

Inhaltsverzeichnis

1	Entwicklungsstufen der Wasserkraftnutzung	1
1.1	Ansätze der Wasserkraftnutzung	1
1.2	Wasserradgetriebene Schöpfwerke und Mühlen	5
1.3	Übergang vom Wasserrad zur Wasserturbine	5
1.4	Fernübertragung elektrischer Energie	7
1.5	Wasserkraftanlagen und ihre Umgebung	8
1.6	Mehrzweckaufgaben der Wasserkraft	11
1.7	Wasserkraftnutzung im Spiegelbild der Energieträger	13
1.7.1	Nutzung von fossilen Energieträgern und Kernbrennstoffen	13
1.7.2	Nutzung erneuerbarer Energien	14
1.7.3	Kriterien der Energieversorgung und Vergleich der Energieerzeugungsformen	16
1.7.4	Künftige Entwicklung der Wasserkraftnutzung	21
1.8	Literatur	22
2	Grundlagen der Wasserkraftnutzung	23
2.1	Energie des Wassers	23
2.1.1	Energie des ruhenden Wassers	23
2.1.2	Energie des fließenden Wassers	24
2.1.3	Nutzbare Gesamtenergie des fließenden Wassers	25
2.1.4	Potentielle Energie eines Speichervolumens	29
2.2	Verfügbares Wasserkraftpotential	30
2.3	Literatur	36
3	Grundsätze der Planung und Projektierung	37
3.1	Planungsprozeß und Projektentwicklung	37
3.1.1	Projektphasen	37
3.1.2	Besondere Aspekte bei Reaktivierung, Modernisierung und Erweiterung	40
3.1.3	Projektentwicklung im Rahmen von Finanzierungsmodellen	42
3.2	Grundlagen für Auswahl und Weiterentwicklung von Wasserkraftstandorten	44
3.2.1	Wassermengenwirtschaftliche Erhebungen	45
3.2.2	Energiewirtschaftliche Erhebungen	46
3.2.3	Ausbaugrad	49

3.3	Beurteilung von Wasserkraftanlagenprojekten	52
3.3.1	Betriebswirtschaftliche Betrachtung	53
3.3.1.1	Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	54
3.3.1.2	Investitionsrechnung zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit	55
3.3.1.3	Grundlagen der Zinsrechnung, Abschreibung und Annuität	55
3.3.1.4	Statische Verfahren der Investitionsrechnung	57
3.3.1.5	Dynamische Verfahren der Investitionsrechnung	57
3.3.1.6	Besondere Kenngrößen bei Wasserkraftanlagen	59
3.3.1.7	Wirtschaftlichkeitsaspekte bei Pumpspeicherkraftwerken	65
3.3.2	Gesamtwirtschaftliche und gesamtgesellschaftliche Betrachtung	67
3.3.2.1	Grundlagen der gesamtgesellschaftlichen Bewertungsverfahren	67
3.3.2.2	Gesamtgesellschaftliche Bewertungsansätze bei Wasserkraftprojekten	68
3.3.2.3	Bedeutung von Mehrzweckaufgaben	69
3.3.3	Ansatz für eine systematische Beurteilung von Wasserkraftanlagenprojekten	70
3.4	Gesetzliche Vorgaben für den Bau und Betrieb von Wasserkraftanlagen	73
3.4.1	Rechts- und Normhierarchie	73
3.4.2	Wesentliche Rechtsnormen für die Wasserkraft	74
3.5	Versicherung von Wasserkraftanlagen	80
3.6	Literatur	82
4	Typen von Wasserkraftanlagen	83
4.1	Klassifizierung der Wasserkraftanlagen	83
4.2	Einteilung von Wasserkraftanlagen hinsichtlich der Nutzfalhhöhe	85
4.2.1	Niederdruckkraftwerke	85
4.2.1.1	Flußkraftwerke	85
4.2.1.2	Ausleitungskraftwerke	93
4.2.2	Mitteldruckkraftwerke	94
4.2.3	Hochdruckkraftwerke	95
4.3	Weitere bedeutende Wasserkraftanlagengruppen	98
4.3.1	Pumpspeicherkraftwerke als Regelungskraftwerke	98
4.3.2	Kleinwasserkraftanlagen	101
4.3.3	Dotationskraftwerke	104
4.3.4	Energienutzung in Leitungssystemen	105
4.4	Sonderformen der Wasserkraftnutzung	107
4.4.1	Nutzung der Gezeitenenergie	107
4.4.2	Nutzung der Meeresströmung	116
4.4.3	Wellenenergienutzung	117
4.4.4	Gradientenkraftwerke	121
4.4.5	Depressionskraftwerke	121

