

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	6
1.4	Fernübertragung elektrischer Energie	8
1.5	Wasserkraftanlagen und ihre Umgebung	9
1.6	Mehrzweckaufgaben der Wasserkraft	13
1.7	Wasserkraftnutzung im Spiegelbild der Energieträger	14
1.7.1	Nutzung von fossilen Energieträgern und Kernbrennstoffen	14
1.7.2	Nutzung erneuerbarer Energien	15
1.7.3	Kriterien der Energieversorgung und Vergleich der Energieerzeugungsformen	18
1.7.4	Künftige Entwicklung der Wasserkraftnutzung	23
1.7.4.1	Grundlegende Perspektiven	23
1.7.4.2	Beitrag der Wasserkraft zur Reduktion der Treibhausgasemissionen	24
1.8	Literatur	25
2	Grundlagen der Wasserkraftnutzung	27
2.1	Energie des Wassers	27
2.1.1	Energie des ruhenden Wassers	27
2.1.2	Energie des fließenden Wassers	28
2.1.3	Nutzbare Gesamtenergie des fließenden Wassers	29
2.1.4	Potenziale zur Wasserkraftnutzung	33
2.1.5	Potenzielle Energie eines Speichervolumens	34
2.2	Verfügbares und genutztes Wasserkraftpotenzial	35
2.2.1	Wasserkraftpotenzial weltweit	35
2.2.2	Wasserkraftpotenzial in Deutschland	36
2.3	Literatur	42
3	Grundsätze der Planung und Projektierung	43
3.1	Planungsprozess und Projektentwicklung	43
3.1.1	Projektphasen	43
3.1.2	Besondere Aspekte bei Reaktivierung, Modernisierung und Erweiterung	47
3.1.3	Projektentwicklung im Rahmen von Finanzierungsmodellen	49

3.2 Grundlagen für Auswahl und Weiterentwicklung von Wasserkraftstandorten	51
3.2.1 Wassermengenwirtschaftliche Erhebungen	51
3.2.2 Energiewirtschaftliche Erhebungen	54
3.2.3 Ausbaugrad	57
3.3 Beurteilung von Wasserkraftanlagenprojekten	60
3.3.1 Betriebswirtschaftliche Betrachtung	61
3.3.1.1 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	61
3.3.1.2 Investitionsrechnung zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit	63
3.3.1.3 Grundlagen der Zinsrechnung, Abschreibung und Annuität	63
3.3.1.4 Statische Verfahren der Investitionsrechnung	65
3.3.1.5 Dynamische Verfahren der Investitionsrechnung	65
3.3.1.6 Besondere Kenngrößen bei Wasserkraftanlagen	68
3.3.1.7 Wirtschaftlichkeitsaspekte bei Pumpspeicherkraftwerken	75
3.3.2 Gesamtwirtschaftliche und gesamtgesellschaftliche Betrachtung	76
3.3.2.1 Grundlagen der gesamtgesellschaftlichen Bewertungsverfahren	76
3.3.2.2 Gesamtgesellschaftliche Bewertungsansätze bei Wasserkraftprojekten	77
3.3.2.3 Bedeutung von Mehrzweckaufgaben	83
3.3.3 Ansatz für eine systematische Beurteilung von Wasserkraftanlagenprojekten	84
3.4 Gesetzliche Vorgaben für Bau und Betrieb von Wasserkraftanlagen	87
3.4.1 Rechts- und Normhierarchie	87
3.4.2 Wesentliche Rechtsnormen für die Wasserkraft	89
3.5 Versicherung von Wasserkraftanlagen	96
3.6 Literatur	97
 4 Typen von Wasserkraftanlagen	 99
4.1 Klassifizierung der Wasserkraftanlagen	99
4.2 Einteilung von Wasserkraftanlagen hinsichtlich der Nutzfallhöhe	101
4.2.1 Niederdruckkraftwerke	101
4.2.1.1 Flusskraftwerke	101
4.2.1.2 Ausleitungskraftwerke	109
4.2.2 Mitteldruckkraftwerke	110
4.2.3 Hochdruckkraftwerke	111
4.3 Weitere bedeutende Wasserkraftanlagengruppen	114
4.3.1 Pumpspeicherkraftwerke als Regelungskraftwerke	114
4.3.2 Kleinwasserkraftanlagen	117
4.3.3 Dotationskraftwerke	121
4.3.4 Energienutzung in Leitungssystemen	122
4.4 Sonderformen der Wasserkraftnutzung	123
4.4.1 Nutzung der Gezeitenenergie	123
4.4.2 Nutzung der Meeresströmung	133

