
Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 4. Auflage	9
Vorwort zur 3. Auflage	10
Vorwort zur 2. Auflage	10
Vorwort zur 1. Auflage	11
Danksagung	13
Einleitung	25

Teil I: Flussabwärts gerichtete Fischwanderungen – Mechanismen und Probleme

1 Biologie der Fischabwanderung	33
1.1 Typologie von Wanderungen	33
1.1.1 Generelle Aspekte	33
1.1.2 Migrationsgilden	36
1.1.2.1 Diadrome Arten	38
1.1.2.1.1 Anadrome Arten	38
1.1.2.1.2 Katadrome Arten	46
1.1.2.1.3 Amphidrome Arten	49
1.1.2.2 Potamodrome Arten	49
1.1.2.3 Ozeanodrome Arten	51
1.2 Abwandernde und abdriftende Entwicklungsstadien	52
1.2.1 Embryonen / Eier	52
1.2.2 Eleutheroembryonen / Dottersackbrütlinge	53
1.2.3 Larven	53
1.2.4 Juvenile	55
1.2.5 Adulte	59
1.3 Zeitgeber und Rhythmik der Abwanderung	61
1.3.1 Geophysikalische Zeitgeber und resultierende Rhythmen	62
1.3.1.1 Jahreszeitliche Rhythmik	62
1.3.1.2 Tageszeitliche Rhythmik	66
1.3.1.3 Lunare Rhythmik	70
1.3.2 Sonstige Zeitgeber	72
1.3.2.1 Abfluss	72
1.3.2.2 Wassertemperatur	73
1.3.2.3 Weitere Faktoren	75

1.4	Intensität der Abwanderung	76
1.4.1	Generelle Aspekte	76
1.4.2	Empirische Daten	78
1.4.2.1	Untersuchungen mit Plankton- und Driftnetzen	78
1.4.2.2	Untersuchungen mit Hamen und Reusen	80
1.4.3	Charakterisierung durch bestandsdynamische Modelle	86
1.5	Verhalten bei der Abwanderung	87
1.5.1	Abwanderungsgeschwindigkeit	87
1.5.2	Abwanderungskorridore	90
1.5.2.1	Horizontale Differenzierung	90
1.5.2.2	Vertikale Differenzierung	91
1.5.2.3	Individuenverteilung an Gerinneverzweigungen	97
<hr/>		
2	Biologische Wirkung physikalischer Stressoren	101
<hr/>		
2.1	Generelle Aspekte	102
2.1.1	Klassifikation biologischer Wirkungen	102
2.1.2	Indikative Bedeutung von Labor- und Feldstudien	103
2.2	Mechanische Kontakte mit technischen Komponenten	105
2.2.1	Kollisionen	105
2.2.1.1	Grundlagen	105
2.2.1.2	Experimentelle Befunde	107
2.2.2	Kontakte mit Spalträumen	113
2.2.3	Schlussfolgerungen	115
2.3	Druckänderungen und Kavitation	116
2.3.1	Grundlagen	116
2.3.1.1	Physiologische Wirkpfade	116
2.3.1.2	Quantifizierung von Druckänderungen	117
2.3.1.3	Bedeutung biologischer Faktoren für das Mortalitätsrisiko	120
2.3.2	Experimentelle Befunde	122
2.3.3	Sonderfall Kavitation	127
2.3.4	Schlussfolgerungen	128
2.4	Scherkräfte und Turbulenzen	129
2.4.1	Scherkräfte	129
2.4.1.1	Grundlagen	129
2.4.1.2	Experimentelle Befunde	132
2.4.2	Turbulenzen	139
2.4.3	Schlussfolgerungen	140
2.5	Zielgrößen und Gestaltungsgrundsätze zur Minimierung des Mortalitätsrisikos an technischen Einrichtungen	141

