

Katharina Schmitz, Hubertus Murrenhoff

Grundlagen der Fluidtechnik

Teil 1: Hydraulik



Umdruck zur Vorlesung
Grundlagen der Fluidtechnik
Teil 1: Hydraulik

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Katharina Schmitz

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff

vollständig neu bearbeitete Auflage 2018

Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit Zustimmung des Verfassers

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Titelfoto: ifas

Copyright Shaker Verlag 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6246-5

ISSN 1437-8434

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Inhalt

Formelzeichen und Abkürzungen.....	10
1 Einleitung	15
1.1 Definition des Sachgebietes	15
1.2 Historische Entwicklung	16
1.3 Hydraulische Antriebe und Systeme in der Gegenwart	18
1.4 Hydraulische Kraft- und Energieübertragung im Vergleich....	23
1.5 Vor- und Nachteile hydraulischer Antriebe	24
1.6 Gegenüberstellung hydraulischer und elektrischer Antriebe ...	27
1.7 Literatur zu Kapitel 1	29
2 Grundlagen	31
2.1 Hydrostatik	31
2.1.1 Translatorische Bewegungen	32
2.1.2 Rotatorische Bewegungen.....	34
2.2 Hydrodynamik.....	38
2.2.1 Kontinuitätsgleichung	38
2.2.2 Impulserhaltungsgleichung	40
2.2.3 Energieerhaltungsgleichung	44
2.2.4 Viskosität.....	47
2.2.5 Reynolds-Zahl	50
2.3 Hydraulische Widerstände	51
2.3.1 Widerstand von laminar durchströmten Rohrleitungen	52
2.3.2 Widerstand von Spalten und Drosseln	54
2.3.3 Widerstand von Blendern	57
2.3.4 Druckverluste in Hydraulikkreisläufen	61
2.4 Hydraulische Netzwerke	68
2.4.1 Hydraulische Kapazitäten	71

2.4.2	Hydraulische Induktivität einer kurzen Rohrleitung	76
2.4.3	Hydraulische Induktivität von Motoren	77
2.4.4	Berechnungsbeispiel für ein hydraulisches Netzwerk.....	79
2.5	Die Flüssigkeitssäule als homogener Schwinger	81
2.5.1	Lösung der Wellengleichung.....	85
2.5.2	Eingangswiderstand einer Rohrleitung	87
2.5.3	Der Druckstoß	90
2.5.4	Reflexion einer Druckwelle	93
2.5.5	Rohrschalldämpfer	96
2.6	Literatur zu Kapitel 2	99
3	Druckflüssigkeiten	101
3.1	Aufgaben der Druckflüssigkeiten	101
3.2	Arten der Druckflüssigkeiten	102
3.2.1	Allgemeine Flüssigkeiten	102
3.2.2	Schwerentflammable Flüssigkeiten	104
3.2.3	Umweltverträgliche Flüssigkeiten.....	106
3.2.4	Spezielle Flüssigkeiten	109
3.3	Verunreinigung von Druckflüssigkeiten.....	110
3.3.1	Molekulare Verunreinigungen	111
3.3.2	Gasförmige Verunreinigungen.....	111
3.3.3	Flüssige Verunreinigungen	115
3.3.4	Feste Verunreinigungen	115
3.3.5	Klassifizierung von Fluidreinheiten	118
3.4	Eigenschaften der Druckflüssigkeiten.....	122
3.4.1	Viskosität.....	122
3.4.2	Stockpunkt und Pourpoint.....	126
3.4.3	Dichte	126
3.4.4	Kompressionsmodul.....	128
3.4.5	Gaslösevermögen	131
3.4.6	Luftabscheidevermögen und Schaumneigung.....	131
3.4.7	Detergieren und Dispergieren	132

3.4.8	Wärmekapazität und Wärmeleitung.....	133
3.4.9	Entflammbarkeit.....	133
3.4.10	Lasttragevermögen und Verschleißschutz.....	134
3.4.11	Werkstoffverhalten.....	134
3.4.12	Alterungsverhalten	135
3.4.13	Biologische Abbaubarkeit und Toxizität.....	137
3.5	Additivierung von Druckflüssigkeiten	138
3.5.1	Oxidationsinhibitoren.....	139
3.5.2	Metalldesaktivatoren	139
3.5.3	Verschleißschutz	139
3.5.4	Reibwertminderer.....	140
3.5.5	VI-Verbesserer	140
3.5.6	Stockpunktterniedriger	141
3.5.7	Schaumverhinderer.....	141
3.5.8	Detergentien und Dispergentien.....	142
3.5.9	Korrosionsinhibitoren.....	143
3.6	Kennwerte von Druckflüssigkeiten.....	144
3.7	Literatur zu Kapitel 3	145
4	Pumpen und Motoren	147
4.1	Definition.....	147
4.2	Hydropumpen.....	148
4.3	Hydromotoren	149
4.4	Bauarten hydraulischer Verdrängereinheiten.....	151
4.4.1	Axialkolbenmaschinen	151
4.4.2	Radialkolbenmaschinen	160
4.4.3	Zahnradmaschinen	165
4.4.4	Flügelzellenmaschinen	172
4.5	Sonderbauarten	175
4.5.1	Schraubenspindelpumpe.....	175
4.5.2	Sperrflügelpumpe	177
4.5.3	Rollflügelpumpe.....	179