4.4.6	Gletscherkraftwerk	122
4.5	Literatur	123
5	Wasserfassung	125
5.1	Anordnung, Bauweise und Bemessung des Einlaufbauwerkes	126
5.1.1	Kraftwerke im Fließgewässer	126
5.1.2	Entnahme aus Fließgewässern	126
5.1.3	Entnahme aus stehenden Gewässern	133
5.1.4	Bemessungsgrundlagen für das Einlaufbauwerk	135
5.2	Schutz gegen Treibgut und Treibeis	147
5.2.1	Rechenanlagen	148
5.2.1.1	Konstruktive Ausbildung	148
5.2.1.2	Bemessung	149
5.2.1.3	Betrieb und Wartung der Rechenanlagen	154
5.2.2	Tauchwand und Schwimmbalken	157
5.3	Verschlußorgane	159
5.4	Literatur	162
6	Freispiegelleitungen	165
6.1	Hydraulische Bemessung	165
6.2	Sedimenttransport	174
6.3	Wellenbildung und Wasserspiegelschwingungen	178
6.4	Konstruktive Ausbildung und Befestigungen	180
6.5	Übergang in Druckrohrleitungen	185
6.6	Literatur	187
7	Sandfang	189
7.1	Konstruktive Ausbildung	189
7.2	Bemessung	193
7.2.1	Bemessungsgrundlagen	193
7.2.2	Beckenbemessung	194
7.3	Literatur	196
8	Druckrohrleitungen	197
8.1	Rohrtypen und Rohrverbindungen	197
8.1.1	Stahlrohre	199
8.1.2	Druckrohre aus duktilem Gußeisen	203
8.1.3	Betonrohre	203
8.1.4	Rohre aus glasfaserverstärktem Kunststoffharz	204

8.1.5	Holzrohre	206
8.2	Hydraulische Bemessung von Druckrohrleitungen	207
8.2.1	Hydraulische Grundlagen	207
8.2.2	Wirtschaftlichster Rohrdurchmesser	212
8.3	Dynamische Strömungsvorgänge - Druckstöße in Rohrleitungen	214
8.3.1	Druckwellengeschwindigkeit	215
8.3.2	Druckstoßberechnung	219
8.3.2.1	Joukowsky-Stoß	219
8.3.2.2	Einfluß der Schließzeit auf den Joukowsky-Stoß	221
8.3.2.3	Druckstoß nach der Theorie der starren Wassersäule	222
8.3.2.4	Druckstoß nach der Theorie der elastischen Wassersäule	224
8.3.3	Charakteristikenverfahren	227
8.3.4	Abminderung von Druckstößen	231
8.4	Statische Bemessung von Druckrohrleitungen	232
8.4.1	Spannungen und Rohrwanddicke	233
8.4.2	Einbeulen und Verformen	238
8.4.3	Äußere Belastungen von Druckrohrleitungen	241
8.4.3.1	Äußere Belastungen bei offen verlegten Druckrohrleitungen	247
8.4.3.2	Äußere Belastungen bei eingeeerdeten Druckrohrleitungen	248
8.4.3.3	Äußere Belastungen bei grabenlos verlegten Druckrohrleitungen	259
8.4.4	Schnittgrößen in Rohrringrichtung bei eingeeerdeten Druckrohrleitungen	264
8.4.5	Maßgebende Nachweise für die Druckrohrleitungsbemessung	267
8.4.5.1	Spannungs-/Dehnungsnachweis	267
8.4.5.2	Tragfähigkeitsnachweis	268
8.4.5.3	Verformungsnachweis	268
8.4.5.4	Stabilitätsnachweis	268
8.5	Rohrkrümmer, Rohraufleger und Dehnungsausgleicher	271
8.5.1	Rohrkrümmer	271
8.5.2	Fixpunkte und Zwischenaufleger	273
8.5.2.1	Auflagerkräfte	274
8.5.2.2	Beanspruchung der Rohrwandung im Auflagerbereich	277
8.5.3	Dehnungsausgleicher	282
8.6	Literatur	284
9	Druckstollen und Druckschächte	287
9.1	Konstruktive Ausbildung	287
9.2	Statische Bemessung	290
9.3	Literatur	303

