

Theodor Strobl · Franz Zunic

Wasserbau

Aktuelle Grundlagen – Neue Entwicklungen

Mit 382 Abbildungen

G VI 102



Gliederung

1	Einführung	1
2	Planungsgrundlagen	13
3	Flussbau	81
4	Wehre	125
5	Talsperren	175
6	Wasserkraft	299
7	Binnenschifffahrt	355
8	Hochwasser	383
9	Wasserbau im Ausland	449
10	Sanierung und Modernisierung	485
11	Hydraulische Modelle	519
12	Rechtliche Aspekte	549
	Glossar	583
	Sachverzeichnis	591
	Bildnachweis.....	603

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Wasserkreislauf	1
1.2	Geschichtliche Entwicklung des Wasserbaus	5
1.3	Zielsetzungen und Aufgaben der Wasserwirtschaft	5
1.3.1	Nachhaltige Wasserwirtschaft	8
	Vorsorgeprinzip	9
	Verursacherprinzip	9
	Kooperationsprinzip	9
1.4	Zielsetzung des Buches	10
1.5	Literatur	11
2	Planungsgrundlagen	13
2.1	Darstellung wasserwirtschaftlicher Informationen	13
	Ganglinie	14
	Dauerlinie	16
	Summenlinie	17
	Füllenlinie	18
2.2	Niederschlag und Abfluss (Pegelwesen)	21
2.2.1	Niederschlag	21
	Punktniederschlag	22
	Gebietsniederschlag	25
2.2.2	Radarmessung	28
2.2.3	Wasserstandsmessung und Abflussermittlung	28
	Messung der Fließgeschwindigkeit	32
	Abflusskurve	35
2.2.4	Gewässerkundliche Werte	37
	Stammdaten eines Pegels	37
	Gewässerkundliche Hauptzahlen	39
	Hochwasserlängsschnitt	40
2.3	Speicherwirtschaft	41
2.3.1	Speichergleichung	42
	Speicherinhaltslinie	42
2.3.2	Speicherbewirtschaftung	43
2.4	Niederschlag-Abfluss-Modelle (N-A-Modelle)	44

3.6	Literatur	123
4	Wehre.....	125
4.1	Flusssperren (Staustufen).....	127
4.1.1	Aufgaben von Flusssperren	127
4.1.2	Klassifizierung von Staustufen	128
4.1.3	Gestaltung und hydraulische Durchbildung	130
4.1.4	Anordnung der Bauwerke im Fluss	131
4.2	Feste Wehre	133
4.2.1	Bestandteile eines festen Wehres.....	133
	Grunddreieck.....	134
	Überlaufprofil.....	135
	WES-Profil.....	136
4.2.2	Sonderformen der festen Wehre	137
4.3	Bewegliche Wehre	139
4.3.1	Steuerung der beweglichen Wehre	140
	(n-1)-Bedingung.....	141
	Ausnahmen von der (n-1)-Bedingung.....	142
4.3.2	Einteilung der beweglichen Wehre.....	143
4.3.3	Hubverschlüsse.....	144
	Dammbalkenwehr	144
	Nadelwehr	145
	Schützenwehr	145
	Schütz mit Aufsatzklappe	145
	Hakendoppelschütz	146
4.3.4	Drehverschlüsse.....	147
	Segmentwehr.....	147
	Drucksegment	147
	Zugsegment.....	150
	Klappenwehr	152
	Sektorwehr	157
4.3.5	Schlauchwehre.....	158
4.4	Kombinierte Wehre.....	160
4.4.1	Staubalkenwehr	161
4.5	Tosbecken.....	162
4.5.1	Tosbeckenbemessung	163
4.5.2	Kolkschutz.....	165
4.6	Wehrwangen und Pfeiler.....	165
4.6.1	Wehrwange.....	166
4.6.2	Wehrpfeiler.....	169
4.6.3	Trennpfeiler.....	169
4.7	Nebenanlagen an Wehren	170
4.7.1	Grundablass und Kiesschleuse	170
4.7.2	Floß- und Bootsgassen.....	170

