

1	Hydrostatische Antriebe	1
1.1	Einordnung des hydrostatischen Antriebs in die Getriebesystematik	3
1.2	Wirkschema hydrostatischer Antriebe und verallgemeinerte Getriebekennwerte.	5
1.3	Gleichmäßig übersetzende hydrostatische Antriebe. <i>Hydraulische Leistungs-, Verstell-, Fern-, Parallelgetriebe</i>	9
1.3.1	Stationäre hydraulische Antriebe. <i>Industriegertriebe</i>	10
1.3.1.1	Aufbereitungs- und Entsorgungstechnik. <i>Rohrmühle, Schredder, Innenknetter</i>	10
1.3.1.2	Hüttentechnik und Metallbearbeitung. <i>Reduzierwalzwerk</i>	14
1.3.2	Mobile hydraulische Antriebe. <i>Fahrzeuggetriebe</i>	16
1.3.2.1	Kraftfahrzeuge. <i>Automatgetriebe</i>	16
1.3.2.2	Mobile Arbeitmaschinen. <i>Fahrerantrieb</i>	18
1.4	Ungleichmäßig übersetzende hydrostatische Antriebe. <i>Hydraulische Drehwinkel-, Huberzeuger, gesteuerte Antriebe</i>	29
1.4.1	Mobile Arbeitmaschinen. <i>Arbeitsantrieb</i>	29
1.4.1.1	Drosselsteuerung	30
1.4.1.2	Load-Sensing-Steuerung.	31
1.4.1.3	Fahrzeug-Management-System	37
1.4.2	Erdbaumaschinen. <i>Bagger, Radlader</i>	40
1.4.3	Hebezeuge und Fördermittel. <i>Fahrzeugkrane</i>	45
1.4.4	Landmaschinen. <i>Traktoren</i>	47
1.5	Gesteuerte hydrostatische Antriebe. <i>Funktions-, Führungsgetriebe</i> ...	53
1.5.1	Mechatronisches Produkt. <i>Mechatronisches System</i>	60
1.5.1.1	Unkonventionelle Stellantriebe. <i>Neue Aktoren</i>	70
1.5.1.2	Elektrische Servoantriebe. <i>Elektromechanische Aktoren</i>	72
1.5.1.3	Hydraulische Servoantriebe. <i>Elektrohydraulische Aktoren</i>	73
1.5.2	Spanende Werkzeugmaschinen. <i>Mehrspindeldrehautomaten</i>	81
1.5.3	Umformende Werkzeugmaschinen. <i>Pressen, Hochdruckumformung</i>	92
1.5.4	Kunststoff verarbeitende Maschinen. <i>Spritzgießmaschinen</i>	102
1.5.5	Handhabungseinrichtungen. <i>Großmanipulatoren</i>	111
1.5.6	Versuchseinrichtungen. <i>Prüfstände, Simulatoren</i>	119
1.5.7	Kraftfahrzeuge. <i>Fahrerassistenzsysteme, Stoßdämpfer</i>	128
	(H. J. Meyer)	
	Literatur zu Kapitel 1	135
2	Druckflüssigkeiten	149
2.1	Physikalische Grundgesetze für Flüssigkeiten	149

2.1.1	Gesetze der Hydrostatik	149
2.1.2	Kompressibilität	150
2.1.3	Kompression einer Flüssigkeitsmenge bei starrer Gefäßwandung ...	154
2.1.4	Kompression einer Flüssigkeitsmenge bei elastischer Gefäßwandung	155
2.1.5	Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten	160
2.1.6	Gesetze der Hydrodynamik idealer Flüssigkeiten	161
2.1.6.1	Kontinuitätsgleichung: <i>Massenerhaltungssatz</i>	162
2.1.6.2	Bernoullische Gleichung für stationäre Strömung: <i>Energie- erhaltungssatz</i>	162
2.1.6.3	Bernoullische Gleichung für instationäre Strömung	165
2.1.7	Gesetze der Hydrodynamik realer (newtonscher) Flüssigkeiten bei Innenströmung in Rohren	166
2.1.7.1	Strömungsformen realer Flüssigkeiten bei stationärer Strömung. ...	167