4.5.4	Kreiselpumpe	179
4.6	Zylinder – Hydraulische Linearmotoren.....	181
4.6.1	Teleskopzylinder	183
4.6.2	Endlagendämpfung.....	184
4.7	Druckübersetzer	185
4.8	Schwenkantriebe	186
4.9	Innovationspotenzial hydraulischer Pumpen und Motoren ...	188
4.9.1	Radialkolbenmaschine mit konischen Steuerplatten (RAC).....	188
4.9.2	Floating Cup Maschine	189
4.10	Eigenschaften von Verdrängermaschinen.....	190
4.10.1	Kompressionsarbeit von Pumpen.....	190
4.10.2	Förderverhalten und Pulsation	194
4.10.3	Wirkungsgrade	210
4.11	Steuerung und Regelung von Verdrängereinheiten	216
4.11.1	Verdrängersteuerung	216
4.11.2	Druckregelung.....	219
4.11.3	Stromregelungen	220
4.11.4	Drehzahlregelung	222
4.11.5	Leistungsregelung	223
4.12	Literatur zu Kapitel 4	226
5	Ventile	229
5.1	Bauarten.....	230
5.1.1	Längsschieberventile.....	230
5.1.2	Drehschieberventile.....	233
5.1.3	Sitzventile.....	234
5.1.4	Baugrößen, Einbau und Verkettung	236
5.2	Kräfte am Längsschieberventil	236
5.2.1	Strömungskraft	237
5.2.2	Radial- und Axialkräfte	243
5.3	Betätigung	245

5.3.1	Mechanisch.....	246
5.3.2	Elektrisch.....	248
5.3.3	Hydraulisch	254
5.4	Sperrventile	256
5.5	Wegeventile.....	259
5.5.1	Schaltventile	262
5.5.2	2-Wege-Einbauventile.....	263
5.5.3	Proportional-, Regel- und Servoventile.....	267
5.6	Druckventile	270
5.6.1	Druckbegrenzungsventile	271
5.6.2	Druckschaltventile.....	278
5.6.3	Druckminderventile.....	279
5.7	Stromventile	280
5.7.1	Stromregelventile	280
5.7.2	Stromteilerventile	288
5.8	Literatur zu Kapitel 5	290
6	Dichtungen	291
6.1	Dichtsysteme	292
6.2	Statische Dichtungen.....	293
6.3	Dynamische Dichtungen	295
6.3.1	Translatorische Dichtungen.....	299
6.3.2	Rotationsdichtungen.....	301
6.4	Reibung und Verschleiß	302
6.5	Dichtungsmaterialien.....	306
6.6	Literatur zu Kapitel 6	308
7	Weitere Komponenten	309
7.1	Behälter.....	309
7.1.1	Behältergröße	310
7.1.2	Konstruktive Gestaltung.....	311

7.2 Wärmetauscher	312
7.3 Verbindungselemente	314
7.3.1 Rohr- und Schlauchleitungen	314
7.3.2 Anschlussarmaturen	317
7.3.3 Anschlussplatten, Anschlussblöcke und Verkettungen	318
7.4 Hydrospeicher	319
7.4.1 Bauarten	319
7.4.2 Kenngrößen für die Speicherauslegung	321
7.4.3 Zustandsänderungen des Speichergases	323
7.4.4 Nutzungsgrad	325
7.4.5 Dynamik von Hydrospeichern	327
7.4.6 Anwendungen von Hydrospeichern	328
7.4.7 Sicherheitsbestimmungen	331
7.5 Filter	332
7.5.1 Wirkprinzipien der Filtration	332
7.5.2 Aufbau eines Tiefenfilters	335
7.5.3 Filterkenngrößen	337
7.5.4 Funktion und Anordnung von Filtern	340
7.6 Sensoren und Messgeräte	344
7.6.1 Füllstandssensoren	344
7.6.2 Drucksensoren	345
7.6.3 Volumenstromsensoren	347
7.6.4 Wegsensoren	349
7.6.5 Temperatursensoren	352
7.6.6 Ölzustandssensoren	353
7.6.7 Partikelmesstechnik	353
7.7 Literatur zu Kapitel 7	358
8 Fluidtechnische Antriebssysteme	361
8.1 Grundschaltungen	362
8.1.1 Allgemeine Struktur hydraulischer Systeme	362
8.1.2 Meist verbreitete Steuerungsarten	364

8.2 Hydrostatische Getriebe	366
8.2.1 Verschaltung.....	368
8.2.2 Räumliche Anordnung	370
8.2.3 Verstellung	370
8.2.4 Leistungsverzweigung.....	372
8.2.5 Kennlinienfelder.....	378
8.2.6 Thermo-Management.....	379
8.3 Regelung.....	384
8.3.1 Lageregelung	385
8.3.2 Weitere Regelungsformen.....	385
8.4 Schaltungsbeispiele	386
8.4.1 Schaltungen zur Geschwindigkeitssteuerung.....	389
8.4.2 Schaltungen mit Stromventilen	392
8.4.3 Pressensteuerung	395
8.4.4 Gleichlaufsteuerung	396
8.4.5 Speicherladeschaltung.....	398
8.5 Literatur zu Kapitel 8	399
9 Anhang	401
9.1 Umrechnungsfaktoren	401
9.2 Abkürzungen von US-Maßeinheiten.....	401
9.3 Schaltsymbole nach DIN ISO 1219	402
9.4 Stichwortverzeichnis	406