3	Schädigung abwandernder Fische an Wasserkraftstandorten	143
3.1	Schädigung in Turbinen und sonstigen Triebwerken	144
3.1.1	Technische Grundlagen	144
3.1.1.1	Generelle Aspekte	144
3.1.1.2	Konventionelle Turbinentypen	147
3.1.1.2.1	Kaplan-Turbine	147
3.1.1.2.2	Francis-Turbinen	152
3.1.1.2.3	Pelton-Turbine	156
3.1.1.2.4	Durchströmturbine	157
3.1.1.3	Alternative Turbinentypen	157
3.1.1.3.1	Minimum Gap Runner Turbine (MGR-Turbine)	157
3.1.1.3.2	Alden-Turbine	158
3.1.1.3.3	Very Low Head Turbine (VLH-Turbine)	159
3.1.1.3.4	Pentair-Turbine	160
3.1.1.3.5	Dive-Turbine	161
3.1.1.4	Sonstige hydraulische Strömungsmaschinen zur Energieerzeugung	162
3.1.1.4.1	Wasserkraftschnecke	162
3.1.1.4.2	Wasserrad	163
3.1.1.4.3	Weitere Typen	165
3.1.2	Schädigungsraten	165
3.1.2.1	Konventionelle Turbinentypen	165
3.1.2.1.1	Kaplan- und Francis-Turbine	165
3.1.2.1.2	Pelton-Turbine	171
3.1.2.1.3	Durchströmturbine	171
3.1.2.2	Alternative Turbinentypen	172
3.1.2.2.1	Minimum Gap Runner Turbine (MGR-Turbine)	172
3.1.2.2.2	Alden-Turbine	172
3.1.2.2.3	Very Low Head Turbine (VLH-Turbine)	173
3.1.2.2.4	Pentair-Turbine	175
3.1.2.2.5	Dive-Turbine	176
3.1.2.3	Sonstige hydraulische Strömungsmaschinen zur Energieerzeugung	176
3.1.2.3.1	Wasserkraftschnecke	176
3.1.2.3.2	Wasserrad	184
3.1.2.3.3	Wasserwirbelkraftwerk	186
3.1.3	Modelle zur Prognose der turbinenbedingten Fischmortalität	187
3.1.3.1	Generelle Aspekte	187
3.1.3.2	Physikalische Modelle	188
3.1.3.2.1	Modell VON RABEN, 1. Fassung (1957a)	190
3.1.3.2.2	Modell VON RABEN, 2. Fassung (1957a)	191
3.1.3.2.3	Modell VON RABEN, 3. Fassung (1957b)	192
3.1.3.2.4	Modell MONTEN, 1. Fassung (1985)	193
3.1.3.2.5	Modell MONTEN, 2. Fassung (1985)	194
3.1.3.2.6	Modell BELL (1990)	195
3.1.3.2.7	Modell TURNPENNY et al. (2000)	196
3.1.3.2.8	Modelle EBEL (vorliegende Arbeit)	197
3.1.3.3	Empirische Modelle	198
3.1.3.3.1	Modelle LARINIER & DARTIGUELONGUE (1989)	199

3.1.3.3.2	Modelle EBEL (2008a).....	201
3.1.3.3.3	Modelle GOMES & LARINIER (2008).....	202
3.1.3.3.4	Modelle EBEL (2015).....	204
3.1.3.4	Vergleich von berechneten und beobachteten Mortalitätsraten	205
3.1.3.5	Empfehlungen zur praktischen Modellanwendung	210
3.1.3.6	Alternative Methoden zur Beurteilung des Mortalitätsrisikos	212
3.2	Schädigung an mechanischen Barrieren	214
3.3	Schädigung an Stauanlagen	218
3.3.1	Generelle Aspekte	218
3.3.2	Überströmte Stauanlagen	220
3.3.2.1	Aufprall auf den Unterwasserspiegel.....	220
3.3.2.2	Weitere Verletzungsursachen	222
3.3.3	Unterströmte Stauanlagen	224
3.4	Schädigung durch Veränderung der Gassättigung	226
3.5	Verluste durch Prädation	227

Teil II: Fischpassage an Wasserkraftanlagen – Ingenieurbiologische Grundlagen für die Erhöhung der Überlebensrate

4	Prinzipien des Fischschutzes an Wasserkraftanlagen	237
4.1	Fischschutz- und Bypasssysteme	238
4.2	Fischschonende Turbinen	241
4.3	Fischschonender Anlagenbetrieb	243
4.3.1	Methodisches Prinzip	243
4.3.2	Prognose der Abwanderungsaktivität	245
4.3.3	Beispiele	248
4.4	Fang und Transport	250
5	Typologie, Geometrie und Hydraulik von mechanischen Barrieren und Bypässen	255
5.1	Mechanische Barrieren.....	256
5.1.1	Barrieretypen.....	258
5.1.1.1	Konventioneller Rechen.....	258
5.1.1.2	Flachrechen / geneigter Rechen.....	259
5.1.1.3	Bogenrechen / Rundrechen.....	260
5.1.1.4	Leitrechen / Schrägrechen.....	261
5.1.1.5	Louver	264
5.1.1.6	Seilrechen	265
5.1.1.7	Tauchwand	266
5.1.1.8	Sohlleitwand	266
5.1.1.9	Vertikal umlaufende Barrieren	267