4.4.3	Wellenenergienutzung	134
4.4.4	Gradientenkraftwerke	138
4.4.5	Depressionskraftwerke	139
4.4.6	Gletscherkraftwerke	140
4.4.7	Wasserkraftanlagen mit unterirdischen Speichersystemen	141
4.5	Literatur	142
5	Wasserfassung	145
5.1	Anordnung, Bauweise und Bemessung des Einlaufbauwerkes	147
5.1.1	Kraftwerke im Fließgewässer	147
5.1.2	Entnahme aus Fließgewässern	147
5.1.3	Entnahme aus stehenden Gewässern	154
5.1.4	Bemessungsgrundlagen für das Einlaufbauwerk	156
5.2	Schutz gegen Treibgut und Treibeis	168
5.2.1	Rechenanlagen	169
5.2.1.1	Konstruktive Ausbildung	169
5.2.1.2	Bemessung	171
5.2.1.3	Betrieb und Wartung der Rechenanlagen	175
5.2.2	Tauchwand und Schwimmbalken	180
5.3	Verschlussorgane	181
5.4	Literatur	185
6	Freispiegelleitungen	187
6.1	Hydraulische Bemessung	187
6.2	Sedimenttransport	196
6.3	Wellenbildung und Wasserspiegelschwingungen	200
6.4	Konstruktive Ausbildung und Befestigungen	202
6.5	Übergang in Druckrohrleitungen	208
6.6	Literatur	209
7	Sandfang	211
7.1	Konstruktive Ausbildung	211
7.2	Bemessung	215
7.2.1	Bemessungsgrundlagen	215
7.2.2	Beckenbemessung	218
7.2.3	Komplexe Systeme	222
7.3	Literatur	222

8	Druckrohrleitungen	223
8.1	Rohrtypen und Rohrverbindungen	223
8.1.1	Stahlrohre	225
8.1.2	Druckrohre aus duktilem Gusseisen	229
8.1.3	Betonrohre	229
8.1.4	Rohre aus glasfaserverstärktem Kunststoffharz	230
8.1.5	Holzrohre	232
8.2	Hydraulische Bemessung von Druckrohrleitungen	233
8.2.1	Hydraulische Grundlagen	233
8.2.2	Wirtschaftlich optimaler Rohrdurchmesser	238
8.3	Dynamische Strömungsvorgänge - Druckstöße in Rohrleitungen	240
8.3.1	Druckwellengeschwindigkeit	241
8.3.2	Druckstoßberechnung	246
8.3.2.1	Joukowsky-Stoß	246
8.3.2.2	Einfluss der Schließzeit auf den Joukowsky-Stoß	247
8.3.2.3	Druckstoß nach der Theorie der starren Wassersäule	249
8.3.2.4	Druckstoß nach der Theorie der elastischen Wassersäule	251
8.3.3	Charakteristikenverfahren	254
8.3.4	Abminderung von Druckstößen	258
8.4	Statische Bemessung von Druckrohrleitungen	259
8.4.1	Spannungen und Rohrwanddicke	261
8.4.2	Einbeulen und Verformen	266
8.4.3	Äußere Belastungen von Druckrohrleitungen	269
8.4.3.1	Äußere Belastungen bei offen verlegten Druckrohrleitungen	275
8.4.3.2	Äußere Belastungen bei eingeeordneten Druckrohrleitungen	276
8.4.3.3	Äußere Belastungen bei grabenlos verlegten Druckrohrleitungen	287
8.4.4	Schnittgrößen in Rohrringrichtung bei eingeeordneten Druckrohrleitungen	292
8.4.5	Maßgebende Nachweise für die Druckrohrleitungsbe-messung	295
8.4.5.1	Spannungs-/Dehnungsnachweis	295
8.4.5.2	Tragfähigkeitsnachweis	296
8.4.5.3	Verformungsnachweis	296
8.4.5.4	Stabilitätsnachweis	296
8.5	Rohrkrümmer, Rohraufleger und Dehnungsausgleicher	299
8.5.1	Rohrkrümmer	299
8.5.2	Fixpunkte und Zwischenaufleger	301
8.5.2.1	Auflagerkräfte	302
8.5.2.2	Beanspruchung der Rohrwandung im Auflagerbereich	304
8.5.3	Dehnungsausgleicher	310
8.6	Beurteilung von Schäden und der Sicherheit bestehender älterer Druckrohrleitungen aus Stahl	311
8.6.1	Allgemeines	311
8.6.2	Untersuchungsschritte	312