10 Rohrabzweige und Verteilrohrleitungen	305
10.1 Typen	305
10.2 Bemessung von Rohrabzweigen	307
10.2.1 Bemessung nach dem Flächenvergleichsverfahren	307
10.2.2 Überschlägige Bemessung eines Hosenrohres	314
10.2.3 Spannungsermittlung mit der Finite-Element-Methode	318
10.2.3.1 Die fünf Schritte der Finite-Element-Methode	318
10.2.3.2 Ermittlung von Verschiebungen, Verzerrungen und Spannungen	326
10.2.3.3 Umsetzung von Finite-Element-Berechnungen	329
10.3 Literatur	332
11 Wasserschlässe und Schwallkammern	333
11.1 Anordnung	333
11.2 Aufgaben	334
11.2.1 Hydraulische Trennung des Zuleitungsdruckstollens von der Falleitung	334
11.2.2 Dämpfung der Druckstoßentwicklung	335
11.2.3 Verbesserung der Regelung	335
11.2.4 Beschleunigter Ausgleich der Wassermengen	336
11.3 Typen und Bauweisen	336
11.3.1 Kriterien für die Entwicklung verschiedener Wasserschloßformen	336
11.3.2 Bauliche Ausbildung	337
11.3.3 Typisierung nach der hydraulischen Funktionsweise	337
11.3.3.1 Einfache Becken- bzw. Schachtwasserschlässe	337
11.3.3.2 Kammerwasserschlässe	337
11.3.3.3 Gedrosselte Wasserschlässe	338
11.3.3.4 Differentialwasserschlässe	339
11.3.3.5 Windkessel-Wasserschlässe	340
11.4 Hydraulische Berechnung	340
11.4.1 Schachtwasserschloß - Grundgleichungen	340
11.4.2 Gedrosseltes Wasserschloß	343
11.4.3 Differentialwasserschloß	345
11.4.4 Lösungsmethoden	346
11.4.4.1 Analytische Lösungen	346
11.4.4.2 Numerische Behandlung	356
11.4.5 Stabilitätsproblem	361
11.4.5.1 Die Thomaschen Stabilitätskriterien	361
11.4.5.2 Beschleunigungs- bzw. Verzögerungszeit t_a	363
11.4.6 Schwingungsvorgänge	364
11.4.7 Bemessungs- und Optimierungsaufgaben	365
11.4.8 Überschlagsformeln	366
11.4.9 Wasserschloß und Triebwasserleitung	367