2.1.7.2	Reynolds-Zahl als bestimmende Kennzahl für die Ausbildung der Strömungsform	170
2.1.7.3	Bernoullische Gleichung für stationäre Strömung: <i>Energie- erhaltungssatz für reibungsbehaftete Fluide</i>	173
2.1.7.4	Druckverlust in geraden Rohrleitungen: <i>Reibungsverlust</i>	173
2.1.7.5	Druckverlust in Rohrkrümmern, Leitungsverbindungen und Steuerventilen: <i>Verwirbelungsverlust</i>	179
2.1.7.6	Gesamter Druckverlust und Wirkungsgrad von Energieübertragung und Energiesteuerung	186
2.2	Physikalische Eigenschaften der Druckflüssigkeiten	190
2.2.1	Dichte	190
2.2.2	Viskosität	192
2.2.3	Luftabscheidervermögen	196
2.2.4	Verdampfungsdruck	201
2.3	Mindestanforderungen an Druckflüssigkeiten	201
2.3.1	Druckflüssigkeiten auf Basis Mineralöl (H). <i>Hydrauliköle</i>	202
2.3.2	ISO-Viskositätsklassifikation der Druckflüssigkeiten	203
2.3.3	Schwerentflammbare Druckflüssigkeiten (HF). <i>Hydraulik- flüssigkeiten</i>	205
2.3.4	Umweltverträgliche Druckflüssigkeiten (HE). <i>Biofluide</i>	207
2.4	Druckflüssigkeit und Betriebssicherheit der Hydroanlage	212
2.4.1	Physikalische Kennwerte zur Qualitätsbewertung von Druckflüssigkeiten	214
2.4.1.1	Richtungskonstante und Viskositätsindex	217
2.4.1.2	Korrosionsschutz	217
2.4.1.3	Alterungsbeständigkeit	218
2.4.1.4	Verhalten gegen Dichtungswerkstoffe	218
2.4.1.5	Mechanische Prüfung in der FZG-Zahnrad-Verspannungs- Prüfmaschine	219
2.4.2	Verschmutzung von Druckflüssigkeiten	219
2.4.2.1	Feststoffverschmutzung	220
2.4.2.2	Gas in Öl (Luft in Öl)	220
2.4.2.3	Wasser in Öl	221

2.5	Durchflussgesetze bei Innenströmung in Funktionsspalten ohne Querschnittsänderung	222
2.5.1	Spaltströmung infolge bewegter Wand: <i>Schleppströmung</i>	222
2.5.2	Spaltströmung infolge Druckdifferenz: <i>Leckströmung</i>	224
2.5.3	Überlagerte Spaltströmung	228
2.5.4	Rheologische Eigenschaften von Druckflüssigkeiten mit VT-Verbesserer bei Strömung durch enge Kanäle	231
2.6	Durchflussgesetze bei Innenströmung in Einbauteilen mit Querschnittsänderung	232
2.6.1	Strömung durch Drossel: <i>Kapillare</i>	232
2.6.2	Strömung durch Blende: <i>Drosselscheibe</i>	233
	Literatur zu Kapitel 2	236
3	Hydrogeräte zur Energieumformung. Verdrängermaschinen	241
3.1	Antriebseinheiten als Energiequelle	241
3.1.1	Elektromotoren als Antriebseinheiten von Hydropumpen	241
3.1.1.1	Drehstrom-Asynchronmotor mit Käfigläufer	242
3.1.1.2	Gleichstrommotor mit Fremderregung	243
3.1.2	Verbrennungsmotoren als Antriebseinheiten von Hydropumpen	243
3.2	Hydropumpen	244
3.2.1	Hydraulische Kenngrößen der verlustfreien Pumpe	244
3.2.1.1	Betriebsdruck auf der Eingangsseite (Saugverhalten)	245
3.2.1.2	Betriebsdruck auf der Ausgangsseite (Förderverhalten)	252
3.2.1.3	Förderdruck als nutzbare Betriebsdruckdifferenz der Pumpe (Energieumsatz)	253
3.2.1.4	Geometrisches und theoretisches Fördervolumen	254