8.6.3	Kennwerte	312
8.6.4	Entscheidungskriterien für den Weiterbetrieb von Altanlagen	313
8.7	Literatur	314
9	Druckstollen und Druckschächte	317
9.1	Konstruktive Ausbildung	317
9.2	Wirtschaftlich optimaler Durchmesser	320
9.3	Statische Bemessung	321
9.4	Literatur	334
10	Rohrabzweige und Verteilrohrleitungen	335
10.1	Typen	335
10.2	Bemessung von Rohrabzweigen	337
10.2.1	Bemessung nach dem Flächenvergleichsverfahren	337
10.2.2	Überschlägige Bemessung eines Hosenrohres	344
10.2.3	Spannungsermittlung mit der Finite-Elemente-Methode	348
10.2.3.1	Die fünf Schritte der Finite-Elemente-Methode	348
10.2.3.2	Ermittlung von Verschiebungen, Verzerrungen und Spannungen	355
10.2.3.3	Umsetzung von Finite-Elemente-Berechnungen	359
10.3	Literatur	362
11	Wasserschlässe und Schwallkammern	363
11.1	Anordnung	363
11.2	Aufgaben	364
11.2.1	Hydraulische Trennung des Zuleitungsdruckstollens von der Fallleitung	364
11.2.2	Dämpfung der Druckstoßentwicklung	365
11.2.3	Verbesserung der Regelung	365
11.2.4	Beschleunigter Ausgleich der Wasservolumina	366
11.3	Typen und Bauweisen	366
11.3.1	Kriterien für die Entwicklung verschiedener Wasserschlossformen	366
11.3.2	Bauliche Ausbildung	367
11.3.3	Typisierung nach der hydraulischen Funktionsweise	367
11.3.3.1	Einfache Becken- bzw. Schachtwasserschlässe	367
11.3.3.2	Kammerwasserschlässe	367
11.3.3.3	Gedrosselte Wasserschlässe	368
11.3.3.4	Differenzialwasserschlässe	369
11.3.3.5	Windkessel-Wasserschlässe	370
11.4	Hydraulische Berechnung	370
11.4.1	Schachtwasserschloss - Grundgleichungen	370
11.4.2	Gedrosseltes Wasserschloss	373

11.4.3	Differenzialwasserschloss	375
11.4.4	Lösungsmethoden	376
11.4.4.1	Analytische Lösungen	376
11.4.4.2	Numerische Behandlung	385
11.4.5	Stabilitätsproblem	390
11.4.5.1	Die Thomaschen Stabilitätskriterien	390
11.4.5.2	Beschleunigungs- bzw. Verzögerungszeit t_a	392
11.4.6	Schwingungsvorgänge	393
11.4.7	Bemessungs- und Optimierungsaufgaben	394
11.4.8	Überschlagsformeln	395
11.4.9	Wasserschloss und Triebwasserleitung	396
11.4.9.1	Gekoppeltes Schwingungsverhalten	396
11.4.9.2	Gekoppelte Berechnung im Zeitbereich	398
11.4.9.3	Lastvorgaben für die Stollenpanzerung	406
11.4.9.4	Wasserschlossüberwachung mittels Fuzzy Logik	406
11.5	Sonderausführungen	408
11.5.1	Anordnung bei Mitteldruckanlagen	408
11.5.2	Geheiztes Wasserschloss	408
11.5.3	Windkessel-Wasserschloss	408
11.6	Literatur	419
12	Verschluss- und Regelorgane bei Rohrleitungen	421
12.1	Anordnung und Grundformen von Krafthaus- und Grundablasschiebern	421
12.1.1	Aufgaben und Anordnung	421
12.1.2	Grundtypen	423
12.1.3	Schieber in Turbinen- und Pumpenleitungen	424
12.1.4	Schieber in Grundablässen und Hochwasserentlastungsanlagen	425
12.1.5	Schnellschlussorgane	426
12.1.6	Be- und Entlüftungsventile	427
12.1.7	Hilfseinrichtungen	429
12.2	Hydraulisches Verhalten	429
12.2.1	Strömungsvorgänge	429
12.2.2	Verlustrhöhen	430
12.2.3	Durchfluss und Ausfluss	431
12.2.4	Ermittlung der Energiehöhen	435
12.2.5	Kavitation	436
12.2.6	Druckstoß	439
12.2.7	Schwingungen	439
12.3	Gestaltungsgrundsätze	440
12.4	Antrieb und Steuerung	441