5.1.1.10	Horizontal umlaufende Barrieren	270
5.1.1.11	Hybridbarrieren	270
5.1.2	Geometrische und hydraulische Kenngrößen	270
5.1.2.1	Geometrische Kenngrößen	270
5.1.2.2	Strömungsvektoren	271
5.1.2.2.1	Anströmgeschwindigkeit.....	271
5.1.2.2.2	Normalgeschwindigkeit.....	272
5.1.2.2.3	Tangentialgeschwindigkeit	272
5.1.2.3	Hydraulische Verluste	275
5.2	Bypässe	280
5.2.1	Bypasstypen	280
5.2.2	Geometrische und hydraulische Kenngrößen	283
5.2.2.1	Geometrische Kenngrößen	283
5.2.2.2	Hydraulische Kenngrößen	285
5.3	Spezielle Systeme für den Fischschutz und Fischabstieg sowie ökologisch orientierte Kraftwerkskonzepte	288
5.3.1	Eicher Screen	288
5.3.2	Modular Inclined Screen	288
5.3.3	Leitrechen-Bypass-System nach Ebel, Gluch & Kehl	291
5.3.4	Bottom Gallery®	294
5.3.5	Aalabstiegssystem nach Hassinger & Hübner	294
5.3.6	Fischhebetrog nach Hassinger & Hübner	296
5.3.7	Bewegliches Wasserkraftwerk	296
5.3.8	Schachtkraftwerk	298
6	Physiologische und biometrische Grundlagen für den Einsatz von mechanischen Barrieren und Bypässen	301
6.1	Schwimmfähigkeit	301
6.1.1	Grundlagen.....	301
6.1.2	Schwimmlevel.....	305
6.1.2.1	Sprintgeschwindigkeit	305
6.1.2.2	Gesteigerte und kritische Schwimmgeschwindigkeit.....	305
6.1.2.3	Dauerschwimmgeschwindigkeit	306
6.1.3	Modelle zur Charakterisierung der Schwimmgeschwindigkeit	306
6.1.3.1	Univariate Modelle.....	308
6.1.3.1.1	Allgemeine Modelle.....	308
6.1.3.1.2	Artspezifische Modelle	309
6.1.3.2	Multivariate Modelle.....	309
6.1.3.2.1	Allgemeine und gildenspezifische Modelle.....	309
6.1.3.2.2	Artspezifische Modelle	320
6.1.3.3	Schlussfolgerungen	331

6.2 Körperproportionen	332
6.2.1 Generelle Aspekte	332
6.2.2 Biologische Kenngrößen	334
6.2.2.1 Körperbreite und Körperhöhe	334
6.2.2.2 Relative Körperbreite und relative Körperhöhe	338
6.2.2.3 Proportionsindex	338
6.3 Physische Durchlässigkeit mechanischer Barrieren	340
6.3.1 Durchlässigkeitsindex	340
6.3.2 Kritische Körperlänge für die Passierbarkeit	342
6.3.3 Kritische Stabweite für die Passierbarkeit	343
6.3.4 Physische Schutzwirkung von Rechensystemen	344
<hr/>	
7 Verhaltensbiologische Grundlagen für den Einsatz von mechanischen Barrieren und Bypässen	353
<hr/>	
7.1 Verhalten an Barrieren	354
7.1.1 Wahrnehmen von Barrieren und verhaltensbiologische Reaktionen	354
7.1.2 Einfluss der lichten Weite	356
7.1.3 Einfluss der Anströmgeschwindigkeit	358
7.1.4 Einfluss der Exposition	360
7.1.4.1 Barrieren mit weitgehend frontaler Anströmung	360
7.1.4.1.1 Grundlagen	360
7.1.4.1.2 Spezielle Verhaltensweisen	362
7.1.4.1.3 Schlussfolgerungen	362
7.1.4.2 Barrieren mit ausgeprägter vertikaler Schräganströmung	363
7.1.4.2.1 Grundlagen	363
7.1.4.2.2 Spezielle Verhaltensweisen	365
7.1.4.2.3 Barrieren mit abweichendem Funktionsprinzip	367
7.1.4.2.4 Schlussfolgerungen	367
7.1.4.3 Barrieren mit ausgeprägter horizontaler Schräganströmung	368
7.1.4.3.1 Grundlagen	368
7.1.4.3.2 Modelle	370
7.1.4.3.3 Spezielle Verhaltensweisen	383
7.1.4.3.4 Schlussfolgerungen	389
7.2 Verhalten an Bypässen	390
7.2.1 Einfluss der Exposition	390
7.2.1.1 Longitudinale Anordnung	390
7.2.1.2 Vertikale Anordnung	391
7.2.1.3 Horizontale Anordnung	393
7.2.1.4 Schlussfolgerungen	395
7.2.2 Einfluss hydraulischer Faktoren	396
7.2.2.1 Geschwindigkeitsgradienten und Turbulenzen	396
7.2.2.2 Relative und absolute Eintrittsgeschwindigkeit	396
7.2.2.3 Schlussfolgerungen	400

