

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
1 Arbeitsprinzip von Pelton-Turbinen	11
1.1 Umwandlung von hydraulischer Energie in mechanische Energie ..	11
1.2 Pelton-Turbinen und ihre Spezifikation	15
1.2.1 Geometrische Spezifikation des Pelton-Rades	15
1.2.2 Hydromechanische Kennzahlen	17
1.2.3 Hydromechanische Spezifikation der Pelton-Turbine	21
1.2.4 Bauform von Pelton-Turbinen.....	23
1.2.5 Parameterbezeichnung	24
2 Injektor	25
2.1 Strömungsbeschleunigung in der Düse	26
2.2 Durchflusszahl φ_{D0} und die Düsenkennlinie	28
2.3 Durchflusszahl φ_{De} und Gesetzmäßigkeit der Düsenkennlinie	31
2.4 Reynoldszahl-Effekt	32
2.5 Strömungskräfte und Gleichgewichtszustand in der Düse	33
2.5.1 Außenregelnder Servomotor	34
2.5.2 Innenregelnder Servomotor	40
3 Wasserstrahl	43
3.1 Laser-Doppler-Anemometrie (LDA)	44
3.2 Axial-symmetrischer Wasserstrahl	45
3.3 Strahlerweiterung	48
3.4 Sekundärströmungen im Wasserstrahl und Strahlqualität	49
4 Interaktion zwischen Wasserstrahl und Pelton-Rad	53
4.1 Aufprallen runden Wasserstrahls auf ebene Platte	53
4.2 Mindestschaufelzahl	54
4.3 Wasserstrahl-Schaufel-Interaktion und ihre Spezifikation	56
4.4 Koinzidenz- und Symmetriebedingungen	59

4.5	Schaufelzahl des Pelton-Rades	61
4.6	Relativlaufbahn des Wasserstrahls	64
4.7	Strömungsablösung beim Eintritt am Schaufelausschnitt	66
4.8	Stoßfreie Bedingung am Schaufelrücken	67
4.9	Stoßkraft und ihre Leistung beim Eintritt	69
4.9.1	Ablenkung der Strömung an der Schaufelmittelschneide ...	70
4.9.2	Ablenkung der Strömung an der Ausschnittsschneide	73
5	Strömungsmechanik in der rotierenden Schaufel	77
5.1	Grundgleichungen	77
5.1.1	Bewegungsgleichung	77
5.1.2	Wasserfilmrotation	79
5.2	Relativströmung und Invarianzgleichung	80
5.2.1	Einfluss des Druckgradienten infolge der Oberflächenkrümmung	83
5.2.2	Strahlschichtverfahren	83
5.2.3	Invarianzgleichung und Euler-Gleichung	86
5.2.4	Beispiel: Relativströmung in einer Halbkreisschaufel	87
5.3	Kraftwirksamkeit und die Leistungen	90
5.3.1	Zentrifugalkraft	91
5.3.2	Coriolis-Kraft	96
5.3.3	Impulskraft aus Änderung der Strömungsrichtung	99
5.3.4	Gesamte Wirkung von Impuls-, Zentrifugal- und Coriolis-Kraft	101
5.3.5	Beispiele	102
6	Wasserausbreitung in der Schaufel	107
6.1	Relativedurchfluss	107
6.2	Breite und Höhe des Wasserfilms	110
6.3	Überdruck unter dem Wasserfilm	111
7	Austrittsbedingungen	113
7.1	Geschwindigkeitsverhältnis am Schaufelaustritt	113
7.2	Allgemeine Austrittsbedingung	114
7.3	Austrittsbedingung für Vertikalturbinen	118
7.3.1	Bedingung für die Austrittsströmung in der Wurzelzone ...	118
7.3.2	Bedingung für die Austrittsströmung im Ausschnittsbereich	123
7.3.3	Auswirkung des Spritzwassers im Fall $k_m > k_{m,max}$	124
8	Austrittsverluste	127
8.1	Drallverluste	127
8.1.1	Einfluss der Austrittsstelle	129
8.1.2	Einfluss des Austrittswinkels	130
8.1.3	Einfluss der Strahlschichtlage	131
8.1.4	Drallverlust des gesamten Wasserstrahls	132