4.7.3	Fischpassagen	171
	Fischaufstiegshilfen	171
	Fischabstiegshilfen	172
4.8	Modernisierung und Sanierung von Wehranlagen	172
4.9	Literatur	173
5	Talsperren	175
5.1	Einführung	176
5.1.1	Aufgaben und Auswirkungen von Talsperren	176
5.1.2	Trinkwassertalsperren	178
5.1.3	Hochwasserrückhaltebecken	179
5.1.4	Vorsperren	179
5.1.5	Wichtige Begriffe und Normen	180
5.2	Topografie und Geologie	183
5.2.1	Wahl des Sperrentyps	184
5.2.2	Flussumleitung	188
5.3	Staudämme	192
5.3.1	Einteilung der Staudämme	193
	Homogene Dämme	195
	Zonendämme	196
5.3.2	Dammbaustoffe	197
5.3.3	Böschung	199
5.3.4	Ausbildung der Krone	201
5.3.5	Übergangs-, Drainage- und Filterschichten	202
	Nachweis der Filterstabilität	204
5.3.6	Abdichtung von Dämmen	205
	Innen liegende Dichtung aus natürlichem Material	205
	Innen liegende Dichtung aus Asphaltbeton	207
	Außen liegende Dichtung aus Asphaltbeton	208
5.3.7	Pumpspeicherbecken	209
5.3.8	Concrete Faced Rockfill Dams (CFRD)	211
5.3.9	Gründung von Dämmen	214
5.3.10	Kontrollgänge bei Staudämmen	215
5.3.11	Stand sicherheitsnachweise	217
	Nachweis der Setzungen	219
	Gleitsicherheitsnachweis	221
5.3.12	Beispiel: Talsperre Brombachspeicher	222
	Lageplan	225
	Querschnitt	226
	Längsschnitt	227
5.4	Staumauern	228
5.4.1	Wahl des Staumauertyps	231
5.4.2	Gewichtsstaumauer	233
5.4.3	Walzbeton-Gewichtsmauern (RCC-Mauern)	237

5.4.4	Überwachung der Hydratationswärme bei Massenbeton.....	241
5.4.5	Bogenstaumauer	243
	Zylindermauer	245
	Gleichwinkelmauer	247
	Doppelt gekrümmte Bogenstaumauer	248
5.4.6	Pfeilerstaumauer	248
5.4.7	Thermische Beanspruchung von Staumauern.....	250
	Temperaturverlauf in einer Gewichtsstaumauer	251
	Maßnahmen zur Reduzierung der Frischbetontemperatur	253
5.5	Untergrundabdichtung	254
5.5.1	Bestimmung der Durchlässigkeit von Lockerböden.....	255
5.5.2	Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit bei Fels	255
5.5.3	Abdichtung von Fels.....	257
	Zementinjektion	258
5.5.4	Abdichtung von Lockerböden	262
	Schmalwand	262
	Schlitzwand.....	265
	Richtpreise für Dichtungswände	267
5.6	Mess- und Kontrolleinrichtungen bei Talsperren.....	267
5.6.1	Messgeräte zur Bauwerksüberwachung.....	267
	Lagekontrolle	268
	Sickerwasserkontrolle	270
	Grundwasserpegel.....	272
	Felspiezometer	272
5.7	Betriebseinrichtungen	273
5.7.1	Entnahmeanlagen	274
5.7.2	Verschlüsse und Armaturen.....	277
	Revisionsverschluss	277
	Absperrverschlüsse	278
	Regelverschlüsse	279
5.7.3	Entlastungsanlagen	281
	Entlastungsanlagen an Staudämmen	283
	Entlastungsanlagen an Staumauern	287
5.7.4	Energieumwandlungsanlagen bei Talsperren	290
	Treppenschussrinne (stepped spillway).....	291
	Räumliches Tosbecken.....	293
5.8	Literatur	294
6	Wasserkraft	299
6.1	Ausbauleistung und Energieermittlung.....	303
6.1.1	Leistungsplan.....	305
6.1.2	Tagesgang des Strombedarfs	306
6.2	Einteilung der Wasserkraftanlagen	308
6.3	Niederdruckanlagen	310

6.3.1	Flusskraftwerke	310
6.3.2	Anordnung im Fluss	310
6.3.3	Ausleitungskraftwerk.....	313
6.3.4	Gestaltung des Kraftwerkes im Längsschnitt und Aufriss.....	313
	Saugrohr	314
6.4	Hochdruckanlagen	318
6.5	Pumpspeicherwerke	318
6.6	Wasserschloss	320
6.7	Turbine und Generator	323
6.7.1	Überdruckturbinen.....	324
	Francisturbine.....	324
	Kaplanturbine.....	327
	Rohrturbine	330
	Weiterentwicklungen der Rohrturbine	332
6.7.2	Gleichdruckturbinen	337
	Pelton turbine	338
	Durchströmturbinen	339
6.8	Kavitation an Turbinenschaufeln	341
6.9	Ökologie und Wasserkraft	344
6.9.1	Mindestwasserabfluss (Restwasserproblematik)	345
	MEFI-Modell	345
6.9.2	Fischpässe.....	349
6.9.3	Restwasserkraftwerke	352
6.10	Literatur	353
7	Binnenschifffahrt	355
7.1	Bedeutung der Binnenschifffahrt	355
7.2	Binnenschiff.....	357
7.3	Verkehrswasserbau	362
7.3.1	Schifffahrtswege in Flüssen.....	362
7.3.2	Schifffahrtskanäle.....	367
	Regelprofile und Abmessungen	367
	Auskleidung	368
7.3.3	Schleusen.....	370
	Kammerschleuse	371
	Sparschleuse.....	372
7.3.4	Schiffshebewerke	374
7.4	Wichtige Schifffahrtskanäle in Deutschland.....	377
7.5	Binnenhäfen.....	378
7.5.1	Häfen an Flüssen	379
7.5.2	Häfen an Kanälen	379
7.6	Freizeitnutzung an Binnenschifffahrtsstraßen.....	381
7.7	Literatur	381