12.5 Typen	443
12.5.1 Keilschieber und Flachschieber	443
12.5.1.1 Wirkungsweise und Anwendungsbereich	443
12.5.1.2 Konstruktiver Aufbau	444
12.5.1.3 Hydraulisches Verhalten	444
12.5.1.4 Vor- und Nachteile	445
12.5.2 Drosselklappen	445
12.5.2.1 Wirkungsweise und Anwendungsbereich	445
12.5.2.2 Konstruktiver Aufbau	447
12.5.2.3 Hydraulisches Verhalten	448
12.5.2.4 Vor- und Nachteile	450
12.5.3 Kugelschieber	451
12.5.3.1 Wirkungsweise und Anwendungsbereich	451
12.5.3.2 Konstruktiver Aufbau	452
12.5.3.3 Hydraulisches Verhalten	454
12.5.3.4 Vor- und Nachteile	455
12.5.4 Ringschieber und Hohlstrahlschieber	455
12.5.4.1 Wirkungsweise und Anwendungsbereich	455
12.5.4.2 Konstruktiver Aufbau	458
12.5.4.3 Hydraulisches Verhalten	459
12.5.4.4 Vor- und Nachteile	461
12.5.5 Kegelstrahlschieber	462
12.5.5.1 Wirkungsweise und Anwendungsbereich	462
12.5.5.2 Konstruktiver Aufbau	463
12.5.5.3 Hydraulisches Verhalten	464
12.5.5.4 Vor- und Nachteile	467
12.6 Literatur	468
 13 Krafthaus	 469
13.1 Krafthaustypen	470
13.1.1 Grundlegende Unterscheidungsmerkmale der Krafthaustypen	471
13.1.2 Besondere Aspekte bei unterschiedlichen Wasserkraftanlagentypen	480
13.2 Regelungs- und Leittechnik für den Wasserkraftanlagenbetrieb	486
13.2.1 Grundprinzipien der Regelungs- und Leittechnik	486
13.2.2 Fuzzy Logik zur Abbildung von Steuerungs- und Regelungsvorgängen	490
13.2.2.1 Grundlagen der Fuzzy Logik	491
13.2.2.2 Unscharfe Ansätze in der Fuzzy Logik	492
13.3 Betrieb und Unterhalt von Wasserkraftanlagen	500
13.3.1 Betriebs-, Anlagen- und Arbeitssicherheit bei Wasserkraftanlagen	500
13.3.1.1 Betriebssicherheit	500
13.3.1.2 Allgemeine Anlagen- und Arbeitssicherheitsanforderungen	501
13.3.1.3 Lärmemissionen	502
13.3.1.4 Schwingungen	503

