

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung in die Hydraulik</b> .....	1
Dieter Will und Norbert Gebhardt	
1.1 Grundlagen .....	2
1.2 Darstellung hydraulischer Anlagen .....	5
1.2.1 Wirkungsweise der Hydraulikanlage .....	5
1.2.2 Aufbau der Hydraulikanlage .....	7
1.2.3 Darstellung hydraulischer Anlagen .....	8
<b>2 Druckflüssigkeiten für Hydraulikanlagen</b> .....	15
Dieter Herschel	
2.1 Anforderungen .....	15
2.2 Einteilung .....	17
2.3 Eigenschaften und Kennwerte von Druckflüssigkeiten .....	19
2.3.1 Viskosität .....	19
2.3.2 Dichte und Kompressibilität .....	23
2.3.3 Luft und Wasser in der Druckflüssigkeit .....	27
2.3.4 Umweltverträglichkeit und Entsorgung .....	31
2.3.5 Technologische und ökonomische Anforderungen .....	34
2.4 Charakteristik der marktüblichen Druckflüssigkeiten .....	38
2.4.1 Mineralölbasische Flüssigkeiten (Mineralöle, Hydrauliköle) .....	38
2.4.2 Schwerentflammbarer Druckflüssigkeiten .....	39
2.4.3 Biologisch schnell abbaubare Druckflüssigkeiten .....	40
2.4.4 Rheologische Flüssigkeiten .....	42
2.4.5 Wasser .....	44
2.5 Einsatzkriterien und Auswahl .....	45
Literatur .....	47
<b>3 Berechnungsgrundlagen von Hydraulikanlagen</b> .....	51
Dieter Will und Reiner Nollau	
3.1 Druckentstehung und -fortpflanzung .....	51
3.2 Kontinuitätsgesetz, Masse- und Volumenstrom .....	55

---

3.3	Bernoulli-Gleichung und Impulssatz . . . . .	57
3.4	Strömungswiderstände . . . . .	65
3.4.1	Druckverluste . . . . .	66
3.4.2	Leckverluste . . . . .	78
3.5	Hydraulische Kapazität und Induktivität . . . . .	82
3.6	Verknüpfung von Strömungswiderständen . . . . .	86
3.7	Strömungsbedingte Kräfte an Kolben hydraulischer Ventile . . . . .	92
3.8	Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad und Wärmeentwicklung . . . . .	97
	Literatur . . . . .	104
<b>4</b>	<b>Grundstrukturen hydraulischer Kreisläufe . . . . .</b>	<b>105</b>
	Dieter Will	
4.1	Volumenstrom- und Druckquellen . . . . .	105
4.1.1	Volumenstromquellen . . . . .	105
4.1.2	Druckquellen . . . . .	107
4.2	Offener und geschlossener Kreislauf . . . . .	108
4.2.1	Offener Kreislauf . . . . .	109
4.3	Parallel- und Reihenschaltung von Verbrauchern . . . . .	112
4.4	Drosselkreisläufe . . . . .	114
4.4.1	Drosselkreisläufe mit Druckquelle . . . . .	114
4.4.2	Drosselkreisläufe mit Volumenstromquelle . . . . .	116
4.5	Passive und aktive Lasten . . . . .	117
	Literatur . . . . .	118
<b>5</b>	<b>Modellierung und Simulation des dynamischen Verhaltens von Hydrauliksystemen . . . . .</b>	<b>119</b>
	Reiner Nollau	
5.1	Methodik der Modellermittlung . . . . .	119
5.2	Das Werkzeug Simulation . . . . .	127
5.3	Übertragungsfunktion eines linearen Antriebsmodells . . . . .	131
5.4	Druck- und Stromventile als Regler . . . . .	133
5.4.1	Druckbegrenzungsventil . . . . .	133
5.4.2	Druckreduzierventil . . . . .	140
5.4.3	Zwei-Wege-Stromregelventil . . . . .	143
	Literatur . . . . .	147
<b>6</b>	<b>Hydraulikpumpen und -motoren . . . . .</b>	<b>149</b>
	Norbert Gebhardt	
6.1	Einteilung . . . . .	150
6.1.1	Umlaufverdränger-(Drehkolben-) -maschinen . . . . .	150
6.1.2	Hubverdränger-(Schubkolben-) -maschinen . . . . .	150

