

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Einteilung.....	2
1.2	Einheiten, Begriffe und Abkürzungen.....	4
1.2.1	Einheiten.....	4
1.2.2	Begriffe und Abkürzungen.....	5
<b>2</b>	<b>Hauptbetriebsdaten von Strömungsmaschinen</b>	<b>7</b>
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
<b>3</b>	<b>Energieumsetzung bei Strömungsmaschinen</b>	<b>33</b>
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
<b>4</b>	<b>Ähnlichkeitsbeziehungen, Modellgesetze, Kennzahlen</b>	<b>67</b>
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	Aufwertformeln .....	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
<b>5</b>	<b>Kennlinien und Kennfelder der Strömungsarbeitsmaschinen</b>	<b>95</b>
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	Parallelschaltung.....	129
5.7.2	Serienschaltung.....	131
<b>6</b>	<b>Kreiselpumpen und Kreiselpumpenanlagen</b>	<b>133</b>
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
<b>7</b>	<b>Wasserturbinen und Wasserkraftanlagen</b>	<b>177</b>
7.1	Einteilung der Wasserkraftwerke.....	179
7.2	Kenngößen bei Wasserkraftwerken.....	183
7.3	Überblick über die Wasserturbinen.....	187
7.3.1	Freistrahlturbine (Pelton-Turbine).....	189
7.3.2	Francis-Turbine.....	202
7.3.3	Turbinen und Maschinensätze für Pumpspeicherkraftwerke.....	218
7.3.4	Kaplan-Turbine.....	225
7.3.5	Durchströmturbine oder Ossberger-Turbine.....	244
<b>8</b>	<b>Kavitation</b>	<b>249</b>
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
<b>9</b>	<b>Auslegung und Berechnung der Bauteile von Kreiselpumpen</b>	<b>281</b>
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
	<b>Literatur</b>	<b>369</b>
	<b>Index</b>	<b>373</b>