3.2.1.5	Theoretischer Förderstrom	257
3.2.2	Kenngrößen des verlustfreien Antriebs	257
3.2.2.1	Theoretisches Pumpendrehmoment	257
3.2.2.2	Theoretische Pumpenleistung	258
3.2.3	Hydraulische Kenngrößen der verlustbehafteten Pumpe	259
3.2.3.1	Effektiver Förderstrom und volumetrischer Wirkungsgrad	259
3.2.4	Kenngrößen des verlustbehafteten Antriebs	262
3.2.4.1	Effektives Pumpendrehmoment und hydraulisch- mechanischer Wirkungsgrad	262
3.2.4.2	Pumpenleistung und Gesamtwirkungsgrad	264
3.2.5	Pumpenkennlinien	268
3.2.5.1	Kennlinien hydraulischer Kenngrößen	268
3.2.5.2	Kennlinien von Kenngrößen des Antriebs	268
3.2.5.3	Pumpenkennfeld	270
3.2.6	Methodische Pumpenauswahl – Arbeitshilfen <i>Leitlinie und Konstruktionskatalog, Zugriffsteil mit Anhang</i>	271
3.2.7	Pumpenbauarten nach Verdrängerprinzipien – Arbeitshilfe <i>Konstruktionskatalog, Gliederungsteil</i>	281
3.2.7.1	Drehkolbenmaschinen	281
3.2.7.2	Hubkolbenmaschinen	283

3.2.8	Ausgeführte Pumpenbauarten – Arbeitshilfe <i>Konstruktionskatalog, Hauptteil</i>	285
3.2.9	Pulsation des Förderstroms	329
3.2.10	Hydroanlage als Geräuschquelle. <i>Lärmschutzmaßnahmen</i>	333
3.2.10.1	Geräuschemission. <i>Messverfahren und Emissionskenngrößen</i>	334
3.2.10.2	Grundsätze der Geräuschminderung. <i>Richtlinien des lärmarmen Gestaltens</i>	338
3.2.10.3	Lärminderung an der Schallquelle.	339
3.2.10.4	Lärminderung bei der Schallausbreitung	343
3.2.11	Hydraulikbehälter zur Flüssigkeitsaufbewahrung.	349
3.2.12	Antriebsaggregate	361
3.3	Hydromotoren	364
3.3.1	Hydraulische Kenngrößen des verlustfreien Motors	366
3.3.2	Kenngrößen des verlustfreien Abtriebs.	367
3.3.3	Hydraulische Kenngrößen des verlustbehafteten Motors	367
3.3.3.1	Effektiver Schluckstrom und volumetrischer Wirkungsgrad	367
3.3.4	Kenngrößen des verlustbehafteten Abtriebs	368
3.3.4.1	Effektives Motordrehmoment und hydraulisch-mechanischer Wirkungsgrad.	368
3.3.4.2	Motorleistung und Gesamtwirkungsgrad.	368
3.3.5	Motorkennlinien	371
3.3.6	Anlauf- und Langsamlaufverhalten.	374
3.3.7	Dynamisches Verhalten.	381
3.3.7.1	Anlaufvorgang und dynamische Kenngrößen.	381
3.3.7.2	Schwingungskennwerte des Motors	386
3.3.7.3	Schwingungsanalyse des Motors	389
3.3.7.4	Simulation des Antriebssystems. <i>Simulatorkopplung</i>	393
3.3.8	Methodische Motorenauswahl – Arbeitshilfen <i>Leitlinie und Konstruktionskatalog, Zugriffsteil mit Anhang</i>	401
3.3.9	Motorbauarten nach Verdrängerprinzipien – Arbeitshilfe <i>Konstruktionskatalog, Gliederungsteil</i>	407
3.3.10	Ausgeführte Motorbauarten – Arbeitshilfe <i>Konstruktionskatalog, Hauptteil</i>	407
3.4	Hydraulische Schwenkmotoren.	456
3.4.1	Hydraulische Kenngrößen des verlustbehafteten Schwenkmotors	457
3.4.2	Kenngrößen des verlustbehafteten Abtriebs	458
3.4.3	Dynamisches Verhalten.	459