8.2	Reibungseffekt am Schaufelrücken	133
8.3	Ablenkungseffekt am Schaufelrücken	134
9	Reibungseffekte und FFT-Theorem	137
9.1	Reibungszahl	137
9.2	Direkte Reibungseffekte	141
9.3	Reibungseffekte durch Änderung der Druckverteilung	143
9.4	Gesamte Reibungseffekte	145
9.5	Das Theorem der Strömungsreibung	147
10	Reibungsbehaftete Querströmung durch die Schaufel	149
10.1	Kombinierte hydraulische Verluste	149
10.2	Reale Drallverluste	150
10.3	Hydraulische Dissipation und Energiebilanz	153
10.4	Beispiel zum Einfluss von Reibungseffekten auf den Wirkungsgrad	154
11	Reibungsbehaftete Längsströmung durch die Schaufel	157
11.1	Kinematische Gleichung der Strömung in der rotierenden Schaufel	157
11.2	Dynamische Gleichungen und Leistungsberechnungen	161
11.3	Auswirkungen von Strömungskräften und die hydraulische Dissipation	162
11.3.1	Stoßkraft am Schaufeleintritt	163
11.3.2	Impulskraft in der Schaufel	163
11.3.3	Zentrifugal-Kraft	164
11.3.4	Coriolis-Kraft	164
11.3.5	Direkte Reibungskraft	165
11.3.6	Hydraulische Dissipation	166
11.3.7	Gesamtwirkungsgrad	167
11.4	Beispiel	167
12	Ventilations- und Radreibungsverluste	171
12.1	Pelton-Turbinen mit horizontaler Achse	172
12.2	Pelton-Turbinen mit vertikaler Achse	175
12.3	Auslaufversuch	176
13	Leistungsverlust durch Lagerreibungen	179
14	Hydraulischer und mechanischer Wirkungsgrad	183
14.1	Hydraulischer Wirkungsgrad	183
14.2	Mechanischer Wirkungsgrad	184
15	Reale hydraulische Wirkungsgradkennlinien	185
15.1	Kritische Laufzahl	185
15.2	Reaktionsgrad des Wasserstrahls	188
15.2.1	Reaktionsgrad im kritischen Bereich	189
15.2.2	Reaktionsgrad im überkritischen Bereich	191

15.2.3 Beispiel zum Reaktionsgrad	191
15.3 Reale hydraulische Wirkungsgradkennlinie	192
16 Durchgangsdrehzahl und Beschleunigungsverlauf	195
16.1 Theoretische Durchgangsdrehzahl	195
16.2 Reale Durchgangsdrehzahl	197
16.2.1 Mechanische Verlustkennlinie	198
16.2.2 Effektive hydraulische Leistung	199
16.2.3 Reale Durchgangsdrehzahl	199
16.3 Beschleunigungsverlauf	201
16.3.1 Unterkritischer Bereich: $n < n_c$	202
16.3.2 Überkritischer Bereich: $n > n_c$	202
16.3.3 Gesamter Beschleunigungsverlauf	203
17 Hydraulische Auslegung von Pelton-Turbinen	205
17.1 Dimensionierung des Pelton-Rades	205
17.2 Ellipsenförmiges Schaufelprofil	208
18 Mehrdüsig Pelton-Turbinen	215
18.1 Mindestversatzwinkel zwischen Wasserstrahlen	215
18.2 Düsenschutzdach	217
19 Geometrische und hydraulische Ähnlichkeiten	219
19.1 Geometrische Ähnlichkeit	220
19.2 Hydraulische Ähnlichkeit	220
20 Modellversuch und Wirkungsgradaufwertung	225
20.1 Wirkungsgradaufwertung	226
20.2 Reynolds-Zahl und Strahlkraft	227
21 Schaufelfestigkeit und Ähnlichkeitsgesetze	229
21.1 Dynamische Spannung im Schaufelwurzelbereich	229
21.2 Ähnlichkeitsgesetze in der Schaufelbelastung	233
Anhang 1: Parameterbezeichnung	237
Anhang 2: Definitionen der abgeleiteten Größen und Kennzahlen	241
Anhang 3: Spezifische Drehzahl und ihre Anwendung in Pelton-Turbinen	243
Anhang 4: Spezifikation des Strahlstücks für eine Schaufel	245
Anhang 5: Spezifikation der Schaufelstellungen	249
Literaturverzeichnis	253
Sachverzeichnis	257

Freistrahlturbinen

Hydromechanik und Auslegung

Zhengji, Z.

2009, XII, 260 S. 100 Abb.,

ISBN: 978-3-540-70772-1