13.3.1.5	Elektromagnetische Felder und elektrische Anlagen	503
13.3.1.6	Gewässerschutz und Gefahrgüter	504
13.3.2	Instandhaltung und Erneuerung von Wasserkraftanlagen	505
13.4	Literatur	507
14	Funktionsweise von hydraulischen Maschinen	509
14.1	Unterscheidungsmerkmale	509
14.1.1	Bauweise hinsichtlich Wellenausrichtung und Wasserzuführung	510
14.1.2	Einteilung nach der Regelungsart	511
14.1.3	Einteilung in Abhängigkeit des Durchflusses Q und der Fallhöhe h_f	511
14.1.4	Einteilung in Abhängigkeit der spezifischen Drehzahl n_q und der Fallhöhe h_f	511
14.1.5	Langsam-, Mittel-, Schnellläufigkeit	513
14.1.6	Einteilung nach dem Verwendungszweck und der Betriebsart	513
14.2	Bemessungsgrundlagen	513
14.2.1	Turbinendrehmoment	513
14.2.2	Fallhöhe, Energiehöhe, spezifische Stutzenarbeit	515
14.2.3	Spezifische Drehzahl, Drehzahl, Synchrondrehzahl	516
14.2.4	Dimensionslose Kennwerte	519
14.2.4.1	Druckzahl ψ	520
14.2.4.2	Durchflusszahl φ	520
14.2.4.3	Leistungszahl Π	520
14.2.4.4	Laufzahl σ_L	520
14.2.4.5	Durchmesserzahl δ	521
14.2.5	Druckkennzahlen zur Kavitationsbeurteilung	521
14.2.5.1	Thoma-Beiwert σ_{Th}	521
14.2.5.2	Saugkennzahl S_q	522
14.2.5.3	Zusammenhang zwischen σ_{Th} und S_q	522
14.2.5.4	NPSH-Wert	522
14.2.6	Turbinenkennlinien	523
14.2.6.1	Turbinenwirkungsgrad	523
14.2.6.2	Leistungs-, Wirkungsgrad- und Drehmomentenkennlinie	526
14.2.6.3	Muschelkurven und Muscheldiagramme	528
14.2.7	Numerische Strömungsberechnung	531
14.3	Turbinenbauteile	534
14.3.1	Bauteile von Überdruckturbinen	534
14.3.1.1	Turbinenzulauf, Einlaufschacht und Spiralgehäuse	534
14.3.1.2	Saugrohr und Saugschlauch	539
14.3.2	Bauteile von Gleichdruckturbinen	543
14.3.3	Turbinenwelle, Getriebe und Turbinenlager	543
14.3.4	Getriebe und Riemenantrieb	545
14.4	Turbinenregelung	547
14.4.1	Turbinenregelungsarten	548

14.4.1.1	Leitradregelung	548
14.4.1.2	Lauftradregelung	549
14.4.1.3	Düsen- und Strahlableiterregelung	550
14.4.1.4	Regelung bei Durchströmturbinen	550
14.4.1.5	Bypassregelung bei Hochdruckanlagen	550
14.4.2	Steuerung der Turbinenregelung	551
14.5	Pumpen und Pumpenturbinen	554
14.5.1	Kreiselpumpen	555
14.5.1.1	Grundlagen	555
14.5.1.2	Bemessung	555
14.5.1.3	Anordnung, Bauweisen und Betrieb	558
14.5.1.4	Wellenkupplungen	562
14.5.2	Pumpenturbinen	564
14.5.2.1	Allgemeine Bauweisen und Betrieb	564
14.5.2.2	Sonderformen	565
14.6	Literatur	567
15	Hydraulische Maschinen zur Energieerzeugung	569
15.1	Propeller- und Kaplan-Turbinen	569
15.1.1	Konstruktion und Betriebsweise	569
15.1.1.1	Rohrturbinen	573
15.1.1.2	Straflo-Turbinen	577
15.1.1.3	Diagonalturbinen	578
15.1.2	Bemessung	579
15.1.2.1	Grundlagen	579
15.1.2.2	Berechnungsschema zur Vordimensionierung	585
15.2	Francis-Turbinen	585
15.2.1	Konstruktion und Betriebsweise	585
15.2.2	Bemessung	589
15.2.2.1	Grundlagen	589
15.2.2.2	Berechnungsschema zur Vordimensionierung	592
15.3	Pelton-Turbinen	592
15.3.1	Konstruktion und Betriebsweise	592
15.3.2	Unterschied zwischen Francis- und Pelton-Turbine	597
15.3.3	Bemessung	598
15.3.3.1	Grundlagen	598
15.3.3.2	Berechnungsschema zur Vordimensionierung	603
15.4	Durchströmturbinen	603
15.4.1	Konstruktion und Betriebsweise	603
15.4.2	Bemessung	605
15.4.2.1	Grundlagen	605
15.4.2.2	Berechnungsschema zur Vordimensionierung	606