---

6.2	Kenngrößen	151
6.3	Maßnahmen zur Pulsationsminderung	159
6.3.1	Primäre Maßnahmen	160
6.3.2	Sekundäre Maßnahmen	161
6.4	Bauarten von Hydromaschinen	165
6.4.1	Zahnradmaschinen	165
6.4.2	Schraubenmaschinen	171
6.4.3	Flügelzellenmaschinen	172
6.4.4	Kolbenmaschinen	175
6.5	Stelleinheiten von Hydromaschinen	183
6.5.1	Steuereinrichtungen	184
6.5.2	Regeleinrichtungen	186
6.6	Prüfung von Hydromaschinen	191
	Literatur	193
<b>7</b>	<b>Hydraulikzylinder</b>	<b>195</b>
	Norbert Gebhardt	
7.1	Bauarten	195
7.1.1	Einfachwirkende Zylinder	196
7.1.2	Doppeltwirkende Zylinder	197
7.1.3	Schwenkmotoren	198
7.2	Berechnung von Zylindern	200
7.2.1	Hubkraft und Arbeitsgeschwindigkeit	200
7.2.2	Reibungskräfte und Wirkungsgrad	204
7.2.3	Knickung	208
7.2.4	Auslegung	210
7.3	Zusatzelemente an Zylindern	210
7.3.1	Dichtungen	210
7.3.2	Endlagendämpfung	216
7.3.3	Befestigungsmöglichkeiten der Zylinder	218
7.3.4	Wegmesssysteme	218
7.4	Überprüfung von Zylindern	222
	Literatur	225
<b>8</b>	<b>Hydraulikventile</b>	<b>227</b>
	Reiner Nollau und Norbert Gebhardt	
8.1	Sperrventile	229
8.1.1	Absperrventile	229
8.1.2	Rückschlagventile	229
8.1.3	Entsperrbare Rückschlagventile	232
8.1.4	Wechselventile	234

---

8.2 Konventionelle Wegeventile . . . . .	235
8.2.1 Kolbenlängsschieberventile . . . . .	237
8.2.2 Drehschieberventile . . . . .	246
8.2.3 Zwei-Wege-Einbauventile als gesteuerte Einzelwiderstände . . . . .	247
8.3 Druckventile . . . . .	250
8.3.1 Druckbegrenzungsventile . . . . .	250
8.3.2 Druckreduzierventile . . . . .	255
8.4 Stromventile, manuell verstellbar . . . . .	257
8.4.1 Drosselventile . . . . .	257
8.4.2 Stromregelventile . . . . .	260
8.4.3 Stromteilventile . . . . .	261
8.5 Elektrisch betätigte Stetigventile . . . . .	263
8.5.1 Servo-Wegeventile . . . . .	263
8.5.2 Proportionalventiltechnik . . . . .	274
8.5.3 Vergleich Servo- und Proportional-Wegeventile . . . . .	282
8.5.4 Regelventile . . . . .	283
Literatur . . . . .	284
<b>9 Druckflüssigkeitsspeicher für Hydraulikanlagen . . . . .</b>	<b>287</b>
Dieter Herschel	
9.1 Anwendungen . . . . .	287
9.2 Wirkungsprinzip . . . . .	291
9.3 Bauarten . . . . .	291
9.4 Auslegung von Druckflüssigkeitsspeichern . . . . .	296
9.4.1 Problemstellung und Kenngrößen . . . . .	296
9.4.2 Auslegungspraxis . . . . .	299
9.5 Sicherheitsvorschriften . . . . .	303
9.6 Einbau, Inbetriebnahme und Wartung . . . . .	306
Literatur . . . . .	308
<b>10 Zubehör für Hydraulikanlagen . . . . .</b>	<b>309</b>
Dieter Herschel	
10.1 Flüssigkeitsbehälter (Tank) . . . . .	309
10.1.1 Konstruktiver Aufbau und Ausführungsformen . . . . .	310
10.1.2 Behältergröße . . . . .	312
10.2 Flüssigkeitskühler und Vorwärmer . . . . .	315
10.3 Leitungen und Leitungsverbindungen . . . . .	316
10.3.1 Rohrleitungen . . . . .	317
10.3.2 Rohrverschraubungen . . . . .	319
10.3.3 Schlauchleitungen . . . . .	326