11.4.9.1	Gekoppeltes Schwingungsverhalten	367
11.4.9.2	Gekoppelte Berechnung im Zeitbereich	370
11.4.9.3	Lastvorgaben für die Stollenpanzerung	377
11.4.9.4	Wasserschloßüberwachung mittels Fuzzy Logik	378
11.5	Sonderausführungen	379
11.5.1	Anordnung bei Mitteldruckanlagen	379
11.5.2	Geheiztes Wasserschloß	379
11.5.3	Windkessel-Wasserschloß	379
11.6	Literatur	389
12	Verschuß- und Regelorgane bei Rohrleitungen	391
12.1	Anordnung und Grundformen von Krafthaus- und Grundablaßschiebern	391
12.1.1	Aufgaben und Anordnung	391
12.1.2	Grundtypen	393
12.1.3	Gebräuchliche Schieber in Turbinen- und Pumpenleitungen	394
12.1.4	Gebräuchliche Schieber in Grundablässen und Hochwasserentlastungsanlagen	395
12.1.5	Schnellschlußorgane	395
12.1.6	Be- und Entlüftungsventile	397
12.1.7	Hilfseinrichtungen	398
12.2	Hydraulisches Verhalten	399
12.2.1	Strömungsvorgänge	399
12.2.2	Verlusthöhen	399
12.2.3	Durchfluß und Ausfluß	401
12.2.4	Ermittlung der Energiehöhen	405
12.2.5	Kavitation	406
12.2.6	Druckstoß	409
12.2.7	Schwingungen	409
12.3	Gestaltungsgrundsätze	410
12.4	Antrieb und Steuerung	411
12.5	Typen	412
12.5.1	Keilschieber und Flachschieber	412
12.5.1.1	Wirkungsweise und Anwendungsbereich	412
12.5.1.2	Konstruktiver Aufbau	413
12.5.1.3	Hydraulisches Verhalten	414
12.5.1.4	Vor- und Nachteile	415
12.5.2	Drosselklappen	415
12.5.2.1	Wirkungsweise und Anwendungsbereich	415
12.5.2.2	Konstruktiver Aufbau	416
12.5.2.3	Hydraulisches Verhalten	418
12.5.2.4	Vor- und Nachteile	420

12.5.3	Kugelschieber	421
12.5.3.1	Wirkungsweise und Anwendungsbereich	421
12.5.3.2	Konstruktiver Aufbau	422
12.5.3.3	Hydraulisches Verhalten	424
12.5.3.4	Vor- und Nachteile	425
12.5.4	Ringschieber und Hohlstrahlschieber	425
12.5.4.1	Wirkungsweise und Anwendungsbereich	425
12.5.4.2	Konstruktiver Aufbau	428
12.5.4.3	Hydraulisches Verhalten	429
12.5.4.4	Vor- und Nachteile	431
12.5.5	Kegelstrahlschieber	432
12.5.5.1	Wirkungsweise und Anwendungsbereich	432
12.5.5.2	Konstruktiver Aufbau	433
12.5.5.3	Hydraulisches Verhalten	434
12.5.5.4	Vor- und Nachteile	437
12.6	Literatur	438
13	Krafthaus	439
13.1	Krafthaustypen	440
13.1.1	Grundlegende Unterscheidungsmerkmale der Krafthaustypen	441
13.1.2	Besondere Aspekte bei unterschiedlichen Wasserkraftanlagentypen	449
13.2	Regelungs- und Leittechnik für den Wasserkraftanlagenbetrieb	455
13.2.1	Grundprinzipien der Regelungs- und Leittechnik	455
13.2.2	Fuzzy Logik zur Abbildung von Steuerungs- und Regelungsvorgängen	459
13.2.2.1	Grundlagen der Fuzzy Logik	460
13.2.2.2	Unscharfe Ansätze in der Fuzzy Logik	461
13.3	Betrieb und Unterhalt von Wasserkraftanlagen	468
13.3.1	Betriebs-, Anlagen- und Arbeitssicherheit bei Wasserkraftanlagen	468
13.3.2	Instandhaltung und Erneuerung von Wasserkraftanlagen	473
13.4	Literatur	475
14	Funktionsweise von hydraulischen Maschinen	477
14.1	Unterscheidungsmerkmale	477
14.1.1	Bauweise hinsichtlich Wellenausrichtung und Wasserzuführung	478
14.1.2	Einteilung nach der Regelungsart	479
14.1.3	Einteilung in Abhängigkeit des Durchflusses Q und der Fallhöhe h_f	479
14.1.4	Einteilung in Abhängigkeit der spezifischen Drehzahl n_q und der Fallhöhe h_f	479
14.1.5	Langsam-, Mittel-, Schnellläufigkeit	481
14.1.6	Einteilung nach dem Verwendungszweck und der Betriebsart	481