7.2.3	Einfluss geometrischer Faktoren	401
7.2.3.1	Profilbreite.....	401
7.2.3.2	Profilhöhe / Wassertiefe	407
7.2.3.3	Profilform.....	409
7.2.3.4	Schlussfolgerungen	410
7.2.4	Einfluss der Beaufschlagung	411

8	Biologische Effizienz von mechanischen Barrieren und Bypassen	415
----------	--	-----

8.1	Generelle Aspekte	415
8.2	Ergebnisse von Effizienzstudien	417
8.2.1	Rechen und Louver	417
8.2.1.1	Datengrundlage	417
8.2.1.2	Konventionelle Rechen	419
8.2.1.3	Flachrechen.....	422
8.2.1.4	Leitrechen	424
8.2.1.5	Louver.....	429
8.2.2	Sohlleitwände und Tauchwände	432
8.2.3	Sonstige Barrieren	434
8.2.4	Spezielle Systeme und ökologisch orientierte Kraftwerkskonzepte	435
8.3	Modellierung der biologischen Effizienz	435
8.3.1	Modelle CUCHET (2014)	435
8.3.2	Modell KLOPRIES (2018)	436
8.3.3	Modelle MEISTER (2020)	437
8.3.4	Modell EBEL (vorl. Arbeit)	438
8.4	Schlussfolgerungen	440

Teil III: Einsatz von Rechen- und Bypasssystemen – Bemessung, Gestaltung, Qualitätssicherung, Praxisbeispiele

9	Ingenieurbiologische Anforderungen an Rechen- und Bypasssysteme	443
----------	--	-----

9.1	Allgemeine Anforderungen	444
9.1.1	Generelle Aspekte	444
9.1.2	Biologische Effizienz und resultierende Überlebensraten	444
9.1.3	Zielarten und -stadien für die Bemessung	449
9.1.4	Betriebszeit	451
9.2	Anforderungen an Rechensysteme	452
9.2.1	Lichte Weite	452
9.2.1.1	Grundlagen.....	452
9.2.1.2	Bemessungswerte.....	453