15.5 Wasserräder und Wasserkraftschnecken	607
15.5.1 Wasserräder	607
15.5.2 Wasserkraftschnecken	611
15.6 Literatur	613
16 Elektrotechnische Ausrüstung	615
16.1 Grundlagen der elektrischen Energietechnik	615
16.1.1 Gleichstromtechnik	615
16.1.2 Wechselstromtechnik	619
16.1.3 Wechselwirkungen und Zusammenhänge zwischen elektrischen Strömen und Spannungen und magnetischen Feldern	623
16.1.4 Kraftwirkung durch das Zusammenwirken magnetischer Felder	627
16.2 Grundprinzip der elektromagnetischen Energieumwandlung	628
16.3 Elektrische Maschinen und Transformatoren in Wasserkraftanlagen	630
16.3.1 Transformatoren	631
16.3.2 Bewegte elektrische Maschinen	632
16.3.3 Synchrone Wasserkraftgeneratoren	636
16.3.3.1 Polzahl und Frequenz	636
16.3.3.2 Ausbildung von Ständer und Läufer	639
16.3.4 Asynchrongeneratoren	640
16.3.5 Generatorschutz und -überwachung	642
16.3.6 Entwicklungstendenzen bei Wasserkraftgeneratoren	644
16.3.6.1 Generatoren mit veränderbaren Drehzahlen	644
16.3.6.2 Hochspannungsgeneratoren	646
16.4 Betriebsarten von Wasserkraftgeneratoren	647
16.4.1 Leerlauf	647
16.4.2 Generatorbetrieb	647
16.4.3 Motorbetrieb	648
16.4.4 Übergang zwischen den verschiedenen Betriebsarten	649
16.4.5 Synchronisation	650
16.4.6 Inselbetrieb	650
16.4.7 Blindleistungs- bzw. Phasenschieberbetrieb	651
16.4.8 Reluktanzbetrieb	651
16.4.9 Belastungsgrenzen der Synchronmaschine	652
16.5 Bemessung von Wasserkraftgeneratoren	653
16.5.1 Kühlung	654
16.5.2 Einbau und Anordnung	655
16.5.3 Läuferarten	657
16.5.4 Erregereinrichtungen	657
16.5.5 Dimensionierung	658
16.5.6 Durchgangsdrehzahl	659

16.5.7	Kurzschlussfestigkeit	660
16.6	Aufbereitung und Ableitung der Drehstromenergie eines Kraftwerkes	663
16.6.1	Leistungsbilanz und Wirkungsgrad	664
16.6.2	Transformatoren	664
16.6.3	Eigenversorgung	665
16.6.4	Schaltanlagen und Energieableitung	665
16.7	Grundlagen elektrischer Verbundsysteme	667
16.7.1	Einbindung der Kraftwerke in das elektrische Verbundsystem	667
16.7.2	Aufgaben der Netzleitwarte und Kraftwerkseinsatzplanung	669
16.7.3	Grundlastdeckung und Regelungsaufgaben im Netzbetrieb	670
16.7.4	Hochspannungs-Gleichstrom-Kopplung unterschiedlicher Netze	672
16.7.5	Entwicklung des Strommarktes	673
16.8	Literatur	673
17	Pumpspeicherkraftwerke	675
17.1	Zielsetzung	675
17.2	Pumpspeichersysteme	677
17.3	Historische Entwicklung der Pumpspeicherung	679
17.4	Bautechnische Gesichtspunkte	680
17.5	Maschinentechnische Gesichtspunkte	684
17.6	Betriebsweisen von Pumpspeicherkwerken	686
17.7	Pumpspeicherkraft in Deutschland	692
17.8	Sonderausführungen	694
17.8.1	Extreme Förderhöhen und Leistungen	694
17.8.2	Untertage-Pumpspeicherkraftwerke	695
17.8.3	Meerwasser-Pumpspeicherkraftwerke	696
17.8.4	Luftspeicherkraftwerke	698
17.8.5	Pumpspeicherwerk mit drehzahlvariablen Maschinensätzen	700
17.9	Literatur	702
18	Wasserkraft und Umwelt	705
18.1	Einflüsse auf die Atmosphäre	707
18.2	Beeinflussung der ober- und unterirdischen Gewässer	709
18.2.1	Veränderung der Gewässercharakteristik	710
18.2.1.1	Fließgewässertypische Strömungsmuster	710
18.2.1.2	Geschiebe- und Schwebstoffhaushalt	711
18.2.1.3	Abfluss- und Hochwasserregime	714
18.2.1.4	Wasserspiegelschwankungen infolge Schwellbetrieb	716
18.2.1.5	Wasserspiegeländerungen in Speicherseen und deren Unterlauf	718
18.2.1.6	Flussregulierung	718