14.2 Bemessungsgrundlagen	481
14.2.1 Turbinendrehmoment	481
14.2.2 Fallhöhe, Energiehöhe, spezifische Stutzenarbeit	483
14.2.3 Spezifische Drehzahl, Drehzahl, Synchrondrehzahl	484
14.2.4 Dimensionslose Kennwerte	487
14.2.4.1 Druckzahl ψ	487
14.2.4.2 Durchflußzahl φ	488
14.2.4.3 Leistungszahl II	488
14.2.4.4 Laufzahl σ_L	488
14.2.4.5 Durchmesserzahl δ	488
14.2.5 Druckkennzahlen zur Kavitationsbeurteilung	488
14.2.5.1 Thoma-Beiwert σ_{Th}	489
14.2.5.2 Saugkennzahl S_q	490
14.2.5.3 Zusammenhang zwischen σ_{Th} und S_q	490
14.2.5.4 NPSH-Wert	490
14.2.6 Turbinenkennlinien	490
14.2.6.1 Turbinenwirkungsgrad	490
14.2.6.2 Leistungs-, Wirkungsgrad- und Drehmomentenkennlinie	494
14.2.6.3 Muschelkurven und Muscheldiagramme	495
14.2.7 Numerische Strömungsberechnung	499
14.3 Turbinenbauteile	501
14.3.1 Bauteile von Überdruckturbinen	501
14.3.1.1 Turbinenzulauf, Einlaufschacht und Spiralgehäuse	501
14.3.1.2 Saugrohr und Saugschlauch	507
14.3.2 Bauteile von Gleichdruckturbinen	511
14.3.3 Turbinenwelle, Getriebe und Turbinenlager	511
14.3.4 Getriebe und Riemenantrieb	513
14.4 Turbinenregelung	514
14.4.1 Turbinenregelungsarten	515
14.4.1.1 Leitradregelung	515
14.4.1.2 Laufradregelung	517
14.4.1.3 Düsen- und Strahlableiterregelung	517
14.4.1.4 Regelung bei Durchströmturbinen	518
14.4.1.5 Bypassregelung bei Hochdruckanlagen	518
14.4.2 Steuerung der Turbinenregelung	519
14.5 Pumpen und Pumpenturbinen	522
14.5.1 Kreiselpumpen	522
14.5.1.1 Grundlagen	522
14.5.1.2 Bemessung	523
14.5.1.3 Anordnung, Bauweisen und Betrieb	526
14.5.1.4 Wellenkupplungen	530
14.5.2 Pumpenturbinen	531
14.5.2.1 Allgemeine Bauweisen und Betrieb	531
14.5.2.2 Sonderformen	533