9.2.2	Anströmgeschwindigkeit und Anströmwinkel	456
9.2.2.1	Grundlagen.....	456
9.2.2.2	Bemessungswerte.....	456
9.2.2.2.1	Konventionelle Rechen.....	456
9.2.2.2.2	Flachrechen.....	460
9.2.2.2.3	Leitrechen.....	462
9.2.3	Anordnung und Gestaltung	469
9.2.3.1	Lagebeziehung von Kraftwerk, Rechen und Bypass.....	469
9.2.3.2	Stabausrichtung und Stabgeometrie.....	474
9.2.3.3	Sohlleitwände und Tauchwände.....	474
9.3	Anforderungen an Bypasssysteme	475
9.3.1	Geometrische Parameter	475
9.3.1.1	Grundlagen.....	475
9.3.1.2	Bemessungswerte.....	476
9.3.1.2.1	Profildimensionen.....	476
9.3.1.2.2	Krümmungsradien.....	479
9.3.1.2.3	Tosbeckentiefe und -volumen.....	480
9.3.2	Hydraulische Parameter	480
9.3.2.1	Grundlagen.....	480
9.3.2.2	Bemessungswerte.....	480
9.3.2.2.1	Eintrittsprofil.....	480
9.3.2.2.2	Gerinne.....	481
9.3.2.2.3	Austrittsprofil.....	482
9.3.3	Anordnung und Gestaltung	483
9.3.4	Beaufschlagung	484
9.3.5	Unterhaltung	484
9.4	Zusammenfassung der Bemessungswerte und Gestaltungsgrundsätze	486
<hr/>		
10	Ingenieurbioologische Planung von Rechen- und Bypasssystemen	491
<hr/>		
10.1	Grundlagenermittlung	492
10.2	Planung von Rechensystemen	493
10.2.1	Typenwahl	493
10.2.2	Lichte Weite	494
10.2.2.1	Grundlagen.....	494
10.2.2.2	Bemessung.....	494
10.2.3	Anströmgeschwindigkeit und Anströmwinkel	496
10.2.3.1	Grundlagen.....	496
10.2.3.2	Bemessung.....	497
10.2.3.2.1	Konventionelle Rechen.....	497
10.2.3.2.2	Flachrechen.....	498
10.2.3.2.3	Leitrechen.....	498
10.2.4	Prüfung des Risikos von Fischschäden durch Anpressung an den Rechen	502
10.2.5	Gestaltung	503

10.3 Planung von Bypasssystemen	505
10.3.1 Typenwahl	505
10.3.2 Geometrische Parameter	506
10.3.2.1 Profildimensionen	506
10.3.2.1.1 Grundlagen.....	506
10.3.2.1.2 Bemessung.....	506
10.3.2.2 Krümmungsradien	508
10.3.2.3 Tosbeckentiefe und -volumen	508
10.3.3 Hydraulische Parameter	509
10.3.3.1 Eintrittsprofil	509
10.3.3.2 Gerinne	509
10.3.3.3 Austrittsprofil.....	516
10.3.4 Beaufschlagung	517
10.3.5 Betriebszeit	517
10.4 Anforderungen an die Planunterlagen	517
<hr/>	
11 Qualitätssicherung	519
<hr/>	
11.1 Planung	521
11.2 Ausführung	522
11.3 Inbetriebnahme und Probetrieb	523
11.4 Funktionskontrolle	523
11.5 Regulärer Betrieb	526
<hr/>	
12 Praktische Hinweise zum Einsatz von Leitreehen-Bypass-Systemen	527
<hr/>	
12.1 Generelle Aspekte	528
12.2 Leitreehen-Bypass-System nach EBEL, GLUCH & KEHL	528
12.2.1 Aufbau und Funktionsprinzip	528
12.2.2 Planung und Ausführung	530
12.2.3 Betrieb	533
12.2.4 Biologische Wirksamkeit	536
12.2.5 Einsatzmöglichkeiten und -grenzen	536
12.2.6 Investitionsvolumen	539
12.2.7 Praxisbeispiele	539
Wasserkraftanlage Halle-Planena (Saale, Deutschland).....	540
Wasserkraftanlage Rothenburg (Saale, Deutschland).....	542
Wasserkraftanlage Raguhn (Mulde, Deutschland).....	544
Wasserkraftanlage Oderwitz (Weiße Elster, Deutschland).....	546
Wasserkraftanlage Hadmersleben (Bode, Deutschland).....	548
Wasserkraftanlage Falkenberg (Ätran, Schweden).....	550

Wasserkraftanlage Freyburg (Unstrut, Deutschland).....	552
Wasserkraftanlage Öblitz (Saale, Deutschland).....	554
Wasserkraftanlage Muldestausee (Mulde, Deutschland).....	556

Teil IV: Verzeichnisse

13 Literaturverzeichnis	561
14 Verzeichnis der Bildautoren	636
15 Verzeichnis der Arten	640
16 Verzeichnis der Kraftwerke und Stauanlagen	643
17 Verzeichnis der Gewässer	648
18 Verzeichnis der Symbole	651
19 Verzeichnis der Abkürzungen	657
Sachregister	659
In der Schriftenreihe bislang erschienene Buchtitel	672