8	Hochwasser	383
8.1	Ursachen und Entstehung von Hochwassern	383
8.1.1	Klimawandel.....	385
	Historische Einordnung des globalen Klimawandels.....	385
	Klimamodelle.....	386
	Konsequenzen für die Wasserwirtschaft	387
8.1.2	Eingriffe des Menschen	389
	Flussbegradigungen und Eindeichung	389
	Versiegelung	390
	Nutzung von Überschwemmungsgebieten.....	391
8.2	Auswirkung von Hochwassern	392
8.2.1	Überschwemmungen	392
8.2.2	Feststofftransport.....	393
8.3	Methodische Werkzeuge beim Hochwasserschutz	396
8.3.1	Meldestufen	396
8.3.2	Luftbilder und Luftbildkarten	397
8.3.3	Niederschlag-Abfluss-Modelle.....	398
	Bemessungsganglinien kleiner Gebiete.....	399
	Maßgebender Niederschlag.....	400
	Abschätzung der maßgebenden Abflussganglinie.....	400
8.4	Maßnahmen zum Hochwasserschutz	401
8.4.1	Hochwasservorsorge.....	402
	Flächenvorsorge	403
	Bauvorsorge	407
	Hochwasservorhersage.....	407
	Information und Organisation	408
	Verhaltensvorsorge	411
	Risikovorsorge (Versicherungen)	411
8.4.2	Natürlicher Wasserrückhalt	413
	Deichrückverlegung	414
	Reaktivierung von Überflutungsflächen	414
8.4.3	Technische Maßnahmen	416
	Hochwasserrückhaltebecken	416
	Flutpolder	419
	Steigerung der Abflussleistung	423
	Wildbachverbau	424
	Schwemmholzurückhalt an Wildbächen.....	425
	Gerinneentlastung	429
	Hochwasserschutzdeiche.....	430
	Feststehende Hochwasserschutzwände	438
	Mobile Hochwasserschutzkonstruktionen.....	440
	Objektschutz.....	443
8.5	Literatur	444

9	Wasserbau im Ausland	449
9.1	Hochwasserrückhaltedamm (Vereinigte Arabische Emirate).....	452
9.2	Talsperren zur Grundwasseranreicherung im Sultanat von Oman.....	455
9.2.1	Prinzip der Grundwasseranreicherung.....	456
9.2.2	Dimensionierung der Hochwasserentlastung.....	460
9.2.3	Erosionsschäden im Tosbeckennachlauf.....	463
9.2.4	Untergrundabdichtung mit einem „slurry trench“.....	464
9.2.5	Kerndichtung als Erdbetonwand.....	465
9.3	BOT- Projekt der Talsperre Birecik am Euphrat.....	468
9.4	Trinkwassertalsperre Thika Dam in Kenia.....	470
9.4.1	Hochwasserentlastung.....	471
9.4.2	Geologische Besonderheiten und deren Einfluss auf die Bauausführung.....	472
	Einfluss der Geologie auf den Stollenvortrieb.....	473
	Einfluss der Geologie auf die Untergrundabdichtung.....	473
9.4.3	Ausführungskontrolle beim Stollenvortrieb.....	474
9.4.4	Messergebnisse beim Einstau.....	477
9.4.5	Besonderheiten beim Herstellen des Injektionsschleiers.....	478
9.4.6	Besonderheiten bei der Dammschüttung.....	480
9.5	Literatur.....	481
10	Sanierung und Modernisierung	485
10.1	Aufgaben von Sanierung und Modernisierung.....	486
10.1.1	Erhebung von Schwachstellen.....	487
10.1.2	Wahl der Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen.....	488
10.2	Betoninstandsetzung.....	488
10.2.1	Betonsanierung bei Kavitationsschäden.....	491
	Zerstörung von Beton durch Kavitationserosion.....	492
	Erhöhung der Erosionsbeständigkeit des Betons.....	493
	Sanierung der Wehranlage Tacherting an der Alz.....	494
10.3	Anpassung an geänderte Bemessungsgrößen.....	497
10.3.1	Ertüchtigung von Wehrfeldern.....	497
10.3.2	Ertüchtigung von Tosbecken.....	498
10.4	Kanalauskleidung.....	500
	Zogno, Italien.....	501
	Senhora do Porto, Portugal.....	502
	Isarkanal, Deutschland.....	504
	Alzkanal, Deutschland.....	505
10.4.1	Faseroptische Temperaturmessung mittels Glasfaserkabel.....	507
	Messprinzip.....	507
	Einsatzgebiete.....	507
10.5	Sanierung und Ertüchtigung von Talsperren.....	508
10.5.1	Grundsätzliche Möglichkeiten der Erhöhung von Talsperren.....	510