14.6	Literatur	534
15	Hydraulische Maschinen zur Energieerzeugung	537
15.1	Propeller- und Kaplan-Turbinen	537
15.1.1	Konstruktion und Betriebsweise	537
15.1.1.1	Rohrturbinen	541
15.1.1.2	Straflo-Turbinen	545
15.1.1.3	Diagonalturbinen	547
15.1.2	Bemessung	547
15.1.2.1	Grundlagen	547
15.1.2.2	Berechnungsschema zur Vordimensionierung	553
15.2	Francis-Turbinen	553
15.2.1	Konstruktion und Betriebsweise	553
15.2.2	Bemessung	557
15.2.2.1	Grundlagen	557
15.2.2.2	Berechnungsschema zur Vordimensionierung	560
15.3	Pelton-Turbinen	560
15.3.1	Konstruktion und Betriebsweise	560
15.3.2	Unterschied zwischen Francis- und Pelton-Turbine	565
15.3.3	Bemessung	566
15.3.3.1	Grundlagen	566
15.3.3.2	Berechnungsschema zur Vordimensionierung	571
15.4	Durchströmturbinen	571
15.4.1	Konstruktion und Betriebsweise	571
15.4.2	Bemessung	573
15.4.2.1	Grundlagen	573
15.4.2.2	Berechnungsschema zur Vordimensionierung	574
15.5	Wasserräder und Wasserkraftschnecken	574
15.5.1	Wasserräder	574
15.5.2	Wasserkraftschnecken	577
15.6	Literatur	579
16	Elektrotechnische Ausrüstung	581
16.1	Grundlagen der elektrischen Energietechnik	581
16.1.1	Gleichstromtechnik	582
16.1.2	Wechselstromtechnik	585
16.1.3	Wechselwirkungen und Zusammenhänge zwischen elektrischen Strömen und Spannungen und magnetischen Feldern	589
16.1.4	Kraftwirkung durch das Zusammenwirken magnetischer Felder	593
16.2	Grundprinzip der elektromagnetischen Energieumwandlung	594

16.3 Elektrische Maschinen und Transformatoren in Wasserkraftanlagen	596
16.3.1 Transformatoren	597
16.3.2 Bewegte elektrische Maschinen	599
16.3.3 Synchrone Wasserkraftgeneratoren	602
16.3.3.1 Polzahl und Frequenz	602
16.3.3.2 Ausbildung von Ständer und Läufer	606
16.3.4 Asynchronegeneratoren	606
16.3.5 Generatorschutz und -überwachung	608
16.3.6 Entwicklungstendenzen bei Wasserkraftgeneratoren	610
16.3.6.1 Generatoren mit veränderbaren Drehzahlen	611
16.3.6.2 Hochspannungsgeneratoren	612
16.4 Betriebsarten von Wasserkraftgeneratoren	613
16.4.1 Leerlauf	613
16.4.2 Generatorbetrieb	614
16.4.3 Motorbetrieb	615
16.4.4 Übergang zwischen den verschiedenen Betriebsarten	615
16.4.5 Synchronisation	616
16.4.6 Inselbetrieb	617
16.4.7 Blindleistungs- bzw. Phasenschieberbetrieb	617
16.4.8 Reluktanzbetrieb	618
16.4.9 Belastungsgrenzen der Synchronmaschine	618
16.5 Bemessung von Wasserkraftgeneratoren	619
16.5.1 Kühlung	620
16.5.2 Einbau und Anordnung	621
16.5.3 Läuferarten	623
16.5.4 Erregereinrichtungen	623
16.5.5 Dimensionierung	624
16.5.6 Durchgangsdrehzahl	625
16.5.7 Kurzschlußfestigkeit	626
16.6 Aufbereitung und Verteilung der Drehstromenergie	629
16.6.1 Leistungsbilanz und Wirkungsgrad	630
16.6.2 Transformatoren	630
16.6.3 Eigenversorgung	631
16.6.4 Schaltanlagen und Energieableitung	631
16.6.5 Einbindung der Kraftwerke in das elektrische Verbundsystem	633
16.6.5.1 Aufgaben der Kraftwerke im Netzbetrieb	634
16.6.5.2 Hochspannungs-Gleichstrom-Kopplung unterschiedlicher Netze	635
16.6.5.3 Aufgaben der Netzleitwarte und Kraftwerkseinsatzplanung	636
16.6.5.4 Entwicklung des Strommarktes	637
16.7 Literatur	637

