

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Einteilung.....	2
1.2	Einheiten, Begriffe und Abkürzungen.....	4
1.2.1	Einheiten	4
1.2.2	Begriffe und Abkürzungen.....	5
2	Hauptbetriebsdaten von Strömungsmaschinen	7
2.1	Massenstrom, Volumenstrom und Kontinuitätsgleichung.....	7
2.2	Bernoulli-Gleichung	10
2.3	Spezifische Stutzenarbeit	11
2.3.1	Spezifische Stutzenarbeit einer Pumpe	11
2.3.2	Spezifische Stutzenarbeit einer Pumpenanlage.....	13
2.3.3	Spezifische Stutzenarbeit einer Turbine.....	15
2.3.4	Spezifische Stutzenarbeit einer Wasserkraftanlage.....	16
2.4	Leistung	17
2.5	Verluste	21
2.5.1	Innere Verluste	21
2.5.2	Volumetrische Verluste	23
2.5.3	Äußere oder mechanische Verluste	25
2.6	Wirkungsgrade.....	25
2.6.1	hydraulischer Wirkungsgrad („Schaufelwirkungsgrad“)	26
2.6.2	innerer Wirkungsgrad	26
2.6.3	mechanischer Wirkungsgrad	26
2.6.4	Gesamtwirkungsgrad	27
2.6.5	Zusammenhänge zwischen den Wirkungsgraden	27
2.7	Drehzahl.....	30
3	Energieumsetzung bei Strömungsmaschinen	33
3.1	Einleitung.....	33
3.2	Geschwindigkeitspläne	33
3.3	Euler-Gleichung.....	38
3.3.1	Herleitung der Euler-Gleichung mit dem Energiegesetz (Bernoulli-Gleichung)	38
3.3.2	Herleitung der Euler-Gleichung mit dem Drehimpulssatz.....	41

3.4	Diskussion und weitere Anwendungsfälle der Euler-Gleichung	43
3.4.1	Einfluss der Laufradzuströmung bei radialen Arbeitsmaschinen.....	43
3.4.2	Radiale Kraftmaschine (Radialturbine)	44
3.4.3	Axiale Arbeitsmaschinen	46
3.4.4	Axialturbine (axiale Kraftmaschine)	48
3.4.5	Folgerungen aus der Euler-Gleichung	50
3.5	Einfluss der endlichen Schaufelzahl	54
3.5.1	Versperrungsfaktor (Verengungsfaktor).....	55
3.5.2	Minderleistung und Minderleistungsfaktor	56
3.5.3	Hydraulischer Wirkungsgrad	61
4	Ähnlichkeitsbeziehungen, Modellgesetze, Kennzahlen	67
4.1	Einleitung	67
4.2	Ähnlichkeitsbedingungen	67
4.3	Affinitätsgesetze (Ähnlichkeitsbeziehungen, Modellgesetze)	68
4.3.1	Maßstabsfaktoren.....	68
4.3.2	Affinitätsgesetz für den Durchsatz	69
4.3.3	Affinitätsgesetz für die spezifische Stutzenarbeit (Förderhöhe)	70
4.3.4	Affinitätsgesetz für die Leistung.....	70
4.4	Aufwerteformeln	72
4.5	Kennzahlen	78
4.5.1	Druckzahl (Druckziffer)	79
4.5.2	Durchflusszahl (Lieferzahl)	80
4.5.3	Leistungszahl (Leistungsziffer)	81
4.5.4	Laufzahl	82
4.5.5	Durchmesserzahl	85
4.6	Cordier-Diagramm	86
4.7	Mehrstufigkeit und Mehrflutigkeit	89
5	Kennlinien und Kennfelder der Strömungsarbeitsmaschinen	95
5.1	Drosselkurve.....	95
5.1.1	Ideale Drosselkurve	95
5.1.2	Reale Drosselkurve (Maschinenkennlinie)	97
5.1.3	Einfluss des Schaufelkrümmungswinkels auf die Kennlinie	100
5.2	Anlagenkennlinie, Rohrleitungskennlinie	105
5.3	Auslegungs- und Betriebspunkt.....	109
5.4	Weitere Kennlinien – Kennfelder	111
5.5	Regelung der Strömungsarbeitsmaschinen	119
5.5.1	Drosselung	119
5.5.2	Drehzahlregelung.....	120
5.5.3	Vordrallregelung	121

5.5.4	Nachdrallregelung.....	122
5.5.5	Verstellbare Laufschaufeln.....	123
5.5.6	Bypassregelung (Umgehungsregelung).....	123
5.6	Kennlinienanpassung	125
5.7	Parallel- und Serienschaltung	128
5.7.1	Parallelorschaltung.....	129
5.7.2	Serienschaltung.....	131
6	Kreiselpumpen und Kreiselpumpenanlagen	133
6.1	Allgemeines	133
6.2	Aufbau und Wirkungsweise.....	135
6.3	Laufradformen	137
6.4	Einstufige Radialpumpe.....	140
6.5	Diagonal- oder Schraubenradpumpen (Pumpen mit halbaxialem Laufrad).....	154
6.6	Axial- oder Propellerpumpen.....	156
6.7	Zweiflutige Kreiselpumpen	159
6.8	Mehrstufige Radialpumpen.....	160
6.9	Pumpenanlagen.....	165
6.10	Lebenszykluskosten und Energieeffizienz.....	170
7	Wasserturbinen und Wasserkraftanlagen	177
7.1	Einteilung der Wasserkraftwerke	179
7.2	Kenngrößen bei Wasserkraftwerken	183
7.3	Überblick über die Wasserturbinen	187
7.3.1	Freistrahlтурbine (Pelton-Turbine)	189
7.3.2	Francis-Turbine	202
7.3.3	Turbinen und Maschinensätze für Pumpspeicherwerk	218
7.3.4	Kaplan-Turbine	225
7.3.5	Durchströmturbine oder Ossberger-Turbine	244
8	Kavitation	249
8.1	Grundlagen	249
8.2	Spezifische Halteenergie.....	252
8.2.1	Spezifische Halteenergie der Anlage	252
8.2.2	Spezifische Halteenergie der Maschine	255
8.3	Kavitationskennzahlen.....	259
8.3.1	Thoma-Zahl	259
8.3.2	Dimensionslose Saugkennzahl nach Petermann	261
8.4	Der <i>NPSH</i> -Wert von Kreiselpumpen	262

8.5	Inducer	273
8.6	Werkstoffe und Kavitationsschäden	275
9	Auslegung und Berechnung der Bauteile von Kreiselpumpen	281
9.1	Die Laufräder der Kreiselpumpen	282
9.1.1	Reines Radialrad mit einfach gekrümmten (prismatischen) Laufschaufeln	283
9.1.2	Radial- und Diagonalräder mit räumlich gekrümmten Laufschaufeln.....	305
9.1.3	Einfach gekrümmte Radialschaufel mit Eintrittskante in der Saugkrümmung.....	326
9.1.4	Laufrad der Axialpumpe	327
9.2	Leiteinrichtungen der Kreiselpumpen	340
9.2.1	Leitrad mit Schaufeln bei Radialpumpen	341
9.2.2	Schaufelloser Diffusor (Leitring).....	351
9.2.3	Spiralgehäuse.....	354
9.2.4	Rückführeinrichtungen	364
Literatur		369
Index		373