3.4.3.1	Bewegungsphasen und dynamische Kenngrößen.	459
3.4.3.2	Bremsphase mit Endlagendämpfung	463
3.4.4	Methodische Schwenkmotorenauswahl – Arbeitshilfe <i>Konstruktionskatalog, Zugriffsteil</i>	464
3.4.5	Schwenkmotorbauarten nach Verdrängerprinzipien – Arbeitshilfe <i>Konstruktionskatalog, Gliederungsteil</i>	467
3.4.6	Ausgeführte Schwenkmotorbauarten – Arbeitshilfe <i>Konstruktionskatalog, Hauptteil</i>	467
3.5	Hydrozylinder.	481
3.5.1	Hydraulische Kenngrößen des verlustfreien Zylinders.	481

3.5.2	Kenngrößen des verlustfreien Abtriebs.	483
3.5.3	Hydraulische Kenngrößen des verlustbehafteten Zylinders	485
3.5.4	Kenngrößen des verlustbehafteten Abtriebs	485
3.5.4.1	Effektive Kolbenkraft und hydraulisch-mechanischer Wirkungsgrad.	485
3.5.4.2	Zylinderleistung und Gesamtwirkungsgrad.	487
3.5.5	Dynamisches Verhalten.	489
3.5.5.1	Bewegungsphasen und dynamische Kenngrößen.	489
3.5.5.2	Bremsephase mit Endlagendämpfung	493
3.5.5.3	Schwingungskennwerte des Zylinders	495
3.5.5.4	Schwingungsanalyse des Zylinders	498
3.5.5.5	Simulation des Antriebssystems. <i>Linearachsen</i>	501
3.5.6	Methodische Zylinderauswahl – Arbeitshilfe <i>Konstruktions-katalog, Zugriffsteil</i>	506
3.5.7	Zylinderbauarten für Schubkolbentriebe – Arbeitshilfe <i>Konstruktionskatalog, Gliederungsteil</i>	508
3.5.8	Ausgeführte Zylinderbauarten – Arbeitshilfe <i>Konstruktions-katalog, Hauptteil</i>	509
3.5.9	Elektrohydraulische Linearantriebe	522
3.5.9.1	Komplette hydraulische Achsen. <i>Linearaktoren</i>	522
3.5.9.2	Präzisionszylinder. <i>Servozyindersysteme</i>	525
3.5.10	Elastische Berührungsdichtungen. <i>Hydraulikdichtungen</i>	530
3.5.10.1	Berührungsdichtungen an ruhenden Flächen: <i>statische Dichtungen</i>	530
3.5.10.2	Berührungsdichtungen an gleitenden Flächen: <i>dynamische Dichtungen</i>	532
	Literatur zu Kapitel 3	536
4	Hydrogeräte zur Energiesteuerung und -regelung. Ventile	557
4.1	Wegeventile.	560
4.1.1	Nichtdrosselnde Wegeventile.	561
4.1.1.1	Mechanische Bauteile und Betätigungsarten	563
4.1.1.2	Bauarten	570
4.1.1.3	Betätigungskraft am Wege-Schieberventil	573
4.1.1.4	Druckverlust bei voll geöffnetem Wege-Schieberventil	577
4.1.2	Drosselnde Wegeventile: <i>Fühlerventile</i>	578
4.1.3	Hydraulische Stetigventile: <i>Stetigwegeventile</i>	578
4.1.3.1	Elektrische Eingangsstufe	579
4.1.3.2	Hydraulische Vorsteuerstufe: <i>Verstärkerstufe</i>	582
4.1.3.3	Steuerkantengeometrie	584
4.1.3.4	Rückführungssysteme	589
4.1.4	Proportional-Wegeventile.	591
4.1.4.0	Aufgabe und Anwendung in Antriebssteuerungen.	591
4.1.4.1	Einstufige (direktwirkende) Proportional-Wegeventile	599
4.1.4.2	Zweistufige (vorgesteuerte) Proportional-Wegeventile	604
4.1.4.3	Schnelle Proportional-Wegeventile: <i>Regelventile</i>	608
4.1.5	Servoventile.	621
4.1.5.0	Aufgabe und Anwendung in Antriebsregelungen.	621