18.2.1.7	Eisbildung und Eistransport	718
18.2.2	Wechselwirkungen mit dem Grundwasser	719
18.3	Einflüsse auf das biologische System	719
18.3.1	Bedeutung von Strömung und Substrat	720
18.3.1.1	Auswirkungen auf die Fischfauna	720
18.3.1.2	Auswirkungen auf das Zoobenthon	722
18.3.1.3	Auswirkungen auf die Pflanzenwelt	723
18.3.2	Temperaturregime	725
18.3.3	Sauerstoffhaushalt	726
18.3.4	Selbstreinigungsprozesse	729
18.3.5	Treibgut	730
18.3.6	Ufer- und Stauraumgestaltung	730
18.4	Einflüsse auf die oberen Bodenschichten	732
18.5	Einflüsse auf den Baugrund	732
18.6	Auswirkungen auf den Menschen	733
18.6.1	Landschaft und Lebensumfeld	733
18.6.2	Sicherheitsaspekte	735
18.7	Spezielle Aspekte bei Mehrzweckanlagen in warm-trockenen Regionen	735
18.7.1	Wasserkraft und Bewässerung	735
18.7.2	Umweltrelevante Gestaltungsmaßnahmen von Stauanlagen in Entwicklungsländern der wärmeren Klimazonen	737
18.7.2.1	Gestaltungsprioritäten	737
18.7.2.2	Gestaltungs- und Präventionsmaßnahmen	738
18.7.3	Energetische Bewertung der Flächen-Inanspruchnahme von Wasserspeichern	739
18.7.3.1	Speicher-Parameter	739
18.7.3.2	Energetisches Potenzial von Bewässerungswasser	740
18.7.3.3	Potenzial von Biomasse im Stauraum	741
18.7.3.4	Spezifisches Gesamt-Energiepotenzial eines Wasserspeichers	741
18.7.3.5	Durch Speicherkraftwerke vermiedene CO ₂ -Produktion	741
18.7.3.6	Ergebnisse der vergleichenden Speicherpotenzial-Abschätzung	742
18.7.4	Das Flusskraftwerk Tiszalök - eine optimierte Mehrzweckanlage	743
18.8	Besondere Umweltaspekte von der Errichtung bis zum Rückbau einer Anlage	747
18.9	Literatur	747
19	Mindestwasserregelungen	751
19.1	Gebräuchliche Methoden zur Mindestwasserfestlegung	751
19.1.1	Kenngrößen	752
19.1.2	Einfache Verfahren	753
19.1.3	Habitatsimulationsmodelle	754
19.1.3.1	Hintergrund	754