10.4 Filter . . . . .	327
10.4.1 Funktion und Kenngrößen . . . . .	327
10.4.2 Filterarten und Filterkonzept . . . . .	331
10.4.3 Anordnung der Filter im Kreislauf . . . . .	334
Literatur . . . . .	335
<b>11 Messtechnik in der Hydraulik . . . . .</b>	<b>337</b>
Norbert Gebhardt	
11.1 Messgrößen . . . . .	338
11.1.1 Allgemeines . . . . .	339
11.1.2 Druck . . . . .	343
11.1.3 Temperatur . . . . .	351
11.1.4 Kombisensoren . . . . .	354
11.1.5 Volumenstrom . . . . .	354
11.1.6 Drehzahl . . . . .	362
11.1.7 Schallpegel . . . . .	363
11.2 Hydraulikmessgeräte . . . . .	366
11.2.1 Digitalanzeigegeräte . . . . .	366
11.2.2 Hydrotester . . . . .	366
11.2.3 Sensoren und Messgeräte zur Analyse des Fluids . . . . .	368
11.2.4 Der PC als Messgerät . . . . .	377
11.3 Software . . . . .	380
Literatur . . . . .	381
<b>12 Montage und Instandhaltung von Hydraulikanlagen . . . . .</b>	<b>383</b>
Norbert Gebhardt und Dieter Herschel	
12.1 Montage . . . . .	383
12.1.1 Allgemeines . . . . .	383
12.1.2 Spezielle Montageformen . . . . .	387
12.2 Inbetriebnahme . . . . .	397
12.3 Instandhaltung . . . . .	398
12.3.1 Vorbeugende Instandhaltung (Wartung) . . . . .	398
12.3.2 Diagnose und Zuverlässigkeit . . . . .	404
Literatur . . . . .	415
<b>13 Gestaltung von Hydrauliksystemen . . . . .</b>	<b>417</b>
Reiner Nollau	
13.1 Systemkonzepte . . . . .	417
13.2 Systeme mit Druckquellen konstanten Drucksollwertes . . . . .	423
13.2.1 Systemstrukturen, Teilsysteme . . . . .	423
13.2.2 Antriebsschaltungen . . . . .	425

13.2.3	Druckquellen	437
13.2.4	Leitungssystem	444
13.2.5	Dynamisches Verhalten	446
13.3	Load-Sensing-Systeme	462
13.3.1	Grundstruktur des Systems	462
13.3.2	Strukturmodifikationen	464
13.3.3	Dynamisches Verhalten	466
13.4	Systeme mit Volumenstromquellen	470
13.4.1	Systemstrukturen, Steuerungsprinzipien	470
13.4.2	Systemvarianten	471
13.4.3	Dynamisches Verhalten	482
13.5	Vergleich der Systemkonzepte	486
13.5.1	Aufwand an Komponenten, Verlustleistungen	486
13.5.2	Dynamisches Verhalten	490
	Literatur	492
<b>14</b>	<b>Projektierung von Hydrauliksystemen</b>	493
Reiner Nollau		
14.1	Projektierungsgrundlagen und -unterlagen	493
14.2	Zuordnung der Antriebe zu Teilsystemstrukturen	495
14.3	Projektierung von Einzelantrieben	498
14.4	Projektierung eines Systems mit Druckquelle für mehrere Antriebe	499
14.4.1	Druckniveaufestlegung	499
14.4.2	Projektierung der Antriebe	500
14.4.3	Druckquellenprojektierung	502
14.5	Projektierung weiterer Komponenten	505
	Literatur	507
	<b>Sachverzeichnis</b>	509