17	Pumpspeicherkraftwerke	639
17.1	Zielsetzung	639
17.2	Pumpspeichersysteme	641
17.3	Historische Entwicklung der Pumpspeicherung	643
17.4	Bautechnische Gesichtspunkte	644
17.5	Maschinentechnische Gesichtspunkte	648
17.6	Betriebsweisen von Pumpspeicherwerken	649
17.7	Pumpspeicherkraft in Deutschland	655
17.8	Sonderausführungen	657
17.8.1	Extreme Förderhöhen und Leistungen	657
17.8.2	Untertage-Pumpspeicherkraftwerke	658
17.8.3	Meerwasser-Pumpspeicherkraftwerke	659
17.8.4	Luftspeicherkraftwerke	661
17.8.5	Pumpspeicherwerk mit drehzahlvariablen Maschinensätzen	663
17.9	Literatur	665
18	Wasserkraft und Umwelt	667
18.1	Einflüsse auf die Atmosphäre	669
18.2	Beeinflussung der ober- und unterirdischen Gewässer	671
18.2.1	Veränderung der Gewässercharakteristik	672
18.2.1.1	Fließgewässertypische Strömungsmuster	672
18.2.1.2	Geschiebe- und Schwebstoffhaushalt	673
18.2.1.3	Abfluß- und Hochwasserregime	674
18.2.1.4	Flußregulierung	677
18.2.1.5	Eisbildung und Eistransport	677
18.2.2	Wechselwirkungen mit dem Grundwasser	677
18.3	Einflüsse auf das biologische System	678
18.3.1	Bedeutung von Strömung und Substrat	679
18.3.1.1	Auswirkungen auf die Fischfauna	679
18.3.1.2	Auswirkungen auf das Zoobenthon	680
18.3.1.3	Auswirkungen auf die Pflanzenwelt	682
18.3.2	Temperaturregime	684
18.3.3	Sauerstoffhaushalt	684
18.3.4	Selbstreinigungsprozesse	687
18.3.5	Treibgut	688
18.3.6	Ufer- und Stauraumgestaltung	689
18.4	Einflüsse auf die oberen Bodenschichten	690
18.5	Einflüsse auf den Baugrund	691
18.6	Auswirkungen auf den Menschen	691

18.7 Spezielle Aspekte bei Mehrzweckanlagen in warm-trockenen Regionen	693
18.7.1 Wasserkraft und Bewässerung	693
18.7.2 Umweltrelevante Gestaltungsmaßnahmen von Stauanlagen in Entwicklungsländern der wärmeren Klimazonen	695
18.7.2.1 Gestaltungsprioritäten	695
18.7.2.2 Gestaltungs- und Präventionsmaßnahmen	696
18.7.3 Energetische Bewertung der Flächen-Inanspruchnahme von Wasserspeichern	697
18.7.3.1 Speicher-Parameter	697
18.7.3.2 Energetisches Potential von Bewässerungswasser	698
18.7.3.3 Potential von Biomasse im Stauraum	699
18.7.3.4 Spezifisches Gesamt-Energiepotential eines Wasserspeichers	699
18.7.3.5 Durch Speicherkraftwerke vermiedene CO ₂ -Produktion	699
18.7.3.6 Ergebnisse der vergleichenden Speicherpotential-Abschätzung	700
18.8 Besondere Umweltaspekte von der Errichtung bis zum Rückbau einer Anlage	702
18.9 Literatur	702
19 Mindestwasserregelungen	705
19.1 Gebräuchliche Methoden zur Mindestwasserfestlegung	705
19.1.1 Kenngrößen	706
19.1.2 Einfache Verfahren	707
19.1.3 Habitatsimulationsmodelle	708
19.1.3.1 Hintergrund	708
19.1.3.2 Fließgewässerhabitate und ihre Beschreibung	709
19.1.3.3 Schnittstelle Abiotik-Biotik	710
19.1.4 Entscheidungsmodelle	711
19.2 Mindestwasserregelungen in Deutschland	711
19.3 Vorgehensweise zur Bestimmung von Mindestwasserregelungen aus heutiger Sicht	712
19.4 Das Simulationsmodell CASIMIR	713
19.4.1 Konzeption im Hinblick auf Mindestwasserregelungen	713
19.4.2 Gewässersohle	714
19.4.3 Freiwasserraum und Fischhabitate	717
19.4.3.1 Fische als Zeigerorganismen	717
19.4.3.2 Präferenzfunktionen	718
19.4.3.3 Fuzzylogischer Ansatz für die Habitatmodellierung	720
19.4.3.4 Darstellung der Habitateignung	722
19.4.3.5 Kriterien für die Bewertung der Modellierungsergebnisse mit CASIMIR bei Mindestwasseruntersuchungen	724
19.5 Auswirkungen der Mindestwasserabgaben auf die Energieerzeugung in Wasserkraftanlagen	728