19.1.3.2	Fließgewässerhabitate und ihre Beschreibung	755
19.1.3.3	Schnittstelle Abiotik zu Biotik	756
19.1.4	Entscheidungsmodelle	757
19.2	Mindestwasserregelungen in Deutschland	757
19.3	Vorgehensweise zur Bestimmung von Mindestwasserregelungen	757
19.4	Das Simulationsmodell CASIMIR	758
19.4.1	Konzeption im Hinblick auf Mindestwasserregelungen	759
19.4.2	Gewässersohle und benthische Organismen	760
19.4.2.1	FST-Halbkugelmethode zur Bestimmung sohlennaher Strömungsverhältnisse	761
19.4.2.2	Habitatsprüche der benthischen Organismen	761
19.4.2.3	Modellierungsansatz für Benthoshabitate über die FST-Halbkugelmethode	762
19.4.2.4	Modellierungsansatz für Benthoshabitate über eine hydraulische 2-D-Modellierung	764
19.4.3	Freiwasserraum und Fischhabitate	766
19.4.3.1	Fische als Zeigerorganismen	766
19.4.3.2	Präferenzfunktionen	767
19.4.3.3	Fuzzy-logischer Ansatz für die Habitatmodellierung	769
19.4.3.4	Darstellung der Habitateignung	771
19.4.3.5	Kriterien für die Bewertung der Modellierungsergebnisse mit CASIMIR bei Mindestwasseruntersuchungen	773
19.5	Auswirkungen der Mindestwasserabgaben auf die Energieerzeugung in Wasserkraftanlagen	777
19.6	Literatur	778
20	Durchgängigkeit für die Aquafauna an Wasserkraftstandorten	781
20.1	Fischaufstiegsanlagen	783
20.1.1	Wanderkorridor	784
20.1.2	Anordnung von Fischaufstiegsanlagen	784
20.1.3	Ausbildung des Einstiegs in Fischaufstiegsanlagen	786
20.1.4	Leitströmung im Einstiegsbereich	788
20.1.5	Abfluss und Strömungscharakteristika in Fischaufstiegsanlagen	789
20.1.6	Dimensionierung von Fischaufstiegsanlagen	789
20.1.8	Gestaltung der Sohle in Fischaufstiegsanlagen	790
20.1.9	Ausstieg aus Fischaufstiegsanlagen	791
20.1.9	Betriebszeiten	792
20.1.10	Wartung der Fischaufstiegsanlagen	792
20.1.11	Störungsvermeidung und Lenkung der Öffentlichkeit	792
20.2	Bauweisen von Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbaren Querbauwerken	793
20.2.1	Beckenpässe	794

20.2.2	Schlitz- oder Vertical-Slot-Pass	797
20.2.3	Raugerinne-Beckenpass	797
20.2.4	Fischaufstiegsanlagen in Störsteinbauweise	798
20.2.5	Denil- oder Gegenstrompass	798
20.2.6	Aalpass	799
20.2.7	Fischschleuse	800
20.2.8	Fischaufzug	801
20.2.9	Umgehungsgerinne	801
20.2.10	Sohlenbauwerke	802
20.3	Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen	803
20.4	Literatur	805
21	Ausführungsbeispiele	807
21.1	Hochrheinkraftwerk Säckingen	807
21.2	Wasserkraftnutzung durch die Schluchseewerk AG	809
21.2.1	Anlagensystem der Schluchseewerk AG	809
21.2.1.1	Werksgruppe Schluchsee	809
21.2.1.2	Werksgruppe Hotzenwald	811
21.2.1.3	Merkmale des Pumpspeicherbetriebes	811
21.2.2	Werksgruppe Schluchsee	813
21.2.3	Werksgruppe Hotzenwald	817
21.2.3.1	Pumpspeicherwerk Säckingen	817
21.2.3.2	Pumpspeicherwerk Hornbergstufe mit Kavernenkraftwerk Wehr	820
21.2.3.3	Zubau einer Kleinwasserkraftanlage	831
21.2.4	Geplante Ausbaustufen der Schluchseewerke	832
21.3	Großprojekt Drei-Schluchten-Kraftwerk am Jangtse in China	834
21.3.1	Der Jangtse und historische Hochwasserkatastrophen	834
21.3.2	Projektauslegung	835
21.3.3	Problemfelder	838
21.4	Kleinwasserkraftanlage Großarl	840
21.5	Kleinwasserkraftanlage Vöhrenbach mit der Gewölbereihenmauer Linach	846
21.5.1	Übersicht	846
21.5.2	Konzeption	847
21.5.3	Streiflichter der Sanierung eines nationalen Baudenkmals	849
21.6	Literatur	851
22	Symbole, Einheiten, Umrechnungsfaktoren	853
22.1	Kenngrößen und Symbole	853
22.2	Abkürzungen	867
22.3	Griechisches Alphabet	867

22.4	Einheitenabkürzungen	867
22.5	Einheiten und Umrechnungsfaktoren	868
Autoren		871
Sachverzeichnis		873