4.1.5.1	Zweistufige (vorgesteuerte) Servoventile	622
4.1.5.2	Dreistufige Servoventile	632
4.2	Sperrventile: <i>Rückschlagventile</i>	635
4.3	Druckventile	638
4.3.1	Druckbegrenzungsventile	640
4.3.2	Druckreduzierventile: <i>Folgeventile</i>	642
4.3.3	Stetigdruckventile	643
4.3.3.1	Proportional-Druckventile	643
4.3.3.2	Servo-Druckventile	647
4.4	Stromventile	648
4.4.1	Drosselventile	649
4.4.2	Stromregelventile	651
4.4.3	Stetigstromventile	660
4.4.3.1	Proportional-Drosselventile	660
4.4.3.2	Proportional-Stromregelventile	662
4.4.4	Stromteiler	662
4.5	2-Wege-Einbauventile	665
	Literatur zu Kapitel 4	671
5	Hydrogeräte zur Energieübertragung, Energiespeicherung und Flüssigkeitsaufbereitung. Zubehör	677
5.1	Leitungen und Leitungsverbindungen zur Energieübertragung	677
5.1.1	Rohrleitungen	677
5.1.2	Rohrverschraubungen	681
5.1.2.1	Lötlose (lösbare) Rohrverschraubungen	681
5.1.2.2	Gelötete und geschweißte (lösbare) Rohrverschraubungen	687
5.1.2.3	Löt- und Schweißverbindungen (nicht lösbare)	688
5.1.2.4	Flanschverbindungen und richtungseinstellbare Verbindungen (lösbare)	689
5.1.3	Schlauchleitungen	693
5.1.3.1	Schläuche	698
5.1.3.2	Schlaucharmaturen	700
5.1.4	Anschlüsselemente: <i>Kupplungen</i>	704
5.1.5	Ventilmontagesysteme	708
5.1.5.1	Rohrmontage und Montagewand	708
5.1.5.2	Verkettungssysteme	709
5.1.5.3	Blockbauweise	722
5.2	Hydrospeicher zur Energiespeicherung	732
5.2.0	Aufgaben und sicherheitstechnische Anforderungen	732
5.2.1	Bauarten und Wirkungsweise	733
5.2.2	Kenngrößen und Auslegung	743
5.2.2.1	Zustandsänderung und Arbeitsaustausch bei idealem Energieträger	745
5.2.2.2	Zustandsänderung und Arbeitsaustausch bei realem Energieträger	750
5.2.2.3	Bemessen nach thermischem Beharrungsverhalten: <i>konventionelle Speicherauslegung</i>	751

5.2.2.4	Bemessen nach thermischem Zeitverhalten: <i>Simulationsauslegung</i> ..	754
5.2.3	Dynamische Eigenschaften und Kennwerte.	756
5.2.4	Möglichkeiten zur Erhöhung der Energiekapazität	759
5.2.5	Zentrale Druckflüssigkeitsversorgung : <i>Zentralhydraulik</i>	760
5.3	Hydraulikfilter zur Flüssigkeitsaufbereitung	765
5.3.1	Arten der Feststoffverschmutzung.	765
5.3.2	Reinheitsforderungen an die Druckflüssigkeit: <i>ISO-Reinheitsklassen</i> . ..	769
5.3.3	Anforderungen an die Filter: <i>Filterkenngrößen</i>	772
5.3.3.1	Abscheideleistung: <i>Filterfeinheit x</i>	772
5.3.3.2	Schmutzkapazität. <i>ISO-MTD-Kapazität</i>	774
5.3.3.3	Anforderungen an das Filtermaterial	775
5.3.4	Filterkonzept.	777
5.3.4.1	Begriffserläuterung zum Filterkonzept	777
5.3.4.2	Filterarten und Anforderungen	777
5.3.4.3	Filterbauformen und Anordnungen	782
5.4	Wärmetauscher zur Flüssigkeitsaufbereitung	787
5.4.1	Luftgekühlte Ölkühler	787
5.4.2	Wassergekühlte Ölkühler	788
	Literatur zu Kapitel 5.	795
Sachverzeichnis		803