichtungen	970
9.4 Hydraulik in Kraftfahrzeugen	978
9.4.1 Automatgetriebe	978
9.4.2 Fahrassistenzsysteme und Stoßdämpfer	979
Literatur	986
Sachverzeichnis	997