19.6	Literatur	729
20	Durchgängigkeit für die Aquafauna an Wasserkraftstandorten	731
20.1	Fischaufstiegsanlagen	733
20.1.1	Anordnung von Fischaufstiegsanlagen	733
20.1.2	Ausbildung des Einstiegs in Fischaufstiegsanlagen	735
20.1.3	Leitströmung im Einstiegsbereich	737
20.1.4	Abfluß in Fischaufstiegsanlagen	738
20.1.5	Dimensionierung von Fischaufstiegsanlagen	738
20.1.6	Gestaltung der Sohle in Fischaufstiegsanlagen	739
20.1.7	Ausstieg aus Fischaufstiegsanlagen	740
20.1.8	Betriebszeiten	741
20.1.9	Wartung der Fischaufstiegsanlagen	741
20.1.10	Störungsvermeidung und Lenkung der Öffentlichkeit	741
20.2	Bauweisen von Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbaren Querbauwerken	742
20.2.1	Beckenpässe	743
20.2.2	Schlitz- oder Vertical-Slot-Paß	746
20.2.3	Rauhgerinne-Beckenpaß	746
20.2.4	Fischaufstiegsanlagen in Störsteinbauweise	747
20.2.5	Denil- oder Gegenstrompaß	747
20.2.6	Aalpaß	748
20.2.7	Fischschleuse	749
20.2.8	Fischaufzug	750
20.2.9	Umgehungsgerinne	750
20.2.10	Sohlenbauwerke	751
20.3	Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen	752
20.4	Literatur	754
21	Ausführungsbeispiele	755
21.1	Hochrheinkraftwerk Säckingen	756
21.2	Wasserkraftnutzung durch die Schluchseewerk AG	758
21.2.1	Werksguppe Schluchsee	758
21.2.2	Werksguppe Hotzenwald	759
21.2.3	Merkmale des Pumpspeicherbetriebes	759
21.3	Kraftwerksgruppe Schluchsee	761
21.4	Kraftwerksgruppe Hotzenwald	766
21.4.1	Pumpspeicherwerk Säckingen	766
21.4.2	Pumpspeicherwerk Hornbergstufe	769
21.4.2.1	Übersicht	769

21.4.2.2	Konstruktive Gestaltung von Oberbecken und Unterbecken	771
21.4.2.3	Druckschacht zwischen Oberbecken und Verteilrohrleitung	774
21.4.2.4	Maschinenkaverne	774
21.4.2.5	Maschinensätze	775
21.4.2.6	Generatoren und Transformatoren	777
21.4.2.7	Schaltanlage und Leitwarte Kühmoos	778
21.4.2.8	Betriebsstunden, Wirkungsgrad und spezifische Ausbaukosten	779
21.4.2.9	Naturintegrierende Bauweise	779
21.4.2.10	Neubau einer Kleinwasserkraftanlage	779
21.5	Geplante Ausbaustufen der Schluchsewerke	781
21.6	Das Großprojekt Drei-Schluchten-Kraftwerk am Jangtse/China	782
21.7	Kleinwasserkraftanlage Großarl	784
21.8	Literatur	790
22	Symbole, Einheiten, Umrechnungsfaktoren	791
22.1	Kenngößen und Symbole	791
22.2	Griechisches Alphabet	805
22.3	Einheitenabkürzungen	805
22.4	Einheiten und Umrechnungsfaktoren	806
	Sachverzeichnis	809