Erhöhung von Staudämmen	511
10.5.2 Erhöhung der Grimsel-Talsperre, Schweiz.....	513
10.6 Literatur	517
11 Hydraulische Modelle.....	519
11.1 Physikalische Modelle	520
11.1.1 Ähnlichkeit von Modell und Natur.....	520
Übertragungsmaßstäbe.....	521
11.1.2 Modellgesetze.....	522
Froudesches Modellgesetz	523
11.2 Analogiemodelle.....	527
11.2.1 Anwendungsgrenzen physikalischer Modelle	528
11.2.2 Auswertung und Visualisierung von Modellergebnissen	528
Laser-Doppler-Anemometer (LDA)	529
Particle Image Velocimeter (PIV).....	529
Modelle mit Tracern.....	531
11.2.3 Beispiele für physikalische Modelle.....	531
11.3 Numerische Modelle.....	534
11.3.1 Wasserablaufmodelle.....	536
Grundlagen der Modellierung von Oberflächengewässern	536
1d-Strömungsmodelle	537
2d-Strömungsmodelle	538
3d-Strömungsmodelle	540
11.3.2 Verifikation, Kalibrierung, Validierung	540
11.4 Hybridmodelle	543
Die Zukunft hybrider Modellierung.....	545
11.4.1 Anmerkungen zu numerischen Modellen.....	546
11.5 Literatur	547
12 Rechtliche Aspekte.....	549
12.1 Geschichte des Wasserrechts	549
Frühe Entwicklungen	549
Entwicklung in der Neuzeit.....	550
12.2 Grenzüberschreitende Gewässer.....	551
Internationales Wasserrecht	551
Bilaterale Abkommen	552
12.3 Die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL).....	553
12.3.1 Gewässerschutz in Europa.....	553
12.3.2 Ziele der WRRL	554
12.3.3 Neue Ansätze für die Gewässerbewirtschaftung	556
12.3.4 Legislative Umsetzung in Deutschland	556
12.3.5 Flussgebietsbezogene Gewässerbewirtschaftung	557
12.3.6 Planungsschritte.....	559

Zeitliche Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie	559
Bestandsaufnahme	559
Überwachungsprogramme (Monitoring).....	562
Bewirtschaftungsplan und Maßnahmenprogramme.....	562
12.3.7 Einbindung der Öffentlichkeit	563
12.3.8 Konsequenzen für die Wasserwirtschaft.....	564
Praktische Umsetzung der WRRL bei der Neuplanung	564
Verbesserungsmaßnahmen an oberirdischen Gewässern	565
Übergangssituation bis 2009	566
12.4 Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG).....	566
Erlaubnis und Bewilligung (§§ 7, 8).....	567
Unterhalt von Gewässern (§ 28).....	567
Ausbau von Gewässern (§ 31)	567
Hochwasserschutz (§ 31)	567
12.5 Das Raumordnungsgesetz (ROG).....	569
12.5.1 Landesplanungsgesetze und Landesentwicklungsprogramme.....	569
Regionale Raumordnungsplanung	570
12.6 Das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG)	570
Eingriffsregelung (§§ 18, 19).....	571
Landschaftspflegerischer Begleitplan	571
12.7 Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG).....	572
12.8 Genehmigungs- und Prüfverfahren	572
Beteiligung der Öffentlichkeit und der Träger öffentlicher Belange	573
12.8.1 Das Raumordnungsverfahren (ROV)	575
12.8.2 Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP).....	576
12.8.3 Das Planfeststellungsverfahren (PFV).....	579
12.9 Literatur	581
Glossar	583
Sachverzeichnis	591
Bildnachweis.....	603